

MAX PLANCK

Người Khai Sáng Thuyết Lượng Tử

MAX PLANCK

Người Khai Sáng Thuyết Lượng Tử

Kỷ Yếu Mừng Sinh Nhật Thứ 150
(1858-2008)

Chủ biên:

Đào Vọng Đức - Chu Hảo

Trịnh Xuân Thuận - Nguyễn Xuân Xanh - Phạm Xuân Yêm

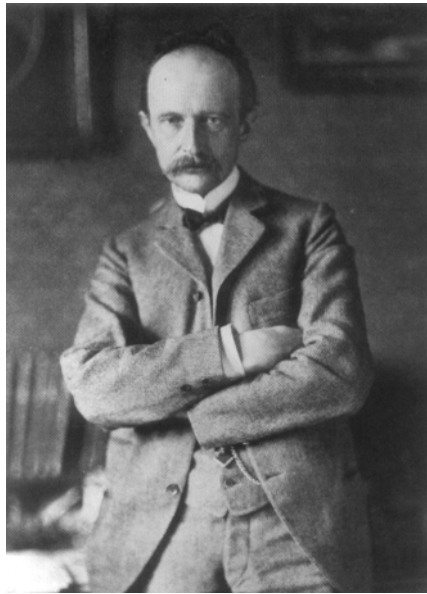
NHÀ XUẤT BẢN TRI THỨC

Với sự cộng tác của: Trần Hà Anh - Đà Lạt; Nguyễn Trọng Anh - Palaiseau; Cao Chi - Hà Nội; Phạm Đức Chính - Hà Nội; Nam Dao - Quebec; Hồ Trung Dũng - Tp.HCM; Đào Vọng Đức - Hà Nội; Phan Huy Đường - Paris; Jerome I. Friedman - MIT; Trần Trọng Giễn - St John; Đỗ Đăng Giu - Orsay; Chu Hào - Hà Nội; Nguyễn Trọng Hiền - CalTech; Nguyễn Đức Hiệp - New South Wales; Nguyễn Văn Hiệu - Hà Nội; Dieter Hoffmann - Berlin; Phạm Quang Hưng - Virginia; Christian Ngô - Saclay; Mai Ninh - Caen; Nguyễn Đức Phường - Hà Nội; Hồ Kim Quang - Toronto; Jürgen Renn - Berlin; Nguyễn Quang Riệu - Paris; Trương Văn Tân - Melbourne; Nguyễn Minh Thọ - Leuven; Trịnh Xuân Thuận - Virginia; Nguyễn Văn Trọng - Tp.HCM; Hà Dương Tuấn - Paris; Nguyễn Đức Tường - Ottawa; Nguyễn Xuân Xanh - Tp.HCM; Phạm Xuân Yêm - Paris.

Kỷ yếu Max Planck là tập hợp của những đóng góp
của các cá nhân độc lập nhau.
Do đó mỗi tác giả chịu trách nhiệm về nội dung của bài mình.
Mọi sự phổ biến, đăng lại nguyên bài của Kỷ yếu
trên tất cả các phương tiện truyền thông, sách báo, website...
cần phải được sự đồng ý của tác giả và nhà xuất bản.

*Cái gì trong vật lý từ lâu gây sự
quan tâm ở tôi, đó là các định
luật lớn phổ quát có ý nghĩa cho
tất cả các hiện tượng tự nhiên,
độc lập với các tính chất của các
vật thể tham gia vào hiện tượng.*

MAX PLANCK



*Cái cơ bản không phải là sở
hữu bền vững, mà chính là
cuộc chiến đấu không ngừng,
hướng về mục tiêu lý tưởng, là
cuộc đổi mới cuộc sống hằng
ngày, hằng giờ, gắn bó với sự
chiến đấu không ngừng luôn
luôn bắt đầu lại mới, chiến đấu
cho sự cải thiện tốt hơn, và
cho sự hoàn thiện.*

MAX PLANCK

Chúng ta cuối cùng phải tự hỏi, không phải một sự gắng sức không ngừng nhưng vô vọng như thế làm cho chúng ta không thỏa mãn một cách cao độ hay sao? Một thế giới quan còn có một giá trị nào chẳng, nếu nó không chỉ ra cho những người đã hằng hiến mình cho nó ít nhất một điểm duy nhất vững chắc ở đâu đó trong cuộc đời để đem lại một điểm tựa lâu bền và trực tiếp trong những đau khổ liên miên và trong sự quay vòng không ngừng của tồn tại của họ?

Chỉ có một sự kết hợp giữa sức mạnh của lý trí và sức mạnh của ý chí mới đem lại quả chín và thơm ngon nhất của triết học: Đạo đức học. Bởi vì khoa học cũng đem ra ánh sáng những giá trị đạo đức, nó dạy chúng ta trước nhất tính chân thật và sự tôn kính. Tính chân thật trong sự vươn tới không ngừng những nhận thức luôn chính xác hơn của thế giới tinh thần và thế giới tự nhiên xung quanh chúng ta, sự tôn kính trong sự trầm tư về cái mãi mãi không thể hiểu được, cái huyền bí của tạo hóa trong lòng ngực của mình.

MAX PLANCK

MỤC LỤC

PHẠM XUÂN XANH - PHẠM XUÂN YÊM
LỜI NÓI ĐẦU

PHẦN I: LỊCH SỬ

A.EINSTEIN

TƯỚNG NIỆM MAX PLANCK

NGUYỄN XUÂN XANH

MAX PLANCK - NGƯỜI CÁCH MẠNG MIỄN CƯỠNG Max Planck
– The reluctant revolutionary

NGUYỄN XUÂN XANH

GIỜ KHAI SINH CỦA THUYẾT LƯỢNG TỬ

NGUYỄN XUÂN XANH

CÁC KHUÔN KHỔ BỊ PHÁ VỠ Ideas disrupting traditional
frameworks

PHẠM XUÂN YÊM NGUYỄN XUÂN XANH

108 NĂM THUYẾT LƯỢNG TỬ 108 Years of Quantum Theory

MAX PLANCK

“NGÀI CỐ VẤN CƠ MẬT MAX PLANCK”

NGUYỄN XUÂN XANH

NIÊN BIỂU TÓM TẮT MAX PLANCK 1858-1947

NGUYỄN XUÂN XANH

MAX PLANCK CUỘC ĐỜI VÀ KHOA HỌC

NGUYỄN XUÂN XANH

ĐỌC MAX PLANCK

NGUYỄN XUÂN XANH

“SỐNG BÊN CẠNH PLANCK LÀ MỘT NIỀM VUI RỒI”

JÜRGEN RENN

“ÔNG ẤY ĐÃ ĐỀ BỊ LÔI KÉO”

DIETER HOFFMANN

MAX PLANCK VÀ ALBERT EINSTEIN, ĐỒNG NGHIỆP TRONG
SỰ DỊ BIỆT

DIETER HOFFMANN NGUYỄN XUÂN XANH

MAX PLANCK VÀ GIẢI NOBEL

MAX PLANCK

CON ĐƯỜNG TỪ NGHIÊN CỨU THUẦN TÚY ĐẾN ỨNG DỤNG
CÔNG NGHIỆP

MAX PLANCK

TÔN GIÁO VÀ KHOA HỌC TỰ NHIÊN

PHẦN II: KHOA HỌC CƠ BẢN VÀ THỰC NGHIỆM

JEROME I. FRIEDMAN

CON ĐƯỜNG TIẾN TỚI GIẢI NOBEL

PHẠM XUÂN YÊM

BẢN GIAO HƯỞNG HUYỀN DIỆU GIỮA LƯỢNG TỬ VÀ TƯƠNG
ĐỐI

NGUYỄN TRỌNG HIỀN

SỰ ĐO ĐẠC HẰNG SỐ PLANCK - VÀ NHỮNG BÀI HỌC TỪ
THỰC NGHIỆM

ĐỖ ĐĂNG GIU

KỶ NGUYÊN MỚI

NGUYỄN VĂN HIỆU

MỘT THỂ KỶ PHÁT TRIỂN SÔI ĐỘNG CỦA VẬT LÝ A Century
with the Effervescent Development of Physics

HỒ TRUNG DŨNG

LỰC VAN DER WAALS VÀ LỰC CASIMIR: TỪ VẬT LÝ CƠ BẢN
TỚI ỨNG DỤNG

CHU HẢO

BOHR, VỊ “TRƯỞNG LÃO” QUYẾT ĐOÁN

HỒ KIM QUANG

THÔNG TIN, TÍNH TOÁN VÀ VẬT LÝ LƯỢNG TỬ

PHẠM QUANG HÙNG

NĂNG LƯỢNG TỐI

ĐÀO VỌNG ĐỨC

ĐỐI NGẪU LƯỢNG TỬ - NGUYÊN LÝ KHỞI ĐẦU CỦA ĐẠI
THỐNG NHẤT Duality in Quantum Physics. A Primary Principle of
Grand Unification

CAO CHI

TỒN TẠI CHẴNG MỘT LÝ THUYẾT CỦA TẤT CẢ?

PHẦN III: KHOA HỌC ỨNG DỤNG

TRƯƠNG VĂN TÂN

CƠ HỌC LƯỢNG TỬ VÀ VẬT LIỆU NANO

NGUYỄN TRỌNG ANH

HÓA HỌC HỮU CƠ VÀ CƠ HỌC LƯỢNG TỬ: PHƯƠNG PHÁP
ORBITAL BIÊN

NGUYỄN MINH THỌ

HÓA HỌC LƯỢNG TỬ TÍNH TOÁN: NGÀNH KHOA HỌC CỦA
THẾ KỶ 21

TRẦN TRỌNG GIỄN

MỘT VÀI KHÁI NIỆM VỀ TÍNH TOÁN LƯỢNG TỬ VÀ TRUYỀN
TIN LƯỢNG TỬ

PHẠM ĐỨC CHÍNH

CƠ-LÝ TÍNH VĨ MÔ CỦA VẬT LIỆU ĐA TINH THỂ HỖN Độn CÓ
THỂ ĐƯỢC XÁC ĐỊNH CHÍNH XÁC TỚI ĐÂU?

CHRISTIAN NGÔ

VIỆN CẢNH VỀ NĂNG LƯỢNG

PHẦN IV: THIÊN VĂN HỌC

NGUYỄN QUANG RIỆU

DẤU ẤN CỦA THUYẾT LƯỢNG TỬ TRONG NGHIÊN CỨU VŨ
TRỤ

TRỊNH XUÂN THUẬN

VŨ TRỤ THẬT HÀI HÒA NHƯNG VÔ CÙNG TINH TẾ VÀ THỐNG
NHẤT

NGUYỄN ĐỨC PHƯỜNG

GIỚI HẠN CỦA BỨC TƯỜNG PLANCK

PHẦN V: NHÂN VĂN - XÃ HỘI
- NGHỆ THUẬT - TRIẾT HỌC

NGUYỄN ĐỨC TƯỜNG

LÀM THỂ KỶ... HAY LÀ ĐÔI ĐIỀU Suy Nghĩ CỦA MỘT NGƯỜI
SỐNG GIỮA HAI THỂ KỶ

MAI NINH

DÒNG SÔNG BAO LA

TRẦN HÀ ANH

PHÁT MINH CỦA PLANCK VÀ MỘT SỐ BÀI HỌC BỔ ÍCH CHO
CHÚNG TA

PHAN HUY ĐƯỜNG

THÁI ĐỘ KHOA HỌC TRONG KIẾP NHÂN VĂN

NAM DAO

ĐẠO LÝ VÀ TRÁCH NHIỆM XÃ HỘI: KHOA HỌC-KỸ THUẬT
NHÌN TỪ MỘT GÓC ĐỘ NHÂN VĂN

NGUYỄN ĐỨC HIỆP

MAX PLANCK - TỪ LÝ THUYẾT LƯỢNG TỬ ĐẾN NGHỆ THUẬT
HIỆN ĐẠI VÀ HẬU HIỆN ĐẠI

HÀ DƯƠNG TUẤN

KHOA HỌC LUẬN, TẠI SAO?

PHẠM XUÂN XANH
PHẠM XUÂN YÊM

LỜI NÓI ĐẦU

Một nền khoa học không có năng lực hay ý hướng tác động vượt khỏi khuôn khổ của dân tộc thì không xứng đáng với cái tên của nó.

MAX PLANCK

Năm 2008 đến với chúng ta bằng một sự kiện quan trọng trong giới khoa học. Đó là kỷ niệm sinh nhật lần thứ 150 của Max Planck, người khai sáng Thuyết lượng tử.

Cha đẻ của Thuyết lượng tử, người đã mang lại “ánh sáng” cho thế giới vi mô, cũng như Newton đã từng mang lại ánh sáng cho thế giới vĩ mô, chính là nhà Vật Lý học Max Planck, khi ông khám phá rằng ở cấp vi mô sự trao đổi năng lượng không diễn ra liên tục mà rời rạc theo từng gói tí hon được gọi là “lượng tử”. Khám phá này - cùng với khám phá về bản chất lưỡng tính “sóng lẫn hạt” của ánh sáng 5 năm sau đó của Einstein - chính là những tiên đề nền tảng cho cuộc cách mạng lượng tử.

Hơn 2000 năm trước, nhà triết học cổ đại Hy Lạp Democrit đã từng nghĩ rằng vật chất có thể được phân tích ra thành những phân tử nhỏ mà ông gọi là “atom”. Những nỗ lực để giải thích vật chất được cấu tạo bằng gì và như thế nào từ đó luôn luôn thất bại. Ngay cả Newton, người khám phá ra luật hấp dẫn vạn vật, cũng bó tay trước bản chất rắc rối của vật chất.

Nhưng năm 1925 tình hình thay đổi hẳn, sự ra đời của thuyết Lượng tử - với cơ học lượng tử và cơ học sóng của Werner Heisenberg và Erwin Schrödinger - đã gây ra một “đợt sóng thần” chưa từng thấy trong khoa học và có những ảnh hưởng sâu sắc trong đời sống con người, và ngày càng dâng cao trong thế kỷ 21. Thuyết lượng tử không những giải thích chính xác sự cấu tạo vật chất mà Democrit đã hình dung, mà còn quyết định rất lớn sự

phồn vinh của nhân loại. Cuối thế kỷ 20, thế giới vật lý dựa lên hai cột trụ mới là Thuyết tương đối của Einstein và Thuyết lượng tử của Planck. Nhưng đối với đời sống thực tế của con người thì ba cột trụ của khoa học có ảnh hưởng quyết định là cuộc cách mạng lượng tử, cách mạng sinh học DNA, và cách mạng máy tính, với mức độ chưa từng có trước đó trong lịch sử. Năm 1947 transistor được phát hiện, cho ra đời máy tính hiện đại. Mười năm sau, laser được phát hiện tiếp, Internet và xa lộ thông tin ra đời. Hai khám phá đó đều là những hệ quả của thuyết lượng tử. Năm 1953, thuyết lượng tử cũng đã cho những phép tính toán chính xác để khám phá DNA của James Watson và Francis Crick; ý tưởng đó bắt nguồn từ những bài giảng ẩn tượng của Schrödinger năm 1944 trong cuốn sách *Sự sống là gì?*, cho rằng sự sống của con người có thể được giải thích bằng một “genetic code” (mã di truyền), và thuyết lượng tử có thể cho phép thực hiện điều đó.

Thuyết lượng tử cũng cho phép con người chế tạo được những máy móc có kích thước của phân tử, mở ra một kỷ nguyên cho máy móc và vật liệu mà con người chưa từng biết đến - công nghệ nano - được tiên đoán bởi Richard Feynman trong một bài thuyết trình nổi tiếng có tính chất tiên tri *There's Plenty of Room at the Bottom* năm 1959 trước *American Physical Society*. Ông tự hỏi làm sao có thể nhét hết bộ *Encyclopaedia Britannica* vào đầu của một cây kim, cho rằng với thuyết lượng tử không có gì ngăn cấm sự chế tạo các máy móc có kích cỡ của phân tử cả.

Ngày nay, Thuyết lượng tử, không những là nền tảng của vật lý và thiên văn hiện đại, hóa học và sinh học, mà còn đưa đến hai cuộc cách mạng máy tính và sinh học phân tử. Không những thế, nó sẽ có thể thực hiện những cuộc hợp phối giữa những cuộc cách mạng đó đầy lý thú. Một “tương lai lượng tử” hứa hẹn đang chờ đợi. Nói tóm lại, thuyết lượng tử sẽ thâm nhập cũng như làm nảy sinh ra những công nghệ đỉnh cao, cách mạng nhất của thế kỷ 21 trong ba cuộc cách mạng khoa học vĩ đại của nhân loại.

Con người giờ đây không còn chỉ biết quan sát tự nhiên một cách thụ động nữa, như Newton đã diễn tả trong tự sự: “là một cậu bé chơi trên bãi biển, nhặt được đó đây những hạt sỏi nhẵn hơn, những vỏ sò đẹp hơn bên bờ đại dương của chân lý ở trước mặt”, mà đang ở trong giai đoạn chuyển tiếp, trở thành “đạo diễn” của tự nhiên. Giờ đây, không phải tài nguyên nữa, mà chính là tri thức và kỹ năng mới đóng vai trò quyết định trong sự nghiệp phát triển kinh tế trước sự cạnh tranh toàn cầu. Có thể nói, các quốc

gia có thể hưng thịnh hay suy vong là tùy thuộc vào khả năng có nắm được ba cuộc cách mạng này hay không.

Nhưng trên hết, vượt ra ngoài khuôn khổ lợi ích kinh tế và công nghệ, mục đích tối hậu của con người từ ngàn năm vẫn là muốn hiểu được vũ trụ mình đang sống, và từ lâu đã đi tìm câu trả lời trong tôn giáo và triết học. Những định luật tiềm ẩn nào đã chi phối vật chất trong tự nhiên từ vũ trụ đến thế giới vô cùng nhỏ? Vũ trụ bắt đầu như thế nào? Vì sao vật chất và con người có mặt như hôm nay? Vật chất, và bản thân chúng ta, được cấu tạo bởi các tế bào, rồi bằng những nguyên tử, bằng các hạt electron nhỏ hơn, các nhân của các nguyên tử lại được cấu tạo từ những hạt nhỏ hơn nữa, rồi các hạt này lại chứa những hạt nhỏ nữa v.v... Đây là những viên gạch cuối cùng của vạn vật, và chúng hoạt động như thế nào, các định luật nào chi phối?

Càng khám phá, con người càng nhận chân ra đến kinh ngạc các định luật tinh tế của vật chất không giống như trực giác đời thường. Thế giới của Newton thế kỷ 17 đã khác xa với thế giới của thời Trung cổ. Nhưng thế giới của thế kỷ 20 lại càng khác xa hơn nữa thế giới của tất cả thế kỷ trước cộng lại. Một trăm năm qua là một cuộc hành trình Odyssey của các nhà vật lý học đi tìm bờ cõi và vương quốc của mình, còn đẹp hơn các cuộc phiêu lưu thần thoại Hy Lạp. Con tàu Argo với những con người tài ba Argonaut trên đó đã chinh phục được nhiều miền đất đai và bờ cõi rộng lớn, mỗi lần thêm vững chắc không thể đảo ngược, nhiều lần cứ tưởng mình sắp đến đích, nhưng rồi thấy mình vẫn còn xa hơn, rồi họ lại tiến bước, vượt qua những trở ngại mới để tiến đến những miền đất mới, hoặc đôi khi tuyệt vọng, nhưng rồi con thuyền đã đưa đoàn người thám hiểm đến những nơi sáng láng chói lóa, nhìn chung, cái đích ngày càng đến gần.

Mô hình chuẩn là một bước tiến to lớn và ý nghĩa sau khi nó thống nhất được ba trong bốn lực cơ bản của tự nhiên: lực điện từ, lực yếu và lực mạnh. Trong thế giới hạt có lẽ đến năm 2020 bức tranh sẽ rõ hơn một cách quyết định, trong khi việc thống nhất thuyết trường lượng tử của mô hình chuẩn với thuyết tương đối rộng có thể cần đến 50 năm nữa, như Steven Weinberg ước đoán. Nhưng chưa phải là chắc chắn. "Sự khám phá ra một lý thuyết thống nhất để chúng ta có thể mô tả thiên nhiên ở tất cả mức năng lượng sẽ làm cho chúng ta có khả năng trả lời một trong những câu hỏi cơ bản nhất của vũ trụ học. Đám mây dân nỡ của các thiên hà mà chúng ta gọi là vụ nổ nguyên thủy có một sự bắt đầu vào một thời điểm nào trong quá khứ hay

không. Hay là vụ nổ nguyên thủy của chúng ta chỉ là một tình tiết trong một vũ trụ lớn hơn nhiều mà ở đó từ những thời vĩnh hằng các vũ trụ lớn và nhỏ đã hình thành? Những cái gọi là hằng số tự nhiên hay định luật tự nhiên có khác nhau trong các vũ trụ riêng lẻ?” như Weinberg từng viết. Thế kỷ 21 còn nhiều bài toán hấp dẫn và thách thức dành cho các thế hệ mới của nó, không như một thế kỷ mà một người thầy (von Jolly) của Max Planck đã khuyên ông không nên học vật lý vì lầm tưởng rằng không còn những vấn đề mới nữa. Một thiên tài nào đó tươi mới có thể sẽ xuất hiện.

Năm nay, 2008 là kỷ niệm sinh nhật 150 năm của Max Planck. Sau hơn nửa thế kỷ trước bị tàn phá nặng nề bởi chính sách tiêu diệt khoa học của Chủ nghĩa Quốc xã đã gây ra một cuộc chảy máu chất xám kinh hoàng cho cả châu Âu, một bước ngoặt vui mừng đánh dấu sự phục hưng của nền vật lý ở châu lục này với hai sự kiện nổi bật :

- Trên trời có vệ tinh Planck vừa được phóng lên không trung với kính viễn vọng hiện đại để quan trắc tàn dư của bức xạ trong mấy phần triệu giây phút ban đầu của vũ trụ cách đây khoảng 13.7 tỷ năm với chi tiết chưa từng đạt;

- Dưới đất sâu hơn trăm thước có máy gia tốc hạt LHC (Large Hadron Collider) với chu vi 27 cây số ở CERN. Khắp năm châu duy nhất chỉ có máy này làm đầu tàu thế giới trong công cuộc khám phá, đào sâu tìm hiểu, nhằm thống nhất các định luật cơ bản tận cùng của vạn vật. Lý thuyết và thực nghiệm, tay trong tay vươn tìm những bến bờ xa xăm sâu thẳm nhất của tri thức khoa học, tiếp nối khát vọng hướng thượng chung của con người bẩm sinh xưa nay là không ngừng tìm hiểu thiên nhiên và bản thể của nó.

Với cuốn Kỷ yếu chúng ta muốn góp phần thật khiêm tốn của mình vào việc vinh danh Max Planck trong kỷ ức Việt Nam nhân kỷ niệm 150 năm ngày sinh của ông, và mong muốn các thế hệ hiện tại hãy tiến lên nắm bắt khoa học lượng tử, và khoa học nói chung, để trang bị mình cho thế kỷ 21.

«Quang phổ» của các bài đóng góp trong kỷ yếu Max Planck là rộng rãi và đa dạng, từ những vấn đề lịch sử liên quan đến Max Planck, những vấn đề khoa học cơ bản và thực nghiệm, các vấn đề khoa học ứng dụng, cho đến thiên văn học, khoa học nhân văn, nghệ thuật, triết học, và những bài hồi ký sống động, từ thế giới hạt cơ bản cho đến các thiên hà, từ những khám phá thuần túy khoa học cho đến trách nhiệm của những nhà khoa học trước xã hội và môi trường sống, đến những vấn đề nghệ thuật, văn học, từ những vấn đề của thế kỷ 20 đến những vấn đề của thế kỷ 21, v.v...

Max Planck suốt đời chăm sóc việc xây dựng, phát triển và truyền bá khoa học và nhận thức cho đại chúng, không ngừng chăm lo sự hợp tác quốc tế, luôn luôn tận tụy hết lòng với trách nhiệm của mình trước xã hội. Làm cuốn kỷ yếu đặc biệt này chúng tôi muốn noi gương ông. Các tác giả tham gia là những nhà khoa học và trí thức gốc Việt Nam đang sinh sống tại Việt Nam và nhiều quốc gia khác nhau trên thế giới: Pháp, Bỉ, Hoa Kỳ, Canada, Úc, nhưng tất cả có cùng tình cảm: Việt Nam và khoa học. Và một số bạn nước ngoài cũng cùng chia sẻ với chúng ta, trong đó phải kể Gs. Jerome Friedman, giải Nobel vật lý năm 1990, Gs. Jürgen Renn, Viện trưởng Viện Max Planck nghiên cứu lịch sử khoa học tại Berlin, Gs. Dieter Hoffmann của cùng Viện, chuyên gia về lịch sử khoa học thế kỷ 19, 20 và là một chuyên gia hàng đầu hiện nay về Max Planck. Chúng tôi rất trân trọng đóng góp của nhiều nhà khoa học, trí thức khả kính của nhiều thế hệ của Việt Nam, đặc biệt những thế hệ đi du học từ những năm trước và sau 1950, những nhà khoa học đã có nhiều kiến thức tinh hoa, đã không tiếc thì giờ để truyền đạt vốn kiến thức quý báu ấy qua kỷ yếu Max Planck cho các thế hệ trẻ Việt Nam. Chúng tôi cũng trân trọng những ý muốn đóng góp của nhiều nhà khoa học khác nhưng vì thời gian không cho phép nên đã không thực hiện được.

Thuyết lượng tử và tương đối, nói chung khoa học tự nhiên cùng với những tiến bộ cách mạng của thế kỷ 20 đã thay đổi sâu sắc nhận thức của con người về thế giới, thay đổi còn sâu sắc hơn gấp bội đời sống vật chất con người. Phần nửa GDP của các nước phát triển xuất phát từ kết quả của những nghiên cứu cơ bản. Các quốc gia trên thế giới có lúc ngủ quên, nhưng có lúc cũng phải giật mình trước những sự kiện bàng hoàng diễn ra trước mắt có thể trở thành nguy hiểm, sự đe dọa cho an ninh và sự phồn vinh của quốc gia họ, nếu những người lãnh đạo dân tộc đó còn biết yêu nước và sáng suốt nhận định. Nước Anh chẳng hạn, đã giật mình tại cuộc International Exhibition ở Paris năm 1867 khi nhận thấy rằng Người Mẹ của Cách mạng Công nghiệp đã bị những đứa con qua mặt. Ba năm sau, cuộc chiến tranh Pháp-Phổ thực sự đã làm cho giai cấp lãnh đạo Anh sợ hãi, giai cấp luôn thích để cho công nghiệp tự nó phát triển, và không chịu đầu tư cho nghiên cứu khoa học bao nhiêu. Phổ đã trở thành một cường quốc không những về công nghiệp mà còn về quân sự. Đó là một hội chứng giống như hội chứng Sputnik của nước Mỹ ở cuối những năm 50 đầu 60. Năm 1883, khi Ủy ban Hoàng gia Anh về Giáo dục Kỹ thuật thăm trường

thương mại ở thành phố Rouen của Pháp, các thành viên rất ngạc nhiên khi thấy một chiếc mũ sắt của lính Phổ được trưng bày nổi bật ở đây. Ngài hiệu trưởng giải thích rằng ông đã lượm được chiếc mũ này khi quân đội Phổ đi ngang qua. Mỗi lần học trò ông chảnh mắng trong việc học, ông đặt cái nón lên bàn để nhắc nhở chúng về điều đã xảy ra, và lại có thể xảy ra, nếu chúng không học hành nghiêm chỉnh; “phương pháp đó không bao giờ thất bại trong việc nâng cao tinh thần quốc gia và nhiệt tâm của chúng trong việc học”, ông nói.

Tại Đức, từ lâu các nhà lãnh đạo tri thức đã hiểu rằng khoa học đem lại sự phồn vinh, và làm cho quốc gia phú cường. Werner von Siemens, nhà trí thức công nghiệp của Đức đã nói rằng đối với ông “nghiên cứu khoa học tự nhiên luôn luôn là mảnh đất vững chắc của tiến bộ kỹ thuật, và nền công nghiệp của một quốc gia sẽ không bao giờ có được vị trí hàng đầu quốc tế và giữ vững được vị trí của nó nếu quốc gia đó không đồng thời đứng trên đỉnh cao của tiến bộ khoa học tự nhiên”. Siemens không ai khác là người đã tài trợ chủ yếu cho việc thành lập Trung tâm Kỹ thuật Vật lý Berlin ra đời vào cuối thế kỷ 19, nơi đã tiến hành những cuộc đo đạc chính xác nhất về điện để giúp các nhà vật lý đi tìm công thức bức xạ nhiệt, ban đầu với mục đích áp dụng cho công nghệ bóng đèn, nhưng để rồi một trong những nhà khoa học, Max Planck, đã đi đến khám phá Thuyết lượng tử cho nhân loại!

Việt Nam không có con đường nào khác hơn là phải xây dựng được một nền khoa học tự nhiên hiện đại và phát triển, từ thực nghiệm cũng như đến lý thuyết, theo những mẫu mực quốc tế đã có từ hàng trăm năm được áp dụng trên khắp thế giới, nếu những người lãnh đạo đất nước biết “giật mình” trước sức mạnh của những cuộc cách mạng khoa học vĩ đại như đã từng được chứng minh trong quá khứ, và nếu ý thức được để chuẩn bị cho đất nước những cuộc cách mạng vĩ đại sắp đến, và đầu tư thỏa đáng các cơ sở vật chất, cơ sở tri thức, cơ sở nhân sự là các nhà nghiên cứu, các giáo sư đại học, các học sinh, sinh viên ưu tú tương lai. Nghịch lý lớn nhất của đất nước là những nhà khoa học chân chính, những người toàn tâm làm khoa học, phải sống bằng đồng lương không đủ sống, đừng nói chi gia đình họ. Những người tồn tại được, trụ được vì khoa học, đều phải sống nhờ vào các đại học và tổ chức nghiên cứu ở nước ngoài, hay những công việc phụ không tương xứng với họ. Đó là nghịch lý, và là nguy cơ lớn nhất làm cho đất nước mai một đi tiềm năng trí tuệ, gây ra chảy máu chất xám, hoặc làm mai một nhiều thế hệ chất xám liền và làm suy yếu nền tảng cơ bản của nền

kinh tế tri thức hiện đại dựa trên sức mạnh của khoa học kỹ thuật và công nghệ.

Lấy vài thí dụ thời sự tượng trưng. Chính sách “khen thưởng \$1.000” cho các công trình được đăng ở nước ngoài là rõ ràng có tính chất chấp vá và tình thế. Rồi ý tưởng ngộ nghĩnh “Văn miếu đương đại”, chỉ tôn vinh hời, thuần hình thức những “tiến sĩ”, giống phong kiến. Chúng tôi nghĩ ngược lại: Để khen thưởng và “tôn vinh” họ với tư cách là lực lượng chất xám cực kỳ quan trọng của quốc gia trong thời kỳ phát triển (và có thời kỳ phát triển nào nó lại thừa?), nhà nước cần phải đầu tư mạnh mẽ cho khoa học và những người làm khoa học để họ có điều kiện toàn tâm sản xuất nhiều hơn “trứng vàng” có chất lượng ngày càng cao hơn, mà không phải lo lắng cho gia đình và tương lai con cái. Nhà nước phải đầu tư để họ thường xuyên có điều kiện tiếp cận bằng người và bằng tư liệu khoa học hiện đại các trung tâm khoa học thế giới, như những tấm gương sáng của một nước Nhật thời Minh Trị đã làm, hay các quốc gia gần như Hàn Quốc, Đài Loan, Singapore từ vài thập kỷ qua. Những chiếc ghế giáo sư - ở đó nghiên cứu khoa học với những chuẩn mực truyền thống lành mạnh và tiến bộ của thế giới đóng vai trò chủ yếu - chứ không phải với những quy định cục bộ của Việt Nam, được kèm theo những điều kiện sống và làm việc xứng đáng, cũng như trách nhiệm cao cả để hướng dẫn tập thể khoa học của đất nước vươn lên, đó chính là phần thưởng ý nghĩa và thiết thực nhất cho người làm khoa học.

Trí thức là *nguyên khí quốc gia*. Đừng để họ bị tiếp tục *phá giá*, và *suy sụp* trước sự phát triển không ngừng của các lực lượng trí thức khác trên thế giới. Nhà nước và xã hội phải chung sức đầu tư vào nghiên cứu khoa học tiềm năng và có trình độ cao ở các đại học và viện nghiên cứu, hơn là tài trợ cho những chương trình giật gân phù phiếm. Nhà nước hãy thấy vai trò cực kỳ quan trọng của khoa học kỹ thuật trên thế giới trong việc dựng nước và giữ nước. Đừng để một Max Planck hay một Albert Einstein mòn mỏi phải “nuôi thân bằng hai bàn tay mọn”, hay “có lẽ đi cày trong cái làng thống khổ” của mình, như cách nói của một nhà cải cách của Phổ đã từng nói về xã hội Đức đầu thế kỷ 19. Nhà nước phải mở những “cánh cửa khai hoàn” cho tất cả tài năng của đất nước, “mở ra cho họ một con đường, bất kể họ từ đâu đến”. Chỉ có như thế đất nước mới mong phát triển được vững bền, non sông mới nở mặt với thế giới.

Chúng tôi xin cảm ơn Viện Max Planck Lịch sử Khoa học Berlin đã hỗ

trợ công việc chúng tôi bằng những tư liệu quý báu xưa và nay về Max Planck để cho số kỷ yếu kỷ niệm được phong phú. Xin cảm ơn Viện Văn hóa Goethe Việt Nam đã khích lệ và tài trợ để xuất bản.

Chúng tôi rất biết ơn các Anh Chị đã bỏ nhiều thì giờ quý báu của mình để giúp đỡ phần dịch thuật các bài đóng góp, các anh Nguyễn Đức Phường, Nguyễn Minh Thọ, đặc biệt anh Nguyễn Văn Thiều đã tham gia dịch thuật và xem lại nhiều bài, cũng như nhiều Anh Chị khác không được nhắc đến ở đây.

Chúng tôi xin cảm ơn Gs. Nguyễn Văn Hiệu đã ủng hộ tinh thần cho cuốn Kỷ yếu Max Planck ngay từ đầu của cuộc khởi động, đã tổ chức lễ kỷ niệm Max Planck tại buổi Hội thảo Quốc tế về Khoa học vật liệu và Công nghệ nano tháng 9 tại Nha Trang, mời được Gs. Friedman tham gia kỷ yếu, và cũng đã bỏ công sức đóng góp một bài rất công phu và phong phú. Bài viết của Gs. sẽ là một hồi ức rất có giá trị cho các bạn trẻ.

Xin cảm ơn chân thành tất cả những Anh Chị đã đóng góp, giúp đỡ cuốn kỷ yếu này hơn nửa năm liền, và cảm ơn sự quan tâm và đón nhận quý báu của tất cả quý độc giả. Mong các bạn trẻ tìm thấy ở đây những hạt giống quý báu cho mình. Chúng tôi muốn xem quyển kỷ yếu này như một đóng góp vào giáo dục và nghiên cứu khoa học của đất nước, với sự gửi gắm tâm tình như “gửi hương cho gió” và hy vọng sẽ có những tâm hồn, đặc biệt các bạn trẻ, đón nhận và suy ngẫm về nó.

Chắc chắn ở nhiều khâu thực hiện chúng tôi có những sai sót, nhầm lẫn hay những điều đáng lý phải được làm tốt hơn. Chúng tôi thực hiện tập sách kỷ niệm này trong điều kiện eo hẹp, mỗi người phải tự thân vận động, không có nhân viên hay bộ máy hỗ trợ, không ai ở gần nhau để bàn bạc trao đổi, tất cả đều được thực hiện âm thầm qua mạng. Vì thế chúng tôi xin Quý Anh Chị và độc giả hãy đón nhận và đọc kỷ yếu với một sự lượng thứ.

PHẦN I

LỊCH SỬ

A.EINSTEIN

TUỞNG NIỆM MAX PLANCK*

Abstract. Einstein's Commemoration of Max Planck in 1948.

Ai đã ân huệ tặng cho nhân loại một ý tưởng sáng tạo vĩ đại, người đó không cần được đời sau ca ngợi. Bởi vì anh ta đã được ban cho điều cao cả hơn bằng việc làm của anh ta.

Tuy nhiên, thật là một điều tốt, và cần thiết, rằng ngày này, các đại biểu của các nhà nghiên cứu phần đầu vì chân lý và nhận thức từ khắp nơi trên Trái đất họp mặt nhau tại đây. Họ là một sự minh chứng, rằng ngay trong những giai đoạn này, khi mà sự điên cuồng chính trị và quyền lực thô bạo gieo rắc những lo âu và đau khổ lớn cho con người, thì lý tưởng của nhận thức vẫn được nâng cao không suy suyển. Lý tưởng này, đã từ bao đời nối kết các nhà nghiên cứu của tất cả các quốc gia và của mọi thời đại, được biểu hiện trong Max Planck với một sự hoàn thiện hiếm thấy.

Nếu bản chất nguyên tử của vật chất cũng đã được những người Hy Lạp nhìn thấy, và đã được các nhà nghiên cứu của thế kỷ XIX nâng lên thành khả năng hiện thực lớn, thì đồng thời chính Max Planck đã tìm thấy một sự xác định chính xác độ lớn thực sự của nguyên tử mà không cần đến các giả thuyết phụ. Hơn nữa, ông đã trình bày một cách thuyết phục, rằng bên cạnh cấu trúc nguyên tử của vật chất còn có một loại cấu trúc nguyên tử

* Bài diễn văn này của Albert Einstein với tư cách đại diện cho Hàn lâm viện Khoa học Quốc gia của Hợp chúng quốc Hoa Kỳ" đã được Otto Hahn đọc bằng tiếng Anh và tiếng Đức tại Hội trường của Đại học Göttingen ngày 23 tháng 4 năm 1948 (ngày sinh nhật thứ 90 của Max Planck). Buổi lễ được tổ chức bởi Tổ chức Max Planck (Gesellschaft), Hội Vật lý Đức, Hàn lâm viện Khoa học Göttingen và Đại học Göttingen. Đồng thời buổi lễ cũng được tổ chức bởi Hàn lâm viện Hoa Kỳ tại Washington cùng ngày. [Nguồn: Ấn phẩm đặc biệt "Zum 50. Todestag von Max Planck" của tạp chí Vật lý Đức Physikalische Blätter nhân ngày mất thứ 50 của Max Planck, xuất bản tháng 10, năm 1997. NXB WILEY-VCH 1997]

của năng lượng, và cấu trúc này được chi phối hoàn toàn bởi hằng số phổ quát được ông đưa ra.

Nhận thức này đã mở đầu sự phát triển vật lý học trong thế kỷ chúng ta, và đã chi phối nó hầu như tuyệt đối. Không có nó, thì sự thiết lập một lý thuyết hữu ích của nguyên tử và phân tử, cũng như của các hiện tượng về năng lượng chi phối sự chuyển hóa của chúng không thể nào quan niệm được. Hơn nữa, nhận thức này đã phá vỡ khung cảnh của cơ học cổ điển và của điện động học, và đặt khoa học trước nhiệm vụ đi tìm một cơ sở khái niệm mới cho toàn ngành vật lý, một nhiệm vụ mà mặc cho một số thành tựu quan trọng vẫn chưa được giải đáp một cách thỏa đáng.

Bằng cách Hàn lâm viện Khoa học của Hoa Kỳ nghiêng mình trước con người này, nó bày tỏ niềm hy vọng, rằng công việc nghiên cứu một cách tự do vì nhận thức thuần túy sẽ được duy trì cho chúng ta không hề suy suyển.

NGUYỄN XUÂN XANH dịch



Ngày 7.10.1947 Max Planck được mai táng trong nghĩa trang của thành phố Göttingen. Sau tang lễ trong nhà thờ Albani với các bài điệu văn của Max von Laue và Otto Hahn, sáu nhà vật lý trẻ của Viện Vật lý số I và II của Đại học Göttingen đã khiêng quan tài ra khỏi nhà thờ và đưa đến nghĩa trang. Tấm ảnh này thuộc sở hữu của GS Hans Ehrenberg, được công bố lần đầu tiên năm 1997.

NGUYỄN XUÂN XANH

MAX PLANCK - NGƯỜI CÁCH MẠNG MIỄN CƯỠNG*

Max Planck – The reluctant revolutionary

Vào ngày 19.10.1900 một cuộc cách mạng của vật lý học bắt đầu diễn ra âm thầm. Vào ngày đó Max Planck trình bày một định luật bức xạ mới. Nó mô tả sự phân bố năng lượng của bức xạ nhiệt. Sau đó rõ ràng rằng định luật này không dung hợp với vật lý cổ điển. Nó đòi hỏi một cuộc cách mạng về sự hiểu biết bức xạ và năng lượng: Bức xạ được cấu thành từ những gói năng lượng, “các lượng tử”. Planck nhìn những hệ quả của cuộc cách mạng này một thời gian dài một cách hoài nghi.

Ông yêu cái đã được thử thách. Những cuộc biến động chính trị cũng hầu như không làm rung động thế giới quan của ông. Dù trong hệ thống nào, khoa học đối với ông vẫn luôn là ưu tiên hàng đầu. Planck phục vụ nó với tư cách nhà tổ chức khoa học, và sự tự quản của khoa học đối với ông là quan trọng. Sau chiến tranh, ông trở thành người bảo trợ cho *Max-Planck-Gesellschaft* bằng cái tên mình.

Di sản khoa học của ông đã thay đổi không những vật lý học. Vật lý lượng tử đặt ra những câu hỏi mới, và góp phần tạo ra những công nghệ hiện đại nhất. Quan niệm về bức xạ, vật chất và năng lượng đặt chúng ta trước những bí ẩn gì? Các cuộc cách mạng khoa học hình thành như thế nào? Khoa học cần các điều kiện khung nào? Những câu hỏi này ngày hôm nay vẫn còn mang tính thời sự như thời của Planck.

* Theo *Spektrum der Wissenschaft*, Biografie, số 1/2008. *Max Planck, Revolutionär wider Willen*. Số kỷ niệm do Max-Planck-Gesellschaft xuất bản.

NGUYỄN XUÂN XANH

GIỜ KHAI SINH CỦA THUYẾT LƯỢNG TỬ*

Abstract. *How was quantum theory born: out of crisis, “act of desperation”, radiation formula and its consequences.*

Khai sinh từ sự bế tắc

Cho đến năm 1899 Planck công bố tất cả năm bài về bức xạ nhiệt của vật thể đen. Mục tiêu của ông là suy ra định luật Wien trên cơ sở nhiệt động học của bức xạ điện từ. Ông hy vọng trước nhất bằng cách đó cũng tìm thấy luôn cách lý giải tính không thuận nghịch của các quá trình nhiệt động học, mà không cần thuyết xác suất của Boltzmann.

Khi Planck tin rằng cuối cùng ông đã suy diễn một cách thành công định luật Wien, thì các sự kiện diễn tiến dồn dập vào năm 1900. Các kết quả đo đạc mới cho thấy định luật Wien không có hiệu lực. Ngày 19.10.1900 Planck giới thiệu một định luật bức xạ mới. Để suy diễn nó, ông đã từ bỏ các chống đối của ông đối với phương pháp Boltzmann và đưa vào các “phần tử năng lượng” có độ lớn nhất định mà chúng ta ngày nay gọi là các lượng tử.



“Trung tâm vật lý-kỹ thuật” (Die Physikalisch-Technische Reichsanstalt) Berlin khoảng 1900, được thành lập năm 1889 do sáng kiến của nhiều người trong đó có Hermann von Helmholtz và Werner von Siemens, nhằm đo lường chính xác các đơn vị đo lường (của ngành điện),

* Viết lại theo *Spektrum der Wissenschaft, Biografie*, số 1/2008. *Max Planck, Revolutionär wider Willen*. Sổ kỷ niệm do Max-Planck-Gesellschaft xuất bản.

điều rất cần thiết cho nghiên cứu cơ bản. Tại đây đã diễn ra sự đo đạc chính xác bức xạ nhiệt của vật thể đen.

Một con đường lắm chông gai

Planck đầu tiên chiến đấu nhiều năm cho một cơ sở thỏa đáng của nhiệt động học của bức xạ điện từ. Đầu năm 1900, chương trình của ông dường như đang quang với sự thành công: Ông tin đã suy diễn được bằng lý thuyết công thức bức xạ bán thực nghiệm của Wien. Nhưng trong khi một bảng tóm tắt các kết quả của ông sắp lên khuôn in thì Planck được tin về những đo đạc mới của Lummer và Pringsheim ở “Trung tâm vật lý-kỹ thuật” dấy lên sự nghi ngờ về tính hiệu lực của định luật Wien. Khoảng cuối năm 1900, bằng những kết quả đo đạc mới, những nghi ngờ này trở thành sự chính xác và buộc ông phải xây dựng một định luật bức xạ mới, điều ông trình bày vào tháng 10. Tuy nhiên, một sự suy diễn công thức này bằng lý thuyết trước nhất không thành công đối với ông. Ông không thể hài lòng với một “công thức được đoán một cách may mắn”. Tình hình xem ra bế tắc.

“Bởi vì không có con đường nào khác mở ra, nên tôi đã thử nghiệm phương pháp Boltzmann.” (Max Planck trong *Về lịch sử của khám phá lượng tử tác dụng vật lý*, 1943.)

“Nói tóm lại, tôi có thể gọi cả việc làm của tôi là một hành động của sự tuyệt vọng. Bởi vì từ bản chất, tôi là người hiền hòa và có khuynh hướng lánh xa các hành động mạo hiểm đáng ngại... nhưng một sự diễn giải bằng lý thuyết phải được tìm cho ra bằng mọi giá, ngay khi nó rất cao.” (Max Planck, 1931)

Hành động tuyệt vọng của Planck

Planck chỉ còn thấy một con đường, để suy diễn được định luật bức xạ rõ ràng đúng với thực nghiệm: “Phương pháp Boltzmann”. Nó dựa trên phương pháp đếm trong lý thuyết khí của Boltzmann. Nhưng để có thể đếm được một cái gì ở bức xạ, ông phải chia năng lượng của bức xạ vật thể đen ra thành các phần tử năng lượng. Trong giai đoạn cuối của phép tính Planck để cho độ lớn của những gói như thế tiến về không, và được một sự phân bố năng lượng liên tục. Nhưng điều đó không giúp Planck giải quyết vấn đề. Các phân tử năng lượng của ông phải có một độ lớn cố định: là tích số của tần số được xem xét với một hằng số h , sau này được gọi là lượng tử tác dụng Planck. Trong buổi họp của Hội Vật lý Berlin ngày 14 tháng 10 năm 1900, Planck trình bày lần đầu tiên một sự suy diễn định luật bức xạ của ông. Từ biên bản ngắn của buổi họp, người ta không thấy lý thuyết của

Planck đã gây ra phản ứng nào ở những người có mặt.

Định luật bức xạ Planck

Định luật bức xạ Planck mô tả quang phổ của vật thể đen, nghĩa là sự phân bố năng lượng bức xạ lên các tần số (màu) khác nhau của bức xạ theo sự lệ thuộc vào nhiệt độ của vật thể đen. Trong trường hợp của một vật thể đen lý tưởng (hoàn toàn chỉ phát ra) mật độ năng lượng ρ lệ thuộc vào tần số ν và nhiệt độ T của vật thể đen, nên người ta viết $\rho(\nu, T)$. Ngoài ra, trong định luật bức xạ Planck có ba hằng số xuất hiện: vận tốc ánh sáng c , hằng số Boltzmann k , và lượng tử tác dụng h được Planck đưa ra. Tỷ lệ giữa năng lượng bức xạ $E = h\nu$ và năng lượng nhiệt kT là quyết định cho hình dạng của quang phổ. Ở nhiệt độ phòng, mật độ

$$\rho(\nu, T)d\nu = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1} d\nu$$

Công thức phân bố năng lượng bức xạ của Planck 1900, cội nguồn của thuyết lượng tử.

năng lượng lớn nhất ở các tần số tương ứng với bức xạ hồng ngoại sóng dài. Các máy camera hồng ngoại chẳng hạn lợi dụng điều này để nhận dạng các vật thể trong bóng tối thông qua bức xạ nhiệt khác nhau của chúng. Đối với một nhiệt độ khoảng 5.500 độ Celsius - nhiệt độ của mặt trời - thì mật độ năng lượng của bức xạ là cao nhất ở những tần số tương ứng với ánh sáng mắt thấy được.

Công thức Planck và những hệ quả của nó

Planck đã may mắn thành công với sự suy diễn của một công thức bức xạ, một công thức đứng vững trước mọi thử thách của thực nghiệm. Nhưng cái gì là ý nghĩa vật lý của các phân tử năng lượng trong cách suy diễn của Planck? Sự trả lời câu hỏi này còn cần đến nhiều năm và là mối bận tâm của đông đảo các nhà khoa học trẻ, đặc biệt trước hết Albert Einstein (1879-1955). Dần dần niềm tin được lan rộng, rằng một sự sụp đổ hoàn toàn của ngành vật lý cổ điển là tất yếu. Nhưng chính Planck lại có thái độ hoài nghi trước những ý tưởng cách mạng này.

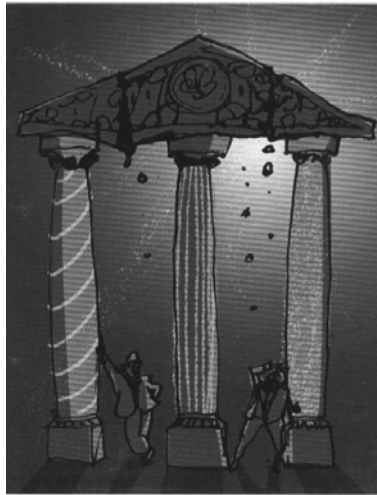
Năm 1920, Planck nhận giải Nobel của năm 1918 cho sự khám phá lượng tử cơ bản của ông và tác dụng của nó lên sự phát triển tiếp theo của vật lý. Ông được đề cử cho giải này nhiều lần hơn bất cứ một nhà khoa học nào khác.

“Nhờ hai hằng số k và h người ta có nhiều cơ hội thiết lập các đơn vị cho chiều dài, thời gian và nhiệt độ, những cái, độc lập với các vật thể và chất liệu đặc biệt, tất yếu giữ được tầm quan trọng của chúng cho mọi thời đại và tất cả nền văn hóa ngoài quả đất và ngoài con người, và vì thế có thể được gọi là các 'đơn vị đo lường tự nhiên'.” (Max Planck, 1899)

NGUYỄN XUÂN XANH

CÁC KHUÔN KHỔ BỊ PHÁ VỠ*

Ideas disrupting traditional frameworks



Đôi khi ta tìm ra cái *Không nghĩ tới*

Christoph Columbus

Đôi khi ta tìm thấy cái *Không tin được*

Nikolaus Copernicus

Đôi khi ta tìm thấy cái *Không chấp nhận được*

Charles Darwin

Đôi khi ta tìm thấy cái *Không thể tưởng tượng nổi*

Max Planck

Columbus, Copernicus, Darwin và Planck là những người tìm thấy cái mà ban đầu họ không hề hình dung. Họ là những nhà cách mạng miễn cưỡng, không ý thức. Xuất phát từ những câu hỏi của những kiến thức cũ, họ “lạc bước” vào vùng đất mới mà những người đi sau mới hiểu hết tầm quan trọng của nó.

Columbus đi tìm con đường biển đến Ấn Độ nhưng lại khám phá ra châu Mỹ. Copernicus muốn đơn giản hóa cách tính toán các chuyển động của hành tinh, nhưng rồi lại khai sáng ra một hệ thống thế giới mới trong đó các hành tinh không còn quay xung quanh Trái đất nữa, mà xung quanh Mặt trời. Darwin đi tìm trật tự của tính đa dạng của các chủng loài, nhưng

* Viết theo *Spektrum der Wissenschaft, Biografie*, số 1/2008. *Max Planck, Revolutionär wider Willen*. Số kỷ niệm được Max-Planck-Gesellschaft xuất bản.

rồi tìm thấy các định luật phát triển của sự sống. Planck muốn hoàn tất ngành vật lý cổ điển nhưng lại chôn vùi nó đi.

Các cuộc biến động của thế giới quan suy ra từ các khám phá như thế là khó lòng thấy trước được, cũng không phải là kết quả của các hành động cô đơn của các thiên tài.

PHẠM XUÂN YÊM
NGUYỄN XUÂN XANH

108 NĂM THUYẾT LƯỢNG TỬ 108 Years of Quantum Theory

1900 - 1910:

- Planck cắt nghĩa bức xạ của vật thể đen, khám phá giả thuyết lượng tử (1900).
- Einstein cắt nghĩa hiệu ứng quang điện (1905) bằng giả thuyết quang lượng.

1910-1920:

- Khám phá độ siêu dẫn (Kamerlingh Onnes, 1911).
- Thuyết của Bohr về quang phổ nguyên tử (1913).

1920-1930:

- Khám phá tính chất sóng của electron của de Broglie (1924).
- Tiên đoán ngưng tụ Bose-Einstein (1924).
- Nguyên lý loại trừ của Pauli (1925).
- Thống kê lượng tử Fermi-Dirac (Fermi, 1926).
- Cơ học lượng tử ra đời (Heisenberg, Born, Jordan, 1925).
- Phương trình sóng (Schrödinger, 1926).
- Diễn Giải Copenhagen (1926).
- Nguyên lý bất định của Heisenberg (1927).
- Phương trình Electron của Dirac và Điện động học lượng tử, QED (1928).

1930-1940:

- Neutrino được tiên đoán (Pauli, 1930).
- Khám phá phản-electron (Anderson, 1932).
- Nghịch lý "Einstein-Podolsky-Rosen" (1935).

- “Con mèo Schrödinger” (1935).
- Sự phân hạch, tiền đề của năng lượng hạt nhân (Hahn và Strassmann, 1938).
- Khám phá tính siêu lỏng (Landau, 1938).

1940-1950:

- Bom nguyên tử (1945).
- Transistors (Bardeen, Brattain, Shockley, 1947).

1950-1960:

- Thuyết sóng hoa tiêu của Bohm (1952).
- Thuyết Yang-Mills (nonabelian gauge theory, 1954).
- Vi phạm đối xứng gương của lực hạt nhân yếu (Lee-Yang, 1956).
- Diễn giải Đa thể giới của Everett (1957).
- Thuyết siêu dẫn (Bardeen, Cooper, Schrieffer 1957).
- IC (integrated circuit) (Kilby, Noyce, 1958).

1960-1970:

- Laser (1960)
- Khái niệm vi phạm đối xứng tức thì (Nambu, 1960).
- Vi phạm đối xứng CP (Cronin và Fitch, 1964).
- Định lý về biến số ẩn (Bell, 1964).
- Giả thiết Quark (Gell-Mann và Zweig, 1964).
- Phát hiện bức xạ nền của vũ trụ (Penzias, Wilson, 1964).
- Thuyết điện yếu (electroweak) thống nhất điện từ và yếu (Glashow, Salam, Weinberg 1967).
- Quark được phát hiện trong một loạt thí nghiệm (Friedman, Kendall, Taylor, 1967 - 1973).
- String (Veneziano, Nambu 1968).

1970-1980:

- Thuyết Decoherence (Zeh, 1970).
- Tái chuẩn hóa thuyết điện yếu ('t Hooft, Veltman, 1971).
- Chụp cắt lớp spin hạt nhân (1973).
- Cấu nghĩa nguồn gốc vi phạm đối xứng CP trong Mô hình Chuẩn và tiên đoán thế hệ quark thứ ba (Kobayashi, Maskawa, 1973).
- Sắc động lực học lượng tử (Gross, Politzer, Wilczek, 1973).
- Charm quark (1974).
- Tau lepton được phát hiện cho thấy có một thế hệ thứ ba của Quark

và Lepton (Perl, 1975).

- Bottom quark (1977).

1980-1990:

- Hiệu ứng lượng tử Hall (Klitzing, 1980).

- Thí nghiệm bác bỏ biến số ẩn cục bộ, Thượng đế đổ xí ngẫu (1982).

- Boson W và Z^0 được khám phá ở CERN như các hạt trao đổi của lực yếu (1983).

- Superstring (thuyết siêu dây) (Green, Schwarz, 1984).

- Siêu dẫn ở nhiệt độ cao (Bednorz, Müller, 1987).

- Thiên văn học Neutrino (1987).

1990-2000:

- Quang phổ bức xạ nền được đo lường chi tiết bằng kính viễn vọng trên COBE, WMAP, phù hợp đến kinh ngạc với công thức bức xạ vật đen mà Planck viết ra năm 1900 (Mather, Smoot, 1992).

- Top quark (1994).

- Thuyết viển tải lượng tử (1993).

- M-theory (Witten, 1995).

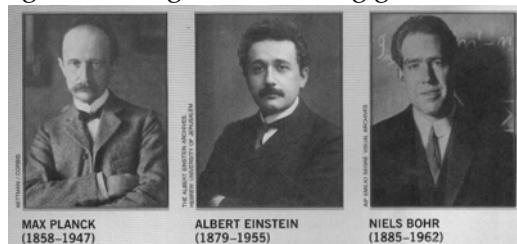
- Chế tạo được ngưng tụ Bose-Einstein, một dạng khí lạnh nhất trong vũ trụ (1995).

2000-2008:

- Thực hiện được sự buộc chéo với nhau (entanglement) của hàng tỉ nguyên tử (Polzik, 2002), mở ra triển vọng viển tải các trạng thái lượng tử của hàng loạt tập hợp nguyên tử.

- Viển tải thông tin thành công (ở dạng một lệnh chuyển tiền) dựa vào hiệu ứng buộc chéo EPR (Zeilinger, 2004)

- cỗ máy LHC khổng lồ được đưa vào hoạt động tại CERN (2008) để tìm hạt Higgs, viên đá còn thiếu của vật chất, và chứng cứ để hiểu những vấn đề xung quanh định luật tối hậu của vũ trụ, như vật chất tối, năng lượng tối, và cái gì đã làm không gian giãn nở.





Cơ sở thuyết lượng tử được khai sinh trong khoảng thời gian 1900-1927 bởi những công trình khai phá của bảy nhà vật lý học (ảnh trên). Trong một trăm năm nó đã cách mạng thế giới quan của chúng ta tận gốc rễ, nhưng cũng còn nhiều bí ẩn chưa hiểu được.

(Nguồn: Spektrum der Wissenschaft, Dossier, số 2/ 2006)

MAX PLANCK

“NGÀI CỔ VẤN CƠ MẬT MAX PLANCK”

Lời người dịch: Phim *Ngài cổ vấn cơ mật Max Planck* thuộc một loạt phim chân dung nói về cuộc đời và sự nghiệp của các nhà khoa học tên tuổi của Đức. Phim này được làm năm 1942 theo lệnh của Bộ Tuyên truyền của Goebbels. Nhưng phim về Max Planck không được sử dụng cho tuyên truyền, mà chỉ để làm hồ sơ tư liệu cho “Cơ quan lưu trữ phim về các nhân cách”. Lý do: Nazi không thấy thuyết phục về tính hiệu quả với Planck, vì Planck có thái độ không chịu khuất phục trước chế độ, không làm theo những gì Nazi mong muốn cho bộ máy tuyên truyền. Ông không từ bỏ ủng hộ công khai Thuyết tương đối của Einstein, tuy không nhắc đến tên Einstein, điều Nazi cấm, như ông đã làm trong chính cuốn phim này.

Năm 1943 hay 1944, Planck đọc một bài diễn văn trong một buổi gặp của các công chức Nazi của Bộ Ngoại giao. Bài này cho thấy thái độ của Planck. Nhà báo Thụy Điển Gunnar Pihl có mặt và thuật lại như sau: “[Planck] trình bày quan điểm của mình về sự tồn tại, một cách bình tĩnh, khiêm tốn, khôn ngoan [...]. Ông nhắc đến tên người Do Thái Einstein như một nhân cách hàng đầu và hướng đạo trong thế giới ý tưởng của chúng ta, ông có một cái nhìn vượt xa khỏi các thành kiến thô thiển cũng như những người cuồng tín, không cần để ý đến nơi ông ấy đang ở. Với tiếng nói nhỏ nhẹ ông [khẩn thiết kêu gọi] một viễn cảnh của tính thần thánh (Göttlichkeit) của cuộc đời, và một thế giới của tính hợp pháp. Người đàn ông nhỏ nhắn trong bộ trang phục màu đen [...] là quá vĩ đại để bị ảnh hưởng bởi những nỗ lực của Nazi nhằm thay đổi thế giới. Sự việc diễn ra giống như người ta đi tham dự một buổi lễ vui nhưng lại nghe một bài thuyết giáo. Một sự khác biệt khủng khiếp với tinh thần đang thống trị tại nơi này.” Gestapo nghi ngờ mẹ ông không thuần chủng, cho điều tra và kết luận ông có “một phần mười sáu” là Do Thái! Khoảng sau 1943 “Cơ quan quản lý khoa học” của Nazi khuyến cáo Planck không tiếp tục diễn thuyết khoa học nữa!

Phim được tìm thấy lại vào năm 1983. Dưới đây là phần lời được dịch ra tiếng Việt.

Khi bước vào tuổi 85 như tôi, người ta sẽ cảm thấy có nhu cầu mạnh mẽ

hơn thường lệ, muốn làm rõ cuộc đời mình đã diễn ra như thế nào: để có một cái nhìn về quá trình phát triển cho đến nay, và với một cái nhìn tổng kết, để tường trình cho chính mình và những người khác, về những cái đã phần đầu, và những cái đã đạt được, và cuối cùng để hướng tầm mắt một lần nữa về tương lai.

Tôi xuất thân cùng với gia đình từ vùng đất Schwabenland¹. Ông cố tôi chuyển từ Nürtingen gần Stuttgart sang Göttingen, và từ đó các con, cháu, cháu chắt đi phiêu bạt trong vùng Bắc Đức và sinh sôi nảy nở ở đó. Phần lớn trong họ là những nhà thần học, nhà ngữ văn, và tôi có lẽ là người duy nhất của dòng họ đã trở thành nhà vật lý. Tôi cất nghĩa điều này là do ảnh hưởng của môi trường xung quanh, vì trong trường tôi, tôi được gây cảm hứng bởi vị thầy toán học của tôi, tên ông là Herman Müller, một con người rất có óc khôi hài, và rất khe khắt, có khả năng làm cho chúng tôi say mê về tất cả những gì là mối liên hệ giữa toán học và khoa học tự nhiên - một mặt giữa sự chặt chẽ của phương pháp toán học, và mặt khác cái cao cả và vẻ đẹp của các định luật ngự trị trong tự nhiên. Và lúc đó, lý tưởng của cả một hoạt động khoa học của tôi đã hình thành, lý tưởng mà hôm nay tôi vẫn còn theo đuổi: đi tìm sự hài hòa ngự trị một mặt giữa sự chặt chẽ của toán học, và mặt khác sự đa dạng của các định luật tự nhiên ở xung quanh chúng ta; và từ đó có được khả năng, với sự giúp đỡ của sự sắc bén của logic chúng ta, và của tư duy của con người, quán triệt được tự nhiên, tìm thấy sự thống nhất giữa các định luật logic này với các định luật của tự nhiên.

Bằng cách này, chúng ta cũng đạt đến sự làm chủ thiên nhiên, và điều đó đối với tôi luôn luôn là mục đích đẹp đẽ nhất của tất cả hoạt động khoa học.

Chúng tôi, như đã nói, lớn lên trên vùng Bắc Đức, mặc dù nguyên thủy có gốc rễ là người Schwaben. Tôi sinh ra ở Kiel, sau đó về Munich, nơi bố tôi nhận được lời mời làm giáo sư ở đại học. Bố tôi là một người chính thống của địa phận Schleswig-Holstein của Công tước Augustenburg, và ông không hài lòng khi thấy Schleswig-Holstein bị Phổ thôn tính. Điều đó khiến ông rời bỏ Holstein và về Munich, làm việc tại đại học ở đó. Sau này, hòa bình được ký kết giữa những người theo Augustenburg và người Phổ, vào năm mà công chúa chúng tôi, người con gái của Công tước Augustenburg, trở thành Hoàng hậu Đức. Sau này tôi còn nhớ lại bà đã một lần tiếp tôi ở đây như thế nào với tư cách là hoàng hậu. Kỷ niệm thật là đẹp khi nhớ lại

¹ Miền Nam-Tây Đức.

lúc đó trong một cuộc diễu hành lớn tôi phải đi ngang qua bà, và tôi cúi chào và buông ra một lời nói về Kiel, rồi bà kéo tôi vào một cuộc nói chuyện, kéo dài hơn là bình thường, khiến cho vị trưởng ban nghi lễ sau đó, khi tôi đi ngang qua lại, và sau khi cuộc diễu hành đã chấm dứt, hỏi tôi một cách rất tò mò rằng chuyện gì đã xảy ra và bà hoàng hậu đã nói những gì với tôi. Tôi phải cười về tình tiết này. Vâng, rồi chúng tôi đi về Munich, và tôi theo học, và chính người thầy toán học của tôi đã làm cho tôi say mê toán học, và ở đó, tôi bắt đầu những nghiên cứu của tôi. Sau đó tôi vào đại học. Năm cuối cùng tôi học tại Berlin, và bắt đầu sự nghiệp với chức vụ Privatdozent¹, và rồi bằng cách này, đời tôi diễn ra trong những thông lệ rất bình thường. Tôi trở thành Privatdozent và sau đó thành giáo sư tại Kiel và Berlin, và từ 1889 tôi ở đây, tại Berlin, trong đại học, đầu tiên là giáo sư ngoại ngạch, sau đó là giáo sư thực thụ, và bây giờ tôi nghỉ hưu, nghĩa là thực ra một người Berlin già.

Nhưng thực ra những người Berlin già đúng nghĩa không có nhiều, những người vốn sinh ra ở đây; và đặc biệt trong vòng hàn lâm; người ta di chuyển từ một đại học này đến một đại học khác, nhưng tôi lại là người thực sự rất cố cư. Một khi người ta đã đáp xuống Berlin, thì khó lòng đi khỏi nơi đó; bởi vì ở đây, nói cho cùng, là trung tâm điểm của tất cả các phong trào trí tuệ của nước Đức. Với thời gian, nó lại càng mạnh mẽ hơn nữa. Trong mặt nào, việc tập trung hóa đó là điều đáng tiếc. Tôi trước đây đã ủng hộ các trào lưu cao quý của các cung đình: Darmstadt, Dresden, Munich và Weimar, và tất cả những cái khác; còn nhiều cái khác: Karlsruhe, Dresden, Leipzig. Nhưng tất cả những cái đó đều mất đi ánh hào quang trước Berlin, như bây giờ, và điều đó là đáng tiếc. Nhưng chắc chắn đó là sự biến đổi của thời gian.

Bây giờ tôi muốn kể quý vị chút ít về cuộc đời khoa học của tôi, và có lẽ đó là cái mà phần lớn quý vị quan tâm, dù không phải tất cả đều hiểu được hết điều bây giờ tôi nói. Những gì tôi nói sẽ khá là vật lý. Như đã nói, tôi đã bắt đầu học đại học ở Munich, nơi tôi đã đến trường. Ở đó, các giáo sư Ludwig Seidel và Gustav Bauer đã dạy tôi toán học, và Philipp von Jolly vật lý.

Tôi vẫn nhớ đến họ trong sự biết ơn. Nhưng tôi không thể quên được những lời nói của vị giáo sư sau cùng, Ngài von Jolly, khi tôi làm một cuộc

¹ Một học hàm sau Tiến sĩ ở Đức để có đủ phẩm chất dạy trên đại học và có thể trở thành Giáo sư. ND

từ già để làm học trình cuối cùng tại Berlin, đúng ngành vật lý lý thuyết. Ông ấy nói như thế này: “Vật lý lý thuyết, đó là một ngành rất đẹp, nhưng hiện tại lại không có ghế giáo sư cho nó. Nhưng cơ bản nó sẽ không đem lại cái gì mới hơn. Vì với sự khám phá nguyên lý bảo toàn năng lượng thì tòa nhà vật lý lý thuyết đã khá hoàn chỉnh. Người ta có thể đó đây quét ra được một hạt bụi trong một góc này hay góc kia của tòa nhà, nhưng một điều gì mới mẻ cơ bản thì Ông sẽ không tìm được.”

Nếu những lời nói này không ngăn được tôi đi con đường đã được nhắm đến, thì không phải đó là vì ý nghĩ mình sẽ làm được điều gì mới, mà đúng hơn, đó là vì nguyện vọng được nghiên cứu các định luật tự nhiên nhiều hơn. Và ở Berlin đã diễn ra khúc quanh dẫn đến đề tài chính của cả ngành nghiên cứu của tôi: nghiên cứu các định luật cơ bản của nhiệt động học. Bởi vì cơ học đối với tôi như đã phát triển hoàn chỉnh. Trong khi đó các định luật cơ bản của nhiệt động học đòi hỏi tính hiệu lực cho tất cả các hiện tượng tự nhiên, bất kể người ta nghĩ thế nào về sự cấu tạo của vật chất, dù người ta nghĩ nó được cấu trúc như từ những nguyên tử hay một cách liên tục. Trên bầu trời vật lý trước đây khi tôi đến Berlin, các giáo sư Hermann Helmholtz như nhà thực nghiệm, và Gustav Kirchhoff như nhà lý thuyết, tỏa sáng. Tôi nghe bài giảng của cả hai; nhưng tôi ít quan tâm đến các bài giảng này, bởi vì chúng không nói về nhiệt. Chính các bài viết của Rudolf Clausius đã lôi cuốn tôi, bằng sự sáng sủa giản dị và sự chắc chắn của diễn đạt, đến độ tôi dừng lại tại đó để toàn tâm nghiên cứu các định luật này. Đặc biệt khái niệm entropy được Clausius định nghĩa đã gây sự chú ý của tôi.

Entropy là một đại lượng bên cạnh năng lượng tượng trưng cho cái quan trọng nhất của cả tự nhiên. Năng lượng là bất biến, trong khi entropy luôn luôn tăng. Nó không bao giờ giảm. Và đó chính là bản chất của Định luật thứ hai của nhiệt học, rằng entropy của một hệ thống của các vật thể chỉ có thể luôn luôn tăng lên; trong trường hợp tới hạn, nó dừng lại bằng hằng số. Nếu nó tăng, thì hiện tượng là không thuận nghịch (không đảo ngược). Nếu nó không thay đổi, thì hiện tượng thuận nghịch, và người ta cũng có thể để cho nó đảo ngược được. Đó là sự khác biệt lớn trong tất cả các định luật tự nhiên. Và cân bằng nhiệt động học sẽ diễn ra khi entropy đạt đến trị số cực đại. Nếu nó không tăng, thì cũng không có sự thay đổi nữa của hệ thống.

Tất cả các tính chất của một sự cân bằng nhiệt động học bắt nguồn từ

định lý này. Và chính định lý này, tôi giờ áp dụng nó lên các sự cân bằng lý-hóa và lên các cân bằng bức xạ. Trong các cân bằng lý-hóa, có một người Mỹ, đó là J. Willard Gibbs, giáo sư ở Baltimore, đi trước tôi, và bằng cách đó ông đã lấy đi sự thành công của tôi. Ngược lại trong các cân bằng bức xạ, những con đường mới đã được dành cho tôi, và đó chính là đóng góp chính của tôi. Nhưng entropy của nhiệt bức xạ, sự lệ thuộc của entropy vào cường độ bức xạ, tôi không tìm thấy chúng bằng con đường lý thuyết, như tôi ban đầu đã thử nghiệm. Mà tôi đã tìm thấy chúng bằng cách dựa vào các đo đạc một phần của Otto Lummer và Ernst Pringsheim tại Trung tâm kỹ thuật-vật lý (Berlin), và phần khác của Heinrich Rubens và Friedrich Kurlbaum tại Đại học kỹ thuật (Berlin).

Trên đường tìm cách diễn giải các định luật đã được tìm ra bằng thực nghiệm này, tôi đã để mình hướng dẫn bởi một ý tưởng của Ludwig Boltzmann vốn đã gây một ấn tượng lớn lên tôi. Thật vậy, ông đã diễn giải, xuất phát từ quan điểm của thuyết nguyên tử, entropy của một khí như là logarith của xác suất của trạng thái khí. Việc áp dụng ý tưởng tương tự lên bức xạ của hộp rỗng chỉ có thể thành công, nếu chúng ta cũng quan niệm bức xạ được cấu trúc từ những nguyên tử, nếu người ta xem bức xạ được cấu tạo bằng những mặt trước đặc biệt. Và giả thiết này tất yếu dẫn đến giả thuyết của các nguyên tử bức xạ, hay các lượng tử bức xạ có độ lớn nhất định, điều được biết rất chính xác qua các phép đo hiện hành. Ban đầu tôi chần chừ sử dụng giả thuyết này, bởi nó trái ngược với mọi quan niệm của nguyên tử học cổ điển. Nhưng không có con đường nào khác, và kinh nghiệm đã chứng minh bằng công trình nghiên cứu của vô số các đồng nghiệp rằng, giả thuyết đó phù hợp với thực tại.

Dĩ nhiên, phải cần đến nhiều năm để cộng đồng vật lý học chú ý đến lý thuyết của tôi; vì ban đầu nó xa lạ trong các giới khoa học, vì thế nên không được để ý, như rất thường xảy ra đối với những phát minh mới. Nhưng không lúc nào tôi để mình lo sợ hay buồn phiền, dù thoáng qua và dưới mọi hình thức, chỉ vì sự thiếu công nhận, bởi tôi quá chắc chắn việc của tôi để phải nghi ngờ sự thành công cuối cùng của nó. Do đó, tôi có thể nhìn sự phát triển tiếp theo với tất cả sự bình tĩnh. Sự phát triển này cuối cùng đã diễn ra nhanh chóng hơn tôi tưởng lúc ban đầu. Bởi vì, bằng những phép đo đạc ngày càng chính xác hơn trong khoa học, người ta nhanh chóng thấy rõ, các trị số của hằng số vật lý quan trọng nhất, đó là lượng tử cơ bản điện, khi các phương pháp đo đạc càng chính xác, thì nó càng tiến gần đến trị số

mà tôi đã tính toán được trước từ các đo đạc bức xạ. Điều đó đã chứng minh rằng chính phép đo đạc bức xạ này, và sự tính toán suy ra từ đó, là con đường đúng đắn để đi đến các trị số này.

Đến nay, tôi chủ yếu nói về nhiệt động học. Bây giờ tôi muốn nói đôi lời về cơ học. Cơ học, tôi xem nó, cũng như những nhà vật lý trước đây, chính là cơ sở của cả ngành khoa học vật lý, và cho đến nay vẫn như thế. Vì nó tính toán với các biến số không gì khác hơn là không gian và thời gian, và những cái này là không thể thiếu trong tất cả các lĩnh vực tự nhiên. Cho nên, sự thiết lập thuyết tương đối ngay từ đầu đã gây sự chú ý đặc biệt của tôi, và tôi vô cùng sung sướng khi nhận ra rằng, bằng việc cân bằng năng lượng và xung lượng, thuyết tương đối đã trở thành sự hoàn thiện và đáng quang của cả tòa nhà vật lý lý thuyết. Tôi cũng đã, trong thời gian nó chưa phát triển đến sự chín muồi, có một loạt đóng góp vào đó.

Ngoài ra tôi cũng hướng sự quan tâm của mình luôn đến những vấn đề nhằm thống nhất và đơn giản hóa cả hệ thống của ngành vật lý lý thuyết. Hiện tại, sự phát triển mới nhất của vật lý diễn ra trong sự hiện diện của thuyết lượng tử. Thuyết lượng tử là một bước phát triển mới trên con đường nhận thức tự nhiên, và nhiều nhà vật lý xuất sắc đã có khuynh hướng thiên về việc xem chỗ đứng hiện tại mà nó đã đạt được là một điểm dừng mới, như là một sự kết thúc cuối cùng của các hoạt động nghiên cứu của chúng ta về các định luật tự nhiên. Tôi không thuộc về những người này. Tôi tin rằng thuyết lượng tử chưa phát triển đến sự chín muồi toàn diện, chưa đạt đến sự kết thúc trọn vẹn, tôi tin rằng, trong các khái niệm, chúng ta còn phải làm một sự khái quát hóa, trừu tượng hóa nào đó, để đi đến một sự hiểu biết làm hài lòng một cách tương tự về các định luật tự nhiên, như thuyết cổ điển trước đây đã đem lại, thuyết mà giờ đây chúng ta đã phải từ bỏ. Tôi tin rằng công việc còn phải nhiều và còn phải đi xa lắm, trước khi chúng ta đạt được một sự kết thúc như thế.

Vâng, đó là một điều, trong một nghĩa nào, không làm chúng ta thỏa mãn, nhưng mặt khác, căn bản mà nói, điều đó là cần thiết và đáng vui mừng, bởi vì cái chung cuộc, cái cuối cùng, chúng ta sẽ chẳng bao giờ đến được. Lao động khoa học sẽ không bao giờ chấm dứt, và thật là một điều nghiêm trọng nếu nó chấm dứt. Bởi vì, nếu không còn bài toán nào nữa thì người ta sẽ xếp hai tay vào lòng và cái đầu vào sự yên tĩnh, và người ta sẽ không làm việc nữa. Mà đứng yên là ngưng trệ, và đứng yên là chết, đối với khoa học. Hạnh phúc của nhà nghiên cứu không nằm ở chỗ nắm được chân

lý, mà là đi tìm chân lý. Và sự thỏa mãn đích thực nằm ở cuộc săn tìm tiếp tục, và thành công này. Cuộc tìm kiếm tự nó chưa thỏa mãn. Cần phải có thành công. Chính sự lao động thành công này là mạch nguồn của mỗi sự nỗ lực, và của mỗi niềm vui sướng trí tuệ. Khi mạch nguồn ấy khô đi, khi chân lý đã được tìm thấy, thì mọi việc sẽ chấm dứt, người ta có thể đi ngủ, về thể xác lẫn tinh thần. Nhưng đã có sự sắp xếp để chúng ta không chứng kiến cảnh tượng đó, và đây chính là nguồn hạnh phúc của chúng ta.

Cuối cùng tôi muốn nói một lời để làm nhẹ bớt lương tâm. Hôm nay, ngày 5.12.1942, theo lời mời thân ái tôi đến đây, tại đường Jägerstraße, số 26, để nói mấy lời vào cơ quan lưu trữ phim, để đời sau, nếu quan tâm đến công việc của tôi, sẽ có thông tin về cá nhân tôi. Nhưng tôi muốn nhấn mạnh ở đây, rằng người đời sau đừng nên cho rằng cái gì họ nghe và thấy ở đây là sự minh họa sau cùng của cá nhân tôi; bởi vì cái gì tôi đã nói ở đây đã hình thành một cách ứng khẩu như nó đã chợt đến với tôi. Tôi đã không thể chuẩn bị như đáng lẽ tôi phải làm, nếu tôi biết trước tôi phải xuất hiện như thế nào. Vì vậy, tôi xin hãy xem đây chỉ là một cố gắng diễn đạt mình để có một cái gì còn lại cho đời sau.

Ai muốn tìm hiểu chính xác về cá nhân tôi, thì xin người đó hãy theo sát những gì tôi đã viết và tôi đã in. Tôi có thể bảo đảm những cái đó. Khi càng lớn tuổi, người ta càng thấy trách nhiệm cho những gì mình nói. Cho nên trong những năm qua, những gì tôi nói về tôi, tôi thường quen suy nghĩ chính xác trước đó, và chuẩn bị cho mỗi bước đi mà tôi sẽ đi. Điều đó hôm nay đã không diễn ra, vì thế nên tôi phải đặt một dấu hỏi sau những gì tôi đã nói ở đây, và xin quý vị suy xét với sự rộng lượng.

NGUYỄN XUÂN XANH dịch

Từ bản tiếng Đức trong

"Max Planck, Vorträge und Ausstellung zum 50. Todestag"

của Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der

Wissenschaften e.V. München, 1997.

NGUYỄN XUÂN XANH

NIÊN BIỂU TÓM TẮT MAX PLANCK 1858-1947

1858: Max Karl Ernst Ludwig Planck sinh ra ngày 23.4 tại Kiel, Bắc Đức, là con trai của Johann Julius Wilhelm v. Planck và Emma Patzig.

1867: Gia đình chuyển về München, nơi đó Max hoàn tất tú tài năm 1874 tại trường Maximilians-Gymnasium.

1874: Học vật lý tại Đại học München, và 1878 tại Berlin với thầy Hermann Helmholtz và Gustav Kirchhoff.

1879: Lấy tiến sĩ tại Đại học München với đề tài “Về định lý cơ bản thứ hai của nhiệt học” và bằng giáo viên cho vật lý và toán học.

1880: Sau khi hoàn tất Habilitation với đề tài “Các trạng thái cân bằng của các vật thể đẳng hướng”, Max Planck trở thành Privatdozent tại Đại học München.

1885: Giáo sư ngoại ngạch ngành vật lý lý thuyết tại Đại học Kiel.

1887: Kết hôn với Marie Merck (1861-1909); các con Karl (1888-1916), Emma (1889-1919), Grete (1889-1917), Erwin (1893-1945); 1911 tái hôn với Marga von Hoeßlin (1882-1949), con: Hermann (1911-1954).

1889: Được Đại học Berlin mời kế vị Gustav Kirchhoff trước tiên là giáo sư ngoại ngạch, từ 1892 là giáo sư thực thụ, 1894 Giám đốc Viện Vật lý lý thuyết; nghỉ hưu 1926.

1894: Thành viên của Hàn lâm viện khoa học Phổ (từ 1912-1938 thư ký thường trực). Bắt đầu các công trình nghiên cứu thuyết bức xạ nhiệt.

1899: Khám phá hằng số h .

1900: Thuyết trình các ngày 19.10 và 14.12 trước Hội Vật lý Đức tại Berlin về Định luật Planck của Bức xạ nhiệt và Giả thuyết lượng tử (“Khai sinh của Thuyết lượng tử”).

1918: Giải Nobel Vật lý cho khám phá lượng tử.

1930: Chủ tịch tổ chức Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft (KWG, đến 1937), ông còn đảm nhiệm các công việc điều hành một lần nữa năm 1946; ngày 11.9.1946 Max-Planck-Gesellschaft được thành lập như hậu thân của KWG.

1947: Max Planck diễn thuyết lần cuối cùng ngày 28.3 tại Bonn. Ngày 4.10 ông mất tại Göttingen, hưởng thọ 89 tuổi.

NGUYỄN XUÂN XANH

MAX PLANCK CUỘC ĐỜI VÀ KHOA HỌC*

Abstract. Max Planck - His life and science. The author tells stations of Max Planck's life and the story of his scientific foundation of quantum theory, his character, his leading role in German science establishment, glories and sufferings, his political views during the dictatorship of national socialism and the birth of Max-Planck-Society.

"Tôi chào định mệnh đã cho tôi một nền giáo dục nhân văn. Các nhà cổ điển Hy Lạp và La Mã tôi không bao giờ muốn đánh mất khỏi trí nhớ tôi. Tôi tin chắc rằng, trong thời đại hiện tại, chủ yếu được định hướng theo những lợi ích bên ngoài, thì trường trung học nhân văn lại càng quan trọng hơn bao giờ hết. Vì thế cần phải cho tuổi trẻ biết rằng còn một loại 'thường thức' khác hơn là loại thường thức chỉ dựa trên lĩnh vực vật chất hay tiết kiệm thì giờ và tiền bạc."

Max Planck

I. Giá trị của khám phá

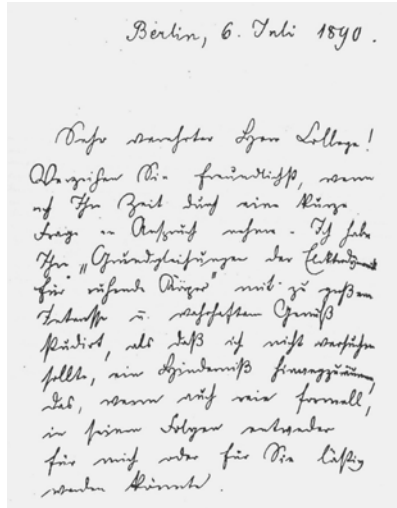
Trong sự phát triển của vật lý học có những khám phá vượt ra khỏi lĩnh vực khoa học và trở thành nhân tố quyết định cho định mệnh của nhân loại. Không phải chỉ vì đó là sự khám phá những hiện tượng tự nhiên hay những lực mới để ứng dụng vào kỹ thuật làm tăng lên sức mạnh của con người đối với thiên nhiên, đem lại sự phồn vinh cho nhân loại, mà còn vì tính chất cách mạng bao trùm về ý tưởng trong cách diễn giải thế giới tự nhiên, tính chất triết học chứa đựng trong đó liên quan đến thế giới quan của con người. Lý thuyết cơ học Newton là một thí dụ điển hình như thế. Không những nó đem lại cách tư duy và phương pháp làm việc cho khoa

* Bài này được viết đầu tiên trong tháng Tư và được đăng một phần trong báo *Tuổi trẻ* vào ngày sinh nhật 23.4.2008 của Max Planck:

<http://www.tuoiitre.com.vn/Tianyon/Index.aspx?ArticleID=254166&ChannelID=17> sau đó được tu chỉnh và bổ sung cho Kỷ yếu.

học, giải thích được những hiện tượng tự nhiên trong trời đất bằng toán học chính xác, nó còn châm ngòi cho phong trào Khai sáng ở châu Âu thế kỷ 18. Trong thế kỷ 20, Thuyết lượng tử của Max Planck là một thí dụ cho một cuộc cách mạng của tư duy vật lý như thế, hay cũng như Thuyết tương đối của Einstein.

II. Vật lý cuối thế kỷ 19



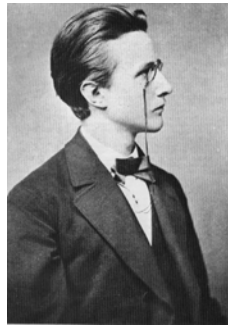
Bút tích của Planck: thư gửi Heinrich Hertz.
(Nguồn: Vorträge, Reden und Erinnerungen)

Cuối thế kỷ 19, lối suy nghĩ của giới khoa học ở châu Âu là bảo thủ, rộng hơn cả, giới chính trị cũng thế. Sau một thời gian xây dựng vũ bảo ở thế kỷ 19, người ta tin vào sự trường tồn của hiện trạng. Cả trật tự nhà nước lẫn khoa học được xem như bền vững. Vật lý học được xem như tựa lên hai cột trụ bền vững không gì lay chuyển nổi, và hoàn hảo nhất: cơ học của Galilei-Newton và thuyết điện từ của Maxwell được phát triển từ những quan niệm thực nghiệm về trường của Faraday. Tuy 10 năm cuối của thế kỷ 19, giới khoa học chứng kiến một loạt hiện tượng mới không giải thích được, như tia Röntgen, hiện tượng phóng xạ, sự kiện không tìm thấy chuyển động của trái đất đối với ether qua thí nghiệm của Michelson-Morley, tính chất kỳ lạ của bức xạ (tia ca-tốt), nhưng người ta tin rằng sẽ giải quyết được những “lỗ hổng” đó bằng các lý thuyết hiện hành. Không ai nghĩ rằng tòa nhà khoa học đang rạn nứt, và con người đang đứng trước một thế giới mới bao la.

Thế giới quan của Planck đã hình thành trong không khí tư duy bảo thủ đó mà sau này ông đã phải chiến đấu với nội tâm để vượt qua chính mình và xét lại những “tín điều” đã có. Những kinh nghiệm trong khoa học và chính trị đã dạy ông, rằng không có tòa nhà khoa học lẫn tòa nhà nhà nước hiện hữu nào được phép xem như bất khả xâm phạm.

Nhưng chính con người mang quan niệm bảo thủ này lại làm một cuộc cách mạng vĩ đại - một cách miễn cưỡng- có những hệ quả không kém so với Copernice hay Newton.

III. “Một cái đầu logic và sáng sủa”



Max Planck thời sinh viên tại Berlin, 1878

Max Planck sinh ngày 23.4.1858 tại Kiel, Bắc Đức, học vật lý ở München và Berlin. Gia đình ông là những người có tiếng tăm thuộc giới hàn lâm, phục vụ nhà nước và nhà thờ. Ông có niềm tin rằng các định luật tự nhiên tồn tại độc lập với con người, đơn giản và có thể lý giải được bằng tư duy. Ông là một học trò thuộc loại gương mẫu, *“một người được các thầy và đồng bạn yêu mến, và với tất cả sự thơ ngây, là một cái đầu rất logic và sáng sủa. Hứa hẹn cái gì đó xứng đáng”* như được ghi trong chứng chỉ của trường. Max Planck rất có khiếu về âm nhạc, đến nỗi trước khi vào đại học, ông phân vân không biết mình nên học nhạc hay vật lý. Ông cũng là người thích leo núi một cách đam mê. Một ngày leo núi làm cho tâm hồn ông vui sướng như nghe một bản giao hưởng của Brahms. Ở tuổi 80 mà ông vẫn còn leo núi đến độ cao 3.000m! Đó là nguồn sức mạnh để giúp ông lao động và vượt qua những thử thách. Ngay từ nhỏ ông đã chứng kiến những cảm xúc quốc gia, lòng yêu nước sôi sục, biểu lộ ý chí cao độ về một sự thống nhất quốc gia của tổ quốc và có ấn tượng sâu đậm trước những sự kiện lịch sử. Năm 13 tuổi, ông chứng kiến cuộc chiến tranh Pháp-Đức 1870-1871 và được tin

người anh mất tại trận Orléan, chứng kiến sự thành lập của vương quốc Đức mới. Ông cùng đồng cảm với những anh hùng đã biểu lộ tình yêu tổ quốc bằng chính máu thịt mình.

Đức là nơi mà khoa học đã trở thành một vùng đất thánh được thể tục hóa, trong một đất nước đang tăng trưởng khủng khiếp về kinh tế, công nghiệp, khoa học kỹ thuật, tất cả đều quyện chặt nhau. Khoa học đã trở thành 'Grossbetrieb', đại tổ chức. Cuộc cải cách giáo dục và đại học của W. von Humboldt đầu thế kỷ 19 đã đem lại một sự tăng trưởng trong khoa học chưa từng có trong lịch sử. Người Đức muốn lấy "sức mạnh tinh thần để thay thế những mất mát vật chất" đã diễn ra đầu thế kỷ 19 trong trận chiến với Napoleon. Giới hàn lâm như đang sống trong một cơn sốt, các khám phá khoa học kỹ thuật diễn ra ngày càng dồn dập, đẩy mạnh cuộc công nghiệp hóa vượt bậc. Khoa học và giáo dục có uy tín rất lớn, trở thành một loại kinh thánh thứ hai cho giới trí thức trung lưu. Khoa học được nhà nước và xã hội công nhận như điều kiện tiên quyết cho sự phát triển kinh tế, cho quyền lực và uy tín quốc gia. Các nhà khoa học có ý thức và tinh thần lao động cao, đam mê nghiên cứu, khám phá. Đó là một môi trường 'dậy men' của một quốc gia đang say men thành công. Họ làm thành "thời đại thiên tài thứ hai" của Đức. Max Planck sẽ là người tiêu biểu cho thời đại này.

Ông tốt nghiệp trung học lúc 16 tuổi, tốt nghiệp tiến sĩ năm 1879 tại München lúc 21 tuổi (năm Einstein mới ra đời), khá trẻ, và là Privatdozent (vị trí chờ ghế giáo sư) tại đây từ 1880-1885, sau đó là giáo sư ngoại ngạch ngành vật lý lý thuyết tại Kiel, và từ 1889 là người kế tục chiếc ghế giáo sư của người thầy khả kính của mình là Kirchhoff tại Berlin. Ngay từ đầu, ông có một chương trình nghiên cứu khá tham vọng về những vấn đề của nhiệt động học, và khái niệm mới là entropi của Clausius, đặc biệt muốn xây dựng chặt chẽ cái gọi là định lý cơ bản thứ hai của nó bằng thuyết các hiện tượng điện từ. "Tôi xem entropi như một tính chất quan trọng nhất của bất cứ một hệ thống vật lý, bên cạnh năng lượng. Vì entropi cực đại gắn với cân bằng cuối cùng, tất cả các định luật của cân bằng vật lý và hóa học đều có thể được suy ra từ kiến thức về entropi." như ông nói lúc 21 tuổi khi tốt nghiệp luận án tiến sĩ.

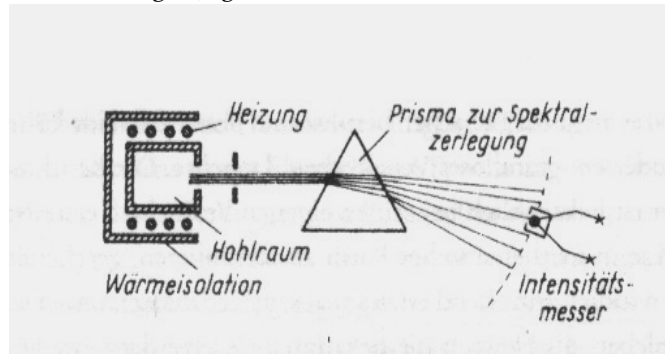
Ông là con người tự học và tự lập là chính: *"Tôi không được ban hạnh phúc để có quan hệ cá nhân với một nhà nghiên cứu, hay vị thầy nổi tiếng để ảnh hưởng lên hướng phát triển sâu của quá trình giáo dục tôi. Những điều tôi học được đều bắt nguồn từ việc nghiên cứu các bài viết của các bậc thầy, trong số đó đặc biệt tôi*

phải kể đến các tên tuổi Hermann von Helmholtz, Rudolf Clausius, Gustav Kirchhoff trong sự ngưỡng mộ và biết ơn.” Cũng như Einstein, ông dựa vào sách vở và tự học là chính. Các bài giảng của các giáo sư tên tuổi hầu như không ảnh hưởng lên ông: “Tôi phải thú nhận rằng các bài giảng không mang lại cho tôi lợi ích nào đáng kể. Helmholtz rõ ràng chẳng bao giờ chuẩn bị tốt, ông luôn ngập ngừng, lấy những dữ liệu cần thiết từ một quyển ghi chép, ngoài ra ông luôn luôn tính sai trên bảng, chúng tôi có cảm tưởng chính ông cũng không kém phần buồn tẻ như chúng tôi... Ngược lại Kirchhoff thuyết trình từ một quyển vở giáo trình được chuẩn bị chu đáo, ở đó mỗi câu chữ được đặt đúng chỗ cẩn thận. Không một chữ hơn, không một chữ kém. Nhưng cả bài giảng dường như được học thuộc lòng, không khan và đơn điệu. Trong hoàn cảnh này tôi chỉ có thể thỏa mãn nhu cầu nâng cao trình độ khoa học bằng cách đọc những sách báo tôi quan tâm, và một cách tự nhiên đó là những gì liên quan đến nguyên lý năng lượng. Vì thế, các nghiên cứu của Rudolf Clausius đã lọt vào tay tôi, những bài viết đã gây một ấn tượng mạnh mẽ bằng ngôn ngữ và sự sáng sủa dễ hiểu, và tôi đi sâu vào đó với sự thích thú ngày càng lớn. Hơn nữa, tôi đánh giá cao sự diễn đạt chính xác của ông về hai định lý cơ bản của nhiệt học và việc làm rõ lần đầu tiên sự khác biệt của chúng.”

IV. Đi tìm cái tuyệt đối

Ông là người đi tìm cái vĩnh cửu, tuyệt đối. “Tôi chỉ tiếp xúc với vật lý học lần đầu tiên qua thầy dạy toán của tôi, Hermann Müller, một người trẻ tuổi trung niên, suy nghĩ rất sắc sảo và hài hước. Ông ấy hiểu cách mô tả những định luật vật lý mà ông dạy bọn học trò chúng tôi bằng những thí dụ rất đặc trưng. Cho nên bằng cách đó tôi đón nhận định luật bảo toàn năng lượng như định luật đầu tiên trong đời có hiệu lực độc lập với con người như một ‘tin lành’ trong tôi”. Ông mô tả việc đi tìm cái “tuyệt đối” trong các định luật tự nhiên từ cái tương đối: “Chúng ta luôn luôn xuất phát từ những cái tương đối. Tất cả những phép đo đạc của chúng ta đều có tính chất tương đối. Vật liệu của các thiết bị mà chúng ta sử dụng là lệ thuộc vào nguồn gốc của nó, sự cấu tạo của chúng lệ thuộc vào tính khéo léo của người thợ kỹ thuật đã nghĩ ra nó, việc sử dụng chúng lệ thuộc vào những mục tiêu đặc thù mà người thí nghiệm muốn đạt tới với chúng. Từ tất cả những dữ liệu này, chúng ta có nhiệm vụ đi tìm cái tuyệt đối, cái phổ quát, bất biến chứa đựng trong đó.” Lĩnh vực bức xạ nhiệt hiện ra như một vùng đất mới đối với ông: “Cái gọi là sự phân bố năng lượng chuẩn do đó thể hiện một cái gì tuyệt đối, và vì sự tìm kiếm cái tuyệt đối luôn là một nhiệm vụ khoa học đẹp nhất cho nên tôi đã bắt tay vào công việc một cách nhiệt tình.” Những nghiên cứu của Kirchhoff đã chứng minh rằng, bức xạ trong một phòng trống có các bức tường bao bọc được đun nóng lên ở

một nhiệt độ nhất định có tính chất tuyệt đối: nó hoàn toàn độc lập với tính chất của vật liệu của các bức tường, và là một hàm số phổ quát của nhiệt độ của các bức tường và của tần số của các sóng thành phần của bức xạ (màu của ánh sáng). Sự lệ thuộc nhiệt độ thể hiện ở chỗ, ở nhiệt độ 550°C màu của bức xạ phát ra từ vật đen là đỏ sẫm, ở nhiệt độ 750°C, màu đỏ tươi, ở 900°C màu cam, ở 1.000°C màu vàng, ở 1.200°C và trên đó màu trắng, như chúng ta có thể quan sát ở một thanh sắt được nung lên. Trên quang phổ, Wilhelm Wien đã chứng minh rằng các màu của bức xạ chuyển dịch từ đỏ sang tím, nghĩa là sang vùng các tần số cao hơn, nhưng chưa tìm thấy cơ sở lý thuyết nào để giải thích chính xác định luật bức xạ đó. Từ 1896 trở đi, Planck tập trung toàn bộ sức lực để giải quyết bài toán này, nhất là khi Wien lần đầu tiên ứng dụng khái niệm entropi ở đây, điều làm cho bài toán càng thêm hấp dẫn, và Planck *“chỉ nghĩ rằng tôi phải đạt được một kết quả tích cực, trong mọi hoàn cảnh, bằng mọi giá”*.



Mô tả thí nghiệm. Phòng rỗng được đun nóng lên bên trong một lớp cách nhiệt. Ánh sáng phát xạ đi qua lăng kính quang phổ, và một máy cường độ được đặt chỗ tiếp nhận.
(Nguồn: E.P.Fischer)

Khoảng tháng Năm 1899, Planck tuy chưa tìm ra hình dạng phổ quát chính xác của bức xạ nhiệt, nhưng đã tìm ra dấu vết của hai hằng số k và h mà ông tin là cực kỳ quan trọng. Ông một lần thổ lộ với đứa con trai út Erwin lúc đó mới bảy tuổi trong một cuộc đi dạo rừng, rằng “khám phá lớn nhất” (hằng số h) cũng quan trọng như khám phá của Newton” (hay Copernice). Lúc đó ông chưa khám phá công thức bức xạ hay giả thiết lượng tử. Ông rất hồ hởi đã tìm thấy ở h “cái tuyệt đối”: *“Bằng cách ở mỗi hiện tượng tự nhiên của cái riêng lẻ, cái quy ước, và ngẫu nhiên, chúng ta hướng mắt đến cái phổ quát, cái khách quan và tất yếu, thì chúng ta tìm cái độc lập đằng sau cái lệ thuộc, cái tuyệt đối đằng sau cái tương đối, cái vĩnh cửu đằng sau cái vô thường. Và như tôi nhìn thấy, cái khuynh hướng này biểu lộ không những trong vật lý học, mà*

còn trong mỗi ngành khoa học, vâng không chỉ trên lĩnh vực khoa học, mà còn trên lĩnh vực của cái thiện và cái mỹ.”

V. “Một hành động của sự tuyệt vọng”

Năm 1896 Wilhelm Wien thành công đưa ra công thức bức xạ nhiệt có thể được viết dưới dạng

$$U(\nu, T) = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \exp(-h\nu / kT) \quad (1)$$

trong đó k và h trước tiên là những hằng số nhất định¹. Một thời gian dài công thức này trùng hợp với các kết quả đo đạc thực nghiệm. Người ta tin rằng nó là công thức đúng, và Planck đặt cho mình mục tiêu chứng minh định luật Wien bằng điện động học và nhiệt động học, đặc biệt từ định lý cơ bản thứ hai nói về sự tăng lên của entropi. Ông tưởng là thành công, nhưng rồi thất bại.

Nhưng năm 1899, với những phương pháp đo đạc mới chính xác hơn, H. Rubens và F. Kurlbaum ở Berlin cho thấy ở nhiệt độ cao có một sự chênh lệch một cách hệ thống giữa các kết quả đo đạc mới với công thức bức xạ của Wien ở vùng những trị số nhỏ của $h\nu/kT$, vùng mà công thức Rayleigh-Jeans đúng, cho thấy công thức Wien chưa hoàn toàn chính xác. Sau khi Rubens đến thăm Planck để thông báo riêng vào ngày Chủ nhật, 7.10, Planck tối đó đã bằng một phép nội suy và thử đưa ra một công thức bức xạ mới, khác biệt với công thức của Wien một ít, và ông đã trình bày nó ngày 19.10.1900 trước Hội Vật lý tại Berlin cùng với những kết quả của Rubens và Kurlbaum:

$$U(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{\exp(h\nu / kT) - 1} \quad (2)$$

Đó là công thức bức xạ của Planck. Nó chỉ khác với công thức của Wien ở con số -1 dưới mẫu số. Thực tế, các công thức của Wien và Rayleigh-Jeans là những trường hợp tới hạn của công thức Planck tùy theo tỉ lệ $h\nu/kT$ rất lớn hay rất nhỏ đối với 1. “Buổi sáng ngày hôm sau đồng nghiệp Rubens tìm tôi và kể cho biết, rằng sau buổi họp, cũng trong đêm đó, ông làm những cuộc so sánh chính xác công thức của tôi với các dữ liệu đo đạc của ông ta, và nhận thấy một sự trùng khớp thỏa đáng khắp nơi”, ông thuật lại. Đó là một “Định luật được đoán một cách may mắn” (ein glückliches Erraten) như lời ông nói, đến thời điểm này xem ra là “vô hại” và chỉ mới có ý nghĩa hình thức. Nhưng thực sự với

¹ Công thức nguyên thủy của Wien là $U(\nu, T) = \alpha \nu^3 \exp(-\frac{\beta\nu}{T})$.

nó, Planck đã bước đến cổng trời của một thế giới mới, mà ông chưa biết rằng cái chìa khóa có tính cách lý thuyết, một nguyên lý hay một giả thiết nào đó giải thích được nó sẽ có thể dẫn đến một chân trời mới.



Rudolf Clausius (1822-1888)

Con đường suy diễn ra công thức đó thực ra là khá nghèo nàn và có gốc rễ sâu xa. Xin lược lại một số ý chính. Xuất phát điểm của Planck là **nhiệt động lực học** mà ông nghiên cứu từ luận án tiến sĩ 1879 và ông gắn bó với nó cả cuộc đời. Ngành khoa học này, hay là nhiệt học, xuất phát từ nhu cầu xây dựng các máy lực bằng nhiệt (máy hơi nước) và vận hành chúng hiệu quả, được xây dựng trên hai định lý cơ bản, thứ nhất (nguyên lý bảo toàn năng lượng) và thứ hai liên quan đến một độ lớn khác, có những áp dụng rộng rãi trong vật lý và hóa học mà không phải giả thiết gì về cấu trúc vật chất, nghĩa là có tính cách hiện tượng luận. Định lý cơ bản thứ hai được Rudolf Clausius xây dựng năm 1850, lúc bấy giờ ông là thầy giáo trung học ở Berlin, ở dạng nói rằng sự chuyển biến của nhiệt hay năng lượng chỉ có thể diễn ra từ các vật thể nóng sang vật thể lạnh và không bao giờ ngược lại. Năm 1855, Clausius, bằng khái niệm entropi hoàn toàn mới, diễn tả lại định lý cơ bản thứ hai nói rằng entropi chỉ có thể được sinh ra mà không bao giờ bị mất đi, hoặc ở dạng khác về sau phổ biến hơn “entropi của thế giới (hay của một hệ thống kín) tăng về một trị số cực đại”. Khái niệm entropi dần dần đã vượt ranh giới lãnh thổ của ngành khoa học nguyên thủy để thâm nhập những ngành khoa học khác như hóa học, sinh học, thiên văn, vũ trụ học... như là khái niệm của *độ lộn xộn* (Maß für Unordnung), nhưng cuối thế kỷ 19 vẫn là điều bị dư luận còn bài bác, bởi vì nó là một “con ma toán học” như Planck than phiền khi vấp phải sự chống đối. Nhưng nó sẽ là công cụ khám phá tuyệt vời sắp tới, cho Planck cũng như cho Einstein.

Một trung tâm điểm của sự chú ý của Planck là *tính không đảo ngược được* (không thuận nghịch, Irreversibility) của các quá trình tự nhiên. Ông cho rằng “*Không thể nào làm cho một quá trình trong đó có sự ma sát diễn ra có tính chất thuận nghịch*”, như nhiều thí dụ trong kinh nghiệm cho thấy, và sự ma

sát đều không tránh khỏi trong tự nhiên.

Khác với các nhà đại diện thuyết nguyên tử lúc bấy giờ, trong đó phải kể Ludwig Boltzmann, xem các định luật của nhiệt động học là những quy luật có tính cách thống kê của một chuyển động phức tạp không thể theo dõi cá nhân được của rất nhiều phân tử, trong khi Planck tin vào tính quy luật tất định (deterministic) một cách chặt chẽ, tin vào khả năng có thể hiểu được các định luật của nhiệt động học, chủ yếu định lý cơ bản thứ hai, như là một hệ luận chặt chẽ của các định luật điện từ đã biết.

Năm 1877, Boltzmann đã liên hệ khái niệm entropi (S) của Clausius và xác suất (W) bằng hệ thức

$$S \sim \log W \text{ (entropi tỷ lệ với logarit xác suất),}$$

trong đó ông mô tả một hệ thống khí bằng định luật thống kê tính từ các khả năng xảy ra của các cấu hình (vị trí và vận tốc của các nguyên tử) trong một khu vực vĩ mô, đi từ quan điểm thống kê điều khiển vĩ mô chứ không phải các hoạt động của các hạt cá nhân vi mô. Đó chính là cơ học thống kê. Trên cơ sở thuyết nguyên tử và thống kê này Boltzmann cho rằng đã liên hệ được định lý cơ bản thứ hai và tính không thuận nghịch: Tính thuận nghịch có thể diễn ra, nhưng với một độ xác suất nhất định, chứ không tuyệt đối biến mất. Và đó là điểm Planck không thể chấp nhận được. Trong một bài viết năm 1881, ông viết một cách rất tự tin: *“Định lý cơ bản thứ hai của thuyết nhiệt học cơ, nếu được thực hiện triệt để, sẽ không dung hợp với giả thuyết nguyên tử. Do đó, có thể thấy trước rằng trong giai đoạn phát triển tới của lý thuyết sẽ có một sự đụng độ giữa hai lý thuyết này, và một trong hai sẽ mất mạng.”* Và chỉ vài hàng tiếp ông đã cho thấy ít nghi ngờ, theo ông, cái nào trong hai lý thuyết sẽ phải trả giá: *“... trong khi đó hiện tại có nhiều dấu hiệu đối với tôi chứng tỏ rằng mặc dù có những thành công lớn đến nay của thuyết nguyên tử nhưng người ta cuối cùng phải quyết định từ bỏ nó và trở về giả thiết vật chất liên tục (không chia được).”*

Dĩ nhiên Planck đã không có lý. Với bài toán của hiện tượng bức xạ của hộp rỗng ông tin rằng có thể tìm được tính không thuận nghịch, vì ở đây các sóng điện từ là liên tục, tương ứng với “vật chất liên tục” của ông. Đó cũng là lý do khiến ông càng kiên trì với vấn đề bức xạ. Nhưng con đường của Planck dựa trên nhiệt động học và điện động học thuần túy như ý muốn của ông cuối cùng đã bị bế tắc trong việc suy diễn được định luật bức xạ của ông. Planck không còn sự lựa chọn nào khác hơn là quay lại “Phương pháp Boltzmann” về thống kê trong các nguyên tử khí vốn đã bị ông bác bỏ.

Và đó chính là “hành động của sự tuyệt vọng” của ông. Ông nói “Bởi vì không còn đường nào khác mở ra cho tôi, nên tôi tìm cách thử với phương pháp Boltzmann”. Và rồi điều thần kỳ sẽ xảy ra.

VI. Sự khai sinh của thuyết lượng tử

Để sử dụng được phương pháp đếm của Boltzmann, Planck trước hết đã đưa vào hằng số k , được gọi là hằng số Boltzmann sau đó, giữa xác suất và entropi:

$$S = k \log W \text{ (entropi bằng } k \text{ lần logarit của xác suất)}^1, \quad (3)$$

hằng số tỉ lệ mà Boltzmann trước đây chưa quan tâm. [Bằng hằng số này, năm 1901, Planck lần đầu tiên đã tính được khối lượng của một nguyên tử, của nguyên tử nước, bằng $1.64 \cdot 10^{-24}$ g, và cũng lần đầu tiên tính được điện dung của electron là $4.69 \cdot 10^{-10}$, đơn vị tính điện chính xác nhất lúc bấy giờ. Một sự mỉa mai lịch sử: Những trị số tốt nhất của nguyên tử lại được một người được mệnh danh là chống lại thuyết nguyên tử đo được!]

Tiếp đến, để có thể đếm được như phương pháp thống kê của Boltzmann đòi hỏi, Planck lấy một mô hình lưới có N cái được gọi là máy cộng hưởng (resonator) với một tần số riêng là ν , có thể phát ra hay hấp thu các năng lượng điện từ liên tục. Điều này được phép làm, thể theo những tính chất phổ quát Kirchhoff đã tìm ra cho hàm số phân bố bức xạ. Nhưng nếu cho phép các resonator có thể tự do phát ra hay hấp thu các khối lượng liên tục năng lượng thì khối lượng xác suất trong công thức (3) sẽ có trị số vô cùng lớn và do đó entropi cũng sẽ có trị số vô cực, điều vô nghĩa. Để ngăn chặn việc đó, và đây là điểm cốt lõi, và cũng là phần của phương pháp Boltzmann, người ta giả thiết rằng mỗi một resonator chỉ được phép phát ra hay hấp thu một năng lượng cơ bản cố định hữu hạn là ε . Để có một mức năng lượng tổng thể là E , do đó chỉ có $n = E/\varepsilon$ phần năng lượng được phân bố cho các resonator. Từ đó dùng công thức toán tổ hợp (combinatorics) ông có thể tính xác suất W trong hệ thức entropi nói trên dễ dàng, và sau đó suy ra entropi S . Chỉ sau vài bước nữa, như áp dụng công thức xấp xỉ Stirling, và sử dụng hệ thức giữa độ biến thiên vi phân của entropi đối với năng lượng là bằng trị giá nghịch đảo của nhiệt độ T (nghĩa là $\frac{dS}{dE} = \frac{1}{T}$), ông có thể tính được năng lượng trung bình $E(\nu, T)$ của mỗi resonator, rồi điền vào công thức của $U(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} E(\nu, T)$ đã tìm được trong một bước trước đó bằng phương pháp điện từ, ông sẽ có công thức phân bố năng lượng

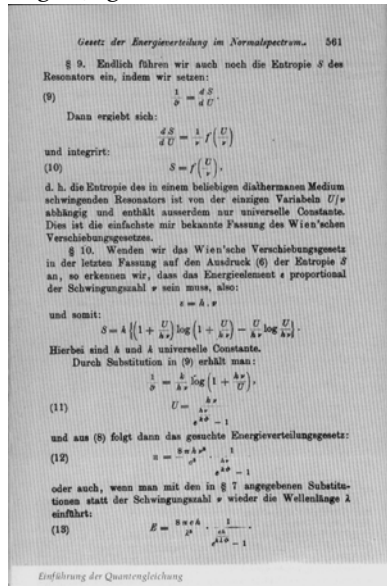
¹ Công thức sau này được khắc lên bia mộ của Boltzmann làm biểu tượng.

$$U(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{\varepsilon}{\exp(\varepsilon / kT) - 1} \quad (4)$$

Bây giờ chuyện thần kỳ xảy ra: Để công thức này chính là công thức bức xạ của Planck đã tìm thấy tháng 10 trước đó, người ta phải làm một giả thiết về độ lớn thực sự của các “lượng tử năng lượng” ε . Làm sự so sánh công thức (4) và công thức bức xạ (2) của Planck, chúng ta thấy ngay ε phải có dạng

$$\varepsilon = h\nu \quad (5)$$

Nghĩa là đằng sau công thức bức xạ nhiệt của Planck có một định luật lượng tử lượng tử hóa năng lượng ngự trị, năng lượng được phát ra hay hấp thu được diễn ra không liên tục mà từng gói nhỏ. “Đó là thuần túy một giả thiết hình thức, và tôi đã không nghĩ ngợi nhiều về nó, trừ cái suy nghĩ, tôi phải đem lại một kết quả tích cực, bằng mọi giá.”

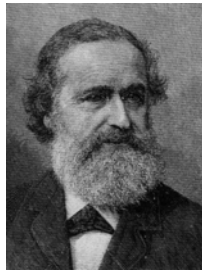


Một trang của bài thuyết trình “Định luật phân bố năng lượng trong quang phổ chuẩn” của Planck ngày 4.12.1900.
(Nguồn: Max Planck [1])

Nhưng đâu là cái giá? Đó là ông phải từ bỏ cả chương trình quy mô muốn xây dựng định luật cơ bản thứ hai như một định luật nhân quả nghiêm ngặt từ những định luật của điện động lực học, cũng như từ bỏ việc đi tìm tính thuận nghịch tuyệt đối. Planck là con người cá tính rất mạnh, muốn đi theo con đường riêng của mình đến cùng. Trong khoảng 40 bài viết hay chừng ngàn ấy của ông trước năm 1900 về nhiệt động học, ông

không bao giờ nhắc đến phương pháp thống kê của Boltzmann! Và ông đã cho phép một trợ lý của ông, Ernst Zermelo, đã có một trận “bút chiến” với Boltzmann về vấn đề trên. Chính vào giờ phút cuối của tuyệt vọng, với ý chí không lay chuyển, với “niềm tin” không lay chuyển của ông đi tìm cho được chân lý, Planck đã nhìn thấy lối ra. Ông đã viết: “*Ai dần thân nghiêm túc vào lao động khoa học của bất cứ loại nào đều nhận ra rằng trên cổng vào đền thờ khoa học có viết mấy chữ: **Hãy có niềm tin.***” Đúng thế, đứng trước cổng đền thờ khoa học dẫn đến thế giới mới ông đã có niềm tin sâu sắc.

Planck đã để ra 5 năm. Nhưng bài toán bức xạ nhiệt huyền bí trên đã kéo dài hơn 40 năm trời mới kết cục. Gustav Kirchhoff là người đầu tiên đã chỉ ra rằng hàm số mật độ $U(v,T)$ của phân bố bức xạ nhiệt không lệ thuộc vào vật liệu và hình dạng của hộp rỗng, mà chỉ vào tần số và nhiệt độ thôi. Đó là năm 1859-60! Nó thách đố từ đó các nhà khoa học và tỏ ra hầu như “bất khả tri”. Einstein năm 1913 đã đặc trưng khó khăn này như sau: “Thật là một điều cao quý nếu chúng ta đặt lên được một bàn cân chất liệu của các bộ óc đã được các nhà vật lý tế thần trên bàn thờ của hàm số phổ quát f này¹”; và vẫn chưa thấy hết được chừng nào các nạn nhân kinh hoàng này chấm dứt. Còn nữa: kể cả cơ học cổ điển cũng đã hy sinh cho nó, và chưa thấy hết được rằng các phương trình Maxwell của điện động lực học có thể vượt qua được cơn khủng hoảng mà hàm số f đã mang theo nó hay không.”



G. Kirchhoff (1824-1887)



L. Boltzmann (1844-1906)



W. Wien (1864-1928)

Với giả thiết lượng tử $\varepsilon = h\nu$ màn đêm bí mật của hiện tượng bức xạ của vật thể đen được vén lên! Đại lượng ε , lệ thuộc vào tần số bức xạ, là “bước nhảy lượng tử”. Tự nhiên ở cấp vi mô diễn ra một cách ‘nhảy vọt’ chứ không phải liên tục! “Nguyên lý liên tục” cổ điển của khoa học (*natura non facit saltus*) từ thời Leibniz, Newton lần đầu tiên bị bác bỏ. Chúng ta hãy tưởng tượng: bia không được bán hay mua bằng những cái vòi chảy liên tục

¹ Hàm số f trong công thức $U(v,T) = v^3 f(v/T)$ của Wien tìm thấy năm 1893, trong đó f chỉ lệ thuộc vào tỉ lệ v/T .

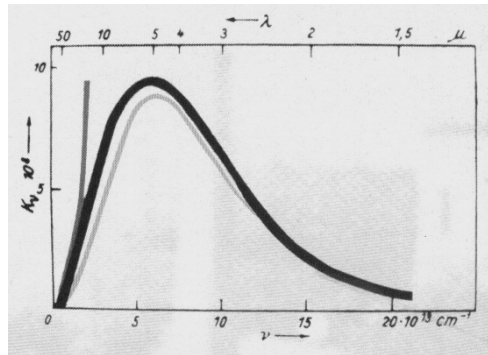
mà bằng các chai, lon hay thùng, hay thậm chí ly, kích cỡ khác nhau như những đơn vị cơ bản! Anh có thể mua một, hai, hay nhiều chai bia, chứ không thể mua được số lẻ lưưng chừng.

Hằng số h , được gọi là hằng số (tác động) Planck là vô cùng nhỏ, $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Js (Joule-giây), nghĩa là bằng 0, 000 000 000 000 000 000 000 000 000 663 Js. Các năng lượng $h\nu$, $2h\nu$, $3h\nu$, ... của một tần số được phép được trao đổi do đó là vô cùng nhỏ, nhưng với một số lượng khổng lồ diễn ra ở cấp vi mô đủ để cho ta những trị số vĩ mô cảm nhận được.

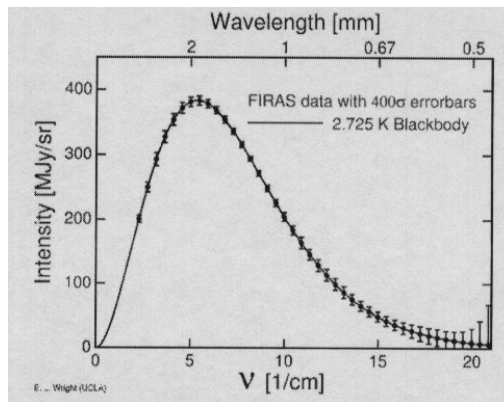
Ngày 14.12.1900, Planck trình bài kết quả của ông tại buổi họp của Hội Vật lý Berlin, dưới cái tên *“Định luật phân bố nhiệt trong quang phổ chuẩn”* (Gesetz der Energieverteilung im Normalspektrum), dài 9 trang in. Nó đánh dấu chính thức *ngày sinh lịch sử của Thuyết lượng tử*.

Planck chưa biết rằng công thức $\epsilon = h\nu$ là một định luật “tuyệt đối” trong tự nhiên mà ông muốn tìm, và là chiếc chìa khóa để bước vào thế giới vật chất vi mô. Ông cũng không tin công thức này là một cuộc cách mạng vĩ đại, mà chỉ tin rằng đó là cái “mẹo toán” nhất thời. *“Nói tóm tắt, tôi có thể gọi cả việc làm của tôi là một hành động của sự tuyệt vọng. Bởi vì từ bản chất, tôi là người hiền hòa và có khuynh hướng lánh xa các hành động mạo hiểm đáng nghi ngờ...”*.

Cái hộp rỗng nóng chứa đầy bức xạ, đối tượng nghiên cứu đã dẫn đến thuyết lượng tử, một cách rất ngạc nhiên, cũng chính là hình ảnh của vũ trụ. Cả vũ trụ mà chúng ta đang sống trong đó thực tế là một hộp rỗng khổng lồ chứa đầy bức xạ! Cho nên công thức bức xạ của Planck lại đóng vai trò rất quan trọng ở đây. Bức xạ này đã hình thành từ năm tuổi thứ 380.000 của vũ trụ sau vụ nổ Big bang, lúc còn rất nóng, giờ đã nguội đi. Do đó, công thức bức xạ của Planck cũng có vai trò rất quan trọng trong nghiên cứu thiên văn học. Từ nhiều năm nay các vệ tinh đã tìm cách đo bức xạ nền vũ trụ này để có nhiều thông tin về sự phát triển và sự hình thành và cấu tạo của vũ trụ chúng ta. Sự phân bố năng lượng trên quang phổ được đo đạc và so sánh với công thức Planck. Kết quả được điền trong **ảnh** dưới. Các khác biệt phải được phóng đại đến 400 lần mới thấy rõ. Đường biểu diễn của Planck đến nay là đường biểu diễn chính xác nhất thế giới.

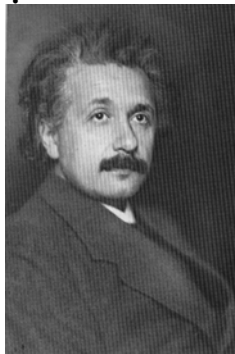


Quang phổ bức xạ của các công thức bức xạ:
của Planck (đậm, giữa), của Wien (nhạt, dưới),
và của Rayleigh (trái, ngoài cùng).
(Nguồn: Max Planck [15])



Quang phổ Planck của sóng vi ba vũ trụ được đo đạc bởi vệ tinh COBE.
Cần phải phóng đại những chỗ sai biệt đến 400 lần mới thấy được!
(Nguồn: Domenico Giulini [19])

VII. Einstein Xuất Hiện



Albert Einstein

Từ sau năm 1901 không có mấy ai để ý, người ta xem ý tưởng lượng tử

như một giả thuyết phụ trợ nhằm giải quyết bài toán trong lĩnh vực bức xạ, và hằng số Planck h như đại lượng có tính chất hiện tượng luận nhằm giúp diễn tả các kết quả đo đạc, không có ý nghĩa gì sâu sắc cho khoa học cả, và người ta chờ đợi nó nhanh chóng được thay thế bằng một cái gì từ nền vật lý cổ điển. Chưa ai biết đó là thần Hercule trong nôi với một sức mạnh khủng khiếp, cho đến khi Einstein xuất hiện!



Planck trao cho Einstein Huy chương
Max Planck ngày 28.6.1929

Năm 1905, lịch sử còn gọi là “năm thần kỳ”, chàng thanh niên Einstein 26 tuổi, lúc đó còn là một ‘chuyên viên cấp ba’ vô danh làm việc ở Sở sở hữu sáng chế ở Bern, Thụy Sĩ, công bố một loạt 5 bài báo liền trong tạp chí *Annalen der Physik* (Niên giám vật lý), trong đó có bài mà ông tự cho là “rất cách mạng”, đó là “Về một quan điểm heuristic (hỗ trợ khám phá) liên quan đến sự sinh ra và biến đổi của ánh sáng”, chứ không phải như người ta có thể nghĩ ông muốn nói thuyết tương đối. Einstein hiểu ngay giả thuyết lượng tử của Planck không phải chỉ là một biện pháp tình thế, mà là một thực thể vật lý có tính chất cách mạng. Ông đưa ra “giả thuyết lượng tử ánh sáng”, cho rằng, ngược với truyền thống bấy giờ xem ánh sáng là sóng điện từ của Maxwell, ánh sáng giờ đây có thể được xem là được cấu tạo những hạt, được gọi là hạt photon, mang những gói năng lượng của Planck $\varepsilon = h\nu$, “chuyển động độc lập nhau, không chia nhỏ được và chỉ có thể được hấp thu hay sinh ra nguyên gói”. Khi một hạt photon của ánh sáng chạm vào một electron của vật chất, và nếu năng lượng đủ mạnh (tia cực tím chẳng hạn), nó sẽ bắn electron ra khỏi vật chất. Einstein thiết lập được công thức cho năng lượng được mang theo khi electron bị tách ra ($E = h\nu - P$, công thức Einstein). Bằng cách đó ông đã giải thích được nhiều hiện tượng liên quan đến sự trao đổi năng lượng giữa ánh sáng và vật chất, đặc biệt giải

thích được hiện tượng quang điện một cách thuyết phục, một hiện tượng không lý giải được lúc bấy giờ, và 17 năm sau ông nhận được giải Nobel cho công trình này. Einstein kết luận bài báo với câu: *“Những suy nghĩ trên đường như chứng minh đối với tôi,... rằng Ngài Planck trong thuyết bức xạ của mình đã đưa vào vật lý học một nhân tố giả thiết mới, giả thuyết lượng tử.”* Nhưng ý tưởng của Einstein quá táo bạo khiến Planck, và các đồng nghiệp của ông, kể cả Sommerfeld, trong một thời gian dài không chấp nhận được. Đối với Planck, ý tưởng photon chỉ là “tội lỗi tuổi vị thành niên” của Einstein mà người ta không nên để ý tới. Dưới mắt các nhà vật lý học bấy giờ, chàng thanh niên 26 tuổi có vẻ vừa ‘thơ ngây’ vừa “khiêu khích”.

Năm 1913, tức 13 năm sau giả thiết lượng tử, trong bài giải trình để mời Einstein về Hàn Lâm viện khoa học Phổ, Planck, và cả Nernst, Rubens và Warburg cho rằng giả thuyết lượng tử ánh sáng của Einstein là một sự “bắt hụt” mục tiêu của người thanh niên tài ba năng nổ có tiếng nói trong khắp các bài toán vật lý lớn của thời đại. Nó phản ánh rất chính xác tư duy của những đồng nghiệp đương thời của Einstein trong vấn đề lượng tử ánh sáng. Thuyết hạt của ánh sáng đã được Newton đưa ra, nhưng đầu thế kỷ 19 đã bị thuyết sóng quét đi trước những thành công của nó trong việc giải thích hiện tượng giao thoa ánh sáng một cách tuyệt vời, và bị rơi vào quên lãng. Ai dám đi ngược lại thuyết sóng đã được thử thách?



Hội nghị Solvay lịch sử lần đầu tiên năm 1911 tại Brussel, cũng là “Hội nghị thượng đỉnh”, bàn về hiện tượng lượng tử với hơn 20 cái đầu tinh hoa của châu Âu. *Hàng đứng*: Max Planck thứ hai từ trái qua và Albert Einstein thứ hai từ phải sang. *Hàng ngồi*: Henri Poincaré tay bên phải ngoài cùng, tiếp theo là Marie Curie; bên trái là Walter Nernst, tiếp đến người thứ ba là nhà công nghệ mạnh thường quân Ernest Solvay. Người ta thấy trên tấm bảng đen đằng sau Planck là công thức bức xạ của Planck vừa được trình bày tại Hội nghị.

Trong khi đó bài báo quan trọng của Einstein về Thuyết lượng tử lại bị ‘nhặt thực’ bởi bài báo về Thuyết tương đối hẹp của Einstein được công bố cùng một lúc. Planck đang bị thu hút tuyệt đối bởi Thuyết tương đối của Einstein, hơn cả khám phá lượng tử của chính mình! Ông tin ở đó có cái gì tuyệt đối thú vị: *“Tính hấp dẫn của nó (Thuyết tương đối) đối với tôi nằm ở chỗ,*

tôi nỗ lực suy ra từ tất cả những định lý của nó cái tuyệt đối, cái bất biến vốn nằm tiềm tàng trong đó". Một trong những cái bất biến thú vị đã được nhà toán học Minkowski khám phá năm 1907, và được trình bày trong một bài báo cáo thuyết phục hoàn toàn trước Hội nghị các nhà khoa học và bác sĩ Đức tại Köln năm 1908 với câu nói bất hủ: "Từ giờ phút này trở đi, không gian xét riêng và thời gian xét riêng chỉ còn là cái bóng, và chỉ có một thể liên kết của cả hai mới giữ vững được tính độc lập."

Nhưng bài báo của Einstein về giả thuyết photon là lực đẩy rất quyết định và thuyết phục cho sự thắng lợi của khái niệm lượng tử. Khoảng năm 1908, ông viết cho một người bạn: "Tôi không ngừng nghiên cứu vấn đề bức xạ... Vấn đề này của lượng tử là rất quan trọng và khó khăn một cách khác thường, nên mỗi người nên nghiên cứu nó." Rồi năm 1909 ông đã tóm tắt quan điểm của ông về thuyết bức xạ tại "Hội nghị các nhà nghiên cứu tự nhiên và bác sĩ Đức" như sau: "Cho nên, đây là ý kiến của tôi, rằng giai đoạn tới của sự phát triển vật lý lý thuyết sẽ mang lại cho chúng ta một lý thuyết về ánh sáng được hiểu như một dạng hợp nhất lại thuyết sóng và thuyết phát xạ của ánh sáng" và cho rằng hai thuyết đó không mâu thuẫn nhau. Lúc đó ông 30 tuổi. Einstein phải tiếp tục công việc khai phá và chinh phục vùng đất hoang dã lượng tử 20 năm liền một cách vất vả, tự chiến đấu như một 'hiệp sĩ cô đơn' trong một thời gian rất dài chống lại cả một bức tường thành kiên cố. Ông vừa phát triển và hoàn thiện thuyết tương đối và những hệ quả của nó đối với vũ trụ học, vừa không ngừng nuôi lớn vị thần Hercule chưa được thừa nhận kia. Còn đối với Planck, có lẽ bên cạnh giả thuyết lượng tử, khám phá lớn nhất thứ hai trong đời khoa học ông, đó là chính là Einstein, để Einstein cầm ngọn cờ lượng tử tiếp tục giương cao tiến lên, và chấp nhận hứng chịu mọi sự tấn công của dư luận. Chính Einstein mới là người bị chống đối nhiều nhất về thuyết lượng tử chứ không phải Planck, cha đẻ của nó, bởi chính Einstein hơn ai hết là kẻ duy nhất muốn chứng minh lượng tử là một định luật phổ quát trong tự nhiên.

Những bước phát triển kế tiếp quyết liệt hơn xác định sự chiến thắng của quan niệm lượng tử: thuyết lượng tử về quang phổ của Bohr 1913 với sự suy diễn được các công thức của Balmer; nhưng cũng chưa đủ, phải đợi cơ học lượng tử của Heisenberg 1925, cơ học sóng của Schrödinger 1926 và thuyết điện động học lượng tử của Dirac 1928 ra đời, lúc đó thuyết lượng tử

mới giành được thắng lợi không thể đảo ngược được như ngày nay¹. Những nỗ lực của Planck, cha đẻ của lượng tử, nhằm đưa đứa con của mình trở về con ‘đường lành’ cổ điển, phù hợp với tư duy bảo thủ của ông, đều thất bại. Ngược lại, Planck từng bước bị kéo đi ngày một xa hơn trên con đường mà ý tưởng lượng tử của ông đã vạch ra. Planck là một nhà ‘cách mạng miễn cưỡng’. Ông cũng đã từng bảo rằng: *“Một chân lý mới của khoa học thường thắng lợi không phải bằng cách những kẻ chống đối nó sẽ được thuyết phục và tuyên bố mình được dạy dỗ, mà đúng hơn bằng cách những kẻ chống đối dần dần chết hết, và thế hệ mới ngay từ đầu được làm quen với nó.”* Planck cho đến cuối đời cũng không hạnh phúc với sự tan vỡ của nguyên lý nhân quả như hệ quả của khám phá lượng tử của ông. “Tác phẩm đời ông, vốn luôn hướng về sự thống nhất của thế giới quan, đã bị một cái bóng bi thảm che khuất” như Max von Laue nhận xét, và Planck cố gắng vượt qua nó bằng quan niệm xem giá trị của một người nghiên cứu không phải ở chân lý tìm ra được, mà ở chỗ được phục vụ khoa học với cả lương tâm, và sự tận tụy.

Thuyết lượng tử đã diễn ra hoàn toàn trái với ý định của các nhà khai phá nó. Planck phải trả giá là từ bỏ chương trình nghiên cứu định luật chính thứ hai của mình bằng con đường tắt định để chấp nhận phương pháp nguyên tử và thống kê của Boltzmann mà ông đã bác bỏ trước đó. Có khác hơn với Einstein. Einstein ngay từ đầu đã hoàn toàn ý thức và trực giác đúng, và không ngừng phát triển thuyết lượng tử để được công nhận. Nhưng rồi định mệnh cũng không từ Einstein ở bước tiếp theo! Năm 1916 Einstein đã suy diễn công thức bức xạ của Planck rất tổng quát, cơ bản và đơn giản, nhưng dựa vào giả thiết các quá trình cơ bản của phát xạ hay hấp thu ánh sáng là có bản chất *xác suất*.² Nguyên lý laser xuất phát từ đó. Ông nhìn nhận “chỗ yếu” của cách suy diễn khi nó quy quá trình phát xạ hay hấp thu về tính ngẫu nhiên, nhưng hy vọng rồi đây sẽ làm cho nó tắt định dễ hiểu. Nhưng chính con đường này 10 năm sau đã dẫn đến cơ học lượng tử (1925-16) và điện động học lượng tử (1928) mà ông với những niềm tin sâu xa của mình không còn đi theo nữa một cách trọn vẹn. Một trong những lý do là ở đó tính ngẫu nhiên đã trở thành yếu tố cơ bản không thể rút gọn được.

¹ Xin xem thêm lịch sử chi tiết của bi kịch nhiều hồi của Thuyết lượng tử trong sách *Einstein*, [22].

² Năm 1926, Dirac còn có một cách suy diễn định luật bức xạ của Planck cho hộp rỗng rất độc đáo dựa trên thống kê Bose-Einstein.

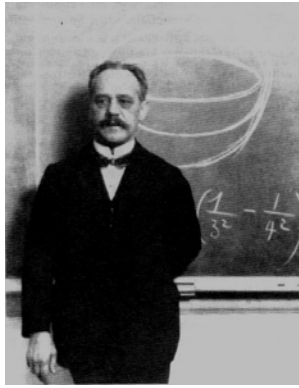
Lạ thay. Hai khám phá vĩ đại nhất trong thế kỷ 20 lại được tượng trưng bằng hai công thức đơn giản nhất, $\varepsilon = h\nu$ cho Thuyết lượng tử, và $E = mc^2$ cho Thuyết tương đối, tương ứng với hai hằng số phổ quát trong trời đất, hằng số Planck h cho thế giới vô cùng nhỏ, và hằng số ánh sáng c cho thế giới vô cùng lớn! Phát triển của lịch sử khoa học có một bước nhảy vọt không lồ và rực rỡ chưa từng thấy từ thời Newton, diễn ra ở những vùng mà lý trí thường của nhân loại đã thất bại hoàn toàn, những vùng cực nhỏ hay cực lớn, và tư duy con người chịu một sự thay đổi sâu sắc. Không phải như các nhà triết học truyền thống đã từng làm trong lịch sử, giờ đây các nhà khoa học đã thành công trong việc diễn giải mới vũ trụ một cách căn bản, qua đó thay đổi nó một cách triệt để. Thế giới mà họ khai phá là *chân trời của mọi chân trời*.

VIII. Thời đại Vàng của vật lý học Đức

Theo sáng kiến của Planck và Nernst, nhất là do sự quyết tâm cao độ của Planck, năm 1913 Einstein được mời về Viện Hàn lâm Phổ, Berlin, với những điều kiện cực kỳ ưu đãi. Sự hợp tác giữa Planck và Einstein từ đó kéo dài gần hai thập niên liền, với lý thuyết tương đối và thuyết lượng tử làm nền tảng, làm cho Berlin trở thành trung tâm điểm của vật lý lý thuyết của thế giới. Đó là *thời kỳ vàng son* của ngành vật lý Đức. Arnold Sommerfeld đã gọi thời kỳ này bắt đầu năm 1905 khi có 5 bài báo cách mạng xuất hiện trên *Annalen der Physik*. Một tình bạn nảy nở giữa hai con người có cá tính rất khác nhau đôi khi đến trái ngược, dựa trên không phải chỉ những quan tâm khoa học chung, và còn trên sự kính trọng và mối thiện cảm cho nhau. Nhưng thái độ của hai con người lại rất khác nhau đối với những vấn đề của cuộc đời và thời cuộc. “Einstein, một công dân thế giới không quê hương, trong tất cả sự nhân hậu và sẵn sàng giúp đỡ người luôn luôn không quên gìn giữ sự độc lập của mình, hoàn toàn không bị ảnh hưởng bởi môi trường văn hóa và xã hội xung quanh - còn Planck, bám rễ sâu vào các truyền thống gia đình và đất nước của mình, hãnh diện về lịch sử của người Đức và thể hiện tính chất Phổ một cách ý thức trong thái độ ông đối với nhà nước. Nhưng những sự khác biệt này không lớn so với những cái chung: sự hứng thú trong nghiên cứu các bí mật của tự nhiên, sự đồng điệu trong những nguyên tắc triết học của nhận thức và đạo đức, và đặc biệt của niềm vui trong âm nhạc. Họ thường chơi đàn với nhau, Planck với cây dương cầm, Einstein với cây vĩ cầm, trong sự đồng cảm và vui sướng” như Max Born nhận xét. Einstein-Planck, hai cột trụ của hai cuộc cách mạng vĩ đại

trong vật lý của nhân loại, hai tính cách khác nhau, tuổi tác rất khác nhau, Planck lớn hơn Einstein 21 năm, và họ lại là hai người bạn rất thân thiết nhau. Người ta nói: Einstein là thiên tài, Planck là quyền uy. Còn Sommerfeld ở München là người thầy; ông thu hút và cung cấp một loạt nhân tài lỗi lạc cho khoa học, trong đó có Heisenberg. Trong những năm 20, ngành vật lý lý thuyết ở Đức đã phát triển đến thời kỳ tinh hoa từ ánh hào quang của ba vì sao sáng này. Thực tế ngành vật lý lý thuyết, mới ngày nào còn non trẻ, sẽ nhanh chóng trở thành ngành 'khoa học định mệnh' của thế kỷ 20. Planck là người đại diện cho nền khoa học Đức. Ông giữ nhiều chức vụ quan trọng trong nhiều tổ chức khoa học lớn như Hàn Lâm viện Phổ, Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft, Hội Vật lý Đức, Hiệu trưởng Đại học Berlin. Nếu Hermann Helmholtz được mệnh danh là "Thủ tướng vương quốc của vật lý" thì Max Planck được mệnh danh là "Nhà quản lý hiện đại khoa học".

Thế giới chưa bao giờ chứng kiến một sự phát triển bùng nổ như thế vào đầu thế kỷ 20. Tòa nhà vật lý cổ điển của cuối thế kỷ 19 tưởng chừng như vững chắc và ổn định không lay chuyển được đã bị những khám phá của Planck, Einstein, gia đình Curie, Rutherford, Bohr làm rung chuyển nặng nề chưa từng thấy. Arnold Sommerfeld đã bảo rằng, có lẽ tốt nhất người ta nên cảnh báo các sinh viên tò mò trước khi bước vào ngành học vật lý rằng "Cẩn thận, nguy cơ sụp đổ! Do công việc xây cất lại nên tạm thời đóng cửa!". Khám phá này làm ngõ ngành chưa hết thì tiếp đến một khám phá khác làm ngõ ngành diễn ra. Rutherford cho rằng "tội" của sự phát triển này không phải là những nhà khoa học thực nghiệm mà là những nhà vật lý lý thuyết, một ngành mà vị giáo sư von Jolly đã nói với cậu sinh viên trẻ Planck: "Vật lý lý thuyết, đó là một ngành rất đẹp, nhưng hiện tại lại không có ghế giáo sư cho nó. Nhưng cơ bản nó sẽ không đem lại cái gì mới hơn. Vì với sự khám phá nguyên lý bảo toàn năng lượng thì tòa nhà vật lý lý thuyết đã khá hoàn chỉnh. Người ta có thể đó đây quét ra được một hạt bụi trong một góc này hay góc kia của tòa nhà, nhưng một điều gì mới mẻ cơ bản thì Ông sẽ không tìm được."



Arnold Sommerfeld

Tòa nhà thế giới quan của con người đang được xây dựng lại từng mảng lớn. Ai cũng muốn mạo hiểm tham gia vào công việc, để hy vọng có phần đóng góp của mình. Đó là thời đại mà Robert Oppenheimer, một trong nhiều người Mỹ trẻ đã ngược dòng Columbus từ Tân thế giới đi về Cựu thế giới để học vật lý, cho là “thời đại anh hùng”, và công việc xây dựng lại thế giới quan là tác phẩm tập thể của các thiên tài, của những người khổng lồ khác nhau của thế kỷ.

IX. Vinh quang trong nghiệt ngã



Max Planck với vợ Marie, hai con gái sinh đôi Emma và Grete, con trai Karl lớn, và con trai út Erwin, khoảng 1900.



Huy chương Max-Planck

Thời gian trước và sau Thế chiến thứ nhất là gian nan và nghiệt ngã đối với Planck. Ông đã ký tên vào bản kêu gọi của 93 trí thức hàng đầu trong giới khoa học và văn hóa Đức để biện minh cho cuộc chiến của Đức, rồi chứng kiến sự sụp đổ của vương triều, sự thoái vị của vua Wilhelm, sự hỗn loạn về kinh tế và sự bất ổn về chính trị của nước Đức. Cá nhân ông cũng phải hứng chịu những đòn định mệnh nặng nề: năm 1909, vợ ông Marie Planck mất sau 22 năm hôn nhân hạnh phúc, với bốn mặt con; năm 1916 người con trai lớn Karl của ông chết trận gần Verdun; năm sau người con gái Grete chết khi sinh đứa con thứ nhất; hai năm sau, người con gái sinh đôi Emma cùng với Grete, sau khi lấy người chồng góa của Grete, cũng chết giống như thế. Planck đau khổ tột cùng. Ông viết cho Hendrik Lorentz: *“Bây giờ tôi khóc cho những đứa con thân yêu tha thiết của tôi, và cảm thấy bị cướp đoạt, và nghèo đi. Có những lúc tôi nghi ngờ giá trị của chính cuộc sống”*. Ông tự an ủi mình *“rằng con người không có quyền được hưởng những điều tốt đẹp”*. Einstein không cầm được nước mắt khi đến thăm Planck: *“ông ấy giữ mình đứng thẳng và can đảm tuyệt vời, nhưng người ta thấy nỗi đau gặm nhấm ở ông”*.

Năm 1919 ông được công nhận giải Nobel Vật lý cho năm 1918. Phải cần đến gần hai thập kỷ để Quý Nobel ở Stockholm công nhận phát minh vĩ đại của Planck! [Einstein cũng phải chờ đến 17 năm, sau Planck.]¹ Có lẽ vì những phát minh như của Planck, Einstein có giá trị nhiều về lý thuyết hơn về ứng dụng là điều được ghi trong di chúc của A. Nobel!? Thực tế không phải thế. Planck được những nhà vật lý tên tuổi đề nghị như Lorentz, Einstein, Born, Wien và Sommerfeld; ông này cho rằng vật lý đã trở thành

¹ Xin xem thêm bài “Planck và Giải Nobel” của Dieter Hoffmann và Nguyễn Xuân Xanh trong số này.

một vật lý của lượng tử. Đối mặt với sự thật là thuyết lượng tử ngày càng chứng tỏ sự thành công trong nhiều lĩnh vực của vật lý, và rằng, như Laue chỉ trích, giải Nobel không thể phát cho những công trình trên lĩnh vực vật lý lượng tử đang lên, bao lâu Planck không được công nhận, Ủy ban Nobel cuối cùng đã từ bỏ quan điểm cho rằng, những khám phá của Planck chưa đưa đến một lý thuyết nhất quán!

Năm 1929, để vinh danh Planck, huy chương cao quý nhất của ngành vật lý Đức, Huy chương Max-Planck của Hội Vật lý Đức ra đời, và hai người đầu tiên được vinh dự đón nhận là Max Planck và Albert Einstein.

X. Planck và đệ tam Đế chế



Fritz Haber

Sự nắm quyền của quốc xã năm 1933 đã chấm dứt thời đại vàng son của ngành vật lý, cũng như tất cả các ngành khoa học của Đức nói chung. Hitler làm một cuộc thanh lọc toàn diện, đặc biệt ở tất cả các đại học và viện nghiên cứu. Một cuộc di tản khổng lồ của những người làm khoa học tài giỏi (và không phải chỉ có khoa học) sang các nước khác diễn ra, đặc biệt sang Mỹ. Einstein lúc đó may mắn đang ở Mỹ. Ông công khai tố cáo chế độ quốc xã và tuyên bố rút ra khỏi Hàn Lâm viện Phổ, để tránh cho các bạn ông và Planck khỏi sự khó xử sẽ đến. Quả thực đó là một sự khó xử lương tâm. Planck nghĩ chế độ quốc xã rồi sẽ qua đi. Planck không nhảy bén và có cái nhìn xa về chính trị, trước đây trong Thế chiến thứ nhất, và bây giờ. Ông chỉ muốn phục vụ khoa học một cách phi chính trị, vì thế không thấy hết những nguy cơ tàn phá ghê gớm của những cơn bão chính trị. Planck không có hành động cương quyết khi Hàn Lâm viện Phổ lấy thái độ không lấy gì làm tiếc cho việc Einstein ra đi, cũng như đã không cương quyết lấy thái độ bảo vệ Einstein với tư cách Hàn Lâm viện khi Einstein bị nhóm

chống Do Thái công khai tấn công năm 1922¹. Planck còn cho rằng những hành động của Einstein ở nước ngoài, ý nói việc Einstein công khai chống lại chủ nghĩa quốc xã, là làm cho một sự tiếp tục của Einstein tại Hàn Lâm viện cũng không thể tiếp tục được nữa. Sau khi Einstein từ chức rồi, Planck viết những lời sau đây về Einstein như để giải bày với đời sau: *“Tôi tin tôi phát biểu trong sự đồng tình của các đồng nghiệp chuyên môn của tôi và của tuyệt đại đa số tất cả các nhà vật lý khi nói những điều sau đây: Ngài Einstein không chỉ là một trong nhiều nhà vật lý xuất sắc, mà Ngài Einstein còn là nhà vật lý mà qua những công trình đã được công bố của Ngài trong Hàn Lâm viện, nhận thức vật lý trong thế kỷ chúng ta đã có sự thay đổi sâu sắc mà ý nghĩa của nó chỉ có thể so sánh với những công trình của Johannes Kepler và Newton. Tôi sợ dĩ nói điều này là để hậu thế không nghĩ rằng các đồng nghiệp hàn lâm của Ngài Einstein không có khả năng đánh giá tầm quan trọng của Ngài đối với khoa học.”* Sau đó, Planck xin gặp Hitler để can thiệp cho các nhà khoa học gốc Do Thái, nhưng buổi gặp đã thất bại. Mùa hè 1933 ông viết cho Fritz Haber về sự thất vọng: *“Cái duy nhất làm cho tôi cảm thấy nhẹ bớt trong sự chán nản sâu sắc, đó là ý nghĩ, chúng ta đang sống trong thời thảm họa, như mỗi cuộc cách mạng mang đến, và rằng chúng ta phải chấp nhận nhiều cái xảy ra như một hiện tượng tự nhiên, mà không phải đau đầu rằng sự việc không thể khác được hay sao. Nhiều điều nhưng không phải tất cả.”* Hitler vẫn tiếp tục truy bức người gốc Do Thái, đổi lại bằng lời hứa ủng hộ các nhà khoa học Đức trong hoạt động khoa học của họ. Một tuần sau buổi gặp Hitler, Planck đã tuyên bố trong một buổi họp thường niên của Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft (KWG), rằng *“Chính phủ của sự nổi dậy quốc gia, hoàn toàn hiểu rõ tầm quan trọng của nghiên cứu khoa học cho sự phồn vinh của Tổ quốc và vị trí của nó trong cộng đồng các dân tộc, cho nên không những đặt Tổ chức (KWG) dưới sự che chở đặc biệt của nó, mà còn trang bị nó mọi mặt theo sự đòi hỏi của hoạt động của các nhà thông thái không bao giờ ngừng nghỉ.”* Nhưng rồi Planck, người đã vun xới tên tuổi khoa học Đức bằng cách thuyết phục được Einstein, rồi Schrödinger về Berlin, phải lo âu trước tiền đồ của nền khoa học Đức khi những con người trụ cột lần lượt phải bỏ đi: Einstein, Fritz Haber, Schrödinger, người khai sáng thuyết lượng tử sóng, lúc đó kể vị Planck tại Đại học Berlin, mặc dù ông này không phải là Do Thái, cũng không phải là một con người chính trị, mà vì ông ghê tởm cái chế độ độc tài và giáo điều chính trị... Planck không thể ngăn chặn được hơn 40 vị giám

¹ Xin xem thêm bài của GS Dieter Hoffmann trong Kỳ yếu này về quan hệ giữa Planck và Einstein.

đốc của các Viện Kaiser-Wilhelm và cộng tác viên khoa học bị sa thải vì nguồn gốc Do Thái của mình.



Ngày 29 tháng 1 năm 1934, Fritz Haber, nhà Hóa học Đức gốc Do Thái đã có phát minh độc đáo là “lấy được bánh mì từ khí trời” (tổng hợp được ammoniac từ nitơ của khí trời để làm phân bón), một người có tinh thần quốc gia cao độ, vào ‘có công’ là sử dụng vũ khí hóa học đầu tiên trong Thế chiến thứ nhất, lĩnh giải Nobel hóa học cùng năm với Planck, chết vì bệnh và kiệt sức trên đường lưu vong. Một năm sau, Planck tổ chức lễ truy điệu ngày mất, trong sự cấm đoán quyết liệt của quốc xã. *“Tôi tổ chức buổi lễ này, trừ khi cảnh sát bắt tôi đi”*. Và Planck thực hiện buổi lễ truy điệu, với rất nhiều người tham gia, tuy đa số là phụ nữ, vì trước sự cấm đoán của chính quyền quốc xã các nhà khoa học buộc phải gửi vợ họ đi tham gia. Chỉ có Planck và Otto Hahn đọc diễn văn. Planck kết thúc bài diễn văn với câu nói *“Haber đã chung thủy với chúng ta, chúng ta sẽ chung thủy với ông ấy”* như một khẳng định tinh thần đoàn kết với những người bạn và đồng nghiệp của mình bị loại ra khỏi vòng pháp luật. Bản thân Planck cũng bị tổ khổ ác liệt như là “tên Do Thái da trắng” bởi các tay sai của Hitler trong khoa học như Stark và Lenard, và bị lợi dụng để buộc sa thải một cách khéo léo nhiều nhà khoa học khỏi Hàn Lâm viện. Những kẻ tay sai này còn tổ khổ rằng KWG là “một quái thai của Do Thái” (nhiều nhà kỹ nghệ gốc Do Thái đã tài trợ đáng kể cho sự thành lập) và kể cả Hàn lâm viện chỉ là một “Ổ của lực lượng phản động”, bao lâu chúng chưa khuynh đảo được. Thực chất những người này muốn thành lập một nền “vật lý Đức” hoàn toàn theo “tiêu chuẩn Đức” duy ý chí của họ, và phủ nhận hoàn toàn nền vật lý hiện đại đang phát triển như vũ bão trong cộng đồng thế giới.

Những năm giữa 1930, Planck đã mất hết ảo tưởng cuối cùng về chế độ.

Cuối năm 1937 ông bị buộc phải từ chức Chủ tịch Hàn Lâm viện, sau khi quốc xã hoàn toàn khống chế và lũng đoạn tổ chức này. Năm 1938, với sự tài trợ của Quỹ Rockefeller¹, Viện Vật lý Kaiser-Wilhelm mà trước đây do Einstein làm giám đốc nay được chính thức xây dựng mới. Đề nghị của Debrye (là người được bầu làm viện trưởng tương lai) và của các nhà vật lý khác đặt tên viện này là 'Viện Max Planck' không được thực hiện do sự phá hoại của nhóm "Vật lý Đức" cuồng tín. Stark cho rằng Planck "chưa đóng góp đủ cho ngành vật lý để xứng đáng với tên gọi như thế". Cuối cùng, Planck rút lui trong sự chán chường và cay đắng. Từ việc chấp nhận một sự thỏa hiệp nhất định và hợp tác từng phần ban đầu với chế độ, nghĩ rằng để cứu vớt nền khoa học Đức, Planck chuyển qua sự chống đối lại sự thống trị quốc xã vô nhân, thể hiện trong các bài diễn văn của mình. Planck vốn là người thích diễn thuyết để quảng bá nhận thức khoa học. Từ năm 1908, trong những bài thuyết trình đại chúng, Planck đã lấy quan điểm về các cơ sở vật lý có tính cách thế giới quan và nhận thức luận. Đối với công chúng không chuyên nghiệp, ông muốn truyền đạt những kiến thức khoa học mới mẻ nhất. Đối với giới đồng nghiệp, ông muốn củng cố một thế giới quan thống nhất và đối lập với thuyết chứng luận. Đến những năm 30 và 40, những bài diễn thuyết của ông, như "Vật lý trong cuộc chiến đấu cho thế giới quan" (1935), "Về bản chất của tự do ý chí" (1936), "Tôn giáo và khoa học tự nhiên" (1937), "Chủ nghĩa tất định và chủ nghĩa bất định" (1937), "Ý nghĩa và ranh giới của khoa học chính xác" (1941) đều phản ánh sự chống đối chế độ toàn trị quốc xã rõ rệt về mặt tinh thần, thế giới quan, chính trị và đạo lý. Trong bài "Tôn giáo và khoa học tự nhiên" Planck nhấn mạnh tầm quan trọng của những giá trị tôn giáo cần thiết cho hành động đạo đức, và đặt tính chất phi đạo đức và tâm hồn bệnh hoạn của Nazi đối diện với những giá trị của Kitô giáo và của tinh thần nhân bản lành mạnh. Khẩu hiệu của Planck "Hãy hướng về Thượng đế" chính là hình thức phản kháng nội tâm của ông trước chế độ vô nhân. Ông cũng muốn góp phần củng cố niềm tin cho thánh giá.

Tháng 9 năm 1939, quân đội Đức kéo lê sự chết chóc và tàn phá vào hết nước này đến nước khác của châu Âu. Planck, ở tuổi 81, viết cho Laue: *"Hòa bình không đến gần mà lại đi xa. Sự mất trí này, sự tự sát này của giống loài được*

¹ Quỹ đã tài trợ nhiều cho Max-Planck-Gesellschaft, với số tiền lên tới 1 triệu rưỡi đô la mỗi năm. Báo chí Đức bảo sở dĩ như thế là vì những người của dòng họ Rockefeller là có gốc Đức.

ca tụng của chúng ta, còn kéo dài đến bao giờ nữa? Tình hình là tuyệt vọng. Nhưng tôi vẫn luôn còn hy vọng - chứng kiến kết cục”.

Tháng 6 năm 1944, Hàn lâm viện Phổ tổ chức lễ mừng 50 năm Planck là thành viên của Hàn lâm viện. Ông lúc này đã được di tản khỏi Berlin. Mặc dù sức khoẻ đã rất xấu, ông đã 86 tuổi, nhưng Planck cũng quyết định trở lại Berlin, với suy nghĩ để gặp lại bạn bè, đồng nghiệp, và có lẽ nhìn lại thành phố Berlin thân yêu lần cuối. Heisenberg thuật lại quang cảnh buổi lễ một cách cảm động: “Vào lúc mà ông bước vào lễ đường, thì mọi thứ thình lình trở lại như bốn mươi năm trước. Một sự yên tĩnh tức thì ngự trị, mọi người đến chào Planck với sự ngưỡng mộ, người ta nhận rõ, bao nhiêu tình cảm được dâng cho con người này, và người ta cũng có thể cảm nhận, chính ông cũng hạnh phúc khi nhìn thấy những khuôn mặt quen thuộc. Bộ tứ tấu âm nhạc bắt đầu xướng lên, và trong vòng một hay hai giờ, người ta được đưa trở về thời gian của Berlin năm xưa, Berlin văn hóa, ở đó Planck, dĩ nhiên, là nhân cách lãnh đạo, và ở đó một lần nữa cả nền văn hóa của thời đại trước hiện ra trước mặt.”

XI. "Con người không có quyền hạnh phúc"



Erwin Planck trước "tòa án nhân dân" của quốc xã năm 1945

Planck chứng kiến được kết cục của cuộc chiến tranh hủy diệt, nhưng một kết cục đau khổ biết bao cho cá nhân ông! Năm 1944 ngôi nhà đầy kỷ niệm với những tư liệu cực kỳ quý báu của Planck ở đường Wagenheimstrasse, Berlin, trong đó có thư viện, thư tín và các quyển nhật ký, bị phá hủy hoàn toàn¹ bởi các cuộc không kích của đồng minh. Lúc đó,

¹ Thực ra, phần lớn sách vở hay cả tư liệu đã được di tản trước đó sang một nơi an toàn hơn, có lẽ theo lệnh của Max von Laue. Nhưng tất cả đã rơi vào tay Hồng quân, sau đó được đưa về Liên Xô, bị phân tán đi khắp nơi không ai biết. Người ta không hiểu rằng đó là những tư liệu vô giá của Max Planck. Cộng hòa Dân chủ Đức đã ra sức tìm lại di

ông đã được di tản sang nơi khác. Năm 1945, trước khi chiến tranh kết thúc, đứa con trai út Erwin thương yêu nhất còn lại của ông bị quốc xã hành quyết vì có tên trong danh sách chính phủ của một tổ chức ám sát Hitler ngày 20 tháng 7. Planck lặng người đi. Lúc đó ông đã 87 tuổi. Ông ngồi vào cây đàn dương cầm, đánh lên những điệu nhạc mà con trai của ông hằng ưa thích. *“Sự đau đớn của tôi không thể diễn tả được bằng lời... Tôi lại cố gắng ngày qua ngày, để có lại sức, để cam chịu với số phận này. Bởi vì với mỗi ngày lên, một ngọn đèn mới đến với tôi, làm tôi tê tái, và làm mờ đi ý thức sáng sủa của tôi. Sẽ còn lâu tôi mới trở lại sự quân bình tinh thần. Bởi vì nó là một phần quý báu của đời tôi. Nó là tia sáng mặt trời, niềm hãnh diện của tôi, niềm hy vọng của tôi. Cái tôi đã mất đi theo nó, không thể nào được diễn tả bằng lời.”* Nỗi đau kinh hoàng, định mệnh nghiệt ngã như đã bắt Planck phải chịu đựng vào giờ phút cuối đời như thể những đau khổ trước đó vẫn chưa đủ. *“Tôi rất cố gắng tìm lại sức mình, để khỏi lịm đi trước đau thương. Điều giúp tôi ở đây là tôi xem như một ân huệ từ bên trên, rằng kể từ lúc tuổi thơ niềm tin vững chắc, không gì lay chuyển, vào đấng toàn năng, toàn thiện đã bám rễ trong tôi. Dĩ nhiên, con đường của Ngài không phải là con đường của chúng ta; nhưng niềm tin vào Ngài giúp chúng ta vượt qua được những thử thách lớn nhất.”*



Thư viện riêng của Max Planck

XII. Max-Planck-Gesellschaft từ đồng tro tàn

Khi chiến tranh chấm dứt, với sự giúp đỡ của bạn bè, Planck trở về sống ở Göttingen, thành phố của những người thuộc thế hệ trước trong gia đình ông. Berlin giờ đây chỉ còn là đồng gạch vụn. Ông ra sức cứu vãn và tái thiết

sản này, và phía Liên Xô cũng đồng ý cho phép đưa về nếu tìm được, nhưng rồi chẳng ai biết chúng ở đâu. Rút cuộc, chỉ tìm được một ít sách vở và tạp chí. Các tư liệu vô giá như hồi ký, thư tín, bản thảo... không còn nữa!

Tổ chức khuyến khích nghiên cứu khoa học Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft như quan tâm hàng đầu, mặc dù sức khỏe ông đã giảm sút nặng từ nhiều năm do bệnh tuổi già. Phần lớn các Viện Kaiser-Wilhelm bị phá hủy, các thành viên hoặc bị trục xuất, chết hay mất tích; còn vị chủ tịch cuối cùng của Tổ chức thì cũng tự tử sau khi chế độ quốc xã sụp đổ. Từ những vị chủ tịch cũ thì chỉ còn lại có Planck, và ông chính là niềm hy vọng duy nhất để tập hợp lực lượng và cứu sống lại Tổ chức chứ không ai khác. Tháng 9.1945 các viện được phép hoạt động trở lại. Planck nhận lời làm “Chủ tịch danh dự” của Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft tương lai.

Tháng 7 năm 1946, Hàn Lâm viện Anh quốc tổ chức lễ kỷ niệm sinh nhật thứ 300 của Isaac Newton. Lễ này đáng lẽ đã được tổ chức năm 1942, nhưng đã bị hoãn lại vì lý do chiến tranh. Planck là nhà khoa học Đức duy nhất được mời tham dự. Một máy bay quân sự Anh đã đưa ông và vợ sang London. Ông di chuyển rất khó khăn. Tại buổi lễ, Planck được cộng đồng khoa học thế giới chào đón nồng nhiệt và kính cẩn nhất như người đại diện của một ‘nước Đức khác’. Người ta vẫn không quên những đóng góp khoa học lớn lao của ông và thái độ phản kháng tích cực của ông trong thời đệ tam đế chế. Một sự kiện nhỏ diễn ra đã làm ông không vui. Người giới thiệu chương trình xướng lên tên tuổi của các nhà khoa học thế giới như những đại diện của quốc gia họ. Đến lượt Planck thì người đó ngập ngừng một lúc rồi mới tiếp: Giáo sư Planck, đại diện của “No country”! Vâng một nước Đức huy hoàng mà ông đã từng cống hiến cho nó không còn nữa. Người ta kể, ông cảm thấy bị tổn thương nặng nề. Nhưng ông rất đổi vui mừng gặp lại cộng đồng khoa học thế giới, gặp lại người học trò quý mến Lise Meitner năm xưa. Đối với bà, sự gặp lại người thầy cũ kính mến là “một món quà từ trên trời”. Bà buồn vì thấy thầy mình đã già yếu đi rõ rệt, không còn sức sống của năm 1943 trước đó khi bà gặp ông ở Stockholm, nhưng “sự trong sáng và liêm khiết của nhân cách ông vẫn nguyên vẹn qua năm tháng”.



Planck chúc mừng Hahn được nhận giải Nobel hóa học. Bức ảnh này cũng tượng trưng cho sự “chuyển giao thế hệ”: Hahn trở thành chủ tịch đầu tiên của Max-Planck-Gesellschaft từ ngày 1.4.1946. Trong ảnh: phía sau bên trái là von Laue, bên phải là Heisenberg.

Ngày 11 tháng 9 năm 1946, “*Tổ chức nghiên cứu Max-Planck-Gesellschaft nhằm khuếch trương khoa học*” được chính thức ra đời tại Bad Driburg, thay thế cho Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft, phù hợp với nguyện vọng của những người sáng lập, và cũng đúng với ý muốn của chính quyền quân sự lâm thời Anh trong vùng quản lý, không muốn thấy cái tên của vua Wilhelm nữa, vốn là biểu tượng của chủ nghĩa quân phiệt. Max Planck là chủ tịch danh dự của tổ chức. Không còn cái tên nào phù hợp hơn, không còn ai xứng đáng hơn để đặt cho tổ chức. Trong bài phát biểu ngắn trước máy quay phim của báo chí để cảm ơn những người thành lập là những nhà khoa học được giải Nobel còn lại, và để đáp lại sự chúc mừng và ca ngợi của họ, ông nhiều lần đã nghẹn lời.

XIII. Ra đi

Ông vẫn tiếp tục đi diễn thuyết một cách không mệt mỏi. “*Về mặt khoa học, với tuổi 89, tôi không còn sáng tạo nữa; cái còn lại là khả năng tôi theo dõi các tiến bộ khoa học mà công trình của tôi đã đặt nền móng, và thỉnh thoảng, bằng sự lập lại các bài diễn thuyết của tôi, đáp ứng nguyện vọng của những người nỗ lực đi tìm chân lý và nhận thức, nhất là tuổi trẻ.*” Một trong những vị khách cuối cùng đến thăm Planck tháng 7 năm 1947 đã ghi lại vài hình ảnh và cảm nghĩ: “*Tôi không thể nào quên được ấn tượng khi đứng trực diện với một dáng đứng lưng còng của một con người già nua, bước đi ngập ngừng, với cái mũ vải dẹt, và cây gậy.*” Tuy ông không tiếp khách được lâu, nhưng không vì thế mà ông “*làm giảm đi ấn tượng lớn của một nhân cách, dù đã ở tuổi cao và mặc cho những khó khăn thể xác nhưng cũng vẫn còn gây ấn tượng mạnh, trong khi cuộc vật lộn tinh thần của cả một đời đã in sâu vào các vết hằn trên khuôn mặt, và đã hình thành một tấm gương trong sáng của tâm hồn một con người vĩ đại. Nó hòa lẫn với sự khiêm tốn chưa từng có, điều cũng không thể xóa đi sự vĩ đại của tư chất ông như một nhà nghiên cứu và một con người, dù trong một phút giây. Ngược lại: Đứng trước tôi là một trong những con người vĩ đại của thế giới trí tuệ mà bi kịch cá nhân đã không lấy đi được chút nào nhân cách.*”

Vào những ngày cuối đời, ông nói nhiều về cuộc đời, về Thượng đế và thế giới: “*Chịu đựng can đảm trong cuộc chiến đấu cho cuộc đời, và âm thầm tuân thủ vào ý muốn của một quyền lực cao hơn nự trị trên chúng ta.*” Ông “*không thuộc những người để mình cay đắng*” và biết “*vượt cao khỏi thế giới này.*”

Ngày 4.10.1947 ông vĩnh viễn ra đi sau những giờ phút đau đớn. Quan tài được quàn ba ngày tại nhà thờ thành phố Göttingen. Người đến viếng chật ních. Otto Hahn, lúc này đã nhận xong giải Nobel cho hiện tượng phân hạch của mình năm 1938, và Max von Laue, người học trò yêu quý nhất của Planck và được giải Nobel trước cả thầy mình, đọc diếu văn. Laue đứng bên cạnh quan tài được phủ đầy những vòng hoa, nghẹn ngào trong nước mắt: “Và ở kia còn một vòng hoa tang giản dị. Tôi đã đặt nó xuống để thay mặt cho toàn thể những học trò mà tôi là một thành viên trong đó, như một dấu tích phù vân của tình yêu và lòng biết ơn vĩnh cửu của chúng tôi.”

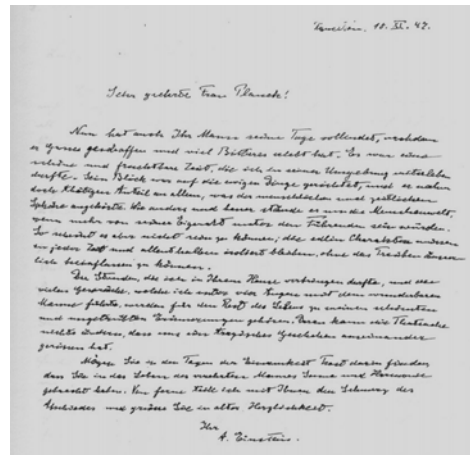
Quan tài ông được các sinh viên vật lý khiêng ra xe và đưa về nghĩa trang thành phố trong tiếng chuông đổ của tất cả các nhà thờ thành phố.

Trong những lá thư chia buồn từ khắp nơi trên thế giới gửi về cho góa phụ Marga Planck, người vợ thứ hai của ông, có một lá thư gửi từ Princeton, N.J., của Albert Einstein:

“Bây giờ cũng đến lượt chồng Bà hoàn tất những ngày của ông ấy, sau khi ông ấy đã làm được cái vĩ đại và ném trái cái đấng cay. Đó là một thời gian đẹp và thành công mà tôi được phép cùng trải nghiệm trong sự gần gũi với ông ấy. Mắt ông hướng về những cái vĩnh cửu, nhưng ông vẫn dự phần hằng ngày vào tất cả những gì thuộc về phạm vi con người và thời đại. Thế giới con người sẽ khác đi và tốt đẹp biết bao, nếu có nhiều hơn nữa những người lãnh đạo như ông. Nhưng điều đó dường như không thể có được. Những tính cách cao thượng trong mỗi thời đại và ở khắp nơi vẫn luôn bị cô lập, không thể ảnh hưởng được cuộc đời bên ngoài.

Những giờ phút tôi được phép trải qua ở nhà của Ông Bà, những cuộc trò chuyện mà tôi đã thực hiện riêng với con người tuyệt vời, sẽ thuộc về những kỷ niệm đẹp nhất trong phần đời còn lại của tôi. Điều đó vẫn đúng, mặc dù một biến cố bi thảm đã chia cắt chúng tôi.

Tôi cầu chúc Bà trong những ngày cô đơn tìm thấy niềm an ủi rằng Bà đã đem ánh sáng và sự hài hòa vào đời của con người được kính yêu. Từ xa, tôi xin chia sẻ với Bà nỗi đau của cuộc chia ly.”



Thư chia buồn của A. Einstein gửi bà Marga Planck.

(Nguồn: [5])

(Nguồn: Hans Roos & Armin Hermann [4])

Planck đã đi tìm cái vĩnh cửu, tuyệt đối, và ông đã được toại nguyện: những khám phá vĩ đại của ông trong khoa học, thuyết lượng tử, hằng số tác động h , cùng với tên tuổi của ông đã trở thành những cái vĩnh cửu, tuyệt đối trong vũ trụ và thế giới chúng ta. Hằng số h , với trị số của nó, được khắc lên bia mộ của ông tại nghĩa trang thành phố Göttingen như biểu tượng của một khám phá vĩnh hằng đã theo ông suốt cuộc hành trình gian khổ.

“Tuy cuộc đời vĩ đại của ông đã hạ xuống không chiếu sáng mà bị bao bọc bởi một lớp mây dày của đau khổ. Nhưng chúng ta biết rằng trong tương lai xa nó sẽ chiếu sáng”, như Wilhelm Westphal, người thuộc giới vật lý Berlin và rất gần gũi với gia đình Planck đã nhận xét. Đúng thế, cuộc đời vĩ đại của ông sáu mươi năm sau khi mất giờ đây chiếu sáng hơn bao giờ hết.

Từ *The New York Times* ngày 5 tháng 10 năm 1947 viết trong bài cáo phó một ngày sau khi Planck mất: “Planck là một trong những người khổng lồ trí thức của thế kỷ 20, một trong những trí thức ngoại hạng của tất cả mọi thời đại. Như người cha của thuyết lượng tử, ông được xếp hạng với những người bất tử của khoa học, như Archimedes, Galileo, Newton và Einstein.”

Tài liệu tham khảo:

1. Max Planck, *Die Ableitung der Strahlungsgesetze*. Ostwalds Klassiker der Exakten Wissenschaften, Band 206. Verlag Harri Deutsch, 2007.
2. Armin Hermann, *Planck*. Rohwohlt, 1973.
3. Armin Hermann, *The Genesis of Quantum Theory (1899-1913)*. MIT

Press Classic, 1971.

4. Hans Roos & Armin Hermann, *Max Planck. Vorträge, Reden, Erinnerungen*. Springer, 2001.

5. Dieter Hoffmann, *Max Planck. Die Entstehung der modernen Physik*. C.H.Beck, 2008.

6. John L. Heilbron, *Max Planck*. Hirzel, 2006.

7. Ernst P. Fischer, *Der Physiker. Max Planck und das Zerfallen der Welt*. Siedler, 2007.

8. William H. Cropper, *Great Physicists*. Oxford University Press, 2004.

9. Max von Laue, *Zu Max Plancks 100. Geburtstage*. Trong Max von Laue, *Aufsätze und Vorträge*. Vieweg, 1961.

10. Walther Gerlach, *Max Planck*. Trong *Die Grossen*, Band IX, 1. Kindler Verlag, 1976.

11. Max Born, *Max Planck*. Trong *Die Grossen Deutschen*, Band 4. Propyläen Verlag, 1957.

12. Hans Hartmann, *Max Planck als Mensch und Denker*. Karl Siegmund Berlin, 1943.

13. Werner Heisenberg, *Schritte über Grenzen*. Piper, 1977.

14. Werner Heisenberg, *Physik und Philosophie*. Ullstein Materialien, 1981.

15. MaxPlanck, *Vorträge und Ausstellung zum 50. Todestag*. Do Max-Planck-Gesellschaft, München xuất bản 1997.

16. Max Planck, *Revolutionär wider Willen*. Spektrum der Wissenschaft, Biografie, 1/2008.

17. Max Planck und die Max-Planck-Gesellschaft. Zum 150. *Geburtstag*. Berlin, 2008.

18. Robert Jungk, *Heller als Tausend Sonnen*. Das Schicksal der Atomforscher. Rororo, 1983.

19. Domenico Giulini, *Max Planck und die Begründung der Quantentheorie*, preprint 2001.

20. Martin J. Klein, *Planck, Entropy, and Quanta*. Trong The Natural Philosopher I. Blaisdell Publishing Company, 1963.

21. Abraham Pais, "Raffiniert ist der Herrgott...". Albert Einstein, Eine wissenschaftliche Biographie. Vieweg, 1986.

22. Nguyễn Xuân Xanh, *Einstein*. NXB Tổng hợp Thành phố Hồ Chí

Minh, 2007. Fahasa phát hành.

*Thành phố Hồ Chí Minh ngày 20.4,
được sửa chữa và bổ sung ngày 4.11.2008*

NGUYỄN XUÂN XANH

ĐỌC MAX PLANCK

Abstract: Reading Max Planck through his different writings with philosophical contents such as “Scientific Autobiography”, “Science and Faith”, “Causation and Free Will”, “Religion and Natural Science”, “Sense and Limits of Exact Science”, “Unity of Physical World View”...

... người ta chỉ học, khi người ta tự đặt cho mình câu hỏi.

Niềm hạnh phúc của nhà nghiên cứu không phải nằm ở chỗ nắm giữ được chân lý, mà ở chỗ phấn đấu đi tìm chân lý.

Không có khoa học nào, sự tự nhận thức nào có thể giải thích cho chúng ta một cách trọn vẹn rằng chúng ta, trong một hoàn cảnh nhất định của cuộc đời, sẽ tự hành động như thế nào.

Cái huyền diệu là trong tất cả các hiện tượng của tự nhiên có một tính quy luật phổ quát ngự trị ở mức độ nào đó có thể nhận thức được cho chúng ta.

Có một chân lý phổ quát: người ta, để có được thành công, nên đặt các mục tiêu cao hơn là chúng cuối cùng có thể đạt được.

Châm ngôn của tôi luôn luôn là: suy nghĩ mỗi bước đi trước đó, rồi sau đó, nếu người ta tin tưởng có thể trách nhiệm được cho nó, thì không còn để cái gì lay chuyển được nữa.

Khái niệm tự do của ý chí con người chỉ có nghĩa, rằng con người cảm thấy tự do trong nội tâm, và điều đó có đúng hay không, chỉ có anh ta biết.

Đó là một sự tự dối mình nguy hiểm, nếu người ta tìm cách thanh toán một mệnh lệnh đạo đức khó chịu bằng cách viện dẫn một định luật tự nhiên không thể thay đổi được.

Cái lừa dối chúng ta, không phải giác quan, mà là lý trí của chúng ta.

Không một ông vua khoa học nào mà, nếu cần thiết, không có ý muốn và năng lực làm công việc của một người đánh xe chở hàng, trong phòng thí

nghiệm, hay trong phòng lưu trữ, ở ngoài trời hay tại bàn làm việc.

Nếu chúng ta chỉ nhìn nhận một ý tưởng khoa học mới khi nó đã chứng minh được sự chính đáng của nó một cách dứt khoát rồi, vâng nếu chúng ta chỉ đòi hỏi thôi, rằng ngay từ đầu nó có một ý nghĩa có thể hiểu được rõ ràng chứa đựng trong đó, thì chúng ta có thể sẽ gây ra thiệt hại nặng nề cho sự tiến bộ khoa học. Vì chúng ta không được phép quên rằng thông thường chính những ý tưởng không có một ý nghĩa rõ ràng mới là những cái đã mang lại cho khoa học những động cơ mạnh mẽ nhất thúc đẩy sự phát triển đi lên.

Trong mọi trường hợp chúng ta nên, như tôi nghĩ, bám theo giả thiết cơ bản của mọi nghiên cứu khoa học, là tất cả hiện tượng trên thế giới diễn ra độc lập với con người và với các dụng cụ đo đạc của nó.

... tôi từ lâu đã có khuynh hướng tín ngưỡng sâu sắc, tuy nhiên tôi không tin vào một Thượng đế bằng hình người, lại càng không tin vào Chúa Ki tô. [...] Con đường của Ngài không phải con đường của chúng ta, nhưng niềm tin vào Ngài giúp chúng ta vượt qua được những thử thách khó khăn nhất.

Các nỗ lực vô vọng của tôi nhằm sáp nhập lượng tử tác dụng một cách nào đó vào lý thuyết cổ điển kéo dài nhiều năm liền và tốn nhiều công sức cho tôi. Các đồng nghiệp của tôi cho đó là một loại bi thảm. Nhưng tôi lại có ý kiến khác. Bởi vì, sự thu hoạch mà tôi nhận được từ sự làm sáng tỏ đó lại càng có giá trị hơn.

“Cái gì đã đưa tôi đến khoa học của tôi...”

Điều đã đưa tôi đến khoa học của tôi, và từ thuở thiếu niên đã làm cho tôi say mê, là sự thật hoàn toàn không tự nhiên chút nào, rằng các quy luật tư duy trùng hợp với các tính quy luật trong tiến trình diễn ra của các ấn tượng mà chúng ta nhận được từ thế giới bên ngoài, rằng do đó con người có khả năng tìm được những sự giải thích cho các tính quy luật kia. Trong quá trình đó, điều quan trọng đặc biệt là thế giới bên ngoài biểu thị một cái gì độc lập với chúng ta, và tuyệt đối, mà chúng ta đối mặt với nó, và đối với tôi, cuộc tìm kiếm các định luật cho cái tuyệt đối kia hiện ra như một nhiệm vụ khoa học đẹp nhất của cuộc đời.

Những suy nghĩ này được hỗ trợ và khích lệ bởi những giờ giảng bài tuyệt vời mà tôi đã nhận được nhiều năm liền tại trường trung học Maximilians-Gymnasium của thầy toán Herman Müller, một con người ở tuổi trung niên, sắc sảo và hài hước, đã biết diễn giải ý nghĩa của các định

luật vật lý mà ông dạy cho bọn học sinh chúng tôi bằng những thí dụ đặc sắc. Cho nên, tôi cảm nhận định luật thứ nhất, nguyên lý bảo toàn năng lượng, như một *tin lành*, đó là một định luật có hiệu lực tuyệt đối độc lập với chúng ta. Điều không quên được đối với tôi là sự giải thích mà thầy Müller đã cho chúng tôi trong thí dụ của thế năng của một người thợ hồ đang vận chuyển khó nhọc một viên đá xây dựng lên mái nhà. Công mà ông đã thực hiện không hề biến mất; nó được tích tụ, cả năm trời, cho đến ngày viên đá đó tách ra khỏi mái nhà, và rơi lên đầu của một người khách bộ hành đi qua.

Sau khi kết thúc trường trung học, tôi lên đại học, trước nhất ba năm... tại Đại học München... Một ghế giáo sư cho môn Vật lý lý thuyết, lúc đó chưa có ở München, cũng giống như ở các đại học khác...

Một năm sau luận án, tôi được phép hoạt động khoa học với tư cách Privatdozent ở München. Tôi phải nhận xét không phải không thất vọng, rằng ấn tượng về các bài luận văn tiến sĩ và habilitation của tôi trong cộng đồng vật lý học lúc bấy giờ là bằng không. Tôi biết từ các cuộc nói chuyện với các vị giáo sư của tôi, rằng không ai trong họ có một sự hiểu biết về nội dung. Họ cho qua công trình của tôi, bởi vì họ biết tôi từ những công việc khác trong các giờ thực tập, và trong seminar toán. Nhưng ngay cả trong những nhà vật lý gần gũi hơn với đề tài, tôi cũng không thấy có sự quan tâm này, nói chi đến sự tán thưởng...

Tôi tin đã tìm thấy một tia sáng trong bóng tối nhiệt động học khi phân khoa triết học của Đại học Göttingen tổ chức một giải thưởng về đề tài "Nguyên lý bảo toàn năng lượng". Cho nên, tôi quyết định tham gia vào cuộc thi, và soạn một bài nghiên cứu nhỏ, và nó được công bố trong dư luận sau đó. Tại Göttingen, công trình của tôi được xếp hạng thứ hai. Ngoài bài của tôi ra còn có hai bài nữa, cũng đều không được đăng quang. Đi tìm hiểu vì sao bài của tôi không được xếp hạng nhất, tôi tìm thấy câu trả lời trong bảng đánh giá chi tiết của phân khoa Göttingen. Sau một vài phê bình nhỏ không đáng kể, bảng đánh giá viết: *"Sau cùng, phân khoa phải khước từ sự đồng ý của mình vì các nhận xét mà qua đó tác giả đã tỏ ra hài lòng cho có lệ với định luật Weber."*

Các nhận xét này có tình tiết như sau. Wilhelm Weber là giáo sư vật lý ở Göttingen. Giữa ông và Helmholtz có một cuộc tranh cãi khoa học căng thẳng mà tôi đã đứng về phía Helmholtz một cách kiên quyết. Tôi tin mình không nhầm lẫn khi tôi cho điều đó là lý do chính khiến cho phân khoa ở

Göttingen đã từ chối giải nhất cho tôi. Nếu bằng thái độ của tôi, tôi đã làm mất đi sự tán thưởng của các giáo sư Göttingen, thì bù lại mặt khác tôi đã gây sự chú ý của các vị giáo sư ở Berlin, và tôi sẽ cảm nhận được điều đó một cách nhanh chóng... Đầu năm 1889, theo đề nghị của phân khoa triết học Berlin, tôi được bổ nhiệm làm đại diện môn vật lý lý thuyết tại đại học, đầu tiên là ngoại ngạch, và từ 1892 trở đi là chính ngạch.

Đó là những năm tôi đã làm một cuộc mở rộng mạnh mẽ nhất của cả tư duy khoa học của tôi. Vì giờ đây, lần đầu tiên tôi tiếp xúc gần gũi hơn những con người lúc đó đã lãnh đạo hoạt động nghiên cứu khoa học trên thế giới...

Một chân lý mới của khoa học thường thắng lợi không phải bằng cách những kẻ chống đối nó sẽ được thuyết phục và tuyên bố mình được dạy dỗ, mà đúng hơn bằng cách những kẻ chống đối dần dần chết đi, và thế hệ mới ngay từ đầu được làm quen với nó.

Trong *Tự thuật khoa học*
(Wissen-schaftliche Autobiographie).

Khoa học và niềm tin

Khoa học đòi hỏi một tâm hồn có niềm tin. Ai dẫn thân nghiêm túc vào lao động khoa học của bất cứ loại nào đều nhận ra rằng trên cổng vào đền thờ khoa học có viết mấy chữ: *Hãy có niềm tin*. Đó là phẩm chất mà những người làm khoa học không thể thiếu.

Một người cầm trong tay một khối lượng những kết quả thu lượm được từ một quá trình thí nghiệm phải có một hình ảnh giàu tưởng tượng về định luật mà anh ta theo đuổi. Anh ta phải thể hiện nó vào một giả thiết tưởng tượng. Khả năng lý luận thôi không giúp anh ta đi thêm một bước nào, bởi không có trật tự nào hiện ra từ cái hỗn độn của các yếu tố kia trừ khi có một phẩm chất kiến tạo của tư duy để xây dựng nên trật tự bằng một quá trình khử bỏ và chọn lọc. Rồi chương trình tưởng tượng mà người ta cố gắng làm các cuộc kiến tạo trên đó lại bị sụp đổ và sụp đổ, và chúng ta phải bắt đầu lại cái khác. Viễn quang giàu tưởng tượng này, và niềm tin vào sự thành công cuối cùng là không thể thiếu được. Ở đây không có chỗ đứng cho con người thuần lý.

Như một sự thật, Kepler là một thí dụ hùng hồn cho điều tôi vừa nói. Cuộc đời ông diễn ra trong cảnh túng quẫn, thất vọng nặng nề, chạy ăn một cách đáng cay, thường xuyên sống dưới áp lực kinh tế. Đau đớn nhất của ông có lẽ là phải đứng ra bảo vệ mẹ mình trước lời buộc tội phù thủy đối với

bà. Nhưng điều mà trong hoàn cảnh nào cũng vẫn giữ cho ông ngẩng cao đầu, và vẫn có khả năng lao động, đó chính là khoa học, nhưng không phải chỉ vì mớ số liệu của các quan sát thiên văn, mà là niềm tin của ông vào sự ngự trị của các định luật hợp lý trong vũ trụ. Điều đó người ta thấy đặc biệt rõ hơn khi làm một cuộc so sánh với vị thầy và thủ trưởng của ông là Tycho Brahe. Ông này có cùng những kiến thức khoa học, của cùng chất liệu quan sát, nhưng ở ông lại thiếu đi niềm tin về những định luật vĩnh hằng vĩ đại. Vì thế Tycho de Brahe vẫn là một trong nhiều nhà nghiên cứu xứng đáng, trong khi Kepler trở thành người khai sáng ngành thiên văn hiện đại.

Một tên tuổi khác xuất hiện trong khuôn khổ này: Julius Robert Mayer, mà khám phá của ông về sự tương đương nhiệt cơ học không bao lâu sẽ kỷ niệm 100 năm. Nhà nghiên cứu này tuy đau khổ về sự thiếu thốn vật chất ít hơn là đau khổ vì sự làm ngơ trước lý thuyết của ông về tính chất không-phá-hủy-được của lực trong giới chuyên môn của ông, bởi giới này lúc bấy giờ, vào giữa thế kỷ trước, rất đa nghi tất cả những gì có mùi vị triết học tự nhiên. Nhưng ông không để mình bị ảnh hưởng bởi sự im lặng dai dẳng, và ông cũng ít tìm được sự an ủi hay thỏa mãn ở điều ông đã khám phá, mà nhiều hơn ở điều ông tin vào, và cuối cùng ông còn chứng kiến được, rằng sau những năm đau khổ của cuộc chiến đấu không ngừng nghỉ, Hội những Nhà nghiên cứu tự nhiên và Bác sĩ Đức, mà trung tâm là Hermann Helmholtz, trong hội nghị thường niên năm 1869 tại Innsbruck đã mang lại cho ông sự công nhận đã thiếu từ lâu.

Trong Khoa học và niềm tin
(Wissenschaft und Glaube)

“... có một điểm...”

... có một *điểm*, một *điểm duy nhất* trong thế giới tinh thần và thế giới tự nhiên vô cùng tận; một điểm mà mỗi một khoa học, và do đó mỗi một sự xem xét có tính cách nhân quả, nói một cách không những thực tế, mà còn logic, là không bao giờ tiếp cận được, và sẽ vẫn mãi mãi là không thể nào tiếp cận được:

Điểm đó chính là cái Tôi

Một điểm nhỏ xíu trong phần thế giới, nhưng là cả một thế giới, thế giới mang nặng trong mình hạnh phúc cao nhất, bên cạnh đau khổ cũng sâu thẳm nhất, là tài sản duy nhất mà không quyền năng của số phận nào có thể cướp đi khỏi chúng ta được, và cái đó chỉ có thể mất đi một ngày nào đó trong tương lai cùng với cuộc đời của chúng ta. Không phải thế giới nội tâm

riêng của mình vượt khỏi sự xem xét có tính chất nhân quả. Nói một cách căn bản, không có gì cản trở chúng ta, để chúng ta hiểu được trọn vẹn mỗi sự trải nghiệm trong sự tất yếu nhân quả một cách chặt chẽ của nó.

Nhưng để được như thế, một điều kiện khó khăn nhất không thể thiếu được: Sau lần trải nghiệm kia, chúng ta phải cực kỳ khôn ngoan hơn.

Trong *Quy luật nhân quả và tự do của ý chí* (Kausalgesetz und Willensfreiheit).

Hai mươi năm nhìn lại

Nếu nhìn lại thời gian hai mươi năm giờ đã trôi qua, lúc khái niệm và độ lớn của lượng tử tác dụng trong vật lý lần đầu tiên bắt đầu lộ xác hình thành từ mớ dữ kiện thực nghiệm, và bước lên con đường dài lắm quanh co cho đến lúc bức màn được vén lên, thì cả sự phát triển đối với tôi hôm nay đôi khi giống như một sự minh họa cho lời nói đã được thử thách của Goethe, rằng *con người làm lỗi bao lâu nó còn phấn đấu* (der Mensch irrt solange er strebt). Và cả lao động tinh thần của một người làm nghiên cứu mệt nhọc xem như hoài công hay tuyệt vọng, nếu thực sự nó thỉnh thoảng không nhận được sự chứng minh không-bác-bỏ-được rằng cuối cùng anh ta sau những chuyến phiêu du đủ mọi hướng ít ra cũng đã đến gần chân lý thêm một bước thật quyết định. Giả thiết tất yếu cho điều đó, dù còn lâu cũng chưa phải là một bảo đảm cho thành công, dĩ nhiên là sự theo đuổi một mục đích mà sức chiếu sáng của nó cũng không bị làm mờ đi bởi những thất bại ban đầu.

Trong bài diễn văn Nobel
Sự hình thành và phát triển đến nay của thuyết lượng tử, 1920

Con người, khoa học và cuộc đời...

Khoa học chính xác bắt rễ từ cuộc sống. Nhưng nó gắn bó với cuộc sống theo hai nghĩa. Bởi vì nó không chỉ lấy chất liệu từ cuộc sống, mà cũng còn tác động lên cuộc sống, lên phần vật chất và tinh thần, và trong thực tế càng mãnh liệt và hiệu quả hơn khi nó có thể phát triển càng ít bị cản trở hơn. Điều này được thể hiện một cách rất đặc biệt. Trước tiên, trong hoạt động ở thế giới quan mà nó đã tạo ra, và trên đường tìm kiếm cái thực tồn siêu hình học với mức độ ngày càng phát triển, khoa học tự tách xa khỏi những dữ liệu đã có và những lợi ích của cuộc sống, và bằng cách nó đi vào những con đường ngày càng cô đơn, và ít trực quan hơn. Nhưng chính trên những con đường này, và chỉ trên những con đường đó, các mối quan hệ có tính cách

quy luật, phổ quát, không thể thấy trước được bằng phương thức khác, mới được khám phá. Và những mối quan hệ đó bây giờ có thể được thông dịch lại vào cuộc sống, và bằng cách đó làm lợi ích cho các nhu cầu vật chất của con người.[...]

Trước những sự thật như thế (những hệ quả tiêu cực của khoa học) có lẽ có những người mà với thời gian đã hoàn toàn quên sự kì diệu đi, sẽ nảy ra ý định học lại từ đầu. Và sự thật: đứng trước tự nhiên vô cùng phong phú, và không ngừng đổi mới, con người, dù anh ta có tiến xa trong nhận thức khoa học đến đâu, cũng vẫn luôn luôn là đứa trẻ ngạc nhiên, và luôn chuẩn bị cho mình trước những ngạc nhiên mới.

Cho nên, chúng ta thấy mình trong cả cuộc đời bị khuất phục dưới một quyền lực cao hơn, mà bản chất của nó, chúng ta, từ quan điểm của khoa học chính xác, không bao giờ lý giải được, quyền lực mà không một ai biết suy nghĩ có thể bỏ qua được. Ở đây, đối với một con người suy ngẫm, không những có những mối quan tâm khoa học mà cả siêu hình học, thì có hai loại thái độ để lựa chọn: hoặc sợ hãi và kháng cự một cách thù địch, hoặc tôn kính và tận tụy tin tưởng. Nếu chúng ta hướng mắt nhìn về tổng số của những đau khổ vô vàn và sự hủy hoại thường xuyên về tài sản và máu huyết đã luôn xảy đến cho con người tự bao đời, chúng ta sẽ bị cám dỗ để đồng thuận với các nhà triết học về chủ nghĩa bi quan, khi họ chối từ giá trị của cuộc sống và bảo vệ ý kiến cho rằng chúng ta không thể nói về một sự tiến bộ bền bỉ, về một sự phát triển cao hơn của nhân loại, rằng ngược lại mỗi một nền văn hóa, một khi nó đã đạt được đỉnh cao nhất định, thì quay những cái gai của nó đâm vào chính bản thân nó, và lại tự hủy diệt một cách vô nghĩa và không mục đích.

Một quan niệm chung như thế có thể được biện minh bằng khoa học chính xác hay không? Câu hỏi này phải được phủ định ngay bởi vì khoa học không đủ thẩm quyền cho sự trả lời nó. Từ quan điểm khoa học, người ta có lẽ cũng có thể đại diện cho quan niệm ngược lại, và ngay cả với nhiều lý lẽ hơn. Người ta phải mở rộng hơn sự xem xét, không phải tính đến hàng trăm năm, mà đến hàng nghìn năm. Hay là có ai đó thực sự nghiêm chỉnh phủ nhận sự thật là con người của chủng loài hiện đại qua cả trăm nghìn năm qua đã không có một sự tiến bộ, một sự hoàn thiện nào? Tại sao sự phát triển cao hơn này không tiếp tục, nếu không theo đường thẳng, thì ít ra theo các đường dợn sóng?

Dĩ nhiên: những suy nghĩ như thế không ích lợi gì cho từng con người

riêng lẻ, nhìn dài hạn, chúng không đem lại cho anh ta sự giúp đỡ nào trong cảnh túng thiếu, hay một sự chữa trị nào cho những đau khổ của anh ta. Đối với anh ta, không còn có gì khác hơn ngoài một sự chịu đựng can đảm trong cuộc chiến đấu vì cuộc đời, và một sự tuân thủ âm thầm vào ý muốn của một quyền lực cao hơn ngự trị trên anh ta. Bởi vì, không một yêu sách chính đáng nào về hạnh phúc, thành công và sự an lành trong cuộc đời được đặt vào cái nôi cho bất cứ ai trong chúng ta. Cho nên, chúng ta phải tiếp nhận mỗi diễn biến thân thiện của định mệnh, mỗi một giờ phút được sống vui như một món quà không xứng đáng, vâng, với trách nhiệm gắn liền. Cái duy nhất chúng ta chắc chắn được quyền xem là tài sản của chúng ta, tài sản cao quý nhất, cái mà không quyền lực nào của thế giới có thể cướp đi được, và là cái có thể làm chúng ta hạnh phúc lâu dài, đó là quan niệm căn bản về đạo đức và tinh thần trong sáng có dấu ấn trong sự chu toàn trách nhiệm một cách có lương tâm. Và ai được điểm phúc cùng hoạt động cho sự xây dựng nền khoa học chính xác, người ấy sẽ cùng với nhà thơ Đức vĩ đại chúng ta tìm thấy sự hài lòng, và hạnh phúc nội tâm của anh ta trong sự ý thức, rằng đã nghiên cứu cái có-thể-nghiên-cứu-được, và chiêm ngưỡng cái không-thể-nghiên-cứu-được.

Trong Ý nghĩa và Biên giới của khoa học chính xác
(Sinn und Grenzen der exakten Wissenschaft)

Chiến đấu cho một thể giới quan khoa học

Thưa Quý Ông Bà,

Vật lý có liên quan gì đến cuộc chiến đấu cho thể giới quan? Có thể có người trong Quý Vị sẽ có khuynh hướng hỏi, nếu người đó suy nghĩ về ý nghĩa của đề tài mà tôi hôm nay muốn có một đóng góp. Vật lý xét ra chỉ thuần nghiên cứu các đối tượng và diễn biến của thể giới vô sinh, trong khi người ta đòi hỏi từ một thể giới quan, nếu nó thỏa đáng cách nào đó, rằng nó phải bao trùm cả cuộc sống thể xác lẫn tinh thần, và có thái độ về tất cả câu hỏi về tinh thần cho đến những vấn đề khó nhất của đạo đức học.

Dù câu hỏi thoạt tiên có vẻ hiển nhiên như thế nào, nhưng khi xem xét kỹ, nó không đứng vững được. Trước nhất phải nói rằng, tự nhiên vô sinh cũng thuộc về thể giới, rằng cho nên một thể giới quan, nếu có yêu sách về giá trị rộng lớn, cần phải để ý đến các định luật của tự nhiên vô sinh, và rằng nhìn lâu dài nó sẽ không đứng vững nếu mâu thuẫn với các định luật kia. Tôi không cần phải lưu ý ở đây về hàng loạt các giáo điều tôn giáo mà

khoa học vật lý đã đẩy vào chỗ chết.

Nhưng với tác dụng tiêu cực và làm tan rã như thế, ảnh hưởng của vật lý lên thế giới quan chưa nói lên được đầy đủ. Ngược lại, nó tác động mạnh hơn bằng đóng góp của nó vào việc xây dựng tích cực. Trước tiên về mặt hình thức. Người ta biết rằng các phương pháp của khoa học vật lý, vì tính chính xác của nó, đã tỏ ra hiệu quả một cách đặc biệt, và cũng qua đó, trong phương diện nào, đã trở thành tấm gương cho các ngành khoa học tinh thần. Như mỗi một khoa học xuất phát nguyên thủy từ cuộc sống, nên vật lý thực tế cũng không bao giờ tách rời khỏi những nhà nghiên cứu, những người tiến hành nó, và mỗi nhà nghiên cứu đồng thời cũng là một nhân cách, với tất cả những tính chất trí thức và đạo đức. Do đó, thế giới quan của nhà nghiên cứu luôn luôn tác động lên phương hướng của công việc khoa học của anh ta, và dĩ nhiên, ngược lại sau đó các kết quả của việc nghiên cứu của anh ta cũng sẽ không phải không có ảnh hưởng lên thế giới quan của anh ta. Trình bày chi tiết điều này cho vật lý, tôi thấy đó là nhiệm vụ chính của các phần trình bày của tôi hôm nay. Do đó tôi hy vọng, nếu không nhận được sự đồng ý hoàn toàn, thì cũng ít nhất không nhận sự mâu thuẫn từ Quý Vị, nếu tôi nói rằng, vật lý trong cuộc chiến đấu cho thế giới quan có một vũ khí để sử dụng, thực tế một vũ khí rất sắc bén.

[...]

Một nền khoa học không có năng lực hay ý hướng tác động vượt khỏi khuôn khổ của dân tộc, thì không xứng đáng với cái tên của nó.

Tính không-mâu-thuẫn khoa học của vật lý hàm chứa trực tiếp yêu cầu có tính cách đạo đức của tính-đúng-thật và tính-chân-thật, điều cũng có giá trị đối với tất cả các dân tộc văn hóa và cho mọi thời đại, và vì thế nó được quyền đòi hỏi vị trí hàng đầu và cao cả nhất của đức hạnh.

Tính công bằng là không tách rời khỏi tính-đúng-thật... Như các định luật tự nhiên vững chắc và do đó có tác dụng, trên diện rộng cũng như hẹp, thì cuộc sống chung của con người cũng đòi hỏi sự bình đẳng cho tất cả mọi người... Thật là bất hạnh cho một cộng đồng nếu ở đó cảm giác về sự bảo đảm công lý bị rung lay, ở đó nếu trong các cuộc tranh chấp luật pháp, vị trí và nguồn gốc xã hội lại đóng một vai trò quan trọng [...]

Cái cơ bản không phải là sở hữu bền vững, mà chính là cuộc chiến đấu không ngừng, hướng về mục tiêu lý tưởng, là cuộc đổi mới cuộc sống hằng ngày, hằng giờ, gắn bó với sự chiến đấu không ngừng luôn luôn bắt đầu lại mới, chiến đấu cho sự cải thiện tốt hơn, và cho sự hoàn thiện.

Chúng ta cuối cùng phải tự hỏi, không phải một sự gắng sức không ngừng nhưng vô vọng như thế làm cho chúng ta không thỏa mãn một cách cao độ hay sao? Một thế giới quan còn có một giá trị nào chăng, nếu nó không chỉ ra cho những người đã hằng hiến mình cho nó ít nhất một điểm duy nhất vững chắc ở đâu đó trong cuộc đời để đem lại một điểm tựa lâu bền và trực tiếp trong những đau khổ liên miên và trong sự quay vòng không ngừng của tồn tại của họ?

Chúng ta muốn sung sướng cho rằng câu hỏi này rất có thể cho phép một câu trả lời tích cực. Thực sự: có một điểm cố định, một tài sản vững chắc mà trong mỗi phút giây mỗi con người, dù thấp kém nhất, cũng có thể gọi là của anh ta, một kho báu bảo đảm đem lại cho mỗi con người tư duy và cảm xúc cái hạnh phúc lớn nhất của anh ta, sự thanh bình nội tâm, và do đó một giá trị vĩnh hằng ngự trị trong anh ta. Đó là một thái độ thuần khiết và một ý hướng tốt. Hai điều đó chính là mảnh đất thả neo vững chắc trong những thời đông bão của cuộc đời, chúng là tiền đề tiên khởi hết cho hành động thực sự có thể làm mãn nguyện, đồng thời là liều thuốc phòng bệnh hữu hiệu nhất chống lại sự hành hạ của sự ăn năn. Những giá trị đó đã đứng như thế nào ở buổi đầu của mỗi hoạt động khoa học đích thực, thì chúng sẽ tạo nên như thế ấy tiêu chuẩn không nhầm lẫn được cho giá trị đạo đức của mỗi con người riêng lẻ.

Trong Vật lý trong cuộc chiến đấu cho thế giới quan
(Physik im Kampf um die Weltanschauung)

Niềm tin về thực tại

... Khoa học vật lý đòi hỏi giả thiết của một thế giới thực, độc lập với chúng ta, nhưng chúng ta không bao giờ nhận thức trực tiếp được nó, mà luôn luôn phải qua lăng kính của các cảm xúc giác quan của chúng ta, và của các kết quả đo đạc được truyền đạt qua đó.

... Trong tất cả những diễn biến của tự nhiên ngự trị một tính quy luật phổ quát, và trong một mức độ, có thể nhận thức được đối với chúng ta.

Trong Tôn giáo và khoa học tự nhiên (Religion und Natur-wissenschaft).

Khi các vị thầy vĩ đại của nghiên cứu tự nhiên chính xác ném các ý tưởng của họ vào khoa học: khi Nicolaus Copernicus gạt bỏ trái đất ra khỏi trung tâm vũ trụ, khi Johannes Kepler xác lập các định luật mang tên ông, khi Isaac Newton khám phá lực hấp dẫn phổ quát, khi người đồng hương vĩ đại của Quý Ngài thiết lập thuyết sóng của ánh sáng, khi Michael Faraday

sáng tạo các cơ sở của **điện động lực học** - chuỗi thí dụ còn nhiều để kể..., thì các quan điểm có tính chất kinh tế chắc chắn là những quan điểm sau cùng nhất đã tôi luyện các con người này trong cuộc chiến đấu của họ chống lại các quan điểm lỗi thời và chống lại các quyền uy thống trị. Không - đó vì là niềm tin vững như đá, dựa trên hoặc nghệ thuật, hoặc tôn giáo, về thực tại của thế giới quan của họ.

Trong *Sự thống nhất của thế giới quan vật lý*
(Die Einheit des physikalischen Weltbildes).

Tôn giáo và khoa học tự nhiên

Thật vậy, chúng ta, con người, cảm thấy nhỏ bé đáng thương làm sao, yếu đuối làm sao, nếu chúng ta nghĩ, trái đất mà trên đó chúng ta sống, chỉ là một hạt bụi tí hon, chẳng có nghĩa gì trong vũ trụ thật bao la, nhưng đồng thời đối với chúng ta phải là điều lạ thường, rằng chúng ta, các sinh vật nhỏ xíu trên một hành tinh lại cũng nhỏ xíu nhưng lại có khả năng, với những tư duy của chúng ta, nhận thức được tuy không phải bản chất, nhưng là sự hiện hữu và kích thước của các viên đá xây dựng cơ bản của toàn thể vũ trụ to lớn.

Trong mọi trường hợp chúng ta có thể nói tóm tắt lại, rằng theo tất cả những gì khoa học tự nhiên dạy cho ta, trong toàn bộ lĩnh vực của tự nhiên, mà trong đó chúng ta, con người trên hành tinh bé xíu của mình, đóng một vai trò vô cùng nhỏ bé, có một tính quy luật nhất định ngự trị, độc lập với sự hiện hữu của một nhân loại tư duy, nhưng nó lại cho phép, trong chừng mực nó có thể hiểu được bằng các giác quan của chúng ta, một sự diễn đạt tương ứng với một hành động hợp mục đích. Tính quy luật do đó biểu thị một trật tự thế giới hợp lý mà tự nhiên, và nhân loại bị chi phối dưới đó, nhưng bản chất đích thực của nó đối với chúng ta là không-nhận-thức-được, và vẫn như thế, bởi vì chúng ta chỉ nhận được tri thức từ đó qua những cảm xúc giác quan đặc thù của chúng ta, những thứ mà không bao giờ loại bỏ được. Nhưng rồi, những thành quả thực sự phong phú của nghiên cứu khoa học tự nhiên đã cho phép chúng ta đi đến kết luận một cách chính đáng, rằng chúng ta bằng sự tiếp tục lao động không ngừng ít ra vẫn không ngừng tiến gần hơn mục tiêu không bao giờ đạt được, và những thành tựu đó củng cố trong chúng ta niềm hy vọng về những hiểu biết luôn được đào sâu hơn của chúng ta về sự ngự trị của lý tính toàn năng đang chi phối giới tự nhiên.

Đối với cá nhân có tín ngưỡng, Thượng đế được cho trước tức thời và tiên khởi. Từ Ngài, từ ý muốn toàn năng của Ngài tuôn ra tất cả sự sống và tất cả sự kiện trong thế giới của tinh thần cũng như của vật thể. Nếu Ngài không được nhận thức bằng lý trí, thì Ngài cũng còn có thể được hiểu trực tiếp trong trực quan thông qua các biểu tượng tôn giáo, và đặt thông điệp thiêng liêng của Ngài vào linh hồn của những người có đức tin đối với Ngài. Ngược lại, đối với người nghiên cứu tự nhiên, cái duy nhất được cho tiên khởi là nội dung của tri giác bằng giác quan của anh ta và của các đo đạc được suy ra từ đó. Từ đó anh ta tìm cách, trên con đường nghiên cứu quy nạp, tiến gần đến Thượng đế và trật tự của Ngài, trong chừng mực có thể, như cứu cánh cao cả nhất mãi mãi không bao giờ đạt tới được. *Như vậy khi cả hai, tôn giáo và khoa học tự nhiên, đều cần đến niềm tin nơi Thượng đế cho hoạt động của họ, thì Thượng đế đối với một bên là sự khởi đầu, đối với bên kia là sự kết thúc của tất cả tư duy. Đối với một bên thì Ngài là nền tảng, đối với bên kia Ngài là vương miện của sự kiến thiết của mỗi nghiên cứu mang tính chất thế giới quan.*

Con người cần khoa học tự nhiên để nhận thức, nhưng nó cần tôn giáo để hành động.

Trong Tôn giáo và khoa học tự nhiên

Đôi khi chỉ cần một sự hướng đạo khác

Cho đến đây, thưa Quý Ông Bà, một cách khảo sát thuần khoa học đã dẫn dắt chúng ta, nhưng ở đây nó lại bắt đầu bỏ rơi chúng ta. Vì chúng ta thấy rõ, rằng quy luật nhân quả trên con đường mòn của cuộc đời riêng, chúng ta không thể là người hướng đạo được, bởi vì một cách logic, nó loại bỏ khả năng, rằng chúng ta bằng thuần túy những tư duy có tính nhân quả có thể một lần đi đến một sự nhận thức về các động cơ của các hành động tương lai chúng ta.

Nhưng con người bây giờ cần đến những nguyên tắc để theo đó nó định hướng hành vi của mình, *nó cần đến chúng còn khẩn trương hơn cần đến nhận thức khoa học.* Một hành động duy nhất đôi khi đối với anh ta có ý nghĩa hơn cả tất cả khoa học của thế giới cộng lại. Cho nên ở điểm này anh ta bị buộc phải nhìn quanh để tìm kiếm một sự hướng đạo khác, và một cái như thế anh ta chỉ tìm được bằng cách thay vì định luật nhân quả anh ta đưa vào định luật đạo đức, trách nhiệm đạo đức và mệnh lệnh vô điều kiện. Lúc đó, cái “phải” nhân quả được thay bằng cái “nên” đạo đức, sự thông minh được thay bằng tính cách, nhận thức khoa học bằng niềm tin tôn giáo.

Ở đây, cái nhìn ra bên ngoài không còn bị giới hạn, những cái nhìn xa và những câu hỏi cháy bỏng được mở ra một cách phong phú cho người khao khát và tư duy.

Khoa học và tôn giáo, chúng tạo thành không phải đối kháng trong thực tế, mà cần nhau để bổ sung trong mỗi con người trầm tư nghiêm chỉnh. Chắc không phải là điều ngẫu nhiên khi những người tư duy vĩ đại nhất của mọi thời đại đồng thời cũng là những người thiên về tín ngưỡng sâu sắc, mặc dù họ không thích trưng ra công khai những điều thiêng liêng nhất của họ. Chỉ có một sự kết hợp giữa sức mạnh của lý trí và sức mạnh của ý chí mới đem lại quả chín và thơm ngon nhất của triết học: Đạo đức học. Bởi vì khoa học cũng đem ra ánh sáng những giá trị đạo đức, nó dạy chúng ta trước nhất tính chân thật và sự tôn kính. Tính chân thật trong sự vươn tới không ngừng những nhận thức luôn chính xác hơn của thế giới tinh thần và thế giới tự nhiên xung quanh chúng ta, sự tôn kính trong sự trầm tư về cái mãi mãi không thể hiểu được, cái huyền bí của tạo hóa trong lồng ngực của mình.

Trong Quy luật nhân quả và tự do của ý chí

Giáo dục

Ai có thanh niên, người đó có tương lai. Vì thế, một sự định hình hợp lý của giáo dục trong nhà trường là một trong những điều kiện quan trọng nhất cho sự tiến bộ khoa học, và tôi không thể không có đôi lời về điểm này.

Dạy cái gì ở nhà trường, điều đó ít quan trọng hơn là học như thế nào. Một định lý toán học thôi, nếu được một học sinh hiểu thực sự, sẽ có giá trị cho cậu ta nhiều hơn mười công thức mà cậu đã học thuộc lòng và cũng biết áp dụng theo đúng cách, nhưng không hiểu ý nghĩa thực sự của chúng. Bởi vì, trường học không nên truyền đạt những kỹ năng chuyên môn lặp đi lặp lại, mà nên truyền đạt tư duy có phương pháp và hợp với lý luận. Người ta có thể không chống lại, xét về cơ bản, việc tri thức được đánh giá ít quan trọng hơn năng lực. Chắc chắn một tri thức mà không có năng lực là vô bổ, cũng giống như mỗi một lý thuyết chủ yếu chỉ chứng minh được tầm quan trọng của nó thông qua những ứng dụng đặc biệt của nó. Nhưng một lý thuyết không bao giờ có thể được thay thế bởi những kỹ năng lặp đi lặp lại. Cho nên, yêu cầu đầu tiên cho việc giáo dục các năng lực thành thạo vẫn là một sự giáo dục chuẩn bị cơ bản kỹ lưỡng, ở đó khối lượng nội dung học là ít quan trọng hơn cách dạy học. Nếu sự giáo dục chuẩn bị này không được

thực hiện trong nhà trường, thì nó khó lòng được bù lại được ở giai đoạn sau; bởi vì, các trường cao đẳng nghề và đại học sau này phải đáp ứng những nhiệm vụ khác. Tuy nhiên, nhiệm vụ cuối cùng quan trọng nhất của giáo dục là không phải hướng đến tri thức, cũng không phải đến năng lực, mà phải hướng đến hành động. Nhưng cũng vậy, như năng lực phải đi trước hành động, thì tri thức và sự thông hiểu là điều kiện tiên quyết không thể thiếu cho năng lực. Trong thời đại sống vội của chúng ta hôm nay, thời đại dành một sự quan tâm đặc biệt cho tất cả gì mới, cho cái tạo một ấn tượng chấn động ra bên ngoài, thì trong giáo dục khoa học, người ta cũng tìm thấy khuynh hướng dạy trước một số kết quả mới gây ấn tượng mạnh, trước khi chúng thực sự được chín muồi. Nó gây trong dư luận một ấn tượng tốt khi người ta thấy có những vấn đề hiện đại của nghiên cứu khoa học cũng được đưa vào chương trình học của trung học phổ thông. Tuy nhiên, điều đó là đáng lo ngại cao độ. Vì ngoài vấn đề dạy một cách căn bản như vừa nói, thì một sự tự phụ tri thức rỗng tuếch và một thói quen học lướt qua sẽ dễ được nuôi dưỡng trong tư duy ở các em học sinh. Chẳng hạn, tôi sẽ cho là rất đáng lo ngại, nếu dạy Thuyết tương đối hay Thuyết lượng tử trong trung học. Học sinh có năng khiếu cao luôn luôn là một ngoại lệ, và chương trình giáo dục không phải định ra để dành riêng cho các học sinh như thế.

Trong Nguồn gốc và ảnh hưởng của các ý tưởng khoa học
(Ursprung und Auswirkung Wissenschaftlicher Ideen)

NGUYỄN XUÂN XANH

“SỐNG BÊN CẠNH PLANCK LÀ MỘT NIỀM VUI RỒI”

Vào lúc mà ông bước vào lễ đường, thì mọi thứ thành linh trở lại như bốn mươi năm trước. Một sự yên tĩnh tức thì ngự trị, mọi người đến chào Planck với sự ngưỡng mộ, người ta nhận rõ, bao nhiêu tình cảm được dâng hiến cho con người này, và người ta cũng có thể cảm nhận, chính ông cũng hạnh phúc khi nhìn thấy những khuôn mặt quen thuộc. Bộ tứ tấu âm nhạc bắt đầu đánh lên, và trong vòng một hay hai giờ, người ta được đưa trở về thời gian của Berlin năm xưa, Berlin văn hóa, ở đó Planck, dĩ nhiên, là tư cách lãnh đạo, và ở đó một lần nữa cả nền văn hóa của thời đại trước hiện ra trước mặt.

W. HEISENBERG

Trong nhận xét về buổi lễ mừng 50 năm Planck là thành viên của
Hàn lâm viện khoa học Phổ năm 1944.

Người ta gần như có thể nói rằng công trình vĩ đại khoa học của ông, Thuyết lượng tử, cũng có nguồn gốc này (tính-đúng-thật và tính-chân-thật) trong một mặt nào đó; rằng chỉ có tính-đúng-thật không lay chuyển được mới có thể làm ông trở thành người sáng tạo của một lý thuyết cách mạng như thế, mà chính ông lắm lúc cũng lo lắng trước những hệ quả của nó.

Trong 40 năm mà tôi quen biết Planck, và ông đã dần dần ban tặng cho tôi sự tin tưởng và tình bạn, tôi luôn luôn thán phục mà nhận thấy rằng, ông không bao giờ làm điều gì, hay không làm điều gì, chỉ vì điều đó có thể có ích hay có hại đối với ông. Cái gì ông thấy đúng, điều đó ông làm, bất chấp hậu quả cho cá nhân mình.

Sự tôn kính của Planck trước trật tự trời đất tự nhiên đã được phản ánh vào trật tự chặt chẽ trong đời sống riêng của ông. Ông có một cách phân chia ngày làm việc ra rất hệ thống, mỗi ngày cùng vào một thời điểm nửa tiếng đồng hồ đánh dương cầm - ông là một người chơi dương cầm đam mê cũng như tuyệt diệu như mọi người biết, và những buổi tối hòa nhạc ở nhà ông đối với tất cả những ai đã được phép thưởng thức là không thể quên được. Helmholtz có lần nói khi nâng cốc

rằng, đi dạo là một nhiệm vụ thiêng liêng của người nghiên cứu tự nhiên. Planck chắc chắn đã hoàn thành nhiệm vụ này với tình yêu lớn. Sự nghỉ ngơi tốt nhất của ông trong các kỳ hè là các chuyến leo núi quy mô, cho đến lúc tuổi cao.

Ông có một sự trong sáng trong tư tưởng và tính thẳng thắn hiếm có, tương ứng với sự đơn giản bề ngoài và tính tiết kiệm của ông. Để minh họa tôi xin nhắc lại, rằng ông hằng ngày đi đến giảng đường với xe điện thành phố trên loại ghế hạng ba, và ông vẫn làm điều đó cho đến lúc tuổi cao trong những chuyến đi xa.

Chắc chắn Planck không tin vào một dạng tôn giáo đặc biệt nào; nhưng ông là người có tín ngưỡng (theo nghĩa Spinoza và Goethe), và luôn lặp lại điều đó. Và vì ông là một trong những người trung thực nhất, nên đằng sau những lời nói của ông có một cảm giác sâu sắc, cảm giác đem lại cho ông sự hỗ trợ to lớn trong những thay đổi bi thảm của đời ông.

LISE MEITNER

Trong “Max Planck, con người”

Đền thờ của khoa học, một tòa nhà nhiều tầng nhiều lớp. Và cũng có nhiều loại người sống trong đó, nhiều loại mãnh lực tinh thần đã đưa họ đến đó. Có người làm khoa học để có cảm giác sung sướng thấy sức mạnh tinh thần trội bậc của mình; đối với anh ta, khoa học là loại thể thao thích hợp để mang lại cảm giác mạnh và sự thỏa mãn của lòng hiếu thắng. Ngay cả có thể tìm thấy nhiều người trong đền thờ chỉ vì những mục tiêu vị lợi mà phải dâng hiến trí óc làm lễ vật tế thần. Nếu giờ, một thiên thần của Thượng đế đến, và đuổi ra khỏi đền thờ tất cả những người thuộc về hai phạm trù trên, thì nó sẽ trống trải một cách đáng sợ, nhưng vẫn còn những con người của thời trước đây và bây giờ. Trong những người này có Planck, và vì thế chúng ta yêu mến ông.

Sự khao khát được nhìn cái hòa điệu tiền lập, điều mà Leibniz đã nói đến, là mạch nguồn của sự kiên trì và nhẫn nại vô cùng tận mà với nó chúng ta thấy Planck say mê dấn thân cho những vấn đề của khoa học của chúng ta mà không hề để bị sao lãng bởi những mục đích dễ đạt được hơn và để người ta mang ơn nhiều hơn. Tôi thường nghe nói rằng các đồng nghiệp muốn xem hành vi này là bắt nguồn từ sức mạnh ý chí và tinh thần kỷ luật phi thường; nhưng tôi tin điều đó không đúng. Trạng thái của cảm xúc đã khiến nên những hành động đó giống như trạng thái cảm xúc của tín ngưỡng hay trạng thái đang yêu: sự phấn đấu hằng ngày không phải xuất phát từ một ý định hay một chương trình nào, mà từ một niềm khao khát thuần túy.

Ông ngồi ở đây, Planck thân yêu của chúng ta, và mỉm cười trong lòng về cái lồng đèn Diogenes thơ ngây đang cầm trong tay tôi. Tình cảm của chúng ta đối với ông không cần đến một sự giải thích sáo mòn nào.

A. EINSTEIN

Từ điển văn mừng sinh nhật thứ 60 của Max Planck.

Nhưng điều chính yếu: Sống bên cạnh Planck là một niềm vui rồi.

A. EINSTEIN

Trong thư cho Hedwig Born

Đúng 8 giờ, hè cũng như đông, ông xuất hiện để ăn sáng. Thư tín được vợ ông mở ra, và được quyết định nhanh chóng ai sẽ trả lời, và mỗi lá thư được trả lời như thế nào. Sau đó ông qua phòng làm việc - cũng nằm trong tầng trệt. Cả buổi sáng phải hoàn toàn yên tĩnh trong nhà. Chúng tôi thực sự phải đi rón rén trên gót chân lên cầu thang. Cái điện thoại được cố ý dời thế nào để từ phòng làm việc không hề nghe thấy. Trong những giờ buổi sáng này, ông làm việc với sự tập trung cao độ. Vào buổi ăn trưa, thường chỉ có gia đình. Sau một giấc ngủ trưa ngắn, ông ngồi lại cây đàn dương cầm có cánh của ông, đánh Bach, Haydn, tác giả được đặc biệt yêu thích Brahms hay Schubert, và sau đó đi dạo, trong bụng luôn luôn nghĩ xem sẽ còn khám phá được con đường mới nào trong khu phố gần đó. Với bảy mươi tuổi, ông vẫn còn đi đều đến nhà tập thể dục hằng tuần...

Ngày chủ nhật, ông làm những cuộc đi dạo dài hơi, và người ta nói, chỉ ít người mới biết rõ cảnh quan Berlin như ông. Một lần, ông dự định đi bộ từ Berlin đến Biển đông của Đức (khoảng 200km), rồi với sự kiên nhẫn đặc biệt của mình, ông đi hết mỗi lần một phần ba của đoạn đường vào những kỳ lễ Giáng lâm của ba năm liên tiếp.

Heinrich von Hoeslin

Anh em vợ thứ hai của Planck

Vào cuối thế kỷ thứ mười chín, con người đã có thể nghiên cứu sự vận động của các phân tử riêng lẻ, nguyên tử và electron. Thế kỷ đã kéo dài đủ lâu cho khoa học để khám phá rằng một số hiện tượng, bức xạ và đặc biệt lực hấp dẫn, thách thức tất cả nỗ lực của một sự giải thích thuần túy cơ học. Trong khi các nhà triết học vẫn còn thảo luận về việc có thể chế tạo được không một chiếc máy để sao lại các ý tưởng của Newton, các cảm xúc của Bach, hay nguồn cảm hứng của Michelangelo, thì người trung bình của khoa học trở nên nhanh chóng bị thuyết phục rằng không có cái máy nào có thể chế tạo được ánh sáng của đèn cây hay sự rơi của quả táo. Rồi, trong những tháng cuối cùng của thế kỷ, Giáo sư Max Planck của Berlin đã đưa ra cách giải thích có tính chất thử nghiệm của một hiện tượng nhất định về bức xạ, hiện tượng đến nay hoàn toàn thách thức mọi sự lý giải. Không chỉ sự giải thích của ông là phi-cơ-học từ trong bản chất của nó; dường như cũng không thể liên hệ nó với một dòng tư tưởng cơ học nào được. Chính vì những lý do đó mà nó bị chỉ trích, tấn công và cả chế giễu. Nhưng nó chứng tỏ thành công khác thường và rút cuộc phát triển

thành 'Thuyết lượng tử' hiện đại, làm thành một trong những nguyên lý thống lĩnh của vật lý hiện đại. Ngoài ra, mặc dù điều này chưa rõ ra lúc bấy giờ, nó đánh dấu sự cáo chung của thời đại cơ học trong khoa học, và sự mở ra của một kỷ nguyên mới.

JAMES JEANS

Trong *The Mysterious Universe*

Cái tên Planck là một từ ngữ ở cửa miệng của những người làm khoa học của mọi đất nước, và tất cả thống nhất nhau trong sự ngưỡng mộ cho những đóng góp vĩ đại và lâu bền cho ngành khoa học vật lý.

Thật là khó khăn để nhận thức hôm nay, khi thuyết lượng tử áp dụng thành công trong rất nhiều ngành như thế của khoa học, là lạ lùng làm sao, và gần như huyền diệu làm sao quan niệm mới này của bức xạ đã xuất hiện đối với nhiều nhà khoa học ba mươi năm trước. Buổi ban đầu người ta gặp khó khăn để có được sự chứng minh thuyết phục của tính đúng đắn của lý thuyết và các sự suy diễn từ nó. Trong bối cảnh này, tôi xin được phép nhắc đến các thí nghiệm của GS Geiger và tôi được tiến hành năm 1908. Về phía tôi, sự trùng khớp với cách suy diễn của Planck cho e (e là diện tích cơ bản và trị số được diễn tả bằng các đơn vị tĩnh điện học) làm cho tôi trở thành người ủng hộ sớm ý tưởng chung của lượng tử tác dụng. Tôi do đó có thể nhìn sự việc với sự bình tĩnh và ngay cả khuyến khích GS Bohr ứng dụng táo bạo Thuyết lượng tử đã được đề xuất bởi Planck.

E. RUTHERFORD

Hầu như không có một khám phá trong lịch sử khoa học nào đã tạo ra những kết quả ngoại hạng như thế trong một khoảng thời gian ngắn của thế hệ chúng ta như là những kết quả đã trực tiếp phát sinh ra từ khám phá của Planck về lượng tử tác dụng cơ bản. Khám phá này là sai quả, với các tiến bộ thường xuyên tăng lên, trong việc cung cấp phương tiện cho việc diễn giải và làm hài hòa các kết quả đạt được từ sự nghiên cứu các hiện tượng nguyên tử, một sự nghiên cứu đã làm nên những tiến bộ tuyệt vời trong vòng ba mươi năm qua. Nhưng Thuyết lượng tử còn làm một cái gì nhiều hơn nữa. Nó đem lại một cuộc cách mạng triệt để trong sự diễn giải về khoa học của các hiện tượng tự nhiên. Cuộc cách mạng này là một sự phát triển trực tiếp của các lý thuyết và các khái niệm đã bắt nguồn từ công trình khai phá của Max Planck trong nghiên cứu bức xạ của hộp rỗng. Trong vòng ba mươi năm qua, các lý thuyết và khái niệm này đã phát triển lên và mở rộng ra thành cái gọi là vật lý lượng tử. Bức tranh của vũ trụ được xây dựng trên nền tảng của vật lý lượng tử phải được xem như một sự tổng quát hóa diễn ra độc lập với vật lý cổ điển mà với nó, vật lý lượng tử có thể được so sánh một cách thuận lợi cho vẻ đẹp về quan niệm của nó và sự hài hòa bên trong của logic của nó.

N. BOHR

Trong J.Murphy, *Where is science going?*

Năm 1900 Max Planck công bố kết quả sau đây: Nhiệt bức xạ không phải là một dòng chảy liên tục và có thể chia nhỏ vô cùng tận. Nó phải được định nghĩa như một khối lượng mất liên tục được làm thành bởi các đơn vị tương tự nhau.

Lúc bấy giờ ông khó thấy được rằng trong một khoảng thời gian không đầy ba mươi năm, lý thuyết này, thuyết hoàn toàn mâu thuẫn lại các nguyên lý của vật lý được biết đến lúc đó, sẽ phát triển thành một học thuyết về cấu trúc nguyên tử, với tính toàn diện về khoa học và tính đơn giản toán học của nó, không hề thua kém chút nào so với hệ thống cổ điển của vật lý lý thuyết.

W. HEISENBERG

Trong J.Murphy, *Where is science going?*

Người ta than phiền rằng thế hệ chúng ta không có các nhà triết học. Không đúng. Họ bây giờ chỉ ngồi trong phân khoa khác. Họ có tên là Max Planck và Albert Einstein.

A.v. Harnack

Chủ tịch đầu tiên Viện Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft, tiền thân của Max-Planck-Gesellschaft.



JÜRGEN RENN*

“ÔNG ẤY ĐÃ ĐỂ BỊ LÔI KÉO”**

Abstract.¹ An interview from DeutschlandRadio with Prof. Jürgen Renn from Max-Planck-Institut for History of Science in Berlin about Max Planck's person, character and his 'enmeshment' during the National Socialism. Planck was conservative in science and politics. He wanted to devote himself to science unpolitically, but at the end he was in certain sense politically efficient. His life was bound to German leading scientific organizations, especially Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft, which 1947 turned into Max-Planck-Gesellschaft.

Dieter Kassel: Khoa học phải cảm ơn nhiều một người tên Müller. Ông Müller là giáo viên tại một trường trung học Gymnasium tại München, ông là thầy toán của Max Planck. Chính ngài Müller đã gây ấn tượng cho Planck đến nỗi, một con người vốn xuất thân từ một gia đình của thần học và ngữ học, lại bắt đầu quan tâm đến khoa học, và cuối cùng trở thành nhà Vật lý học. Như chúng ta ngày nay được biết, từ cái nhìn của Max Planck, đó là một quyết định tuyệt đối đúng đắn. Ông trở thành người được giải Nobel Vật lý sau đó, và được xem là người sáng lập ra vật lý lượng tử, điều tuy vậy đối với chính ông lại có tính chất “ít nhiều ghê gớm”. Hôm

* Giám đốc Viện Max Planck - Nghiên cứu Lịch sử Khoa học tại Berlin.

** Đây là bài trò chuyện của Gs. Renn trên “DeutschlandRadio”, mục Văn hóa, ngày 23.4.2008, ngày kỷ niệm sinh nhật lần thứ 150 của Max Planck. Người điều khiển chương trình là Dieter Kassel. Đề tài của buổi nói chuyện xoay quanh con người của Max Planck trước khúc quanh của khám phá khoa học, cũng như trước những khúc quanh chính trị đã xảy đến trong thời ông.

¹ Abstract is made by the translator.

nay, vào ngày sinh nhật thứ 150 của Max Planck, chúng ta muốn trò chuyện về ông với giám đốc của một viện được mang tên ông, đó là giám đốc của Viện-Max-Planck về Lịch sử khoa học, GS Jürgen Renn. Xin chào ngài, ông Renn!

Jürgen Renn: Xin chào một ngày đẹp!

Kassel: Tôi đã nói bóng gió với mấy chữ “ít nhiều ghê gớm”. Chính Max Planck cũng đã nói, lý thuyết của ông, điều đó trước đây vẫn chỉ là công thức bức xạ, nhưng hôm nay chúng ta biết, đó là sự sáng lập ra ngành vật lý lượng tử, lý thuyết của ông là một yêu sách lạ thường và hầu như không chịu đựng nổi đối với khả năng tưởng tượng của con người. Tại sao khám phá của chính ông lại làm ông hoang mang như thế?

Jürgen Renn: Trước nhất bởi vì ông ta đầu tiên nghĩ, với khám phá đó ông sẽ đặt viên đá kết thúc vào tòa nhà vật lý học cổ điển. Và ông đã làm việc nhiều năm liền ở bài toán mà ông có cảm giác, có thể nói đó là bài toán cuối cùng còn lại. Và nếu ông kết thúc được công việc, ông sẽ đóng góp vào sự thống nhất của thế giới quan của vật lý cổ điển. Và rồi, điều mà ông thực sự đã làm, là ông làm cho tòa nhà này sụp đổ. Cho nên, người ta có thể ngạc nhiên về những hệ lụy. Điều đó tuy nhiên ông không nhìn thấy ngay, mà phải đợi các nhà vật lý học theo sau ông, đặc biệt Albert Einstein, tìm cách gọi ra cho ông bằng những công trình nghiên cứu của họ. Ông lúc đầu chống lại điều đó, và chống rất lâu, bởi vì ông không muốn chấp nhận những hệ quả mà Einstein đã rút ra từ các nghiên cứu của ông, rằng ánh sáng, toàn bộ bức xạ, được lượng tử hóa bằng những gói năng lượng. Bởi vì, điều này mâu thuẫn trực tiếp với một trong những viên đá nền tảng của vật lý cổ điển, đó là điện động lực học của Maxwell, thuyết này xuất phát từ quan niệm xem ánh sáng, cũng như những loại tia khác, có các tính chất liên tục của sóng. Và sự lượng tử hóa năng lượng của Planck là hoàn toàn không dung hợp được với nó. Và Planck đã làm nhiều cuộc thử nghiệm để “hô biến” lượng tử hóa này ở đâu đó, vào vật chất, vào tương tác giữa vật chất và ánh sáng. Nhưng một cách nghịch lý, bằng cách này ông lại làm các hệ quả có tính chất cách mạng của công thức bức xạ của ông năm 1900 càng rõ nét thêm. Rồi cuối cùng ông phải công nhận chúng.

Kassel: Như ông đã đề cập, Planck, trước khi đi đến ý tưởng về công thức bức xạ này năm 1900, đã nghiên cứu trong bối cảnh này bài toán về các bóng đèn và ánh sáng. Bởi vì lúc bấy giờ điều đó vừa xuất hiện một cách mới mẻ, và người ta muốn được cất nhắc bởi khoa học, là làm thế nào để có được sự chiếu sáng tối ưu nhất. Có phải thực sự đó là lý do đơn giản như thế không?

Renn: Vâng, người ta phải nói rằng Planck là nhà lý thuyết. Vật lý lý thuyết lúc đó còn là một lĩnh vực mới mẻ, và sẽ là điều bất thường nếu người ta chỉ biết vui đầu vào sự quan tâm về nhận thức thuần túy. Như tôi vừa giải thích, có thể nói Planck muốn được nghiên cứu trong hướng này. Nhưng ông cũng có lý, bối cảnh bên sau chính là một bài toán có tính cách hoàn toàn thực dụng. Trong thế kỷ 19 lúc bấy giờ, trong thời đại công nghiệp hóa, có một ngành công nghiệp kỹ thuật điện lớn, đặc biệt cũng ở Đức, và nó cần những tiêu chuẩn cho các bóng đèn của họ, cho các đèn ống huỳnh quang, và người ta chỉ có thể đặt ra được những tiêu chuẩn khi người ta làm nghiên cứu cơ bản. Nhưng trước nhất, đó là nghiên cứu cơ bản thực nghiệm.

Kassel: Một cuộc triển lãm về Max Planck, bắt đầu vào cuối tuần, cụ thể vào thứ sáu, cũng mang tên "Nhà cách mạng miễn cưỡng". Tôi có một chút cảm tưởng, và ông có thể nói cảm tưởng này là sai hay không, rằng cái không-cách-mạng này, cái mong muốn, rằng tất cả thực sự vẫn như thế như người ta đã tưởng, và người ta có thể chứng minh, tất cả giống hệt như thế, điều đối với ông không những liên quan đến khoa học, mà còn liên quan cả lối sống của ông. Ông thực sự là một người tương đối bảo thủ.

Renn: Planck là một con người rất bảo thủ. Ông đã tự nói về mình, rằng ông luôn thiện cảm với hòa bình, và xa lánh tất cả các cuộc phiêu lưu mạo hiểm. Ông có một cuộc sống của giới tri thức¹ trong căn villa ở Grunewald (Berlin) với âm nhạc được tổ chức trong vòng gia đình và bạn bè, và với tất cả những gì thuộc đời sống trung lưu. Ông cũng có những đức tính như khiêm tốn, ý thức trách nhiệm, siêng năng, có thể nói là một công dân có học thức thực sự của Phổ. Ông cũng là một nhà tổ chức khoa học lớn, không phải vì ông háo danh để sử dụng quyền lực, mà luôn luôn đơn giản thực sự chấp nhận những nhiệm vụ mà người ta đã đặt lên vai ông, và chu toàn chúng một cách ý thức. Và điều đó đã đụng vào ranh giới, nơi không còn là vấn đề khoa học nữa, mà là những cuộc biến động lớn của xã hội, như sự bắt đầu của Thế chiến thứ nhất, sự sụp đổ của đế chế, sự nắm quyền của Nazi. Ở đó, Planck luôn luôn đấu tranh cho tính liên tục, và cũng rơi vào những tình huống chính trị, đạo đức khó khăn nhất định, bởi vì ông luôn luôn hiểu mình là con người tuyệt đối bảo thủ, không chính trị, và thường không nhìn thấy, rằng ông lại là người rất hữu hiệu về chính trị,

¹ Giới đặt uy tín xã hội của mình lên một nền giáo dục có định hướng nhân văn của Đức từ đầu thế kỷ 19.

chính vì thái độ không-chính-trị của ông. Và trong thời cộng hòa Weimar ông cũng không bao giờ hiểu được về mặt chính trị cuộc thay đổi hệ thống này từ đế chế sang một nền cộng hòa, một cách ý thức. Ông thực ra luôn luôn vẫn là người ủng hộ đế chế, và còn hy vọng từ những người Nazi rằng họ, với tất cả những gì dè tiện mà họ đã làm, rồi có thể sẽ đem lại một chút gì tốt đẹp của đế chế.

Kassel: Vâng ông sống đến năm 1947, và không bao giờ rời nước Đức, không giống những người khác đã di tản trước Nazi tạm thời hay vĩnh viễn. Ông có một quan hệ như thế nào với những người quốc xã, cả vào những thời gian sau, và trong Thế chiến thứ hai?

Renn: Vâng, ông không hề là một Nazi. Chắc chắn ông không ưa sự tàn bạo của Nazi. Người ta phải nhìn thái độ chính trị của Planck trong mối quan hệ của sự gắn bó với con trai ông là Erwin, thứ trưởng trong những chính phủ cuối cùng của nền cộng hòa Weimar, và người chắc chắn về phía mình đã góp phần vào việc các định chế dân chủ của nền cộng hòa Weimar bị tháo dỡ¹. Cũng là một người tư duy rất bảo thủ, nhưng cuối cùng lại tham gia nhóm 20 tháng Bảy² và bị Hitler hành quyết. Nhưng chính Planck cũng đã cảm nhận sự nắm quyền của Nazi giống như thế, tất cả là một giai đoạn biến động kinh hoàng, nhưng rồi từ trong đó có thể có một cái gì tốt đẹp hình thành. Ông đã tìm cách mang các tổ chức khoa học Đức mà ông là người lãnh đạo vượt khỏi buổi giao thời lịch sử này một cách “không-bị-gây-thiệt-hại”, trong đó có Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft (Society) (tiền thân của Max-Planck-Gesellschaft), Hàn Lâm viện khoa học Phổ, vâng, ông là thành viên của nhiều tổ chức, nhưng bằng cách đó, ông de facto đã đặt các tổ chức này vào việc phục vụ cho các người quốc xã, trong khi chấp nhận sự bỏ mặc - điều này người ta phải nói - nhiều đồng nghiệp, người thì bị buộc đi lưu vong, kẻ thì bị truy bức. Ông bệnh vực và bảo vệ những cá nhân riêng lẻ, nhưng không thấy các hệ quả của cái toàn thể, hay không muốn thấy những điều đó.

Kassel: Trong các đồng nghiệp mà ông nhắc, người ta tự nhiên chú ý đến một người, Albert Einstein, cũng có trước đó rồi. Nhưng về thời gian sau, hai ông có một mối quan hệ như thế nào, Planck và Einstein?

¹ Erwin là thứ trưởng của hai chính phủ cuối cùng của Papen và Schleicher. Hai ông này là cực kỳ bảo thủ và vì thế chỉ còn dân chủ nửa vời.

² Một nhóm âm mưu thanh toán Hitler trước khi chiến tranh kết thúc, nhưng không thành.

Renn: Không phải là một quan hệ đơn giản. Einstein ngưỡng mộ Planck như một nhà khoa học lớn. Planck một lần đã gọi Einstein là sự khám phá lớn nhất của ông. Planck thuộc vào nhóm người đỡ đầu của Einstein. Ông đã nhận ra tầm quan trọng của Thuyết tương đối, Einstein lúc đó là một viên chức nhỏ của Sở Sáng chế, khi những người khác vẫn chưa thấy điều đó. Nhưng về chính trị thì Planck khác biệt với con người tư duy tự do của Einstein cả một trời. Và dĩ nhiên trong nền cộng hòa Weimar người ta đều có những quan điểm hoàn toàn khác biệt. Khi Einstein bị tấn công vì những tư tưởng tự do của ông, và cũng vì ông là người gốc Do Thái, thì Planck phản ứng một cách giữ kẽ nhiều hơn trước những biện pháp chính trị nhằm bảo vệ Einstein. Và khi Einstein thực tế bị bắt buộc đi đến việc rời bỏ Hàn Lâm viện, thì Planck chấp nhận điều đó, ông không đứng ra bảo vệ Einstein, tiếp tục là lãnh đạo của Hàn Lâm viện, đang nghỉ hè ở Sizilien, không trở về, để cho sự việc cứ xảy ra, cùng gánh trách nhiệm cho một tuyên bố kinh khủng trong đó Hàn Lâm viện thậm chí tán thành sự rút khỏi Hàn Lâm viện của Einstein. Và Einstein không thể hiểu tất cả những điều đó, và đã nói, ông không thể chấp nhận được, ngay cả với tư cách một người không phải Do Thái, rằng người ta tại sao trong những hoàn cảnh đó lại có thể vẫn còn giữ chiếc ghế Chủ tịch của Hàn Lâm viện và của Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft.¹

Kassel: Chúng ta đang trò chuyện trong mục Văn hóa của DeutschlandRadio với giám đốc của Viện Max Planck nghiên cứu Lịch sử khoa học về người đã cho tổ chức khoa học này mang tên của mình mà hiện nay bao gồm khoảng 80 viện với 12.000 cộng tác viên. Theo tất cả những gì ông vừa kể thì tại sao lại gọi là Max-Planck-Gesellschaft, tôi biết, đây là “ác ý” nếu hỏi ở đây tại sao Max-Planck-Gesellschaft là Max-Planck-Gesellschaft? Về lý thuyết, nó cũng có thể là Einstein-Gesellschaft, hay là người ta... Có đủ những nhà khoa học Đức nổi tiếng trong những năm thành lập kia mà.

Renn: Đó không phải là sự ngẫu nhiên. Mặt khác, người ta nên tránh phân biệt một cách giản đơn giữa những con người của ánh sáng và con người của bóng tối. Planck chắc chắn không thuộc về hai phạm trù đó. Ông ủng hộ sự liên tục. Và sau sự sụp đổ 1945 ông cũng ủng hộ sự liên tục. Trong giai đoạn chuyển tiếp, ông đã đảm nhiệm trách nhiệm Chủ tịch của Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft. Tổ chức này bị Hội đồng kiểm soát của Đồng

¹ Xin xem thêm chi tiết hơn trong bài của Gs. Hoffmann trong số này về quan hệ giữa Planck và Einstein.

minh muốn giải thể. Một trong những khả năng để cứu tổ chức là cho nó một cái tên khác. Cái tên Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft, vốn cũng bị liên lụy với chế độ tàn bạo của chủ nghĩa quốc xã, không thể chấp nhận được nữa. Và lúc đó có ý tưởng nảy ra cho nó cái tên Max-Planck-Gesellschaft. Và điều đó đã cứu tổ chức này, đã cứu những cái gì tốt đẹp, đáng bảo tồn ở nó, chắc chắn bằng cách quên đi rất nhiều chuyện, những chuyện kinh hoàng cũng đã xảy ra ở đó. Nhưng Max Planck có được sự công nhận quốc tế là một mẫu nhà khoa học không để mình bị mua chuộc, và có thể nói là đứng thẳng. Mặc dù ông, như tôi đã trình bày, trong những hành động chính trị của mình đã giữ điều này cho ông như một chân-dung-tự-họa (không để bị mua chuộc), nhưng de facto đã để mình bị lôi kéo. Cho nên tôi tin rằng chúng ta có thể sống với Max-Planck-Gesellschaft như số phận chính trị này. Tổ chức Max-Planck-Gesellschaft cũng đã tìm cách xem lại một cách rất hệ thống quá khứ của Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft dưới thời chủ nghĩa quốc xã và làm cho sự việc được minh bạch. Và định mệnh của Max Planck trong thời gian chuyển tiếp này cũng là biểu tượng của định mệnh của nền cộng hòa liên bang trước đây, trong đó, vâng khắp nơi, tính liên tục cũng đã diễn ra trong giai tầng của các tinh hoa.¹

Kassel: Đó là một ít câu chuyện về Max Planck. Trong chương trình chúng ta, và dĩ nhiên không chỉ ở đó, còn nhiều hơn nữa trong năm nay, năm sinh thứ 150 của ông. Trong nửa giờ nữa chúng ta sẽ nhớ lại Max Planck trong chương trình “Tờ lịch”. Tối nay, lúc 19 giờ 30 cũng sẽ nói về ông trong chương trình phát sóng “Những chuyến du hành lịch sử”. Và cuộc triển lãm “Nhà cách mạng miễn cưỡng”, Quý Vị có thể đoán xem tổ chức nào đứng đằng sau cuộc triển lãm này, người ta không thể ngờ đến², cuộc triển lãm này bắt đầu vào ngày mốt trong Viện bảo tàng kỹ thuật Đức tại Berlin, và có thể được xem đến ngày 5 tháng 10. Vâng, vừa qua ngài giám đốc của Viện Nghiên cứu Lịch sử khoa học, Jürgen Renn, đã đến với chúng ta. Xin cảm ơn nồng nhiệt ngài đã đến với chúng tôi!

Renn: Xin cảm ơn ông!

NGUYỄN XUÂN XANH dịch

¹ Ý muốn nói những thành phần tinh hoa đều được tiếp tục công việc của mình từ chế độ cũ sang chế độ mới không kể quá khứ.

² Chính là Viện Max Planck nghiên cứu Lịch sử Khoa học.



DIETER HOFFMANN*

MAX PLANCK VÀ ALBERT EINSTEIN, ĐỒNG NGHIỆP TRONG SỰ DỊ BIỆT

Abstract. Max Planck and Albert Einstein were personalities of quite different characters. Planck was a strong Prussian character with very conservative attitudes and political views. Einstein was the scientific rebel and a democrat in politics, who provoked the criticism of his contemporaries. They nevertheless hold each other in high regard based on their scientific competence and a similar world view. Their harmonic relation was wrecked in 1933, when Einstein was driven out of Germany by the Nazis.

Hai nhà cách mạng trong vật lý học, khác nhau không thể nào quan niệm được hơn, cùng sống hết giai đoạn dữ dội từ Thế chiến thứ nhất đến sự bắt đầu chế độ độc tài quốc xã. Mỗi quan hệ đồng nghiệp đã vượt qua những quan điểm trái ngược nhau về chính trị của họ.

* Giáo sư Dieter Hoffmann của Viện Max-Planck nghiên cứu Lịch sử Khoa học Berlin, một viện rất uy tín, đã từng tổ chức Năm Einstein 2005 và năm nay lễ kỷ niệm, triển lãm, xuất bản tư liệu về Max Planck. Gs Hoffmann là người am hiểu lịch sử khoa học thế kỷ 19, 20, và là chuyên viên hàng đầu về Max Planck hiện nay. Ông đã dự định qua Việt Nam để thuyết trình, nhưng giờ chót vì lý do sức khỏe nên đã phải hoãn lại. Ông đã cho phép dịch ra cho độc giả Việt Nam một bài nghiên cứu về sự dị biệt sâu sắc cũng như tình bạn cao quý của Max Planck và Einstein.

“Planck yêu Anh”, Elsa Einstein viết cho chồng vào mùa hè 1921, qua đó bà đã lột tả được quan hệ đặc biệt giữa Albert Einstein và Max Planck. Planck, nói không quá đáng, có thể được gọi là người khám phá ra Einstein, ông thuộc về những nhà vật lý nổi tiếng đầu tiên đã nhận thức ý nghĩa quan trọng của các công trình khoa học của Einstein trong năm 1905 và đã quảng bá chúng. Ngay ngày 23.3 năm 1906, tức khoảng nửa năm sau sự xuất hiện bài báo cách mạng của Einstein “Về điện động lực học của các vật thể chuyển động”, Planck đã thuyết trình về nó, với sự hội ý với Max von Laue, trong “một buổi hội thảo không thể nào quên được đối với mọi người tham gia” của Hội vật lý. Trong bài thuyết trình, tuy có sửa sai một lỗi suy nghĩ của Einstein liên quan đến động học của các điểm khối lượng, nhưng ông nhấn mạnh đặc biệt “Nguyên lý ‘Tương đối’ ... đã mang lại một sự khái quát hóa tuyệt vời cho tất cả bài toán của điện động lực học của các vật thể chuyển động, khiến cho câu hỏi về tính đúng đắn thừa nhận của nó đáng được đặt ra ở hàng đầu của mọi công việc nghiên cứu lý thuyết trong lĩnh vực này.”

Trong những năm kế tiếp, các nghiên cứu riêng của Planck không phải vô tình tập trung vào “Nguyên lý tương đối”, và trong một thập niên liền cho đến Thế chiến thứ nhất, phần lớn những người làm luận án tiến sĩ với Planck đều tốt nghiệp với đề tài này. Planck trước nhất tranh luận về các thí nghiệm về tia beta của nhà Vật lý học Walter Kaufmann ở Bonn. Các đo đạc của ông về sự lệ thuộc vào vận tốc của các khối lượng của electron dường như đi ngược lại thuyết của Einstein-Lorentz. Sau khi Planck trong bài thuyết trình của mình trước Hội Vật lý bày tỏ hy vọng, rằng “nguyên lý tương đối khi được nghiên cứu kỹ hơn có lẽ cuối cùng sẽ có thể phù hợp với các quan sát thực nghiệm”, thì vào mùa thu 1906 tại cuộc họp toàn thể thường niên của “Hội các nhà nghiên cứu tự nhiên và bác sĩ Đức” tại Stuttgart ông lại nói về “Các đo đạc của Kaufmann về độ lệch của các tia beta trong ý nghĩa của chúng đối với động lực học của các electron”. Như Planck chứng minh, các dữ liệu của Kaufmann chưa cho phép một sự quyết định rõ ràng thuận hay chống lại lý thuyết, và ông nhận định một cách lạc quan, rằng “cơ may của Thuyết tương đối là tăng lên”. Như chúng ta hôm nay biết, Planck có lý, vì những đo đạc sau đó đã phù hợp với các tiên đoán của Einstein một cách thuyết phục.



Trong dịp chuyến thăm của Robert A. Millikan tại Berlin đã có một buổi “gặp mặt của các nhà khoa học giải Nobel” tại nhà riêng của Max von Laue, gồm có Walther Nernst, Albert Einstein, Max Planck, Millikan và Laue.

Ngoài ra, Planck đã đưa Thuyết tương đối vào lĩnh vực nghiên cứu thiết thân nhất của ông, ngành điện động lực học. Xuất phát từ luận án của người sinh viên bị chết vì tai nạn, Kurd von Mosengeil, ông nghiên cứu trong bài của ông “Về động lực học của các vật thể chuyển động” năm 1907 các hệ quả điện động lực học của lý thuyết Einstein. Ông chứng minh, entropy của một hệ thống chuyển động là một đại lượng bất biến, ngược lại thể tích chịu sự tác động của phép co Lorentz. Hơn nữa, trong phần mở đầu của bài nghiên cứu này, Planck thảo luận về các khái niệm của khối lượng quán tính và hấp lực, tính đồng nhất của chúng, và lưu ý rằng “một hằng số với những đặc tính của khối lượng quán tính không thể tồn tại được”. Bài toán này cũng đã được Einstein nghiên cứu và đưa ông đến Thuyết tương đối rộng.

Hai nhân cách trái ngược nhau

Mặc dù các công trình của Planck về “Nguyên lý tương đối” được đánh giá xứng đáng vào lúc đương thời - Felix Klein trong các bài giảng của ông đã phát biểu với sự công nhận, rằng “Planck 1907 đã thành công trong việc đưa thuyết điện động lực học vào mối quan hệ với quan điểm mới” - nhưng những điều này ngày nay hầu như đã bị quên lãng. Nhưng chính chúng đã không ngừng quảng bá sự công nhận Thuyết tương đối của Einstein. Planck bị ấn tượng đặc biệt bởi sự táo bạo mà Einstein đã xét lại khái niệm thời gian của vật lý Newton: điều đó vượt qua tất cả những gì đã đạt được trong nghiên cứu tự nhiên tư biện, vâng cả trong triết học nhận thức luận, như ông nói một cách hồ hởi trong một bài thuyết giảng tại Đại học Columbia ở New York. Einstein, mặt khác, trong một bài đề tặng Planck năm 1913 viết: “Lý thuyết này sở dĩ đã được chú ý nhanh chóng như thế trong giới đồng

nghiệp phần lớn là nhờ sự ủng hộ một cách quyết liệt và nồng nhiệt của Planck đã dành cho nó.”

Tất cả những điều đó đã xây dựng nền tảng cho mối quan hệ tin cậy và bạn hữu đặc biệt giữa hai nhà bác học mà tính cách và quan điểm chính trị của họ khác nhau hầu như không thể nào tưởng tượng được hơn. Einstein không chỉ là một người nổi loạn trong những vấn đề khoa học; ông đã sớm chống đối lại mọi thứ quyền uy, và thêm vào đó tự hiểu mình là một nhà dân chủ kiên định. Ngược lại, nhân cách của Planck có gốc rễ sâu xa trong những truyền thống bảo thủ của nhà nước quân chủ chuyên chế theo chủ nghĩa Wilhelm¹.

Sinh ngày 23 tháng 4 năm 1858, là con trai của một giáo sư luật ở Kiel, Max Planck lớn lên ở Munich và được hun đúc ở đây về mặt trí thức - nhưng cũng qua các truyền thống gia đình có một dấu ấn Phổ rất mạnh. Tại Munich, ông kết thúc tú tài năm 1874 và theo học vật lý. Với 21 tuổi, ông tốt nghiệp Tiến sĩ tại Đại học Munich, nơi năm sau ông làm habilitation, và dạy học đến năm 1885 với tư cách Privatdozent². Ông nhận được lời mời làm giáo sư ngoại ngạch cho ngành vật lý lý thuyết vào khóa học mùa hè năm 1885 tại Đại học Kiel. Bốn năm sau ông trở thành người kế vị của Gustav Kirchhoff với tư cách là Giám đốc của Viện Vật lý lý thuyết tại Đại học Berlin.

Như vậy, ông không những giữ một trong những ghế giáo sư vật lý tên tuổi nhất tại Đức, mà cũng còn là một trong ít chiếc ghế giáo sư chỉ dành cho ngành vật lý lý thuyết. Hoạt động tiếp tục của Planck, ngay cả sau khi về hưu năm 1926, là cả đời gắn liền với Berlin. Uy tín khoa học của ông không những đã góp phần quyết định vào việc thiết lập ngành vật lý lý thuyết như một ngành độc lập, mà còn đặc biệt đưa lĩnh vực này tại Berlin lên đỉnh cao, và tạo dấu ấn cho toàn bộ sự phát triển vật lý ở đó sau khi Hermann von Helmholtz, người đỡ đầu hàn lâm quan trọng nhất của ông qua đời.

Ngay với các công trình luận văn tiến sĩ và habilitation, ông đã tìm được lĩnh vực nghiên cứu của mình: nhiệt động lực học, chủ yếu định lý cơ bản

¹ Vị vua cuối cùng của nước Đức cuối thế kỷ 19 cho đến khi thoái vị năm 1918, sau khi Đức thua trận trong Thế chiến thứ nhất.

² Privatdozent là người được dạy học mà không được trả lương, sau khi có habilitation, một học hàm sau Tiến sĩ ở Đức có đủ phẩm chất để dạy học trên đại học và có thể làm giáo sư nếu được bổ nhiệm.

thứ hai của nó, và khái niệm entropy. Trong những năm kế tiếp, ông nghiên cứu những hệ luận từ định lý cơ bản thứ hai và áp dụng khái niệm entropy lên các trạng thái cân bằng nhiệt-điện học của các hệ thống lý-hóa. Ông trung thành với ngành nhiệt động lực học đến suốt đời. Cũng chính ngành đó đã dẫn ông vào giữa những năm 1890 tại Berlin đến với lĩnh vực thuyết bức xạ nhiệt và đến sự khảo sát các cân bằng bức xạ nhiệt động học.

Các nghiên cứu này đạt tới đỉnh cao vào mùa thu 1900 với sự hình thành của định luật bức xạ của Planck, với giả thuyết lượng tử nổi tiếng: Sự phân bố cường độ của bức xạ của một vật thể đen chỉ có thể được hiểu khi người ta giả thiết, bức xạ được tạo thành bằng những gói năng lượng $E = h\nu$. Trong đó h là một hằng số phổ quát, được gọi là lượng tử tác dụng của Planck, và ν là tần số.

Một người cách mạng miễn cưỡng

Bằng cách đó, Planck đã mở đầu sự phát triển của thuyết lượng tử - mặc dù không phải Planck, cũng không phải các đồng nghiệp của ông thoát tiên đã nhận thức được tầm quan trọng cực kỳ to lớn của cách tiếp cận này, và ý nghĩa cơ bản của hằng số h . Cần đến hơn một thập niên để những hệ quả cách mạng của giả thuyết lượng tử của Planck mới được nhận thức.

Quá trình này trước tiên bắt đầu với giả thuyết lượng tử ánh sáng của Einstein trong *năm thần kỳ* 1905 của ông cũng như với sự phân tích kỹ định luật bức xạ của Planck bởi Einstein và Paul Ehrenfest năm sau đó. Nó chỉ ra rằng định luật bức xạ mới có mâu thuẫn cơ bản với cơ sở của vật lý cổ điển. Tháng 4 năm 1901, Einstein đã viết cho người vợ sau này Mileva: “Anh có những quan ngại cơ bản về các bài nghiên cứu của Planck về bức xạ, cho nên anh đọc các bài khảo luận của ông ta với những cảm giác phân vân.”

Từ 1904, hai nhà vật lý đã có một cuộc trao đổi ý kiến bằng thư, nhưng Planck vẫn tiếp tục đóng kín trước những lý lẽ của Einstein. Chỉ sau khi vấn đề bức xạ được thảo luận tại Hội nghị Solvay ở Brüssel năm 1911 với sự hiện diện của các tinh hoa vật lý đương thời, Einstein mới có thể báo cáo cho người bạn mình là Heinrich Zangger: “Tôi đã có thể thuyết phục được Planck phần lớn về quan điểm của tôi, sau khi ông đã cương lại nhiều năm liền. Ông ta là một người rất thành thật, không hề để ý đến chính cá nhân mình.”

Tuy vậy, vào thời điểm đó, Planck vẫn chưa phải đồng ý với Einstein hoàn toàn. Đặc biệt, đối với giả thuyết lượng tử ánh sáng của Einstein, ông

trước sau vẫn còn nghi ngại, bởi nó quá triệt để đối với ông, và đặt lại vấn đề một cách không đắn đo đối với thuyết sóng của ánh sáng đến nay đã rất thành công.

Thái độ này là sự biểu hiện của tính bảo thủ nói chung của Planck, và của các nỗ lực kéo dài cả thập niên của ông nhằm giảng hòa giả thuyết lượng tử với vật lý cổ điển; không phải ngẫu nhiên mà ông được đặc trưng là “nhà cách mạng miễn cưỡng”. Nó cũng phù hợp với trào lưu chung của vật lý học lúc bấy giờ, bởi vì nhiều nhà nghiên cứu do dự trong việc đặt nghi vấn đối với thuyết điện từ về ánh sáng của Maxwell đã được công nhận nhiều lần. Năm 1913 Planck đã tóm tắt các quan ngại của mình trong dịp chọn Einstein vào Hàn lâm viện Berlin: Rằng Einstein “trong những tư biện của mình thỉnh thoảng cũng có thể một lần bắn trật mục tiêu, như chẳng hạn trong giả thuyết lượng tử quang học của ông, nhưng điều đó người ta không nên xem nặng đối với ông ta; bởi vì, không dám đi vào một sự mạo hiểm, người ta sẽ không có một cuộc đổi mới thực sự trong khoa học chính xác nhất.”

Max Planck, với tư cách “thư ký thường trực” của Hàn Lâm viện khoa học Phổ, không những viết Laudatio cho việc kết nạp Einstein vào đền thờ Olymp này của khoa học. Mà cũng còn do chính các sáng kiến của ông mà người ta đã dành cho Einstein những điều kiện làm việc hiếm có ở Hàn Lâm viện, và do đó đã lôi cuốn được Einstein về sông Spree¹. Tại đây, Einstein có thể, với tư cách một “thiên tài được trả công”, theo đuổi các mục tiêu khoa học của mình mà không bị phá rầy bởi các nhiệm vụ giảng dạy và các trách nhiệm khác. Với sự bổ nhiệm Einstein, Planck và các đồng nghiệp của ông muốn tạo thêm ánh hào quang cho Berlin như một điểm đến khoa học, và củng cố nó trong sự cạnh tranh quốc tế. Thêm vào đó, các nhà Vật lý học Berlin hy vọng, người ta sẽ có thể cùng nhau giải các bài toán cơ bản mới của vật lý được đặt ra bởi Thuyết lượng tử. Đặc biệt, sự liên kết giữa vật lý và hóa học sẽ được đẩy mạnh, và bằng cách này, một lý thuyết mới về vật chất sẽ được mở ra. Tuy nhiên, các hy vọng cụ thể này không biến thành hiện thực, vì quan tâm của Einstein lúc bấy giờ hoàn toàn tập trung vào sự hoàn thành Thuyết tương đối rộng - và điều đó đã được kết thúc thắng lợi vào mùa thu 1915.

Planck có thái độ nghi ngại về các nỗ lực này nhằm mở rộng “Nguyên

¹ Là con sông nhỏ nhưng nổi tiếng chảy ngang qua Berlin, làm cho nó nên thơ và trở thành biểu tượng.

lý tương đối”, và đã diễn tả điều này trong Laudatio cho Einstein: “Hiện tại ông đang nghiên cứu ráo riết thuyết hấp dẫn; thành công thế nào, điều đó ông sẽ báo cho tương lai biết.” Một năm sau đó, trong một bài đáp từ cho diễn văn nhậm chức của Einstein trong Hàn Lâm viện, Planck nói đến nguy cơ đang rình rập Einstein, khiến cho ông thỉnh thoảng có thể “lạc lối vào các vùng quá ư tối tăm”. Điểm chính trong quan ngại của Planck là sự mở rộng nguyên lý tương đối sang các hệ thống chuyển động gia tốc bất kỳ. Einstein nhìn sự bi quan như thế với sự hài hước quen thuộc của ông. Ông viết cho người bạn Michele Besso: “Nhân loại khoa học nhìn thuyết hấp dẫn rất ư là thụ động... Laue cũng không hiểu được những suy nghĩ có tính cách cơ bản, Planck cũng thế, Sommerfeld có lẽ được hơn. Cái nhìn tự do, không thành kiến là không có trong người Đức (trưởng thành) (Mang miếng da che mắt ngựa!). Ông dùng danh từ “miếng da che mắt” của người Thụy Sĩ một cách hài hước.

Mặc dù sự bất đồng ý kiến về khoa học giữa hai nhà học giả có chiều hướng gia tăng nhiều hơn, nhưng chính trong những năm ở Berlin, sự công nhận lẫn nhau và trân trọng nhân cách đã phát triển sâu sắc. “Planck là một con người tuyệt vời”, Einstein viết cho Michele Besso tháng 12 năm 1915, và ngược lại, 1918, Marga Planck (vợ thứ hai của Planck) vui mừng bày tỏ trước Einstein rằng “chồng tôi đã tìm thấy trong Ông một người bạn rất đối thân thiết!”

Quan hệ thân thiết không những dựa trên sự công nhận lẫn nhau về các đóng góp chuyên môn, mà còn trên mối thiện cảm cá nhân sâu sắc hơn. Các đòn định mệnh mà Planck phải hứng chịu trong thời gian Thế chiến thứ nhất - người con trai Karl của ông chết ở chiến trận gần Verdun, và hai người con gái sinh đôi chết không lâu sau khi sinh con - đã gây nên nỗi thương tâm ở Einstein. Ngày 1.12 năm 1919, Einstein viết cho Moritz Schlick về buổi thăm viếng Planck, khi ông vừa mất hai người con gái: “Hôm qua tôi đến thăm Planck mà không dần được nước mắt khi nhìn thấy ông ta. Ông ấy rất tự chủ, và can cảm - một con người thực sự vĩ đại, và tuyệt vời.”

Âm nhạc và chính trị

Einstein thuộc về những vị khách mời thường xuyên trong nhà của Planck tại khu phố Grunewald¹ của Berlin, và ngược lại Planck thăm người bạn của mình tại căn hộ ở khu phố Schöneberg, thỉnh thoảng tại căn nhà

¹ Một khu nổi tiếng của giới thượng lưu và trí thức ở Berlin.

mùa hè tại Caputh. Lý do của những buổi gặp gỡ như thế không chỉ là các buổi họp mặt tối thường lệ (sau khi hội họp khoa học xong). Planck, người chơi dương cầm với sự hoàn hảo của một nhạc sĩ chuyên nghiệp, thường mời bạn bè và đồng nghiệp về nhà hòa nhạc. Ở đó, không những Planck và Einstein chơi, mà đôi khi cùng với con trai của Planck là Erwin, chơi Cello, làm thành một bộ tam tấu. Lise Meitner báo cáo cho Otto Hahn về một buổi tối như thế vào mùa thu 1916: “Hôm qua tôi ở nhà Planck. Hai khúc nhạc tam tấu hay tuyệt (Schubert và Beethoven) được chơi. Einstein chơi vĩ cầm, và thể hiện được rất dễ thương những quan điểm chính trị hùng dũng, hồn nhiên và độc đáo một cách tốt nhất.”

Dường như sự hài hòa của những buổi tối như thế không bị phá rầy bởi các ý kiến chính trị trái ngược nhau. Planck trong Thế chiến thứ nhất thuộc về “mặt trận thống nhất theo chủ nghĩa quân sự-yêu nước”, chỉ vì lòng yêu nước không đặt đúng chỗ mà sẵn sàng ủng hộ vô điều kiện cuộc chiến tranh của Đức, trong khi ngược lại trong giới hàn lâm, Einstein được mệnh danh là “một loại nhà đại cách mạng xã hội”. Thái độ chống chiến tranh của ông đã được biết phổ biến. Chán nản trước không khí ủng hộ chiến tranh nồng nhiệt khắp nơi, ông viết cho người bạn Hòa Lan và là đồng nghiệp của ông, Paul Ehrenfest: “Vào thời như thế người ta mới biết mình thuộc về giống loài đáng buồn nào...và tôi chỉ cảm thấy một sự pha trộn của thương hại và kinh tởm.”

Cũng vẫn trong thời gian sau Thế chiến thứ nhất, Planck và Einstein thuộc về hai khuynh hướng chính trị khác biệt nhau nhất. Planck nhiều nhất chỉ có thể được gọi là “người cộng hòa theo lý tính”, mà đối với ông sự thất trận của Đức, sự thoái vị của vua và sự tuyên bố ra đời của nền cộng hòa là “những ngày của sự bất hạnh quốc gia”. Einstein ngược lại hoan nghênh một cách vô điều kiện sự kết thúc chiến tranh, cuộc cách mạng tháng Mười một và sự sụp đổ toàn diện của vương triều, và viết cho cô em gái của ông một cách hồ hởi: “Cái vĩ đại đã đến!... Tuyệt vời biết bao khi anh được phép chứng kiến! Không có sự phá sản nào lớn như thế để người ta lại không chấp nhận nó với một cái giá đánh đổi tuyệt vời. Ở đây, chủ nghĩa quân sự và cơn mê của các ngài cổ vấn cơ mật được quét sạch.”

Mặc dù sự hồ hởi của Einstein nhanh chóng nguội đi trước tình hình chính trị mới, ông vẫn là người ủng hộ thuyết phục của chế độ cộng hòa Weimar. Thái độ đó, cũng như chủ nghĩa hòa bình và sự dấn thân của ông cho phong trào phục hưng Do Thái, đã khiến ông trở thành không những là

người “ngoại đạo” trong hàng ngũ giáo sư của chế độ cộng hòa Weimar, mà còn là mục tiêu của các chiến dịch chống phá của các lực lượng sô vanh và bài Do Thái. Các cuộc tấn công công khai đạt tới đỉnh cao vào mùa hè 1920 khi một “Nhóm hoạt động của nhà nghiên cứu tự nhiên Đức nhằm bảo tồn khoa học thuần chủng” tổ chức một loạt bài diễn thuyết chống lại Thuyết tương đối và cha đẻ của nó tại nhà giao hưởng ở Berlin.



Max Planck trong tư gia tại Berlin năm 1930

Sự chống phá không phải không có tác động lên Einstein; ông đã có ý nghĩ rời bỏ Berlin. Planck viết cho đồng nghiệp của ông một cách lo ngại: “Từ Südtirol, nơi không có tin tức nào đến tôi, trở lại Đức, tôi tìm thấy các tin tức về một trò bắn thiêu hầu như không thể tưởng tượng được, đã xảy ra tại nhà giao hưởng Berlin thời gian qua, và về tất cả những gì liên quan...ý tưởng làm tôi đau khổ là khả năng, rồi cuối cùng ông cũng sẽ mất kiên nhẫn và có thể đi đến một quyết định, điều sẽ trừng phạt nền khoa học Đức và các bạn bè của ông một cách nặng nề cho những gì mà một thái độ thấp hèn đã phạm tội với ông. Một sự ủng hộ đầy đủ từ phía những người đại diện của khoa học đối với ông sẽ không thiếu, và không được phép thiếu.”

Tuy Max von Laue, Walther Nernst và Heinrich Rubens trong một cuộc họp báo đã bảo vệ đồng nghiệp của họ bị thóa mạ, nhưng khi Bộ Văn hóa Phổ gợi ý kín, rằng Hàn lâm viện Berlin nên lên tiếng đứng về phía thành viên tên tuổi của mình, thì Planck và các thư ký khác lại sợ một tuyên bố công khai. Planck đưa ra lý do, rằng “cuộc tranh luận nay đã trở thành một chuyện chủ yếu là chính trị” mà người ta nên tránh ra. Hơn nữa người ta sẽ “tặng cho những kẻ âm mưu quá nhiều vinh dự, nếu chúng ta đem những loại súng cối của Hàn Lâm viện ra để chống lại họ”.

Sự lừa dối của nhà nước chuyên chính

Sự im tiếng trước công luận của Hàn Lâm viện, và của riêng Planck, là tiêu biểu: Cùng với sự rút lui về một nơi mà người ta nghĩ sai rằng không chính trị, thì sự đoàn kết với đồng nghiệp bị vu khống của mình bị phân liệt. Chỉ khi liên quan đến trách nhiệm về những vấn đề khoa học thì người ta thấy cần thiết thể hiện sự đoàn kết công khai. Còn đối với hành động khiêu khích hèn hạ chống Do Thái, và những vu cáo phản dân chủ thì ngược lại người ta lại có thái độ thụ động, để có thể vạch lằn ranh giới một cách an toàn giữa chính trị và khoa học, và bằng cách đó, không làm hại cho “việc thiêng liêng” của khoa học. Rằng sự phân chia ranh giới này là một huyền thoại rất được ưa thích vì lợi ích riêng tư, vâng, thực ra nó chính là một thái độ chính trị, điều đó người ta không muốn nhìn nhận, cũng như không muốn nhìn nhận rằng, ranh giới này lại bị làm ngơ chính bởi những kẻ mà các hành vi của họ vì thế đã không bị phản đối. Cái đối với Planck và phần lớn các đồng nghiệp đương thời của ông là “chính trị” hay “không chính trị”, lại không liên quan gì đến nhận thức chính trị dân chủ cả. Hành vi của họ - thật ra là sự làm ngơ - được định hướng theo các tọa độ đã bám rễ chặt trong các truyền thống của nước Đức theo chủ nghĩa Wilhelm: theo tính phi-đảng phái (phi-chính trị) của người công chức, như một sự tự lừa dối của nhà nước chuyên chính.

Những tranh luận xung quanh Einstein lại một lần nữa đạt đến điểm cao sau cuộc ám sát ngoại trưởng Walther Rathenau (gốc Do Thái) vào mùa hè 1922, đến độ Einstein phải lo ngại về tính mạng của mình và từ chối tất cả các buổi diễn thuyết và xuất hiện công khai. Khi Planck được tin đó, ông viết cho Einstein: “Lá thư của ông ngày 6 tháng này đã đánh vào tôi như một tiếng sét từ trời quang đặng. Như vậy bọn dê tiện đã đi xa trong hành động của chúng khiến cho ông lo lắng đến sự an toàn của ông.”

Mặc cho tất cả các khó khăn, Einstein không để ý đến các lời chào mời từ Thụy Sĩ và Hà Lan. Việc ông ở lại Berlin có lý do không những ở không khí trí thức năng động của thành phố mà còn ở cá nhân của Planck. Như Einstein trong một lá thư gửi cho Paul Ehrenfest năm 1919 thừa nhận, ông hứa không quay lưng với Berlin trước khi các quan hệ xuất hiện làm cho một quyết định như thế là tự nhiên và đúng đắn đối với ông:

“Bạn không thể hình dung được, sự hy sinh ở đây lớn như thế nào trong tình hình tài chính khó khăn chung, để tạo điều kiện cho việc tôi ở lại đây, và để bảo đảm cuộc sống của gia đình tôi ở Zurich. Quả là một sự đáng

ghét gấp đôi cho tôi, nếu tôi, ngay trong lúc này khi các hy vọng chính trị của tôi được thỏa mãn (ý nói cộng hòa Weimar), có lẽ một phần chỉ vì những lợi ích bề ngoài, lại quay lưng lại những người bao bọc tôi với tình yêu và tình bạn không phải vì lý do thiếu thốn, và sự ra đi của tôi trong giai đoạn này của sự làm nhục bị hiểu sai (việc thất trận) đối với họ sẽ là đau đớn gấp đôi... Tôi chỉ có thể đi khỏi nơi đây nếu có một khúc quanh xảy đến, làm cho việc ở lại của tôi không thể tiếp tục được nữa. Một khúc quanh như thế có thể xảy ra lắm. Nhưng nếu nó không xảy ra, thì việc đi khỏi của tôi sẽ đồng nghĩa với một sự vi phạm lời hứa đáng khinh bỉ đối với Planck, và ngoài ra cũng còn là sự phản bội. Tôi sẽ phải tự trách móc mình sau đó.”

Nhưng rồi đầu năm 1933, với sự nắm quyền của những người quốc xã chủ nghĩa, một “khúc quanh như thế” đã đến: Trong một nước mà các quyền tự do và công dân bị vi phạm hàng loạt và tàn bạo như ở nước Đức quốc xã, Einstein không muốn sống nữa. Bây giờ ông không còn cảm thấy bị ràng buộc bởi lời hứa đã dành cho Planck khi xưa nữa - nhất là khi Planck không muốn hiểu lời tuyên bố công khai của Einstein chống lại “các hành động bạo lực và đàn áp tàn bạo”, và còn hạ thấp nó khi xem đó là một sự tham gia vào “các hành động xúi giục gớm ghiếc của nước ngoài”. Planck đã mù quáng xem thường các dấu hiệu chính trị của thời đại như thế nào, điều đó được sự thật làm rõ khi tháng Ba 1933 ông lên đường đi nghỉ Phục Sinh như thường lệ và già từ Berlin hướng về nước Ý sáu tuần liền.

Sự nhu nhược của Planck trước người bạn

Ngay trước chuyến đi của Planck - lúc còn dưới sự quyết định của Planck - ban thư ký của Hàn Lâm viện, trong một bức thư cho Einstein, bày tỏ sự bất bình về hành vi của Einstein, và gợi ý một sự từ chức tự nguyện khỏi vị trí hàn lâm của ông. Tuy nhiên, sự việc đã không diễn ra êm xuôi như thế, như Planck và các đồng nghiệp của ông hy vọng. Einstein đã ra tay sớm hơn cuộc loại trừ Einstein ra khỏi Hàn Lâm viện được dàn dựng rùm beng bởi các nhà cầm quyền quốc xã: Ngày 28 tháng Ba năm 1933, Einstein thông báo với Hàn Lâm viện việc từ chức với tư cách thành viên của ông. Năm 1947, Max von Laue vẫn còn nhớ sự điên cuồng không thể tả trong bộ khoa học của Nazi, rằng “Einstein đã ra tay trước họ bằng tuyên bố từ chức của ông ta.”

Trong khi đó Hàn Lâm viện, trong chiến dịch được gọi là tẩy chay Do Thái từ ngày 1.4 năm 1933, thấy cần thiết, trong một thông cáo báo chí

không được hội ý của thư ký đương nhiệm Ernst Heymann, tuyên bố rùm beng, rằng “Hàn Lâm viện không thấy lý do phải hối tiếc về sự từ chức của Einstein”. Tuy có một sự bất bình sau đó trong Hàn Lâm viện, vì một vài thành viên mạnh mẽ chống đối lại tuyên bố, nhưng vẫn không có sự rút lại. Max Planck hòa mình vào các phản ứng mâu thuẫn của Hàn Lâm viện, ông cũng không thấy cần thiết phải ngưng lại kỳ nghỉ để can thiệp làm sáng tỏ các diễn biến - mặc dù Max von Laue và các đồng nghiệp khác ở Berlin đã thúc ông điều đó bằng thư. Planck vẫn tiếp tục ở Ý, bởi vì một sự trở về tức khắc đối với ông có ý nghĩa một sự biểu thị quá mạnh mẽ và đối mặt với nguy hiểm trong một việc không lấy gì làm vui lắm này.

Sau khi trở về vào cuối tháng Tư, Planck tuy có những lời ca ngợi trong một cuộc họp của Hàn Lâm viện đối với những đóng góp của Einstein, mà “ý nghĩa của chúng chỉ có thể so sánh với những công trình của Johannes Kepler và Isaac Newton”. Nhưng cuối buổi họp, ông lại thấy cần phải nhận xét rằng “Einstein, bằng hành động chính trị của mình, tự làm cho việc tiếp tục ở lại trong Hàn Lâm viện là không thể được”.

Đối với Einstein, chủ nghĩa theo thời của các đồng nghiệp hàn lâm của ông là những kinh nghiệm đau đớn nhất trong đời ông. Họ dễ dàng cúi mình trước áp lực chính trị, và do đó đã mở đường cho chính sách “bóp nghẹt tư tưởng” (Gleichschaltung) đối với cơ quan hàn lâm giàu truyền thống này. Trước thái độ “tùy cơ ứng biến” này của Planck đối với các hành động lộ liễu của bạo lực và sự vi phạm luật pháp hiện hành một cách trắng trợn, Einstein không thể hiểu nổi. Sự thất vọng cao độ được biểu lộ trong lá thư của ông ngày 6.4.1933, trong đó ông nhắc lại rằng, “trong những năm qua tôi chỉ phục vụ cho uy tín của nước Đức, và tôi không bao giờ làm điều ngược lại, rằng - đặc biệt trong những năm qua - báo chí của lực lượng hữu đã chống phá tôi, mà không một người nào xem điều đó là đáng để bênh vực cho tôi.”

Trong thư trả lời của Planck, các quan điểm chính trị trái ngược nhau được bộc lộ rõ, khi ông viết liên quan đến quyết định khai trừ Einstein của Hàn Lâm viện:

“Rằng trong các buổi họp này tôi không có mặt, điều đó tôi lấy làm tiếc vô cùng, nhưng mà sự việc giờ đây đã được giải quyết xong; về kết quả chính, sự mất mát mà Hàn Lâm viện và cùng với nó nền khoa học Đức giờ đây phải cam chịu, tôi cũng không thay đổi được gì. Bởi vì ở đây hai thế giới quan đã đâm bổ vào nhau, hai cái xung khắc nhau. Tôi không đồng tình

hoàn toàn với cái này, hay với cái kia. Thế giới quan của ông đối với tôi cũng xa lạ, như ông nhớ những cuộc nói chuyện của chúng ta về sự khước từ quân dịch đã được ông cổ xúch.



Từ đầu những năm 1920, Einstein đã trở thành mục tiêu công kích của các thể lực bài Do Thái, và ông đã có những suy nghĩ từ bỏ nước Đức. Ảnh Einstein vào khoảng 1930.

Tất cả những điều đó không ngăn cản chúng ta kính trọng nhau, đặc biệt khi người ta đã có mối quan hệ bạn hữu nhiều năm với nhau, và qua đó đã làm giàu thêm cho cuộc đời riêng của mỗi người. Cho nên, tôi đặc biệt cảm ơn ông về những lời thiện cảm của ông dành cho sự tiếp tục các mối quan hệ cá nhân của chúng ta.”

Đối với thái độ tôn sùng nhà nước mang tính chất Tin lành của Planck thì không thể hình dung được, với sự nắm quyền của quốc xã, bất công, bạo lực và tội ác đã bước lên sân khấu chính trị trong cái áo của quyền lực nhà nước. Ngược lại, Einstein không muốn chấp nhận, rằng Planck - người mà ông trước sau vẫn gần gũi như một người bạn đáng tuổi bố - chỉ vì muốn cứu vớt nền khoa học Đức nên đã bám chặt vào các chức vụ chính trị khoa học, và qua đó đã để cho quốc xã sử dụng như một công cụ: “tôi, ngay khi không phải là người Do Thái, cũng không không tiếp tục làm Chủ tịch của Hàn Lâm viện và của Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft trong những hoàn cảnh đó” như Einstein xác nhận năm 1934 trước một đồng nghiệp Mỹ. Một năm trước đó, trong một lá thư gửi cho Fritz Haber, ông đã bình luận về cách xử sự của các đồng nghiệp Đức của ông, đặc biệt về Planck và Laue một cách vắn tắt: “...Planck 60% cao quý và Laue 100%.”

Lý tưởng nhận thức

Phần còn lại 60% này của sự cao quý, mà qua đó Planck vẫn còn đủ khác biệt với nhiều đồng nghiệp Đức của ông, Einstein vẫn còn, sau chiến tranh, và trước tai họa diệt chủng, giữ nguyên cho người bạn và người đỡ

đầu đáng tuổi bố của ông. Trong một điều văn cho Planck (1948)¹, được đọc trong một buổi lễ tưởng niệm cho Planck được tổ chức bởi Hàn Lâm viện khoa học của Hoa Kỳ ở Whashington, Einstein nhận định: “rằng ngay trong những giai đoạn này, khi mà sự điên cuồng chính trị và quyền lực thô bạo gieo rắc những lo âu và đau khổ lớn cho con người, thì lý tưởng của nhận thức vẫn được nâng cao không suy suyển. Lý tưởng này.... Đã được biểu hiện trong Max Planck với một sự hoàn thiện hiếm thấy.”

Nhất là thư chia buồn của Einstein gửi cho người góa phụ đã cho chúng ta hình dung được những cuộc gặp gỡ với Planck và những năm tại Berlin nói chung đã có ý nghĩa gì đối với Einstein: “Đó là một thời gian đẹp và thành công mà tôi được phép cùng trải nghiệm trong sự gần gũi với ông ấy... Những giờ phút tôi được phép trải qua ở nhà của Ông Bà, những cuộc trò chuyện mà tôi đã thực hiện riêng với con người tuyệt vời, sẽ thuộc về những kỷ niệm đẹp nhất trong phần đời còn lại của tôi. Tất cả những cái đó không thể nào được thay đổi bởi sự thật, rằng một biến cố bi thảm đã chia cắt chúng ta.”

Năm năm sau khi Einstein được Rudolf Kallir yêu cầu phát biểu về Max Planck, ông nêu lên hai nhà vật lý đã trở thành “hai tấm gương sáng ngời” đối với ông: Hendrik Antoon Lorentz và Max Planck, bởi vì những người này đã “chiến đấu với những vấn đề gắn liền với một sự đào sâu mới mẻ cho giới nghiên cứu vật lý chúng ta” và cả hai từ bên trong hướng cái nhìn về cái cơ bản, “một cái thiên phú để ngăn ngừa các tài năng sống động nhất khỏi chìm lìm vào cái đồng hồ mang của tính uyên bác phát triển theo chiều ngang, và hướng khát vọng về chiều sâu.”

Ngoài ra, Einstein đánh giá cao Planck như “một con người cảm xúc và tư duy cao quý, có một sự khiêm tốn lớn trong các quan hệ con người. Tôi đã biết được một con người nhân hậu và chân thật sâu sắc, mà trái tim ở rất xa đầu môi chót lưỡi.

Ông luôn luôn tranh đấu cho cái gì ông nghĩ là đúng, ngay cả khi điều đó không dễ chịu lắm đối với ông ở Hàn Lâm viện. Ông cũng đến thăm tôi tại Berlin vài lần để khêu gợi lên lương tâm, khi tôi làm những điều đối với ông là cấm kỵ. Ông được gắn bó chặt chẽ về truyền thống trong quan hệ của mình với nhà nước và với tầng lớp của ông. Nhưng ông luôn luôn có ý muốn và sẵn sàng lắng nghe những niềm tin, tuy xa cách đối với ông, và

¹ Xin xem đầy đủ bài “Tưởng niệm Max Planck” của Einstein trong sách này.

đánh giá chúng, mà không một lần nào có sự va chạm. Điều đã làm cho tôi gắn bó với ông là, vượt qua tất cả những niềm tin của riêng mỗi người, chính là thái độ vô ham muốn của chúng tôi, chỉ biết hướng về phục vụ, trước những vấn đề và nhiệm vụ của con người.

Cho nên ông, một con người nghiêm túc, có sợi dây quan hệ mạnh mẽ với các giới gần xa của ông, lại sống với một kẻ bohemien như tôi - một kẻ không gắn bó nơi đâu hết, thích tìm thấy mặt vũ trụ trong mọi sự vật - qua gần hai mươi năm trong sự hòa hợp đẹp đẽ nhất."

NGUYỄN XUÂN XANH *dịch*

DIETER HOFFMANN
NGUYỄN XUÂN XANH

MAX PLANCK VÀ GIẢI NOBEL

Abstract. Quantum theory is one of the two most revolutionary theories of physics in the 20th century. It was born without any celebration and it took a while before the subject was implemented in the contemporary research. This is also reflected by the history of Planck's Nobel Prize for Physics. He was nominated every year since 1905 - during the first decade not for the foundation of quantum theory, but for his work on the laws of thermal radiation and in particular for his radiation formula. Although German newspapers had already reported in 1908, that Planck was awarded the prize, he only got the prize in 1919: "for his work on the establishment and development of the theory of elementary quanta"

Sự chần chừ của Ủy ban Nobel và Hàn Lâm viện khoa học Thụy Điển ở Stockholm kéo dài cả một thập niên trước khi chính thức năm 1919 mới chịu công nhận Planck giải Nobel cho năm 1918 trước đó còn trống, đã phản ánh thành kiến của Ủy ban và Hàn Lâm viện, và qua đó thành kiến của xã hội là to lớn thế nào trước những khám phá cách mạng trong lịch sử khoa học. Người ta không dễ dàng từ biệt một truyền thống cũ trong khoa học, là "Thiên nhiên không làm bước nhảy" (Natura non facit saltus) đã được Leibniz diễn tả cách đó 200 năm!

Mãi đến cuối những năm 70 của thế kỷ, Hàn Lâm viện Thụy Điển mới quyết định công khai hóa tất cả những tài liệu đã lâu hơn 5 năm cho giới nghiên cứu, và qua đó người ta biết được đầy đủ chi tiết về quá trình không công nhận giải Nobel cho Max Planck, cũng như cho Einstein, hai cha đẻ của hai lý thuyết cột trụ của ngành vật lý học thế kỷ 20 nhưng lại là hai người gặp nhiều khó khăn nhất trong việc được công nhận giải Nobel. Một sự mỉa mai của lịch sử!

Thủ tục chọn người để phát giải giống như thủ tục chọn giáo sư: Mỗi

giải có một Ủy ban riêng. Ủy ban tìm mời những người giới thiệu, đề cử, đánh giá, phản biện từ khắp các đại học thế giới (lúc bấy giờ chủ yếu là châu Âu vì Mỹ hãy còn là quốc gia mới phát triển về vật lý). Lược lại những sự kiện chính:

1906: Philipp Lenard (giải Nobel năm 1905) đề cử Ludwig Boltzmann, nhưng trong thư cũng nhắc đến Wilhelm Wien và Max Planck, cũng như các nhà thực nghiệm Lummer, Rubens và Paschen. Về Planck, ông nhắc lại “các định luật bức xạ quan trọng nhất của vật thể đen” và nói như sau: *“Rằng các định luật sau cùng... thuộc về các thành tựu xuất sắc của ngành Vật lý gần đây, và rằng chúng xứng đáng được xem là cơ sở cho một cuộc phát giải, điều đó không nghi ngờ gì nữa.”*

1907: Max Planck được đề cử tiếp bởi Vilhelm Bjerknes ở Stockholm, cũng như bởi nhà Vật lý học Anton Wassmuth của Đại học Graz, Áo. Ông này đánh giá cao công thức bức xạ của Planck và các hệ quả của nó, thí dụ như việc xác định điện tích cơ bản hay khối lượng tuyệt đối của các phân tử gas. Ủy ban không xét Planck, cũng như Wien.

1908: Nhà vật lý học Ivar Fredholm của Đại học Stockholm đề cử Wilhelm Wien và Max Planck cho những công trình về lý thuyết bức xạ nhiệt. Ngoài ra còn Gabriel Lippmann (Pháp) cũng được đề cử. Arrhenius, một người có tiếng nói rất quyết định lúc bấy giờ cho việc chọn ứng cử viên cho giải Nobel trong ngành vật lý và hóa học, sử dụng các công trình của Planck về tính toán các hằng số k và h , và mối liên hệ đặc biệt của k với sự tồn tại của nguyên tử như một lý lẽ để cho rằng các công trình đó có giá trị xa hơn là việc cải thiện công thức bức xạ của Wien. Hàn Lâm viện lúc bấy giờ có kế hoạch ủng hộ và hỗ trợ thuyết nguyên tử bằng sự chọn giải cần trọng theo hướng này. Ủy ban đưa bảng đề cử Planck lên Hàn Lâm viện, viết rằng *“với sự kính cẩn nhất xin đề nghị Viện Hàn lâm phát giải thưởng vật lý năm 1908 cho Giáo sư Vật lý của Đại học Berlin Max Planck vì công trình của ông về các định luật bức xạ nhiệt.”* Tuy nhiên có một phiếu chống, của Knut Ångström. Ông đề nghị công nhận giải Nobel cho một tập thể những nhà vật lý thực nghiệm và lý thuyết xung quanh vấn đề bức xạ nhiệt.

Mặt khác, nhà toán học tên tuổi của Thụy Điển, và là học trò của Weierstrass, Magnus Gustav Mittag-Leffler, là người đóng vai trò quan trọng trong việc đã làm cho việc đề cử Planck thất bại. Ông cho rằng, việc suy diễn công thức bức xạ nhiệt của Planck được dựa trên một giả thuyết hoàn toàn mới, xa lạ và khó hiểu. Và ông đề nghị cần phải hoãn quyết định

cuối cùng vào một thời điểm khác.

Thêm vào đó, nhà Vật lý Antoon Hendrik Lorentz, một uy quyền khoa học lúc bấy giờ, trong một hội nghị toán học tháng 4 tại Rom, vô tình gây thêm tác dụng xấu lên Planck khi ông nói rằng công thức của Planck không thể được suy ra từ vật lý cổ điển.

Mùa thu năm đó Planck phải chiến đấu nội tâm trước tình hình đau nặng của vợ - bà mất vào tháng 10 - và thất vọng trước tin đồn giải Nobel đã được dành cho Planck, cũng như lo lắng Thuyết lượng tử đang gây nhiều “bất ổn” trong giới khoa học. Ngày 30.11 Planck nhận được lời “chúc mừng” của W.Wien và đã trả lời một cách mỉa mai như sau: *“Tôi chân thành cảm ơn Ông về tình cảm thân thiện đã diễn tả trong thư chúc mừng của Ông. Nhưng tôi không thể chấp nhận nó được, bởi vì tôi chưa nhận được chữ nào của cả phía Nobel. Nó chỉ mang cho tôi sự bức bối đến giờ, như hậu quả của các tin tức báo chí xằng bậy. Do đó, tôi xin ông hãy giữ lấy sự chia buồn âm thầm cho tôi.”* Thực tế ba năm sau ông phải chúc mừng W.Wien!

Cuối cùng không phải Planck mà Gabriel Lippmann được công nhận giải cho một công trình về phương pháp chụp ảnh màu.

Cũng cần nói thêm rằng, Planck có uy tín là một nhà bác học có tính trung thực cao, và được Hàn Lâm viện Thụy Điển mời nhiều năm liền đề cử người cho giải Nobel. Năm 1908 ông đã đề cử Rutherford cho giải vật lý, năm 1901 đề cử W.C. Röntgen, đề cử Rayleigh ba lần, đề cử Boltzmann hàng năm cho đến khi ông này mất (1905/06)! Nhưng sau khi Hàn Lâm viện thấy công thức của Planck còn nhiều “rắc rối”, họ không mời Planck đề cử nữa, cho đến 1911 mới mời lại. Lúc đó ông đề cử Walther Nernst. Và năm 1916 ông đề cử J. Stark, kẻ sau này đi theo quốc xã chống phá ông kịch liệt.

1909: Max Planck lại được đề cử bởi nhà Vật lý học Eduard Riecke của Đại học Göttingen, và lần đầu tiên ông này đề cập đến giả thuyết lượng tử của Planck. Năm 1910, nhà Vật lý học Áo Friedrich Hasenöhl lý giải sự ủng hộ của mình đối với thuyết lượng tử như sau: *“Giả thuyết của một ‘nguyên tử năng lượng’ thoạt nhìn là vô cùng xa lạ, và được một vài phía xem là yếu điểm của lý thuyết Planck. Tuy nhiên, trong thời gian gần đây nhất, các nhà nghiên cứu khác (A. Einstein, J. Stark) cũng đi đến cùng những kết quả từ những quan điểm khác”.* Nhưng Planck lại không được đưa tiếp vào vòng trong. Tương tự như thế. Và Ủy ban quyết định trao giải Nobel năm 1911 cho Wilhelm Wien.

Laudatio của Hàn Lâm viện Thụy Điển viết cho Wilhelm Wien: *“Hàn Lâm viện khoa học Thụy Điển xin công nhận Ngài Giải Nobel vật lý năm nay cho*

khám phá của Ngài liên quan đến các định luật bức xạ nhiệt. Ngài đã dành công việc nghiên cứu cho một trong những bài toán khó khăn nhất và được quan tâm nhiều nhất của ngành vật lý. Và trong những nhà nghiên cứu đương thời, Ngài là người đã thành công đóng góp những cống hiến lớn lao nhất và quan trọng nhất cho việc tìm ra lời giải của bài toán. Ngưỡng mộ công trình đã hoàn tất, và với lời cầu chúc, rằng trong những công việc nghiên cứu sắp tới Ngài sẽ thu hoạch được thành công tiếp tục, Viện Hàn lâm xin mời Ngài đến nhận Giải thưởng từ chính tay của Vua.”

Ngày 11 tháng 11 năm 1911, Wien đọc bài thuyết trình nhận giải Nobel với tựa đề “Về các định luật của bức xạ nhiệt”. Mở đầu ông nói:

“Kính thưa Quý Hội nghị!

Sau sự công nhận đầy thiện ý mà các công trình của tôi về bức xạ nhiệt đã tìm thấy ở Viện Hàn lâm tên tuổi lâu đời của Quý Vị, thật là một niềm vui đặc biệt cho tôi để trình bày với Quý Vị về lĩnh vực này của vật lý, lĩnh vực mà gần đây do khó khăn của những bài toán của nó đã thu hút sự chú ý của tất cả các nhà Vật lý học. Khi vừa ra khỏi ranh giới an toàn của cách xem xét bằng nhiệt động học, người ta sẽ bước ngay vào lĩnh vực không có lối đi, nơi những khó khăn đang cản trở những người nghiên cứu muốn tiến bước, những khó khăn mà những người sâu sắc nhất cũng phải đối mặt hầu như bất lực.”

Ông đánh giá cao các công trình của thầy ông là Helmholtz, và của Jacobus H. van't Hoff. Xuất phát từ những ý tưởng của Kirchhoff và từ lý thuyết Maxwell, ông giải thích công trình của ông cũng như định luật bức xạ của Rayleigh, rồi sau đó dẫn qua giải pháp của Planck cho bài toán bức xạ: “Người ta thấy từ ít điều tôi có thể trình bày ở đây, là các khó khăn trong thuyết bức xạ vẫn còn lớn như thế nào. Nhưng sự lưu ý về những khó khăn này, mà việc đưa chúng lên vị trí hàng đầu là nhiệm vụ của các xem xét khoa học, không được phép làm cho chúng ta sợ hãi trước việc công nhận những thành tựu lớn và tích cực mà lý thuyết của Planck đã thu hoạch được.”

Wien nói tiếp về những thành công của Thuyết lượng tử của Planck trong việc giải quyết bài toán của nhiệt đặc trưng. Gần cuối, ông cũng điểm qua giả thuyết lượng tử ánh sáng của Einstein.

Với sự công nhận giải Nobel cho Wilhelm Wien về công thức bức xạ của ông, thì sự thảo luận xung quanh giải Nobel cho Planck chỉ còn tập trung vào Thuyết lượng tử, mặc dù công thức của Wien về bức xạ nhiệt, như mọi người đều biết, chỉ mới gần đúng, công thức của Planck mới là hoàn hảo.

Tuy Wien trong bài diễn văn Nobel của mình cũng có những ý kiến hoài nghi về Thuyết lượng tử của Planck, nhưng trong những năm sau đó

ông vẫn là người luôn luôn đề cử Planck làm ứng viên giải Nobel cho những công trình này.

Khi có tin Wien được giải Nobel qua báo chí, Planck gửi thư chúc mừng, có đoạn viết:

“Đồng nghiệp thân mến,

Tôi biết từ kinh nghiệm cá nhân rằng không nhất thiết phải tin vào báo chí, nhưng lần này tôi muốn mạo hiểm và gửi đến Ông lời chúc mừng nồng nhiệt nhất của tôi về tin mừng giải Nobel. Ông đủ hiểu rõ tôi để biết rằng không ai chia sẻ sự đánh giá các công trình khoa học của Ông với một niềm vui thắng thắn và chân thật hơn, nhất là khi tôi rất gần gũi lĩnh vực hoạt động của ông.”

Năm 1914, được Ủy ban Nobel yêu cầu, Wien đã viết:

“Bây giờ đã có nhiều hiện tượng được chứng minh có quan hệ với Thuyết lượng tử, đến độ nó ít nhất phải được công nhận một giá trị đặc biệt về mặt hỗ trợ khám phá. Tôi chỉ kể ra sự suy diễn ra công thức bức xạ, rồi sự áp dụng của thuyết lượng tử lên các hiện tượng quang điện, lên thuyết nhiệt đặc trưng, thuyết khả năng dẫn điện của kim loại, và sau cùng lên thuyết các quang phổ dãy. Khắp nơi người ta thấy một sự trùng khớp nổi bật về con số, cho nên không còn nghi ngờ gì nữa rằng qua Thuyết lượng tử những quan hệ mới đã được khám phá.”

Wien lại đề cử Planck một lần nữa cho năm 1916 và 1917. Ông đề cử giải Nobel năm 1916 cho Planck, và cho Sommerfeld năm 1917. Ông viết: *“Ngoài ra, tôi xin nhắc lại đề cử của tôi cho năm 1916 trong sự cân nhắc rằng, sẽ không thể phát một giải Nobel cho một công trình trong lĩnh vực Thuyết lượng tử nào trước khi Planck được giải”.*

Năm 1917, Ủy ban Nobel lại giao cho Arrhenius nhiệm vụ xem xét kỹ lưỡng một lần nữa các công trình của Planck. Nhưng ông này lại khảo sát công trình của Planck về quang phổ quay của các phân tử. Kết luận tiêu cực, đặc biệt về Thuyết lượng tử: *“Công trình được đề cập của Planck rõ ràng không nói rộng thêm chút nào những công lao nổi bật của Planck được công nhận cho thuyết lượng tử. Thay vào đó, vị trí của ông (Planck) hầu như không thay đổi kể từ lúc Hội đồng của Ủy ban lần rồi gửi đi bằng đánh giá về việc đó. Thuyết lượng tử chưa đạt được sự tổng kết thỏa mãn để xem ra là phù hợp với mong muốn.”* Trong khi đó, trong một tập được xuất bản không lâu trước dịp sinh nhật thứ 60 của Planck, W.Wien lại viết: *“Một sự diễn đạt logic toàn diện của thuyết (lượng tử) nhìn đại thể là chưa có thể được. Nhưng bằng những quan hệ đa dạng, nó đã tác động lên các lý thuyết khác một cách kích thích. Cho nên lĩnh vực mới được khai thác này sẽ thu hút hoạt động của các nhà vật lý cho một thời gian dài, và hứa hẹn đem*

lại nhiều thành quả”.

Ủy ban Nobel trước sau vẫn nghi ngờ. Năm này giáo sư vật lý Leo Graetz của Đại học Munich nhận được yêu cầu đề cử giải Nobel cho 1918. Ông đề cử Max Planck và giải trình chi tiết. Ông cho rằng, công thức bức xạ của Planck đã *“hoàn toàn mô tả đúng tất cả những quan sát thực nghiệm trong cả quang phổ và cho tất cả nhiệt độ, và nó sẽ là “định luật bức xạ Planck” được bảo đảm của khoa học.”* Ông trình bày tiếp giả thuyết lượng tử, tuy cho rằng giả thuyết này *“đi ngược lại quan niệm được thừa nhận đến nay”*. Ông cũng giải tỏa quan ngại của Poincaré khi cho rằng lượng tử hóa năng lượng cho một độ tự do thì dễ, cho nhiều độ tự do thì khó (điều Planck đã giải quyết trong những năm 1915 và 1916). Cuối cùng, ông đề cập đến mô hình nguyên tử thành công tuyệt vời của Bohr, sử dụng ý tưởng lượng tử của Planck.

1918: là năm cuối cùng của Thế chiến thứ nhất. Nó gây ra một *“cuộc chiến tranh trong giới khoa học và trí thức”*. Người ta tố cáo nhau, và không trích dẫn những nhà khoa học ở phía bên kia. Năm 1918, giải Nobel bị để trống, nhưng sẽ được quyết định vào năm sau.

1919: Ủy ban Nobel lại giao cho Arrhenius nhiệm vụ xem xét và đánh giá lại toàn diện các công trình của Planck!! Nhưng lần này ông này đã đổi giọng. Lần này ông lại đánh giá cao hằng số h , cũng như sự cắt nghĩa được hiện tượng quang điện bởi Einstein; công trình nhiệt đặc trưng của Einstein cũng được đưa vào để củng cố cho Thuyết lượng tử. Rồi ông đi vào cách diễn giải quang phổ bởi Bohr và Sommerfeld. Kể cả việc ông tìm kiếm sự công nhận mô hình của Bohr từ các nhà vật lý Anh.

Lần đầu tiên Einstein cũng được hỏi ý kiến về Max Planck. Einstein viết cho Ủy ban Nobel như sau: *“Về việc hỏi ý kiến đã được gửi đến tôi liên quan đến giải Nobel cho năm 1919, tôi xin đề nghị công nhận giải Nobel cho Ngài GS.TS Max Planck cho những công trình của ông trong lĩnh vực bức xạ nhiệt, và đặc biệt cho hai công trình: “Về định luật của sự phân bố năng lượng trong quang phổ chuẩn” (Niên giám của Drude, tr. 553-563, 1901) và “Về các lượng tử cơ bản của vật chất và điện” (Niên giám của Drude, tr. 564-566, 1901). Bằng những công trình này, tác giả không những đã cung cấp được sự xác định chính xác cho độ lớn tuyệt đối của các nguyên tử, mà đặc biệt còn đặt nền tảng cho Thuyết lượng tử mà sự màu mỡ cao độ của nó cho toàn ngành vật lý học chỉ mới được lộ ra trong những năm qua. Dựa lên trên thành quả lý thuyết của Planck cũng là thuyết quang phổ của Bohr, qua đó một sự tiến bộ có ý nghĩa nhất đã đem lại nhận thức của chúng ta trong những năm qua về cấu trúc của nguyên tử. Với lời chào kính trọng. A.Einstein.”*

1918: Max Born cũng nộp cho Ủy ban bản đề nghị ứng cử viên cho giải Nobel năm 1918, và cũng nêu lên các công trình của Planck đăng trong Annalen, và một bài trong tạp chí “Die Naturwissenschaften”. Chắc chắn Born đã có tham khảo ý kiến của Einstein, vì hai người rất thân nhau.

Mặt khác, Hàn Lâm viện khoa học Thụy Điển cũng yêu cầu GS Vật lý Rennelt Sissingh ở Amsterdam hãy cho một đề cử cho giải Nobel 1919. Mở đầu, Sissingh lưu ý rằng ông không thể đáp ứng được điều khoản §1 của Quy, “*rằng (phải) tìm những công trình khoa học của năm qua đã có ảnh hưởng lớn nhất lên sự phát triển của vật lý. Chỉ trong những trường hợp hiếm hoi may ra mới có thể tìm ra được một khám phá trên lĩnh vực vật lý mà tầm quan trọng lớn lao của nó có thể được nhận thức ngay bởi tất cả những người làm việc trong lĩnh vực này, và nó kích thích những nghiên cứu mới, bằng cách nó mở ra cánh cửa dẫn đến một lĩnh vực chưa ai đặt chân đến.*”

Vì điều này “rất khó”, nên Sissingh đã đề cử Max Planck, người mà trong hai thập niên đầu của thế kỷ đã có những công trình nghiên cứu có ảnh hưởng sâu sắc đến nhiều lĩnh vực khác nhau của nghiên cứu vật lý. Trong phần nhìn lại có tính cách tổng quan, ông vạch ra rằng nửa đầu thế kỷ 19 đã có thể thống nhất lại nhiều hiện tượng của thế giới quan cơ học, trong khi nửa thế kỷ sau đã tạo ra một thế giới quan điện từ. Rồi ông nói tiếp: “*Công trình về lý thuyết nhiệt của Planck lại đã thay đổi thế giới quan vật lý, bằng cách nó buộc con người phải chấp nhận giả thuyết của tính bất-liên-tục, không phải giống như hai giả thuyết đầu tiên trong vật chất và điện, mà là trong năng lượng.*” Bằng cách đưa ra khái niệm tính bất-liên-tục của năng lượng, nghĩa là thuyết lượng tử, người ta đã có thể giải thích một cách logic nhiều kết quả đo đạc trước đây hoàn toàn không hiểu được, như hiện tượng năng lượng đặc trưng. Kết luận bằng giải trình, ông viết: “*Tôi không cần nhắc lại rằng tại Hội nghị Solvay ở Brüssel, nơi 18 nhà vật lý tên tuổi nhất của nhiều quốc gia khác nhau tụ hội để ‘Bàn về những khó khăn nghiêm trọng nhất mà người ta gặp phải khi tìm cách hình dung về chuyển động của các vật thể nhỏ nhất có trọng lượng, các lực giữa các hạt này và các quá trình diễn ra trong ether’ thì luôn luôn thuyết lượng tử là trung tâm điểm của sự bàn bạc.*” Hội nghị Solvay đầu tiên này được tổ chức lần đầu tiên năm 1911, và trở thành một chuỗi hội nghị đi vào lịch sử của Vật lý học, được Walter Nernst xúc tiến mạnh mẽ sau khi ông bị “sửng sốt” về tính chính xác trong đo đạc khi sử dụng thuyết lượng tử dạng của Einstein trong năng lượng đặc trưng. Nernst cho rằng đã đến lúc phải triệu tập một “Hội nghị thượng đỉnh” về “Các vấn đề bức xạ và lượng tử”. Nhưng

Planck, với tính cách thận trọng, chưa thấy thuyết phục lắm, vì theo ông hãy còn ít dữ kiện, và vẫn còn quá ít nhà vật lý cảm thấy “sự cần thiết cấp bách của một cuộc cải cách”. Tuy thế, Nernst đã thuyết phục được nhà công kỹ nghệ hảo tâm Bỉ Ernest Solvay tài trợ, và Hội nghị được triệu tập vào ngày 21.11.1911, dưới sự chủ tọa của nhà Vật lý học Hà lan Antoon Hendrik Lorentz, một người nói lưu loát được ba thứ tiếng: Anh, Pháp, Đức, và có biệt tài điều khiển hội nghị rất tế nhị, người mà Einstein hằng ngưỡng mộ.

Cuối cùng, Ủy ban Nobel đã thống nhất công nhận giải Nobel năm 1918 cho Planck (là năm vẫn chưa phát giải vì tình hình chiến tranh), *“vì những đóng góp cho công cuộc phát triển ngành Vật lý học bằng khám phá lượng tử của năng lượng của ông”*. Đề nghị của Ủy ban được Hàn lâm viện khoa học Thụy Điển trong buổi họp toàn thể được quyết định với đại đa số. Có lẽ họ không còn chần chừ được nữa. Càng trì hoãn sự công nhận cho Planck, Ủy ban Nobel chỉ càng tỏ ra mình đi chậm thời cuộc quá đáng. [Tiếp đến, năm 1921 giải Nobel được công nhận cho Einstein về “hiệu ứng quang điện và các đóng góp trong ngành vật lý lý thuyết”, năm 1922 cho Niels Bohr về khám phá “cấu trúc của các nguyên tử và bức xạ phát ra từ chúng”.]

Planck nhận được tin bằng điện tín của Ủy ban có lẽ vào ngày 18 tháng 11 năm 1919. Ông trả lời ngay bằng điện tín: *“Rất vui mừng, xin cảm ơn nồng nhiệt về bức điện tín. Sẽ có thư sau. Planck.”*

Lúc đó ông đang ở Heidelberg, trong một dịp rất buồn. Một trong hai người con gái sinh đôi thương yêu của ông, Grete, trước đây lấy chồng ở Heidelberg, và đã chết (1917) khi sinh đứa con đầu lòng. Đứa cháu được cứu sống, và được người con gái thứ hai, Emma, nuôi dưỡng. Emma sau đó lấy người chồng góa kia, và ngày 21 tháng 11 vừa qua cũng đã chết khi sinh đứa con đầu lòng!

Khi trở về Berlin, Planck viết phúc đáp vào ngày 1.12 cho vị thư ký của Hàn Lâm viện Thụy Điển:

“Thưa Quý Giáo sư!

Sau khi nhận được quý thư của Ngài vào ngày 15 tháng 11, tôi xin Ngài, như một sự bổ sung bức điện tín của tôi vào ngày 23 tháng 11, hãy nhận sự bày tỏ lòng của lòng biết ơn chân thành và vui sướng của tôi. Tôi hiểu vinh dự đã dành cho tôi thông qua việc công nhận giải thưởng Nobel Vật lý như là một phần thưởng từ sự cao quý đặc biệt khiến nó sẽ làm cho tôi phân vân, nếu tôi không ý thức thấm thía rằng, ở công trình mà sự thành công của nó đã được dành cho tôi, đã từ gần 20 năm vô số các nhà nghiên cứu tên tuổi, thực nghiệm cũng như lý thuyết, đã góp phần

tham gia với sự thành công lớn nhất. Cho nên tôi xin đón nhận phần thưởng như một sự vinh danh cho những đóng góp này, và xin Ngài, trong sự khiêm tốn nhất, khi có cơ hội, chuyển lòng biết ơn sâu sắc nhất của tôi, cũng đến các Vị thành viên của Hàn Lâm viện của Quý Ngài. Tôi hy vọng, và vui mừng, trong chuyến đi thăm tại Stockolm mùa hè tới, được làm quen với Ngài và các Vị đồng nghiệp, và xin Ngài, sớm như có thể, thông báo cho tôi chi tiết về những nhiệm vụ của tôi phải làm tại đó.

Với lời chào trân trọng

Max Planck"

Một lá thư với những lời lẽ vô cùng khiêm tốn, đúng với tính cách của Planck. Max Planck nhận giải chính thức vào năm 1920 khi chiến tranh thế giới hoàn toàn chấm dứt. Nhưng đó quả là sự vinh quang trong sự nghiệt ngã của định mệnh dành cho ông! Ông không những mất hai người con gái thân yêu liên tiếp, mà còn mất người người con trai đầu lòng Karl năm 1916 trong chiến trận gần Verdun, và vợ hiền Marie năm 1909.

Quá trình công nhận giải Nobel cho Planck kéo dài cả mười năm, cho thấy hơn bao giờ hết, thành kiến khoa học ở ngay trong giai tầng hàn lâm, được xem như giai tầng trí thức cao nhất của xã hội, ở ngay trung tâm phát triển khoa học bấy giờ là Tây Âu, đối với những cái mới cách mạng, là dai dẳng và ghê gớm đến dường nào. Max Planck phải chờ 19 năm. Einstein chờ 17 năm*.

Tư liệu tham khảo:

[1] Dieter Hoffmann, Jost Lemmerich, *100 Quantentheorie. Die Vor- und Frühgeschichte*. Berlin 2000.

[2] Dieter Hoffmann, Max Planck. *Die Entstehung der modernen Physik*. C.H.Beck, 2008.

[3] Hans Roos & Armin Hermann (Hg.), *Max Planck, Vorträge, Reden, Erinnerungen*. Springer 2008.

[4] John L. Heilbron, *Max Planck. Ein Leben für Wissenschaft*. Hirzel, 2006, 2. Auflage.

[5] Nguyễn Xuân Xanh, *Einstein*. NXB Thành phố Hồ Chí Minh, 2007.

* Về trường hợp Einstein và giải Nobel xin xem chi tiết trong sách *Einstein* [5].

MAX PLANCK

CON ĐƯỜNG TỪ NGHIÊN CỨU THUẦN TÚY ĐẾN ỨNG DỤNG CÔNG NGHIỆP

Abstract. Max Planck described the way from pure scientific research to industrial exploitation.

Có hai lực khác nhau đánh thức và nuôi dưỡng mỗi quan tâm nghiên cứu trong con người tư duy: Động cơ đi tìm nhận thức vị nhận thức, và động cơ chế ngự thiên nhiên và làm cho nó trở thành hữu ích. Bàn cãi động cơ nào quan trọng hơn, đó là công việc của sự nhân rồi. Nhưng chắc chắn cả hai tất yếu sẽ dẫn đến con đường nghiên cứu thuần túy (cơ bản), con đường duy nhất hứa hẹn sự làm chủ các sức mạnh thiên nhiên.

Cũng như một bác sĩ muốn giúp người bệnh bình phục lại trước nhất phải nghiên cứu nguồn gốc của bệnh, thì một người kỹ sư, khi suy tư về một ý tưởng mới, phải trước nhất nghiên cứu các định luật tự nhiên mà anh ta muốn xây dựng sáng kiến của mình trên đó. Không ai đã cảm nhận và nói ra điều đó rõ hơn là cha đẻ ngành kỹ thuật điện hiện đại chúng ta: Werner von Siemens. Ông khám phá được nguyên lý Dynamo nhờ việc nghiên cứu vật lý khoa học, đặc biệt sự nghiên cứu các định luật của cảm ứng điện từ được tìm thấy và mô tả bởi Michael Faraday. Một điều đáng chú ý là chính Faraday chưa hề nghĩ đến sự ứng dụng vật lý của ông. Chỉ có động cơ nhận thức thuần túy đã dẫn dắt ông.

Sự thật đặc thù mới nhìn có vẻ lạ lùng này, nhưng chúng ta tìm thấy nó được xác nhận trong nhiều trường hợp khác, rằng thật vậy, chính ở những thành tựu vĩ đại của kỹ thuật được dựa trên những ý tưởng hoàn toàn mới những điều kiện tiên khởi cơ bản cho sự thực thi chúng đã được tạo ra bởi những nhà nghiên cứu không những loại ra ngoài việc sử dụng các nghiên cứu của họ cho mục đích kinh tế và kỹ thuật, mà còn trong chừng mực có thái độ từ chối những ý nghĩ như thế.

Cả Heinrich Hertz lẫn Wilhelm Konrad Röntgen không ai muốn liên quan đến sự ứng dụng thực tiễn cho nghiên cứu của họ, vì chỉ có khía cạnh khoa học của các vấn đề nghiên cứu là mối quan tâm của họ, nhưng rồi bằng những khám phá, họ đã đặt nền tảng cho các ngành kỹ nghệ khổng lồ hình thành với vô số giá trị bạc triệu được buôn bán hiện tại. Khi William Thomson (sau này là Lord Kelvin) và J.P Joule làm cuộc nghiên cứu kỹ hiện tượng làm lạnh không khí không lớn lắm đập vào mắt hai ông khi có sự tiết ra qua van tiết lưu, hai ông không hề nghĩ rằng hiệu ứng nhỏ xíu đó sau này lại được một nhà nghiên cứu thiên về ứng dụng, như Carl von Linde, sử dụng như khởi điểm cho sự chế tạo ra một phương pháp hóa lỏng không khí hoàn toàn ưu việt so với tất cả phương pháp khác. Fritz Haber và Carl Bosch chỉ có thể khuất phục được bài toán của sự khai thác khí nitơ từ không khí bằng cách sử dụng được các định luật về ảnh hưởng của nhiệt độ và áp suất lên sự hình thành khí amoniac, như được phát hiện từ J.H. van't Hoff trong thuyết cân bằng hóa học xuất phát từ những quan điểm thuần lý thuyết mà không để ý chút nào đến ứng dụng kỹ thuật.

Một chuỗi thí dụ còn kéo dài. Nó nói lên với ấn tượng đậm nét sự chính đáng sâu sắc lời nói của Humboldt, rằng khoa học thường sẽ trút ra phúc lợi dồi dào nhất của nó cho cuộc sống, vào lúc nó xem như xa rời cuộc sống.

Trước những sự thật như thế, cái gì đáng được quan tâm cho sự phồn vinh của dân tộc hơn là đòi hỏi phải chăm sóc và đào sâu thêm nghiên cứu khoa học? Các điều kiện tiên quyết cho sự thành công trong lĩnh vực này, tài năng tự nhiên và giáo dục sơ đẳng bằng trường ốc, vẫn còn hiện diện tương đối đầy đủ trong dân tộc chúng ta. Chúng tạo thành ngay cái tư bản duy nhất đã được gìn giữ gần như nguyên vẹn qua chiến tranh và trong thời hậu chiến. Nếu người ta để cho nó suy yếu, hay nếu sao nhãng việc chăm sóc khoa học thuần túy chỉ vì sự tiết kiệm nhất thời, thì trong lĩnh vực còn lại cuối cùng này, nơi nước Đức có thể bước vào cạnh tranh với các quốc gia khác, viễn tượng của một sự thành công là đứt khoát qua đi, và mỗi hy vọng, rằng dân tộc chúng ta một lần sẽ lại tiến lên đỉnh cao kinh tế, sẽ bị tiêu tan đi.

NGUYỄN XUÂN XANH dịch
 Trong *John L. Heilbron, Max Planck.*
 NXB Herzel 2006

MAX PLANCK

TÔN GIÁO VÀ KHOA HỌC TỰ NHIÊN*

Abstract. The speech of Max Planck in 1937 entitled “Religion and Natural Science” is translated into vietnamese. The opinions of Max Planck on the meaning of Religion and Natural Science are discussed to reveal some misunderstanding about Religion and Science that is popular with vietnamese laymen in the present time.

Thưa Quý Bà, Quý Ông kính mến,

Vào các thời trước, khi một nhà khoa học tự nhiên muốn khơi dậy ít nhiều sự quan tâm nơi cử tọa rộng rãi, không chỉ bao gồm những nhà chuyên môn, về một đề tài thuộc lĩnh vực chuyên ngành thì trước hết phải cố gắng liên hệ phần trình bày của mình với những kinh nghiệm và trực quan dễ nắm bắt, rút ra từ đời sống hằng ngày, chẳng hạn từ lĩnh vực kỹ thuật hay khí tượng học, hoặc cả từ ngành sinh vật học, rồi từ đó làm cho thính giả hiểu được những phương pháp mà khoa học dựa vào trong nỗ lực đi từ những câu hỏi cụ thể, riêng lẻ tiến tới chỗ nhận thức được những định luật phổ biến. Bây giờ không như thế nữa. Qua quá trình lao động hàng mấy thế kỷ, phương pháp luận chính xác được khoa học tự nhiên sử dụng đã chứng tỏ có kết quả phi thường khiến nó ngày nay dám đụng chạm đến cả những vấn đề ít có tính trực quan hơn so với các ví dụ trên đây, giải quyết thành công cả những vấn đề của môn tâm lý học, của nhận thức luận, vâng, thậm chí cả của thế giới quan phổ quát, và, từ quan điểm của mình, tiến hành nghiên cứu chúng một cách sâu sắc. Có thể đoán chắc rằng hiện nay không còn có một vấn đề nào dù trừu tượng đến mấy của văn hóa

* Bài thuyết trình được lấy từ tuyển tập “TỰ TRUYỆN KHOA HỌC và những bài báo khác” (SCIENTIFIC AUTOBIOGRAPHY and Other Papers) của Max Planck. Bản dịch này được thực hiện từ bản tiếng Anh (Great Books of the Western World, Encyclopedia Britannica, 1994), được Nguyễn Xuân Xanh đối chiếu với nguyên bản tiếng Đức và Bùi Văn Nam Sơn xem lại. (N.D)

nhân loại mà không có quan hệ một cách nào đó với một vấn đề có thể hiểu được bằng khoa học tự nhiên.

Vì thế, sự liễu lĩnh của tôi tỏ ra không quá táo bạo, khi, với tư cách là một nhà nghiên cứu tự nhiên, được lời mời đầy vinh dự của Quý vị khách lễ, trình bày ở đây, tại Baltikum với tinh thần văn hóa bền bỉ của nó, về một đề tài mà tầm quan trọng đang không ngừng gia tăng đối với toàn bộ nền văn hóa đang trên bước đường phát triển của chúng ta, và chắc hẳn sẽ có tính chất quyết định cho câu hỏi về số phận của nền văn hóa ấy trong tương lai.

I. *"Này, nói cho em nghe đi, anh nghĩ thế nào về tôn giáo?"*. Nếu có một lời nói giản đơn nào trong tác phẩm Faust của Goethe đụng chạm đến bản thân người nghe vốn là kẻ được cưng chiều và khơi dậy trong nội tâm anh ta một sự căng thẳng ngấm ngấm thì đó chính là câu chất vấn lương tâm đầy e ngại của cô gái ngây thơ đang âu lo cho niềm hạnh phúc non trẻ của mình gửi đến người yêu được cô thừa nhận như một quyền uy cao hơn. Bởi đây cũng chính là câu hỏi từ lâu đã làm xao động và thôi thúc tâm tư của bao người vừa khao khát sự thanh thản trong tâm hồn, vừa khát khao hiểu biết. Và Faust, hơi bối rối trước câu hỏi thơ ngây này, trước hết chỉ còn cách chống chế nhẹ nhàng: *"Anh đâu muốn tước bỏ tình cảm và tín ngưỡng của ai đâu!"*.

Tôi không thể chọn được một câu nói nào hay hơn câu nói này để làm lời dẫn nhập cho những gì tôi muốn nói với Quý Ông Bà hôm nay. Tôi cũng không hề có chút ý muốn nào làm suy sụp lòng tin của những ai trong Ông Bà đã tìm được bình an trong lương tâm của mình và đã có được chỗ tựa vững chắc vốn là điều thiết yếu hàng đầu cho việc định hướng cuộc sống của chúng ta. Nếu làm khác đi thì ắt sẽ là một sự bắt đầu vô trách nhiệm, không những đối với những người cảm thấy thật an toàn trong đức tin tôn giáo của mình khiến họ không cho phép tri thức khoa học tự nhiên có chút ảnh hưởng nào lên đó, mà còn cả đối với những người từ khước việc hành trì tín ngưỡng đặc thù và tự hài lòng với một nền đạo đức dựa trên tình cảm đơn thuần. Song, chắc đây chỉ là một thiểu số. Bởi vì lịch sử của mọi thời đại và mọi dân tộc đã dạy cho ta một cách đầy ấn tượng rằng, chính từ lòng tin hồn nhiên, không gì làm lay chuyển được mà tôn giáo đã mang lại cho tín đồ trong đời sống hằng ngày đã tạo ra những động lực mạnh mẽ nhất cho các thành tựu sáng tạo quan trọng trong lĩnh vực chính trị, và không ít hơn, cả trong lĩnh vực nghệ thuật và khoa học.

Niềm tin hồn nhiên ấy - ta không nên tự dối mình - ngày nay không

còn nữa, kể cả trong quảng đại quần chúng và cũng không thể làm sống lại được bằng những suy nghĩ và biện pháp hướng về quá khứ. Bởi lẽ *tin* có nghĩa rằng *cho-là-thật*, thế nhưng, tri thức về tự nhiên đang không ngừng tiến lên trên con đường vững chắc không gì phản bác được đã dẫn đến hệ quả là: một người ít nhiều được đào tạo về khoa học tự nhiên ngày nay tuyệt nhiên không còn có thể thừa nhận như là sự thật nhiều chuyện kể về những sự việc dị thường, ngược lại những định luật tự nhiên, những phép lạ vốn là chỗ dựa cơ bản để củng cố cho các học thuyết tôn giáo mà trước đây người ta sẵn sàng chấp nhận như là sự kiện có thật và không có chút thắc mắc, phê phán nào. Cho nên, ai thật sự xem trọng đức tin của mình và không thể chịu nổi khi thấy nó mâu thuẫn với tri thức khoa học, ắt sẽ đứng trước vấn nạn của lương tâm, tự hỏi một cách thành khẩn rằng liệu có thể xem mình còn thuộc về một cộng đồng tôn giáo mà trong sự tuyên tín có bao hàm cả lòng tin vào phép lạ.

Một thời gian dài có những người vẫn còn tìm được một sự trấn an nào đó bằng cách cố đi con đường trung dung và giới hạn niềm tin vào một số ít phép màu được xem là có giá trị đặc biệt quan trọng mà thôi. Nhưng, một thái độ như thế khó mà giữ được lâu dài. Từng bước một, niềm tin vào những phép lạ này phải lùi dần trước khoa học đang tiến bước liên tục và vững chắc, và chắc chắn sớm hay muộn cũng sẽ phải cáo chung. Ngay thế hệ trẻ đang lớn lên ngày hôm nay của chúng ta - những người, như đã biết, có thái độ phê phán công khai đối với những quan niệm được trao truyền từ quá khứ - cũng không còn gắn bó về nội tâm với những học thuyết tỏ ra đi ngược lại với tự nhiên. Và cũng chính những kẻ có năng khiếu tinh thần xuất sắc nhất trong số họ, tức những người mang sứ mệnh là sẽ giữ những vị trí lãnh đạo trong tương lai, và, không phải hiếm khi thấy nơi họ một khao khát cháy bỏng đi tìm sự thỏa mãn về tín ngưỡng, là những kẻ nhạy cảm nhất trước những điều bất nhất như thế, và, bao lâu họ chân thành đi tìm một sự cân bằng cho các quan niệm tôn giáo và khoa học tự nhiên của họ, họ là những người chịu dần vấp đau khổ nhiều nhất.

Trong tình hình ấy thật không có gì đáng ngạc nhiên khi phong trào vô thần - xem tôn giáo là hình ảnh lừa mị do đám giáo sĩ ham hố quyền lực nặn ra và chỉ buông những lời nhạo báng đối với đức tin sùng kính trước quyền năng cao hơn chúng ta - ra sức lợi dụng tri thức khoa học tự nhiên đang phát triển mạnh mẽ và, trong một liên minh giả tạo với nó, đẩy mạnh tác dụng làm tan rã của nó lên mọi tầng lớp nhân dân khắp nơi trên trái đất với

tốc độ ngày càng nhanh hơn. Với thắng lợi của nó, không chỉ những tài sản quý báu nhất của nền văn hóa chúng ta, mà nghiêm trọng hơn, ngay các triển vọng cho một tương lai tốt đẹp hơn sẽ làm mờ cho sự hủy diệt, là điều tôi thiết tưởng không cần bàn nhiều ở đây.

Cho nên, câu hỏi nói trên của Gretschen đối với người được nàng chọn lựa để trao tình yêu và lòng tin cậy cũng có ý nghĩa sâu sắc nhất cho những ai thật lòng muốn biết phải chăng sự tiến bộ của các ngành khoa học tự nhiên có thực sự dẫn tới sự suy tàn của tôn giáo đích thực hay không.

Bây giờ, nếu ta nhìn lại câu trả lời cặn kẽ, thận trọng và đầy tình âu yếm của Faust, ắt ta không nên tiếp thu nó một cách lập tức, vì hai lẽ: thứ nhất, phải thấy rằng câu trả lời này, về nội dung lẫn hình thức, được gọt giũa cho vừa với trình độ hiểu biết của một cô gái thất học, và do đó, không chỉ nhằm tác động lên lý trí mà cả đến tình cảm và trí tưởng tượng nữa; song, điểm thứ hai quyết định hơn, đó là không nên quên rằng đây là lời nói của chàng Faust khi đang còn bị khoá lặc nhục dục thúc đẩy và đứng trong thế liên minh với quỷ Mephisto. Tôi chắc rằng, chàng Faust, khi đã được giải thoát như ta biết về chàng ở cuối phần II của vở kịch, chắc hẳn sẽ đưa ra một câu trả lời có phần khác trước cho câu hỏi của Gretschen. Song, tôi không dám vượt quá sức mình để liều lĩnh thâm nhập vào phần bí nhiệm mà nhà thơ muốn mãi mãi giữ kín. Đúng hơn, tôi chỉ muốn thử soi sáng câu hỏi từ thế đứng của một học giả lớn lên trong tinh thần của nghiên cứu khoa học chính xác: phải chăng và trong chừng mực nào một thái độ tín ngưỡng chân thực phù hợp với những kiến thức do khoa học tự nhiên mang lại, hay, nói ngắn: liệu một người được đào tạo về khoa học tự nhiên có thể đồng thời có tinh thần tín ngưỡng đích thực hay không?

Nhằm mục đích ấy, trước hết thiết tưởng nên bàn riêng hẳn ra hai câu hỏi chuyên biệt. Câu hỏi thứ nhất là: Tôn giáo đặt những yêu cầu gì cho lòng tin của những tín đồ và đâu là những đặc điểm của tính tôn giáo đích thực? Câu hỏi thứ hai: Những định luật mà khoa học tự nhiên dạy cho ta là thuộc loại gì, và những chân lý nào được nó xem là bất khả xâm phạm?

Qua việc trả lời hai câu hỏi này, ta sẽ có điều kiện quyết định xem phải chăng và trong chừng mực nào các yêu cầu của tôn giáo là có thể tương thích với các yêu cầu của khoa học tự nhiên, và, do đó, liệu tôn giáo và khoa học tự nhiên có thể cộng tồn bên cạnh nhau mà không mâu thuẫn với nhau hay không.

II. Tôn giáo là sự gấn bó của con người với Thượng đế. Sự gấn bó ấy

dựa trên lòng sùng kính trước một quyền lực siêu nhiên mà cuộc sống con người phải phục tùng, và quyền lực ấy nắm trong tay mọi nỗi vui buồn, sướng khổ của ta. Làm cho mình hòa hợp với quyền lực ấy và luôn duy trì sự tỉnh thức là nỗ lực trường kỳ và là mục tiêu tối cao của con người có tín ngưỡng. Vì chỉ có như thế con người mới cảm thấy được che chở trước những mối nguy nan được dự kiến hay không được dự kiến đang đe dọa cuộc sống và mới được dự phần vào niềm hạnh phúc thuần khiết nhất, vào sự bình an nội tâm. Sự bình an ấy chỉ có thể có được bằng sự gắn bó vững chắc với Thượng đế và bằng lòng tin cậy đầy sùng tín một cách vô điều kiện vào sự toàn năng và lòng lân mẫn của Ngài. Trong chừng mực ấy, tôn giáo bắt rễ sâu xa trong ý thức của từng con người cá nhân riêng lẻ.

Song, ý nghĩa của tôn giáo vượt ra khỏi từng con người cá lẻ. Không phải từng con người cá lẻ có riêng tôn giáo của mình mà đúng hơn, chính tôn giáo đòi hỏi tính giá trị hiệu lực và ý nghĩa quan trọng cho cả một cộng đồng rộng lớn hơn, cho một dân tộc, một chủng tộc, vâng, rút cục cho toàn thể nhân loại. Bởi vì Thượng đế ngự trị như nhau trong mọi xứ sở trên trái đất; toàn bộ thế giới - với tất cả những gì đáng quý và đáng sợ của nó - đều dưới quyền Ngài, và, trong vương quốc của tự nhiên lẫn tinh thần, không có nơi nào Ngài không có mặt.

Vì thế, việc gìn giữ tôn giáo gắn kết những tín đồ thành một liên minh rộng lớn và đặt họ trước nhiệm vụ thấu hiểu đức tin của nhau và mang lại cho đức tin ấy một cách diễn đạt chung. Điều này chỉ làm được khi nội dung của tôn giáo được nắm bắt trong một hình thức ngoại tại nhất định nào đó, để, bằng tính hình tượng, giúp dễ dàng thông hiểu với nhau. Vì các dân tộc và các điều kiện sống của họ là quá khác biệt nhau nên thật dễ hiểu khi hình thức hình tượng này có sự dị biệt lớn ở các vùng và cũng vì thế, theo dòng thời gian, đã ra đời rất nhiều loại hình tôn giáo. Song, điểm chung của mọi loại hình này là giả định gần gũi nhất khi hình dung Thượng đế như là ngôi vị hay ít ra cũng có tính nhân hình [giống với con người]. Ngoài ra, cũng có chỗ cho những quan niệm khác nhau về các thuộc tính của Thượng đế. Mỗi tôn giáo đều có nền thần thoại và nghi lễ riêng; nghi lễ này phát triển với những chi tiết cực kỳ tinh vi nơi các tôn giáo đã phát triển cao. Từ đó, những biểu trưng có tính hình tượng đã góp phần kiến tạo nên nghi lễ, vì những biểu trưng ấy là thích hợp để trực tiếp tác động lên trí tưởng tượng của đông đảo quần chúng, nhằm khơi dậy sự quan tâm của họ đối với các vấn đề tôn giáo và giúp họ hiểu hơn phần nào về bản chất của

Thượng đế.

Như thế, qua việc tập hợp có hệ thống những truyền thống thần thoại và tuân thủ những tập quán lễ nghi trang trọng, việc tôn thờ Thượng đế đã xuất hiện ra bên ngoài một cách biểu trưng, và, qua nhiều thế kỷ, ý nghĩa của những biểu trưng tôn giáo như thế càng không ngừng gia tăng thông qua việc không ngừng hành trì và thường xuyên giáo dục từ thế hệ này sang thế hệ khác. Tính thiêng liêng của một vị Thượng đế *không-thể-hiểu-được* đã chuyển thành tính thiêng liêng của những biểu trưng *có-thể-hiểu-được*. Từ đó nảy sinh ra những động lực mạnh mẽ cho nghệ thuật, và trong thực tế, nghệ thuật đã được thúc đẩy mạnh mẽ nhất là vì nó đã đặt mình vào vị trí của người phục vụ cho tôn giáo.

Tuy nhiên, ở đây cần phân biệt giữa nghệ thuật và tôn giáo. Tác phẩm nghệ thuật chủ yếu có ý nghĩa của nó ở ngay trong chính mình. Cho dù thường nhờ có những hoàn cảnh bên ngoài mới ra đời được và nhiều khi tạo cơ hội cho những sự liên tưởng chệch ra khỏi khuôn khổ nghệ thuật, nhưng về cơ bản, nghệ thuật tìm được sự thỏa mãn trong bản thân mình và không cần đến một sự lý giải đặc biệt nào để được công nhận. Ta có thể thấy điều ấy rõ nhất ở loại hình nghệ thuật trừu tượng nhất, đó là âm nhạc.

Ngược lại, biểu trưng tôn giáo bao giờ cũng chỉ ra một cái gì bên ngoài bản thân nó; giá trị của nó không bao giờ tự tắt cạn trong bản thân, cho dù có được thừa hưởng một uy tín đáng tôn kính mà sự tồn tại lâu đời và truyền thống ngoan đạo đã mang lại cho nó. Nhấn mạnh điều này là rất quan trọng, bởi lẽ sự đánh giá cao dành cho các biểu trưng tôn giáo, qua thời gian, không tránh khỏi phải chịu những sự biến động nhất định do sự phát triển văn hóa; và, cũng vì lợi ích của việc gìn giữ tính tôn giáo đích thực mà cần phải khẳng định rằng, cái đứng sau và đứng trên các biểu trưng ấy không hề bị ảnh hưởng bởi những biến động như thế.

Trong nhiều ví dụ chuyên biệt, tôi xin dẫn ra đây một ví dụ duy nhất: một thiên thần có cánh từ xưa vẫn được xem như là một biểu trưng đẹp đẽ nhất của một kẻ tội tở và sứ giả của Thượng đế. Tuy nhiên, một số người được đào tạo về giải phẫu học với óc tưởng tượng đã được rèn luyện theo khoa học không cho phép mình, dù với thiện chí cao nhất, xem một sự bất-khả về mặt sinh lý học như thế là đẹp. Nhưng, tình huống này không hề tác hại chút nào đến niềm tin tôn giáo của họ. Duy có điều, họ cần tránh làm suy giảm hay phá hỏng không khí thiêng liêng nơi những người vẫn còn tìm thấy niềm an ủi và phần chấn tâm hồn trong hình tượng của thiên thần

có cánh.

Nhưng, một nguy cơ khác nghiêm trọng hơn nhiều đến từ việc quá coi trọng ý nghĩa của biểu trưng tôn giáo từ phía phong trào vô thần. Một trong các phương tiện được ưa thích nhất của phong trào này nhằm chôn vùi bất kỳ tinh thần tín ngưỡng đích thực nào, đó là hướng mũi dùi tấn công vào những nghi thức và tập quán tôn giáo lâu đời, làm cho những thiết chế bị xem là lỗi thời ấy trở nên buồn cười hay đáng khinh bỉ.

Tấn công vào biểu trưng, họ tin rằng đã đánh trúng vào bản thân tôn giáo, và công việc ấy càng dễ dàng hơn khi những quan niệm và tập quán ấy càng tỏ ra đặc thù và lạ thường. Đã có không ít người có tín ngưỡng đã trở thành nạn nhân của chiến thuật ấy.

Trước nguy cơ này, không có sự phòng vệ nào tốt hơn là tự hiểu rõ rằng một biểu trưng tôn giáo cho dù đáng tôn kính đến mấy cũng không bao giờ thể hiện một giá trị tuyệt đối mà luôn luôn chỉ là một sự biểu thị ít nhiều không hoàn hảo về một cái gì cao hơn mà giác quan không thể nào tiếp cận trực tiếp được.

Và cũng chính trong hoàn cảnh ấy, ta dễ hiểu tại sao trong lịch sử tôn giáo không ngừng xuất hiện ý tưởng muốn hạn chế ngay từ đầu hoặc thậm chí hoàn toàn dẹp bỏ việc sử dụng những biểu trưng tôn giáo và thiên nhiều hơn vào việc đối xử với tôn giáo như là một công việc của lý tính trừu tượng. Chỉ cần suy nghĩ một chút cũng thấy ngay rằng ý tưởng ấy là hoàn toàn sai lầm. Không có biểu trưng, ắt không thể có được sự hiểu biết nhau, không thể có được sự tương thông giữa người với người. Điều này không chỉ đúng với quan hệ tôn giáo mà cả với mọi quan hệ của con người ngay cả trong đời sống phàm tục thường ngày. Ngay ngôn ngữ cũng không gì khác hơn là một biểu trưng cho cái gì cao hơn, tức cho tư tưởng. Tất nhiên, một từ riêng lẻ tự nó cũng đòi hỏi một sự quan tâm riêng, nhưng nhìn kỹ thì một từ chỉ là một dãy các chữ cái; ý nghĩa của nó chủ yếu nằm trong khái niệm mà nó diễn đạt. Và đối với khái niệm này, việc diễn đạt nó bằng từ này hay từ kia, bằng thổ ngữ này hay thổ ngữ nọ chỉ là chuyện phụ. Khi từ được phiên dịch sang một ngôn ngữ khác, khái niệm vẫn giữ nguyên.

Hãy lấy một ví dụ khác. Biểu trưng cho uy tín và danh dự của một binh đoàn về vang chính là lá cờ của nó. Lá cờ càng cũ, giá trị nó càng cao. Và, trong chiến trận, những người đứng dưới lá cờ ấy tự xem mình có nghĩa vụ cao cả nhất là bằng mọi giá không bỏ rơi nó, trong trường hợp lâm nguy phải bảo vệ nó bằng thân thể, vâng, nếu cần thì hy sinh cả mạng sống của

mình. Vậy mà lá cờ đơn giản chỉ là một biểu trưng, một mảnh vải nhiều màu sắc. Kẻ thù có thể cướp nó, làm ô uế hay xé bỏ nó. Nhưng bằng cách ấy, kẻ thù tuyệt nhiên không hề hủy diệt được cái cao cả hơn được tượng trưng bởi lá cờ. Binh đoàn vẫn bảo toàn danh dự của mình. Người ta sẽ làm ra một lá cờ mới và có thể phục thù bằng một trận nên thân cho sự lăng nhục ấy.

Giống như trong quân đội hay nói chung, trong mỗi cộng đồng người mang sứ mệnh lớn thì trong tôn giáo cũng thế, biểu trưng và một nghi lễ nhà thờ phù hợp với biểu trưng ấy là hoàn toàn không thể thiếu; chúng mang ý nghĩa của cái cao cả nhất và đáng tôn kính nhất, cái mà trí tưởng tượng hướng lên trời cao đã sáng tạo ra, chỉ có điều không bao giờ được phép quên rằng, cái biểu trưng thiêng liêng nhất cũng có nguồn gốc con người. Nếu người ta khắc ghi trong tim chân lý này cho mọi thời đại, thì đã có thể tránh được cho nhân loại muôn vàn đau thương và ta thán. Bởi vì, những cuộc chiến tranh tôn giáo tàn khốc, những cuộc truy bức dị giáo ác độc với tất cả những hệ quả đau buồn của chúng, suy cho cùng chỉ nằm ở chỗ các đối kháng nhất định đâm vào nhau, những thứ vốn đều có một lý do chính đáng nhất định và chúng chỉ hình thành từ một ý tưởng chung vô hình như niềm tin vào một Thượng đế toàn năng bị nhầm lẫn với các phương tiện diễn tả *nhìn-thấy-được* nhưng không giống nhau, như tín điều của nhà thờ. Không có gì đáng buồn hơn khi thấy hai đối thủ kình địch nhau một cách cay đắng, mỗi người với niềm tin sắt đá và trong nhiệt tình ngưỡng mộ chân thật đối với chính nghĩa của sự nghiệp, lại thấy có nghĩa vụ phải dồn hết sức lực tinh túy nhất của mình vào trận đấu cho đến khi tự hy sinh. Không biết bao nhiêu điều hữu ích đáng lẽ có thể được sáng tạo nên, nếu giá như trong lĩnh vực hoạt động tín ngưỡng, những sức mạnh quý báu đó có thể hợp nhất lại, thay vì tìm cơ hội để hủy diệt lẫn nhau.

Người có tín ngưỡng sâu sắc, thực hành niềm tin vào Thượng đế của mình bằng sự tôn kính các biểu trưng thiêng liêng thân thiết của mình là người không bám chặt vào các biểu trưng mà có sự cảm thông rằng cũng có thể có những con người sùng đạo khác với những biểu trưng cũng thiêng liêng và thân thiết đối với họ, không khác gì một khái niệm vẫn là khái niệm ấy dù nó được diễn đạt bằng từ này hay từ kia, trong ngôn ngữ này hay ngôn ngữ nọ. Tuy nhiên, với việc thừa nhận sự việc này, các đặc điểm của đức tin tôn giáo đích thực cũng chưa được lột tả hết. Bởi vì bây giờ mới nổi lên một câu hỏi khác, thật sự cơ bản. Đó là: có phải quyền lực tối cao kia,

quyền lực đứng đằng sau các biểu trưng tín ngưỡng và mang lại ý nghĩa cơ bản cho chúng, chỉ trú ngụ trong tâm trí con người và cùng với con người sẽ bị xóa sổ hay quyền lực ấy còn biểu hiện một cái gì nhiều hơn thế? Nói khác đi, phải chăng Thượng đế chỉ sống trong tâm hồn của người tín đồ hay Ngài ngự trị thế giới, độc lập với việc người ta có tin hoặc không tin vào Ngài? Đó chính là điểm mà con người chia rẽ nhau một cách cơ bản và dứt khoát. Điểm này không và không bao giờ được làm sáng tỏ bằng con đường khoa học, nghĩa là bằng những kết luận logic dựa trên dữ kiện. Đúng hơn, việc trả lời câu hỏi này thuần túy và duy nhất là việc của niềm tin, của niềm tin tôn giáo. Người sùng đạo giải đáp câu hỏi này theo hướng rằng Thượng đế tồn tại trước khi có con người trên trái đất nói chung, rằng Ngài, từ vĩnh hằng, nắm trong bàn tay toàn năng của Ngài toàn thể giới gồm những người có lòng tin lẫn những người không có lòng tin, và rằng Ngài sẽ vẫn trị vì trên tầm cao, không thể tiếp cận được bằng sức hiểu biết của con người, ngay cả khi trái đất - cùng với tất cả những gì trên đó - đã tiêu tan thành tro bụi. Tất cả những ai nhìn nhận niềm tin này và được nó chiếm ngự trong sự kính sợ và phó thác dâng hiến, sẽ cảm nhận được sự che chở của Đấng toàn năng trước mọi mối nguy hiểm của cuộc đời, và cũng chỉ những người này mới được phép liệt mình vào hàng ngũ những kẻ có tín ngưỡng đích thực.

Đó là nội dung căn bản của các tín điều mà tôn giáo đòi hỏi các tín đồ phải công nhận. Bây giờ ta hãy xem liệu các đòi hỏi ấy có chung sống được với các đòi hỏi của khoa học, đặc biệt là của khoa học tự nhiên hay không và chung sống như thế nào.

III. Trong khi chúng ta bước qua khảo sát xem khoa học dạy cho ta những định luật nào, và các chân lý nào là có giá trị bất khả xâm phạm đối với nó, thì nhiệm vụ chúng ta sẽ được đơn giản đi, và mục đích của chúng ta sẽ hoàn toàn được đáp ứng, nếu chúng ta bám sát loại khoa học chính xác nhất trong mọi môn khoa học tự nhiên, đó là vật lý học. Bởi vì từ nó, một cách chắc chắn, chúng ta có thể chờ đợi sớm nhất một sự mâu thuẫn đi ngược lại các yêu cầu của tôn giáo. Do đó, chúng ta cần phải hỏi, các khám phá của khoa học vật lý của thời gian mãi tận gần đây là thuộc loại nào, và những khám phá ấy có thể đặt ra những giới hạn nào cho niềm tin tôn giáo hay không.

Có lẽ tôi chẳng cần báo trước rằng, xét về mặt lịch sử một cách đại thể thì những thành tựu của nghiên cứu vật lý và những quan điểm suy ra từ đó không phải bị chi phối bởi một sự thay đổi vô mục tiêu, mà đã liên tục tự

hoàn thiện và tinh tế hơn, khi chậm, lúc nhanh, cho đến ngày hôm nay, để chúng ta có thể nhìn nhận rằng các nhận thức thu lượm được đến nay của nghiên cứu vật lý là vững chắc với độ an toàn lớn.

Vậy bây giờ ta hỏi: nội dung cơ bản của những nhận thức ấy là gì? Trước hết cần phải nói rằng, tất cả mọi nhận thức vật lý đều dựa trên những sự đo đạc, và mọi sự đo đạc đều được diễn ra trong không gian và thời gian mà ở đó các độ lớn thay đổi ở mức độ mênh mông không thể tưởng tượng được. Từ những khoảng cách của các miền vũ trụ mà từ đó một thông điệp lọt đến chúng ta, người ta sẽ có được một khái niệm gần đúng nếu chúng ta nghĩ, ánh sáng, trong khi vượt qua khoảng cách chẳng hạn từ mặt trăng đến trái đất trong khoảng một giây, thì sẽ cần đến nhiều triệu năm để đến chúng ta từ những vùng đó. Mặt khác, vật lý cũng bị buộc phải tính đến những độ lớn không gian và thời gian mà sự nhỏ bé tí tẹo của chúng có thể được minh họa chẳng hạn bằng tỷ số giữa độ lớn của đầu một cây kim và độ lớn của toàn trái đất.

Những loại đo lường khác nhau nhất giờ đây đã thống nhất cho ra kết luận rằng toàn bộ các hiện tượng vật lý, không có ngoại lệ, đều có thể được quy về những tiến trình điện hay cơ học gây ra bởi sự chuyển động của những hạt cơ bản nhất định, như là điện tử, positron, proton và neutron, mà khối lượng cũng như điện tích của mỗi một hạt cơ bản đó đều được diễn tả bằng một con số nhất định và cực kỳ nhỏ, con số đó được đo đạc càng chính xác, nếu những phương pháp đo đạc càng tinh vi. Những con số nhỏ ấy, những cái được gọi là các hằng số phổ quát, có thể nói là những viên đá xây dựng không thay đổi mà từ đó tòa nhà học thuyết của ngành vật lý lý thuyết được dựng lên.¹

Bây giờ chúng ta phải hỏi tiếp: ý nghĩa thực sự của các hằng số kia là gì? Phải chăng nói cho cùng chúng là những sản phẩm tưởng tượng của tinh thần nghiên cứu của con người, hay chúng có một ý nghĩa thực tồn (reale), độc lập với trí tuệ của con người?

Quan điểm thứ nhất được khẳng định bởi những người theo thực chứng luận², ít nhất trong màu sắc cực đoan của nó. Theo họ, vật lý học

¹ Bức tranh về tòa nhà vật lý lý thuyết hiện nay đã được đào sâu hơn thời kỳ M. Planck viết tác phẩm này, song những điều đó không ảnh hưởng tới các luận cứ của ông ở đây. (ND)

² Những người theo thực chứng luận cho rằng các khái niệm vật lý chỉ có tính công cụ chứ không có ý nghĩa thực thể, họ xem nguyên tử cũng như các hạt cơ bản chỉ là các

không có nền tảng nào khác hơn là các đo đạc làm nền tảng cho nó, và một định lý vật lý chỉ có ý nghĩa trong chừng mực được chứng minh bằng đo đạc. Nhưng vì mỗi sự đo đạc cần đến một người quan sát, cho nên, xét một cách thực chứng, nội dung đích thực của một định lý vật lý sẽ không thể tách rời khỏi người quan sát, và sẽ mất đi ý nghĩa của nó khi người ta tìm cách hình dung người quan sát kia không còn nữa, và muốn đi tìm đằng sau anh ta và sự đo đạc kia một cái gì khác, thực tồn và độc lập.

Từ quan điểm thuần túy logic, ta không thấy có cái gì chống lại quan điểm này. Tuy nhiên, khi kiểm tra kỹ hơn, người ta phải gọi nó - trong hình thức này - là không thỏa đáng và không có ích. Bởi vì, nó bỏ qua một tình huống có tầm quan trọng quyết định để có được sự hiểu biết sâu sắc và sự tiến bộ của nhận thức khoa học. Dù cho thực chứng luận có tự cho mình là hoạt động không cần có tiền-giả định nào cả, thì vẫn bị buộc vào một tiền đề cơ bản nếu nó không muốn bị biến chất thành một thuyết duy ngã (solipsism) không hợp lý: đó là tiền-giả định rằng bất kỳ một sự đo đạc vật lý nào đều có thể tái hiện lại được, nghĩa là kết quả của nó không lệ thuộc vào tính cá nhân của người đo đạc, cũng không lệ thuộc vào vị trí và thời điểm của đo đạc, cũng như vào những tình huống phụ khác. Những điều này nói lên rằng, cái quyết định đối với kết quả đo đạc là nằm ngoài người quan sát, và do đó tất yếu dẫn đến những câu hỏi về một tính nhân quả có thực tồn tại đằng sau người quan sát.

Chắc chắn người ta phải thừa nhận rằng, cách nhìn thực chứng có một giá trị đặc thù; vì nó giúp giải thích ý nghĩa của các định lý vật lý về mặt khái niệm, tách rời cái được chứng minh bằng thực nghiệm khỏi cái không được chứng minh bằng thực nghiệm, loại trừ các thành kiến mang tính cảm xúc, vốn được nuôi dưỡng bằng những quan niệm theo thói quen đã lâu, và bằng cách đó đã dọn đường cho việc nghiên cứu khoa học đang thôi thúc tiến lên phía trước. Nhưng để tác động ở vai trò lãnh đạo trên con đường này, thực chứng luận còn thiếu một động lực. Đúng, nó có khả năng loại bỏ những sự kìm hãm, nhưng nó không thể xây dựng một cách hữu hiệu. Bởi vì, hoạt động của nó cơ bản là phê phán, cái nhìn của nó hướng về phía sau. Nhưng để tiến lên phía trước cần có những sự nối kết ý tưởng và những cách đặt vấn đề không những mới mẻ và sáng tạo, không thể suy diễn ra chỉ

“khái niệm ảo thuận tiện”. Xin xem thêm bài viết “ Khảo luận về khoa học” của Nguyễn Văn Trọng trong tập: *Einstein dấu ấn trăm năm*, Nhiều tác giả, NXB Trẻ và Tia Sáng 2005, trang 189-249. (ND)

từ các kết quả của đo lường, mà còn phải đi xa hơn chúng, nhưng thực chứng luận lại có thái độ từ chối những thứ đó về nguyên tắc.

Cho nên, những người thực chứng luận đủ mọi màu sắc đã quyết liệt chống lại sự hình thành các giả thuyết nguyên tử, và qua đó, chống lại sự thừa nhận các hằng số phổ quát đã nói ở trên. Điều đó dễ hiểu; bởi vì sự tồn tại của các hằng số này chính là sự minh chứng rõ rệt sự hiện hữu của một thực tại trong tự nhiên độc lập với mọi sự đo đạc của con người.

Dĩ nhiên, một nhà thực chứng luận triệt để đến nay cũng vẫn còn có thể gọi các hằng số phổ quát là một sự tưởng tượng, và cho rằng sở dĩ sự tưởng tượng ấy là vô cùng hữu ích vì nó cho phép mang lại một sự mô tả chính xác và đầy đủ những kết quả đo đạc thuộc rất nhiều loại khác nhau. Nhưng hầu như không có một nhà vật lý học chân chính nào lại xem một sự khẳng định như thế là nghiêm túc cả. Các hằng số phổ quát không phải được tìm ra từ những lý do lợi ích, trái lại, chúng đã áp đặt với một sự cưỡng bách không thể chống lại được bằng những kết quả trùng khớp của toàn bộ các loại đo đạc trong ngành, và điều quan trọng, đó là chúng ta biết trước một cách chính xác rằng tất cả những sự đo đạc trong tương lai sẽ đều dẫn đến các hằng số như thế.

Tổng kết lại chúng ta có thể nói rằng, khoa học vật lý đòi hỏi chúng ta thừa nhận sự hiện hữu của một thế giới hiện thực độc lập với chúng ta, tuy nhiên đó là một thế giới mà chúng ta không bao giờ nhận thức được trực tiếp, mà bao giờ cũng chỉ có thể tri giác thông qua lăng kính của những cảm giác của giác quan chúng ta, và thông qua các sự đo đạc do những cảm giác ấy môi giới.

Nếu chúng ta tiếp tục theo đuổi nguyên lý này, thì cách nhìn thế giới của chúng ta cũng sẽ thay đổi. Chủ thể của sự quan sát, tức cái Tôi đang quan sát, sẽ rút ra khỏi vị thế trung tâm của tư duy và bị đẩy xuống một vị trí rất khiêm tốn. Thật vậy, chúng ta, con người, cảm thấy nhỏ bé đáng thương làm sao, yếu đuối làm sao, khi chúng ta nghĩ rằng trái đất trên đó chúng ta sống, chỉ là một hạt bụi tí hon, chẳng có nghĩa gì trong vũ trụ thật bao la, thì đồng thời quả là điều lạ thường, khi chúng ta, các sinh vật nhỏ xíu trên một hành tinh cũng nhỏ xíu nhưng lại có khả năng, với những tư tưởng của mình, nhận thức được tuy không phải bản chất, nhưng sự hiện hữu và kích thước của các viên đá xây dựng cơ bản của toàn bộ vũ trụ to lớn.

Nhưng sự kỳ diệu còn tiếp tục. Đó là một kết quả không thể nghi ngờ

được của nghiên cứu vật lý, rằng các viên đá xây dựng cơ bản này của tòa nhà thế giới không phải nằm cạnh nhau trong những nhóm riêng lẻ không có một mối liên hệ nào, mà trái lại, toàn bộ chúng được gắn kết với nhau theo một kế hoạch độc nhất, hay nói cách khác, rằng trong mọi diễn trình của tự nhiên có một tính quy luật phổ quát ngự trị, và có thể nhận thức được ở một mức độ nào đó.

Ở đây, tôi muốn nhắc đến trước hết chỉ một thí dụ duy nhất: Nguyên lý bảo toàn năng lượng. Có nhiều dạng năng lượng trong tự nhiên: năng lượng của chuyển động, của lực hấp dẫn, của nhiệt, của điện, của từ. Tất cả năng lượng cộng lại làm thành kho năng lượng dự trữ của thế giới. Kho năng lượng dự trữ này bây giờ có một độ lớn không thay đổi, nó không thể được tăng lên hay bị làm giảm đi bằng một quá trình nào đó trong tự nhiên, tất cả những thay đổi diễn ra trong thực tế chỉ là những sự chuyển hóa lẫn nhau của năng lượng. Thí dụ, năng lượng của chuyển động bị mất đi bằng ma sát, thì bù lại có một lượng tương đương của năng lượng ở dạng nhiệt được sinh ra.

Định luật bảo toàn năng lượng mở rộng sự thống trị của nó lên toàn bộ mọi lĩnh vực của vật lý học, cả trong lý thuyết cổ điển lẫn trong cơ học lượng tử. Mặc dù có rất nhiều những toan tính hoài nghi tính hiệu lực chính xác của định luật này đối với những hiện tượng diễn ra trong một nguyên tử đơn lẻ và chỉ thừa nhận một tính chất thống kê¹ cho các hiện tượng đó. Nhưng một sự kiểm tra chính xác trong mỗi trường hợp được kiểm nghiệm theo hướng đó đều chứng minh rằng, một thí nghiệm như thế là thất bại, và người ta không có lý do để từ chối cho nguyên lý đó đẳng cấp của một định luật tự nhiên hoàn toàn chính xác.

Nhưng rồi chúng ta lại thường nghe từ phía có xu hướng thực chứng đáp lại có tính chất phê phán rằng, tính hiệu lực chính xác của một định lý như thế là hoàn toàn không có gì lạ lùng cả. Điều bí ẩn có thể được giải thích hoàn toàn đơn giản bằng sự thật rằng, cuối cùng chính con người là kẻ đã đề ra cho tự nhiên những định luật của chính mình. Và để khẳng định điều này người ta thậm chí cũng đã viện dẫn cả đến quyền uy của Immanuel Kant.

Những định luật tự nhiên không phải do con người tưởng tượng ra, trái lại, sự công nhận chúng là do sự cưỡng chế từ bên ngoài lên con người, điều

¹ Những người này cho rằng năng lượng chỉ bảo toàn cho giá trị trung bình theo thống kê. (ND)

đó chúng ta đã bàn một cách đủ cặn kẽ. Ngay từ đầu chúng ta chắc hẳn đã có thể nghĩ về các định luật tự nhiên, cũng như về những giá trị của các hằng số phổ quát một cách hoàn toàn khác so với chúng trong thực tế. Thế nhưng, đối với việc viện dẫn Kant; ở đây quả có một sự hiểu lầm thô bạo. Bởi vì Kant không dạy rằng con người đề ra các định luật cho tự nhiên một cách tuyệt đối, mà dạy rằng con người trong khi phát biểu các định luật tự nhiên cũng đã thêm cái gì riêng của mình vào đó. Nếu không thì làm sao hiểu được rằng Kant, bằng chính lời phát biểu của mình, đã bảo rằng không có ẩn tượng bên ngoài nào đã gây nên nơi ông lòng kính sợ sâu sắc hơn cho bằng khi nhìn lên bầu trời đầy sao? Thường thì chẳng có ai lại dành sự kính sợ sâu xa nhất cho một quy định do chính bản thân mình đề ra cả. Đối với người thực chứng luận thì một sự kính sợ như thế là xa lạ. Đối với anh ta, các vì sao chẳng phải là cái gì ngoài những phức hợp cảm giác quang học, tất cả những điều khác theo ý kiến anh ta là gia vị hữu ích, nhưng thực tế là tùy tiện và có thể bỏ đi được.

Nhưng bây giờ chúng ta hãy gác thực chứng luận qua một bên, và tiếp tục dòng suy tư của chúng ta. Nguyên lý bảo toàn năng lượng không phải là định luật tự nhiên duy nhất, mà chỉ là một trong nhiều định luật. Trong khi quả thực đó là định luật có giá trị trong mỗi trường hợp riêng lẻ, nhưng nó vẫn chưa đủ để tiên đoán tất cả các chi tiết của một diễn trình tự nhiên, bởi còn vô số các khả năng để ngờ.

Trong khi đó có một định luật khác, bao trùm rộng hơn nhiều, có đặc tính đưa ra câu trả lời rõ ràng cho mọi câu hỏi có ý nghĩa liên quan đến diễn biến của một diễn trình tự nhiên; và định luật này, trong chừng mực chúng ta có thể thấy, cũng giống như định luật năng lượng, có tính hiệu lực chính xác, cho cả vật lý thời gần đây nhất. Nhưng điều mà bây giờ chúng ta phải xem là sự kỳ diệu vô cùng lớn, đây chính là sự kiện rằng sự diễn đạt thích đáng nhất cho định luật này ắt sẽ gợi nên trong tâm trí hồn nhiên của bất kỳ ai ẩn tượng rằng tự nhiên như thế được cai trị bởi một ý chí có lý tính và có ý thức về mục đích¹.

Một thí dụ đặc biệt có thể giải thích điều này. Như chúng ta đã biết, khi một tia sáng chiếu nghiêng vào bề mặt của một vật thể trong suốt, như bề mặt của nước, nó sẽ bị lệch đi khỏi hướng của nó khi xuyên qua bề mặt. Nguyên nhân của sự lệch hướng này là ánh sáng truyền đi trong nước

¹ Cần lưu ý rằng không phải tất cả các nhà khoa học đều chia sẻ ẩn tượng này của M. Planck. (ND)

chậm hơn trong không khí. Một sự lệch hướng như thế, hay sự khúc xạ, cũng xảy ra ở trong bầu khí quyển, bởi vì trong những tầng không khí thấp hơn, có mật độ dày đặc hơn, ánh sáng truyền đi chậm hơn là so với ở những tầng cao hơn. Nếu bây giờ một tia sáng được phát ra từ một ngôi sao phát sáng để đi đến mắt của một người quan sát, đường đi của nó có một độ cong ít nhiều phức tạp do mức độ khúc xạ khác nhau trong những lớp khí quyển khác nhau (trừ phi ngôi sao ở đúng vào thiên đỉnh¹). Độ cong này hoàn toàn được xác định bởi định luật đơn giản sau đây: trong toàn bộ những quỹ đạo đi từ ngôi sao đến mắt, thì ánh sáng luôn luôn sử dụng cái quỹ đạo mà, để đi được, ánh sáng cần một thời gian ngắn nhất, với sự chú ý đến các vận tốc truyền khác nhau trong những tầng không khí khác nhau. Các photon, những hạt tạo thành tia sáng, ứng xử như những sinh vật có lý tính. Trong tất cả các đường cong có thể có được bày ra cho chúng, chúng luôn luôn chọn ra đường nào dẫn đến mục tiêu một cách nhanh nhất.

Định lý này có khả năng được khái quát hóa ở mức độ tuyệt vời. Sau tất cả những gì mà chúng ta biết về các định luật của các hiện tượng ở trong một hình thể (Gebilde) vật lý bất kỳ, chúng ta có thể mô tả đặc trưng sự diễn biến của mỗi một hiện tượng với tất cả chi tiết bằng định lý rằng trong tất cả những diễn biến có thể hình dung được để đưa hình thể kia đi từ một trạng thái nhất định này sang một trạng thái nhất định khác trong một thời gian nhất định, thì diễn biến thực là cái mà với nó, tích phân theo thời gian của một đại lượng nhất định, gọi là hàm số Lagrange, đạt trị số nhỏ nhất. Nếu biết được biểu thức của hàm số Lagrange, thì người ta có thể xác định được diễn biến của hiện tượng thực sự xảy ra một cách trọn vẹn.

Chắc chắn không phải là điều lạ lùng, rằng sự khám phá ra định luật này, cái được gọi là “nguyên lý của tác dụng tối thiểu”, mà sau đó tên “lượng tử tác dụng cơ bản” được lấy từ đó, đã gây ra sự phấn chấn cao độ cho người phát minh Leibniz của nó, cũng như nhanh chóng sau đó cho người kế tục của ông là Maupertius, bởi vì những nhà nghiên cứu này tin rằng mình đã tìm thấy trong đó một dấu hiệu xác thực cho sự ngự trị của một lý tính cao hơn thống trị một cách toàn năng trên giới tự nhiên.

Thực tế, qua nguyên lý tác dụng tối thiểu, một ý tưởng hoàn toàn mới được đưa vào khái niệm của tính nhân quả: *Nguyên nhân tác động* (causa efficiens), là cái tác động từ hiện tại đến tương lai, và làm cho các trạng thái

¹ Khi ấy ánh sáng của ngôi sao sẽ truyền tới theo hướng vuông góc với bề mặt khí quyển và hiện tượng khúc xạ sẽ không xảy ra. (ND)

đi sau bị điều kiện bởi những trạng thái đi trước, rồi phối hợp với *nguyên nhân cứu cánh* (causa finalis), là nguyên nhân ngược lại lấy tương lai, tức một mục đích được định hướng nhất định làm tiền đề, và từ đó suy ra diễn biến của những hiện tượng hướng đến mục tiêu đó.

Bao lâu chúng ta giới hạn mình vào lĩnh vực vật lý, thì hai cách xem xét này chỉ là những dạng thức toán học khác nhau của một và cùng một sự việc, và thật vô ích khi hỏi cái nào trong hai dạng ấy đến gần với chân lý hơn. Người ta sử dụng cái này hay cái kia, điều đó chỉ tùy thuộc vào những suy xét về mặt thực tiễn. Một lợi thế chính của nguyên lý tác dụng tối thiểu là nó không đòi hỏi hệ quy chiếu nhất định để diễn đạt nó. Cho nên, nguyên lý này cũng thích hợp rất tốt cho việc thực hiện các phép biến đổi tọa độ.

Nhưng đối với chúng ta, mối quan tâm lại là các vấn đề mang tính tổng quát hơn. Ở đây, chúng ta chỉ muốn khẳng định rằng nghiên cứu vật lý lý thuyết trong sự phát triển lịch sử của nó đã dẫn đến sự diễn đạt tính nhân quả vật lý một cách đáng chú ý. Tính nhân quả ấy chứa đựng tính chất mục đích luận rõ rệt, nhưng qua đó không phải là mang vào cái gì mới mẻ về nội dung hay thậm chí cái đối lập vào trong loại hình của tính quy luật tự nhiên. Đúng hơn, đó chỉ là một cách nhìn khác xét về hình thức, nhưng thực chất lại là một cách nhìn hoàn toàn bình đẳng. Tương tự như trong vật lý học, điều ấy cũng có thể đúng đối với ngành sinh vật học, nơi mà sự khác biệt của hai cách nhìn khác nhau sẽ mang những hình thức khác nhau sâu xa hơn.

Trong mọi trường hợp chúng ta có thể nói tóm tắt lại rằng theo tất cả những gì khoa học tự nhiên dạy cho ta, trong toàn bộ lĩnh vực của tự nhiên, trong đó chúng ta, con người trên hành tinh bé xiu của mình, đóng một vai trò vô cùng nhỏ bé, có một tính quy luật nhất định ngự trị, độc lập với sự hiện hữu của một nhân loại tư duy, nhưng nó lại cho phép, trong chừng mực nó có thể hiểu được bằng các giác quan của chúng ta, một sự diễn đạt tương ứng với một hành động có chủ đích (zweckmäßig). Do đó, tính quy luật biểu thị một trật tự thế giới hợp lý mà tự nhiên và nhân loại đều phải phục tùng, nhưng bản chất đích thực của nó đối với chúng ta là không nhận thức được, và vẫn mãi như thế, bởi vì chúng ta chỉ nhận được tri thức (Kunde) từ đó qua những cảm giác đặc thù của chúng ta, những thứ mà không bao giờ loại bỏ được. Nhưng rồi, những thành quả thực sự phong phú của nghiên cứu khoa học tự nhiên đã cho phép chúng ta đi đến kết

luận một cách chính đáng rằng chúng ta, bằng sự tiếp tục lao động không ngừng nghỉ, ít ra vẫn không ngừng tiến gần hơn mục tiêu không bao giờ đạt được, và những thành tựu đó củng cố trong chúng ta niềm hy vọng về những hiểu biết luôn được đào sâu hơn về sự ngự trị của lý tính toàn năng đang chi phối giới tự nhiên.

IV. Sau khi chúng ta đã làm quen với những đòi hỏi mà một bên là tôn giáo và bên kia là khoa học tự nhiên đã đặt ra cho thái độ của chúng ta đối với những vấn đề cao xa nhất về cách nhìn có tính chất thế giới quan, bây giờ chúng ta hãy kiểm tra xem hai loại đòi hỏi này có thể dung hợp với nhau hay không, và trong chừng mực nào. Trước hết, hiển nhiên là việc kiểm tra này chỉ có thể liên quan tới những lĩnh vực mà ở đó tôn giáo và khoa học tự nhiên xung đột nhau. Bởi vì, có những lĩnh vực rộng lớn mà chúng không hề có dính líu gì với nhau. Chẳng hạn, tất cả những vấn đề của đạo đức học là xa lạ đối với khoa học tự nhiên, cũng như mặt khác, độ lớn của các hằng số phổ quát là không có ý nghĩa gì đối với tôn giáo.

Ngược lại, tôn giáo và khoa học tự nhiên gặp nhau trong câu hỏi về sự tồn tại, và về bản chất của một quyền năng cao nhất ngự trị bên trên thế giới, và ở đây các câu trả lời mà cả hai đưa ra là có thể so sánh được với nhau ở mức độ nào đó. Như chúng ta đã thấy, chúng không hề mâu thuẫn nhau, mà chúng nói lên một cách thống nhất theo hướng rằng: thứ nhất, có một trật tự thế giới hợp lý tồn tại độc lập với con người, và thứ hai, bản chất của trật tự thế giới này là không bao giờ nhận thức được một cách trực tiếp, mà chỉ có thể lĩnh hội được gián tiếp, hay linh cảm được mà thôi. Trong vấn đề này, tôn giáo sử dụng những biểu trưng đặc thù của riêng mình, trong khi khoa học tự nhiên chính xác sử dụng các đo đạc dựa trên các cảm giác của giác quan. Do đó, không có gì ngăn cản chúng ta, và chính bản năng ham muốn nhận thức của chúng ta khao khát một thế giới quan thống nhất đòi hỏi chúng ta phải đồng nhất hóa hai quyền lực tác động khắp nơi và cũng đầy bí ẩn: trật tự thế giới của khoa học tự nhiên và Thượng đế của tôn giáo. Theo đó, Thần tính (Gottheit) mà con người tôn giáo tìm cách tiệm cận bằng các biểu trưng của mình, là có cùng bản chất với sức mạnh có tính quy luật tự nhiên, mà các cảm giác của giác quan đã đem lại nhận thức cho người làm nghiên cứu ở một mức độ nào đó.

Mặc dù có sự trùng hợp này, chúng ta vẫn phải để ý đến một sự khác biệt cơ bản. Đối với người có tín ngưỡng, Thượng đế được mang lại tức thời và tiên khởi (primär). Từ Ngài, từ ý muốn toàn năng của Ngài tuôn ra tất cả

sự sống và tất cả sự kiện (Geschehen) trong thế giới của tinh thần cũng như của vật thể. Tuy không thể nhận thức được bằng lý trí, nhưng Ngài cũng có thể được hiểu trực tiếp ở trong trực quan thông qua các biểu trưng tôn giáo, và Ngài đặt sứ điệp thiêng liêng của Ngài vào linh hồn của những ai dành trọn đức tin đối với Ngài. Ngược lại, đối với người nghiên cứu tự nhiên, cái duy nhất được mang lại một cách tiên khởi là nội dung của tri giác bằng giác quan và của những sự đo đạc được rút ra từ đó. Từ điểm xuất phát ấy, nhà khoa học, trên con đường của nghiên cứu quy nạp, tiến gần Thượng đế và trật tự của Ngài, trong chừng mực có thể, như cứu cánh cao cả nhất mãi mãi không bao giờ đạt tới được. Như vậy khi cả hai, tôn giáo và khoa học tự nhiên, đều cần đến niềm tin nơi Thượng đế cho hoạt động của họ, thì Thượng đế đối với một bên là sự khởi đầu, đối với bên kia là sự kết thúc của tất cả tư duy. Đối với một bên thì Ngài là nền tảng, đối với bên kia Ngài là vương miện của việc kiến tạo bất kỳ nghiên cứu nào mang tính chất thế giới quan.

Sự khác biệt này tương ứng với vai trò khác nhau của tôn giáo và khoa học tự nhiên trong đời sống con người. Con người cần khoa học tự nhiên để nhận thức, nhưng lại cần tôn giáo để hành động. Để nhận thức, các tri giác bằng giác quan chúng ta tạo thành điểm xuất phát duy nhất vững chắc; ở đây, tiên-giả định về một trật tự thế giới có tính quy luật chỉ phục vụ như điều kiện tiên quyết cho việc nêu lên các cách đặt vấn đề hữu ích. Nhưng để hành động, con đường này không thể đi được, bởi vì, với những quyết định từ ý chí, chúng ta không thể chờ đợi cho đến khi nhận thức được đầy đủ hay khi chúng ta đã trở nên toàn tri. Vì chúng ta đang sống giữa cuộc đời và trước những đòi hỏi và sự bức bách đa dạng của nó, chúng ta thường phải lấy quyết định tức khắc, hay thể hiện tín niệm của mình mà một sự suy nghĩ dằng dằng sẽ không giúp ích chúng ta trong việc thiết lập chương trình hành động, trái lại, chỉ có sự hướng dẫn dứt khoát và rõ ràng nhận được từ mối quan hệ trực tiếp với Thượng đế. Chỉ có nó mới có thể bảo đảm cho ta một sự vững vàng nội tâm và sự thanh thản tâm hồn lâu dài, điều phải được đánh giá như là tài sản quý giá nhất của cuộc đời; và khi chúng ta quy cho Thượng đế ngoài tính toàn năng, toàn trí còn có các thuộc tính như lòng lành và tình yêu thương, thì sự trú ẩn nơi Ngài sẽ mang lại cho chúng ta, những con người đi tìm sự an ủi, một lượng cao hơn của cảm giác hạnh phúc. Từ quan điểm của khoa học tự nhiên, người ta không hề có gì để chống lại một quan niệm như thế cả, bởi vì những vấn đề của đạo đức, như

chúng ta đã nhấn mạnh, không hề thuộc về các lĩnh vực thẩm quyền của nó.

Do đó, dù chúng ta có nhìn xa đến đâu hay nhìn về đâu đi nữa, thì giữa tôn giáo và khoa học, chúng ta không hề tìm thấy một sự mâu thuẫn nào, mà ngược lại chính trong những điểm quyết định, chúng ta lại tìm thấy sự đồng thuận trọn vẹn. Tôn giáo và khoa học - chúng không loại trừ nhau như một số người hiện nay tin tưởng hay e ngại, trái lại, chúng bổ sung và làm điều kiện cho nhau. Chắc chắn, sự chứng minh trực tiếp nhất cho tính hòa thuận nhau của tôn giáo và khoa học tự nhiên có thể được cung cấp bởi sự thật lịch sử là, chính các nhà nghiên cứu tự nhiên vĩ đại nhất của mọi thời đại, những con người như Kepler, Newton, Leibniz được thẩm nhuần tính tín ngưỡng sâu sắc nhất. Ở buổi ban đầu của kỷ nguyên văn hóa chúng ta, những người chăm sóc khoa học tự nhiên và những người gìn giữ tôn giáo, đều là những người kết hợp nhiều chức vụ một lúc trong một cá nhân. Ngành khoa học tự nhiên ứng dụng lâu đời nhất, ngành y khoa, nằm trong tay của các giáo sĩ, và công việc nghiên cứu khoa học trong thời Trung cổ được tiến hành chính yếu trong các căn phòng của tu sĩ. Sau này, với quá trình tinh vi hóa và phân ngành của văn hóa, thì con đường của hai bên ngày càng xa nhau hơn, tương ứng với sự khác nhau của các nhiệm vụ mà tôn giáo và khoa học phục vụ.

Nếu tri thức và năng lực khó có thể được thay thế bằng tín niệm thế giới quan, thì cũng thế, một thái độ đúng đắn đối với những vấn đề đạo đức cũng khó có thể được rút ra từ nhận thức thuần lý trí. Nhưng hai con đường không phân kỳ, mà chúng đi song song nhau, và chúng gặp nhau trong mục tiêu chung xa vô tận.

Để có thể nhìn thấy được điều này một cách thích đáng, không có con đường nào khác hơn là sự nỗ lực tiếp tục để, một mặt, hiểu ngày càng sâu hơn bản chất và những nhiệm vụ của nhận thức khoa học tự nhiên và mặt khác của đức tin tôn giáo. Rồi chúng ta sẽ thấy ngày càng rõ hơn rằng dù các phương pháp có dị biệt nhau - bởi khoa học làm việc chủ yếu với lý trí, tôn giáo chủ yếu với tín niệm - ý nghĩa của công việc và hướng đi của sự tiến bộ vẫn hoàn toàn trùng hợp nhau.

Đây là một cuộc chiến đấu luôn luôn được tiếp tục, không bao giờ mệt mỏi để chống lại chủ nghĩa hoài nghi và chủ nghĩa giáo điều, chống lại sự vô thần và mê tín, mà tôn giáo và khoa học tự nhiên cùng nhau tiến hành,

và khẩu hiệu dẫn đường trong cuộc chiến đấu này từ bao đời và cho tất cả tương lai, đó là: Hướng về Thượng đế!

TP Hồ Chí Minh, tháng 06 năm 2008

NGUYỄN VĂN TRỌNG dịch

Lời bình của người dịch

Mọi người đều biết Max Planck là một nhà khoa học lớn, tên tuổi của ông được gắn với hằng số đặc trưng cho vật lý lượng tử (hằng số Planck). Song, ông cũng như nhiều tên tuổi lớn cùng thời với ông: A. Einstein, N. Bohr, Heisenberg... không chỉ giới hạn mình trong những sáng tạo chuyên môn vật lý lý thuyết mà còn để lại những trước tác mang nặng suy tư về sự phát triển tinh thần của xã hội loài người. Bài viết của Max Planck được giới thiệu ở đây là thuộc loại như thế. Vào thời của ông, khoa học tự nhiên đang ở đỉnh cao của vinh quang và ảnh hưởng mạnh mẽ không chỉ đến sự phát triển kinh tế mà còn tới mọi mặt của đời sống văn hóa. Trong khi đó, vào thời kỳ này, Kitô giáo ở nước Đức nói riêng và ở thế giới phương Tây nói chung đang trong xu thế đi xuống. Max Planck đề cập đến quan hệ giữa tôn giáo và khoa học tự nhiên với tư cách là nhà khoa học *"muốn cố thử soi sáng đôi chút từ góc nhìn của một người được đào tạo trong tinh thần của công việc nghiên cứu khoa học chính xác"* về mối quan hệ này. Bài diễn thuyết được đọc vào năm 1937 và sự công kích của ông đối với những người vô thần có thể được hiểu ngầm là nhắm vào chủ nghĩa phát xít. Sự bênh vực đầy thuyết phục của ông đối với tôn giáo vào một thời buổi như thế là một thái độ dũng cảm đầy trách nhiệm của một trí thức. Ta học được ở ông sự suy tư sâu sắc để dám lật lại những quan niệm đã trở thành định kiến xã hội.

Tuy nhiên, có một số nhận định của M. Planck cần được làm sáng tỏ thêm dưới ánh sáng của những hiểu biết đạt được sau này.

Quan niệm của M. Planck về tôn giáo được mở rộng ra từ Kitô giáo. Ta có thể đối chiếu với quan điểm của A. Einstein về tôn giáo¹ để thấy những tương đồng và dị biệt. Thật thú vị khi được làm quen với ý kiến của các nhà khoa học lớn về tôn giáo, song có lẽ cần thận trọng khi áp dụng những quan niệm ấy để xem xét tôn giáo phương Đông. A. N. Whitehead (1861-1947),

¹ A. Einstein, *Thế giới như tôi thấy*, Bản dịch của Đinh Bá Anh, Nguyễn Vũ Hảo, Trần Tiến Cao Đăng, NXB Tri thức, 2005, tr.30-37.

một nhà toán học kiêm triết gia, cũng nhận xét rằng Thượng đế có tính duy lý của Kitô giáo khác với Thượng đế hoàn toàn tùy tiện của châu Á. Tôi không dám lạm bàn gì thêm về chuyện này vì không đủ hiểu biết. Những ai quan tâm có thể tìm đọc cuốn sách lý thú của các tác giả Matthieu Ricard và Trịnh Xuân Thuận: *Cái vô hạn trong lòng bàn tay, từ Big bang đến giác ngộ*, qua bản dịch của **Nguyễn Văn Thiều** và Ngô Vũ, NXB Trẻ 2007. Cuốn sách trình bày như một cuộc đối thoại của nhà sinh vật học phương Tây (Matthieu Ricard) đã quy y Phật giáo với nhà vật lý người Việt (Trịnh Xuân Thuận) am hiểu Phật giáo.

Trong bài viết, Max Planck bày tỏ một quan niệm cho rằng, khoa học vật lý “*tạo ấn tượng cho mọi tâm trí khách quan thấy rằng tự nhiên được hướng dẫn bởi một ý chí có mục đích*”. Ông có vẻ như chia sẻ quan điểm của Leibniz và Maupertuis cho rằng, việc tìm ra nguyên lý tác động tối thiểu chính là “*đã tìm ra được bằng chứng xác thực [chứng minh có] một lý trí cao hơn, hiện diện khắp mọi nơi, hướng dẫn toàn thể tự nhiên.*” Cần phải nhận xét rằng, điều khẳng định ấy của M. Planck không thể xem là “*được chứng minh*”, mà chỉ có thể xem là một sự diễn giải được ông lựa chọn dựa trên niềm tin của mình. Các nhà khoa học khác có những cách diễn giải hoàn toàn khác. Chẳng hạn như nhà vật lý được giải Nobel Richard P. Feynman (1918-1988) cho rằng “*sự tích tụ to lớn của sự hiểu biết về hành vi của thế giới vật lý chỉ thuyết phục người ta rằng hành vi ấy có kiểu cách như vô ý nghĩa.*”⁽¹⁾ Trong tác phẩm *Nguồn gốc của các giống loài*, C. Darwin cho rằng nguyên tắc chọn lọc tự nhiên không hề hàm ý phục vụ cho một mục đích nào được đặt ra, dù bởi Thượng đế hay bởi Tự nhiên. Các giống loài tiến hóa từ đơn giản lên phức tạp, nhưng không hướng tới mục đích nào hết. Mặc dù vậy, C. Darwin khẳng định: “*Ngay trong những lúc dao động trần trở nhiều nhất tôi vẫn chưa bao giờ là người vô thần theo nghĩa là người phủ định sự hiện hữu của Thượng đế. Tôi cho rằng nói chung (khi ngày càng già nua hơn, nhưng không phải luôn luôn vậy) thì [danh hiệu] người theo thuyết bất khả tri luận (Agnostic) có lẽ mô tả trạng thái tâm trí của tôi chính xác hơn.*” Đa số các nhà khoa học cho rằng Khoa học và Tôn giáo đề cập đến những đối tượng khác nhau, không đối lập nhau và không trùng lặp nhau, cho nên cũng kết luận như M. Planck rằng: “*tôn giáo và khoa học tự nhiên có thể sát cánh bên nhau và không va chạm với nhau.*”

Khoa học ngày nay không còn ở trên đỉnh cao vinh quang như thời của M. Planck nữa. Thời đó khoa học đã được tôn vinh quá mức và người ta đã

¹ Richard P. Feynman, *The meaning of It All*, Perseus Books, Massachusetts (1998).

trông đợi ở nó quá nhiều. Cần phải nhận xét một cách công bằng rằng không phải các nhà khoa học đã có thái độ như thế vì họ là những người “*thường phải quan hệ với hoài nghi và bất định*”¹. Thái độ này là của dư luận xã hội thời đó. Chủ nghĩa hậu hiện đại (Postmodernism) đánh giá lại hoạt động khoa học cũng như giá trị của nó². Sự đánh giá lại này nhiều khi có khuynh hướng hạ thấp giá trị của các tri thức khoa học chỉ vì tri thức khoa học cũng không phải là “chân lý” mà chỉ là một trong nhiều “tạo dựng xã hội” (social constructs) - tức là những quy ước được tạo dựng trên sự đồng thuận của một nhóm người nhất định trong xã hội. Khuynh hướng này mở đường cho nhóm tín đồ Kitô giáo tập hợp dưới ngọn cờ Chủ nghĩa Sáng thế mới (New Creationism) tấn công khoa học. Nhóm người này phản đối thuyết tiến hóa và đưa ra một lựa chọn thay thế được họ gọi là “*Khoa học-Sáng thế*” (Creation-Science). Họ đòi đưa Sách sáng thế (Genesis) (với diễn giải khẳng định Chúa tạo ra thế giới trong 6 ngày theo nghĩa đen) vào giảng dạy trong nhà trường, ít nhất cũng ở vị thế bình đẳng với thuyết tiến hóa. Vào năm 1982 họ đã đạt được việc thông qua một đạo luật cho phép “*đối xử cân bằng giữa khoa học-sáng thế và khoa học-tiến hóa*” ở một vài bang của Hợp chúng quốc. Sự kiện này dẫn đến vụ kiện tụng kháng nghị lên Tòa án tối cao liên bang năm 1987 với sự tham gia ý kiến của 72 nhà khoa học được giải thưởng Nobel và phiên tòa kết thúc với kết luận vô hiệu hóa đạo luật này³. Sự kiện này có tác dụng cảnh tỉnh, khiến cho các nhà khoa học có dịp nhìn lại hoạt động của mình, minh định rõ ý nghĩa của khoa học đối với xã hội.

Như vậy, khoa học và tôn giáo trong nền văn minh phương Tây luôn ở tâm điểm chú ý của dư luận xã hội với những bước thăng trầm trong suốt chiều dài lịch sử hàng trăm năm. Trong khi đó nhận thức của xã hội ta hiện nay đối với cả khoa học lẫn tôn giáo đều có nhiều điều phải bàn. Có nhiều ngộ nhận về khoa học và tôn giáo khá phổ biến trong dân chúng, nhưng không được bàn luận làm sáng tỏ.

Trước hết ta hãy thử xem mọi người hiểu khoa học thế nào. Hầu như mọi người đều có thể bàn luận về khoa học và lẽ dĩ nhiên tất cả đều cho

¹ Ibid.

² Xin xem thêm Jean - Francois Lyotard (1979), *Hoàn cảnh hậu hiện đại*, Ngân Xuyên dịch, Bùi Văn Nam Sơn hiệu đính và giới thiệu, NXB Tri thức 2007.

³ M. Shermer, *Why People Believe Weird Things: Pseudoscience, Superstition and Other Confusions of Our Time*, New York: W.H. Freeman and Company 1997.

rằng mình biết rõ khoa học là gì. Thế nhưng ít người nhận thức được rằng, định nghĩa khoa học không phải là chuyện dễ dàng. Những người ngoài giới khoa học thường cho rằng ít nhất các nhà khoa học cũng phải là người có thể định nghĩa khoa học một cách chính xác. Vậy mà chính các nhà khoa học thì lại có thể đưa ra những định nghĩa khác biệt nhau đáng kể, tùy thuộc vào lĩnh vực nghiên cứu cũng như chiều sâu văn hóa của mỗi người. M. Shermer, người xuất bản tạp chí *Skeptic* (Người hoài nghi), một nhà hoạt động quảng bá khoa học nổi tiếng ở Mỹ, định nghĩa khoa học là: *"Một tập hợp các phương pháp trừu tượng nhằm mô tả và diễn giải các hiện tượng được quan sát hay suy diễn [xảy ra] trong quá khứ hay hiện tại, và có mục đích xây dựng một khối tri thức có thể kiểm tra, để ngỏ cho việc bác bỏ hay xác nhận."* (A set of methods designed to describe and interpret observed or inferred phenomena, past or present, and aimed at building a testable body of knowledge open to rejection or confirmation.) Định nghĩa này được nhiều nhà khoa học chấp nhận là hợp lý. Thế nhưng, định nghĩa này lại để ngỏ một khái niệm mấu chốt: *"tập hợp các phương pháp"* khoa học. M. Shermer cũng thừa nhận rằng, định nghĩa *"phương pháp khoa học"* thế nào là chuyện rất khó. Người ta viết khá nhiều về phương pháp khoa học, nhưng không có mấy đồng thuận giữa các tác giả. Điều này không có nghĩa là các nhà khoa học không biết mình làm cái gì, mà chỉ có nghĩa rằng: làm một công việc và giải thích việc làm của mình là hai chuyện khác nhau. Tuy nhiên, các nhà khoa học đều đồng ý với nhau rằng những yếu tố như sau đây có quan hệ mật thiết với tư duy khoa học:

- *Quy nạp*: Hình thành giả thuyết bằng cách phác họa những kết luận tổng quát từ những dữ liệu hiện hữu.

- *Diễn dịch*: Diễn dịch ra những tiên đoán nhất định từ các giả thuyết tiên đề.

- *Quan sát*: Thu thập dữ liệu từ việc quan sát các hiện tượng trong tự nhiên hay từ các thí nghiệm.

- *Kiểm chứng*: So sánh dữ liệu thực tiễn với các tiên đoán được diễn dịch từ tiên đề để xác nhận hay bác bỏ các giả thuyết.

Tôi muốn nhấn mạnh đặc tính diễn dịch của khoa học. Lý thuyết khoa học nhất thiết phải cho phép diễn dịch tiên đoán ra những kết quả có thể kiểm chứng. Trong vật lý học, kiểm chứng có nghĩa là đo lường các kết quả thu được từ quan sát hay thí nghiệm. Lý thuyết vật lý hiện hành sở dĩ được các nhà vật lý thừa nhận như hệ hình (paradigm) là vì vô số các kết quả diễn dịch ra từ lý thuyết đều được xác nhận qua kiểm chứng thực nghiệm. Các

nhà vật lý không bao giờ thay đổi lý thuyết hiện hành nếu không xuất hiện những dị thường, tức là những kết quả bất tương hợp giữa lý thuyết và thực nghiệm. Lý thuyết mới, nếu được chấp nhận, không những phải giải thích được những dị thường mới xuất hiện mà còn phải giải thích được sự phù hợp của lý thuyết cũ với các quan sát và thực nghiệm đã biết. Nếu hiểu được điều này chắc nhiều người sẽ thấy được sự vô nghĩa của việc sáng tác ra những lý thuyết đòi vượt lên trên Einstein mà không cần tới những điều kiện trên. Điều đáng buồn không phải là cho tác giả của những sáng tác ấy: ở các nước khác cũng luôn có những người thích làm công việc như thế, họ thậm chí còn lập hội giao lưu với nhau. Đáng buồn là đám công chúng cả tin cứ nuôi hy vọng hão huyền về một thiên tài tiêu biểu cho trí tuệ Việt Nam đột nhiên xuất hiện từ đâu đó theo kiểu đi tắt đón đầu.

Mặc dù vậy, các nhà khoa học không bao giờ coi lý thuyết khoa học là chân lý bất biến, được khám phá ra một lần cho mãi mãi. Một lý thuyết được công nhận là khoa học không đồng nghĩa với việc không thể hồ nghi về tính chân lý của nó. Lý thuyết khoa học được duy trì trong một quá trình không ngừng tương tác giữa việc quan sát, phác thảo kết luận, đưa ra tiên đoán, rồi kiểm tra lại bằng chứng xem có phù hợp hay không. Dù cho việc kiểm chứng cho thấy kết quả phù hợp thì vẫn không thể khẳng định tính chân lý của lý thuyết, bởi vì không ai biết được liệu lần kiểm chứng sắp tới có cho kết quả phù hợp hay không. Đó chính là tính khả-dĩ-kiểm-sai (falsifiability) nổi tiếng của K. Popper. Hơn thế nữa, các nhà khoa học thực hiện các công việc này đều là những người trần thế, sống trong những điều kiện văn hóa nhất định, nên việc nghiên cứu khoa học của họ không thể hoàn toàn độc lập với những điều kiện ấy. Tuy nhiên, tri thức khoa học vẫn được coi trọng và tin tưởng vì tính chất *"có thể kiểm tra"* và tính chất *"để ngỏ cho việc bác bỏ hay xác nhận"*. Một lý thuyết không thể kiểm tra và không để ngỏ cho việc bác bỏ hay xác nhận, nhưng lại bắt mọi người phải tuyệt đối tin tưởng thì không phải là lý thuyết khoa học mà giống như một lý thuyết tôn giáo.

Ở nước ta, hầu như mọi người chỉ thấy giá trị của khoa học ở những ứng dụng công nghệ thiết thực cho đời sống vật chất, cho nên người ta chỉ quan tâm đến tác dụng kinh tế của khoa học. Từ đó mới có cái nhìn các nhà khoa học như một thứ nhân lực kinh tế được phân loại một cách hình thức là lao động trí óc. Sự thực lịch sử cho thấy, khoa học xuất hiện trước tiên ở phương Tây như một loại hình hoạt động văn hóa nhằm thỏa mãn nhu cầu

hiểu biết của con người. Chính vì cùng chung mục đích ấy mới hình thành cộng đồng những người thực hành nghiên cứu khoa học, chia sẻ với nhau những giá trị văn hóa và những quy tắc nghề nghiệp nhất định. Các thành công của khoa học làm xuất hiện nền kinh tế công nghiệp chỉ là hệ quả của hoạt động nghiên cứu khoa học, nhưng không phải là cứu cánh của khoa học. Một thí dụ: toàn bộ công nghệ vi điện tử hiện nay dựa trên những thành tựu của lý thuyết lượng tử trong vật lý, song các nhà vật lý sáng lập nên lý thuyết này không hề đặt ra mục đích “ứng dụng công nghệ” ấy trong nghiên cứu khoa học của họ, thậm chí họ còn không ngờ tới những ứng dụng công nghệ như thế. Cái nhìn đơn thuần “kinh tế” về hoạt động khoa học khiến người ta coi rẻ giá trị văn hóa của hoạt động khoa học, dẫn tới sự giảng dạy méo mó các tri thức khoa học trong nền giáo dục. Người ta không quan tâm truyền đạt tinh thần ham mê truy tầm chân lý kết hợp với tính trung thực như đòi hỏi tuyệt đối của đạo đức nghề nghiệp mà các nhà khoa học thể hiện trong quá trình khám phá quy luật tự nhiên, mà lại quy giản khoa học thành những giáo điều “hữu ích” cần thiết phải nhồi nhét cho người học để họ trở thành một loại nhân lực có hiệu quả cho nền kinh tế.

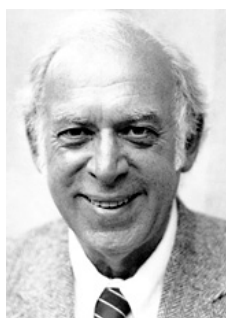
Nhiều người coi khoa học và tôn giáo là những thứ chống đối nhau và loại trừ nhau. Họ tưởng rằng các nhà khoa học, đặc biệt là khoa học tự nhiên, nhất thiết phải là những người vô thần. Bài viết của M. Planck cho ta thấy sự thật không phải như vậy. Ngày nay, các nhà khoa học là tập hợp những người rất khác biệt nhau về thái độ đối với tôn giáo, bao gồm từ những người sùng đạo cho đến những người vô thần. Điều này chứng tỏ rằng, niềm tin khác nhau về tôn giáo của các nhà khoa học không ảnh hưởng nhiều tới hoạt động nghề nghiệp khoa học của họ, nên không thể coi khoa học và tôn giáo là những thứ loại trừ nhau. Cần phải nhận xét rằng các tín đồ cùng thuộc một tôn giáo cũng có thể rất khác nhau về quan niệm sùng đạo tùy thuộc vào trình độ văn hóa của mỗi người.

Do hoàn cảnh đặc thù của lịch sử cận đại nước ta, nhiều người không có cái nhìn thiện cảm đối với những người công khai bày tỏ tín ngưỡng tôn giáo. Những người tự cho mình là vô thần thường không mấy quan tâm đến việc thấu hiểu tôn giáo mà tự bằng lòng với những định kiến ít nhiều khinh bạc đối với các tín ngưỡng. Hơn hai chục năm đổi mới đã làm thay đổi xã hội nước ta rất nhiều. Sự tăng trưởng GDP đi kèm với sự gia tăng khoảng cách giàu nghèo cùng với sự đa dạng của những bi kịch đời thường - những bi kịch không phải chỉ thuộc về riêng những người nghèo khó.

Những người bị thương tổn tinh thần thường tìm đến tôn giáo để có được sự bình an cho tâm hồn. Những người trí thức tự nhận trách nhiệm đối với cuộc sống tinh thần của dân tộc cần phải hiểu biết tôn giáo ở mức độ trí tuệ cao hơn những định kiến tầm thường.

PHẦN II

KHOA HỌC CƠ BẢN VÀ THỰC NGHIỆM



JEROME I. FRIEDMAN*

CON ĐƯỜNG TIẾN TỚI GIẢI NOBEL

Lời giới thiệu: Nhân dịp giáo sư Jerome Friedman và giáo sư Trần Thanh Vân đến Hà Nội dự Olympic Vật lý quốc tế năm 2008, giáo sư Trần Thanh Vân đã mời giáo sư Jerome Friedman đi thăm Huế và Đồng Hới. Trong buổi giao lưu của hai giáo sư với sinh viên Đại học Huế, giáo sư Jerome Friedman đã kể cho các bạn sinh viên nghe về con đường dẫn ông tới thành công tuyệt vời trong khoa học. Đó cũng là thông điệp mà ông gửi đến tất cả các bạn trẻ yêu khoa học Việt Nam. Chúng tôi xin giới thiệu với bạn đọc bài nói chuyện đó.

GS. Nguyễn Văn Hiệu

Tôi sinh ra ở thành phố Chicago, Hoa Kỳ. Cha mẹ tôi là những người di cư tới từ nước Nga. Cha tôi tới Mỹ năm 1913 và mẹ tôi tới đó năm 1914 trên một trong những chuyến chở khách cuối cùng của Lusitania, con tàu đã bị đắm trong Đại chiến Thế giới lần thứ nhất. Cha mẹ tôi ít được đến trường, ngoại trừ một khóa tiếng Anh sau khi tới Mỹ. Nhưng họ đều tự học và có được một kiến văn khá rộng.

Tôi lớn lên trong một thời kỳ đầy khó khăn. Khi nhìn lại môi trường mà tôi đã lớn lên, tôi nghĩ rằng bất kỳ ai biết tôi đều không thể hình dung nổi một ngày nào đó tôi sẽ được trao giải thưởng Nobel. Tôi lớn lên trong một

* MIT, Giải Nobel Vật lý năm 1990.

khu phố nghèo ở phía tây Chicago. Các trường công thì không đủ còn ngoài đường phố thì đầy tệ nạn. Đó là thời kỳ Đại suy thoái và cha mẹ tôi gặp những khó khăn nghiêm trọng về tài chính. Tôi học tiểu học và trung học tại Chicago. Hồi nhỏ tôi rất thích vẽ. Khi vào học trung học phổ thông, tôi có theo một chương trình đặc biệt về nghệ thuật, nhờ đó tôi được vẽ vài ba giờ mỗi ngày và khát vọng của tôi là trở thành họa sĩ.

Trong khi đó tôi cũng có ít nhiều quan tâm đến khoa học. Và tôi chỉ quan tâm mạnh mẽ đến vật lý khi tôi học năm thứ tư ở trường trung học phổ thông. Đó là kết quả sau khi tôi đọc cuốn sách mỏng có nhan đề *Thuyết tương đối của Albert Einstein*.

Bạn có thể thắc mắc là điều gì trong cuốn sách đó đã hấp dẫn tôi như vậy. Tất nhiên, cha mẹ tôi rất hâm mộ Einstein như bất kỳ ai trên khắp thế giới. Tôi cũng đã đọc chút ít về thuyết tương đối và những điều đọc được đã cuốn hút tôi. Tôi nghĩ rằng cuốn sách đó đã mang lại cho tôi một số hiểu biết về những bí ẩn như tại sao chiếc thước lại co lại và đồng hồ lại chạy chậm lại khi chúng chuyển động nhanh - những điều mà tôi đã đọc được trong các bài báo khoa học đại chúng. Tôi đã đọc cuốn sách này một cách kỹ lưỡng và cố hết sức để hiểu những vấn đề đó, nhưng cuối cùng tôi vẫn chưa thực sự hiểu hết được những khái niệm cơ bản của thuyết tương đối hẹp. Điều đó chỉ làm cho tôi tò mò hơn và quyết tâm hơn để hiểu cho bằng được những ý tưởng khó hiểu đó. Tôi cảm thấy rõ ràng là để thực sự hiểu được thuyết tương đối, tôi phải học vật lý.

Quyển sách đó đã mở ra cho tôi những viễn cảnh mới và làm sâu sắc thêm sự tò mò của tôi đối với thế giới vật lý. Khi tôi học xong phổ thông, tôi đã nhận được học bổng của trường Bảo tàng thuộc Viện Nghệ thuật Chicago. Thầy giáo dạy vẽ của tôi đã ra sức động viên tôi nhận học bổng đó. Tuy nhiên, tôi quyết định theo học chính thức tại trường Đại học Chicago, vì đây là một trường đại học nổi tiếng và có Enrico Fermi, một trong số những nhà vật lý vĩ đại nhất của thế kỷ 20, dạy ở đó.

Hai năm đầu ở trường đại học này tôi theo học chương trình nghệ thuật tự do với tinh thần đổi mới và kích thích trí tuệ cao. Tôi đã rất hạnh phúc được đắm mình trong các nghệ thuật tự do bởi vì nó mở ra cho tôi cả một thế giới, trong nhiều lĩnh vực và điều này đã mang lại cho tôi sự thỏa mãn lớn lao trong suốt cuộc đời. Mãi tới năm 1950 tôi mới vào Khoa Vật lý.

Khoa vật lý của Đại học Chicago là một nơi rất sôi động. Tôi đã nhận được một sự giáo dục tuyệt vời, nhưng cảm thấy rất khó khăn. Kiến thức cơ

bản về toán học và vật lý mà tôi nhận được ở trường phổ thông không đủ, nên vào lúc đó tôi đã phải vật lộn ghê gớm. Đôi khi tôi băn khoăn tự hỏi không biết sự lựa chọn của mình có đúng không. Nhưng tôi đã không nản chí, bởi vì tôi thực sự yêu thích những cái mà tôi đang học. Tôi đã lao vào học hết mình và đã vượt qua được tất cả các kỳ thi.

Khi chuẩn bị bước vào làm luận án tiến sĩ, tôi quyết định sẽ xin Fermi làm thầy hướng dẫn. Thực ra, tôi không mấy lạc quan về chuyện được Fermi chấp nhận làm học trò, nhưng tôi nghĩ mình có mất gì đâu, cứ đề nghị xem sao. Tôi nghĩ mình có thể chịu đựng được sự từ chối của một người vĩ đại như thế. Vậy là tôi tới xin ông; và thật vô cùng ngạc nhiên, ông đã đồng ý ngay lập tức. Tôi vui sướng không sao tả hết. Điều đó đã dạy cho tôi một bài học quan trọng. Đó là hãy sẵn sàng chấp nhận thất bại. Hãy vươn tới những đỉnh cao ngay cả khi bạn nghĩ rằng bạn không có cơ hội. Bạn cần phải thành công! Được Fermi hướng dẫn là một trải nghiệm đầy phần khích, nó đã làm hình thành lối tư duy của tôi về vật lý.

Sau khi nhận được bằng PhD, tôi tiếp tục làm việc trong phòng thí nghiệm của Fermi, bấy giờ được Val Telegdi, một thành viên xuất sắc của khoa, đứng đầu, sau khi Fermi đột ngột qua đời năm 1954. Vào khoảng thời gian đó, người ta đã nhận được một số quan sát bí hiểm về phân rã của một hạt mới được phát hiện, những quan sát đã gây ra rất nhiều tranh luận và tư biện trong cộng đồng vật lý hạt. Trong một bài báo rất táo bạo, hai nhà vật lý trẻ là T.D. Lee và C.N. Yang đã đưa ra giả thuyết rằng cái tương như là nghịch lý đó chẳng qua là do sự không bảo toàn chẵn lẻ trong tương tác yếu và đề nghị một số kiểm chứng bằng thực nghiệm giả thuyết đó. Cái gọi là lực yếu đó là một trong bốn lực cơ bản của tự nhiên và là nguyên nhân tạo ra năng lượng khởi phát trong Mặt trời và gây ra hiện tượng phóng xạ. Chẵn lẻ là một khái niệm cơ học lượng tử. Sự bảo toàn của nó tương đương với ý tưởng cho rằng một hệ vật lý cần phải xử sự theo cùng một cách như ta soi gương.

Trong khi đa số các nhà khoa học trong cộng đồng vật lý coi sự bảo toàn chẵn lẻ là một nguyên lý thiêng liêng, thì Giáo sư Telegdi đề nghị tôi cùng với ông tiến hành một phép đo để kiểm chứng giả thuyết táo bạo của Lee và Yang, những người đã từng là sinh viên của Đại học Chicago. Đa số những người khác trong phòng thí nghiệm của chúng tôi đều nghĩ rằng làm chuyện đó chỉ tốn thời gian vô ích. Tôi nhớ mình đã tổ chức một xemina trong Viện về phép đo mà chúng tôi sắp tiến hành. Sau xemina đó, một

thành viên xuất sắc và nhiều tuổi hơn trong khoa đã tới gặp tôi và nói rằng tôi đã có một bài trình bày rất hay, nhưng tôi nên nhận thức được rằng chúng tôi sẽ chẳng tìm thấy cái gì hết.

Hóa ra, chúng tôi lại là một trong ba nhóm đầu tiên chứng minh được sự không bảo toàn chẵn lẻ trong tương tác yếu, và nhờ những kết quả thực nghiệm này mà một lý thuyết mới về tương tác yếu đã được phát triển. Và cũng nhờ công trình tiên phong của mình mà Lee và Yang đã được trao giải Nobel năm 1957. Bài học mà tôi rút ra từ đây là ta nên tự nguyện kiểm chứng các ý tưởng mới, ngay cả khi bị những người khác phản đối. Tiến bộ của khoa học chỉ có được khi những lý thuyết cũ nhường chỗ cho các ý tưởng mới.

Năm 1960, tôi được nhận vào làm việc tại Khoa Vật lý Viện Công nghệ Massachusetts (MIT). Năm 1963, Henry Kendall và tôi bắt đầu hợp tác với Richard Taylor và một số nhà vật lý khác của Trung tâm máy gia tốc tuyến tính Stanford thiết kế và xây dựng một số thiết bị tán xạ electron cho một chương trình vật lý tại máy gia tốc electron tuyến tính (SLAC), dài hai dặm, với năng lượng 20 tỷ eV (SLAC) đang được xây dựng tại Đại học Stanford. Chúng tôi đã nhanh chóng lập được một nhóm nhỏ những người của MIT tại SLAC và để tận dụng thời gian một trong số chúng tôi thường xuyên có mặt ở đó.

Từ năm 1967 tới khoảng năm 1975, các nhóm của MIT và SLAC đã thực hiện hàng loạt các phép đo về tán xạ electron phi đàn tính trên proton và neutron. Những phép đo này đã cung cấp bằng chứng thực nghiệm trực tiếp đầu tiên của khẳng định rằng proton và neutron được cấu tạo bởi các quark. Công trình này đã khẳng định mô hình quark và cung cấp cơ sở thực nghiệm cho Sắc động lực học lượng tử, một lý thuyết về các lực mạnh. Đó là một thời gian đầy hưng phấn đối với tôi.

Cũng chính là nhờ công trình này mà Henry Kendall, Richard Taylor và tôi được trao giải thưởng Nobel về vật lý năm 1990. Một sự bất ngờ và hạnh phúc biết bao! Một tuần lễ thần tiên ở Stockholm tràn đầy vinh dự và phần khích mà trước đó tôi chưa bao giờ được trải qua. Có các bài diễn từ, các cuộc họp báo, các buổi tiếp tân, các bữa tiệc thịnh soạn và một trong số đó được tổ chức ngay trong cung điện hoàng gia. Nhưng sự kiện đáng kinh ngạc nhất là nghi lễ trong đó chính đức vua Thụy Điển tận tay trao giải thưởng cho chúng tôi. Lễ trao giải thưởng được tổ chức trong phòng hòa nhạc tuyệt đẹp, rực rỡ các sắc hoa với cử tọa khoảng vài ngàn quý ông quý

bà trong những bộ lễ phục sang trọng nhất. Xen giữa các lần trao giải là những bản nhạc tuyệt vời. Đó là một hồi ức vô cùng quý giá của gia đình tôi và tôi. Nhưng đôi lúc, tôi vẫn băn khoăn tự hỏi làm thế nào mà điều đó đã thực sự đến với mình.

Khi tôi bắt đầu thực nghiệm này, nhiều nhà vật lý đã bảo chúng tôi chỉ mất công vô ích. Thực tế, một số thành viên trong nhóm chúng tôi, những người đã tham gia thiết kế và chế tạo dụng cụ này, cũng đã bỏ dở giữa chừng vì họ muốn làm cái gì đó hiệu quả hơn. Bây giờ cho phép tôi nói qua về công trình này.

Nhưng để bắt đầu, tôi cần phải đặt công trình này trong bối cảnh của những điều mà chúng ta đã biết về vật chất. Hồi đó, chúng ta chỉ mới biết tới vật chất thông thường, được tạo bởi các nguyên tử và phân tử. Tất cả những thứ bao quanh chúng ta, như cái bàn, rồi bản thân chúng ta nữa..., đều được tạo bởi thứ vật chất đó. Nếu chúng ta tăng độ phóng đại lên 100 triệu lần, chúng ta sẽ nhìn thấy nguyên tử. Nguyên tử được cấu tạo bởi các electron chuyển động xung quanh một hạt nhỏ mang điện dương nằm ở tâm gọi là hạt nhân. Bức tranh này đã được nhà vật lý Nhật Bản Hantaro Nagaoka đưa ra vào năm 1904. Và nó đã được khẳng định trong một loạt các thí nghiệm nổi tiếng của Rutherford vào năm 1911 bằng cách sử dụng tán xạ của các hạt alpha. Bây giờ nếu chúng ta tăng độ phóng đại thêm 100 000 lần nữa, chúng ta sẽ nhìn thấy hạt nhân được cấu tạo bởi các proton và neutron. Bức tranh này được mở ra vào năm 1919, khi Rutherford nhận dạng ra proton là hạt nhân của nguyên tử hydro, và đạt tới đỉnh điểm với sự phát hiện ra hạt neutron của Chadwick vào năm 1932. Nếu chúng ta tăng độ phóng đại lên thêm nữa, chúng ta sẽ nhìn thấy proton và neutron được cấu tạo bởi các hạt khác được gọi là quark. Câu chuyện này bắt đầu được mở ra vào năm 1968 và còn tiếp tục cho tới ngày nay. Và đó cũng là câu chuyện tôi muốn kể với các bạn.

Bắt đầu câu chuyện này là phát minh ra một loại hạt mới gọi là pi meson hay pion. Sự tồn tại của hạt mới này đã được nhà vật lý Nhật Bản, Gs. Hideki Yukawa, tiên đoán về mặt lý thuyết năm 1935. Sau đó, các nhà vật lý bắt đầu săn tìm hạt mới này vì lý thuyết của Yukawa rất hấp dẫn. Năm 1947, hạt này đã được phát hiện và Gs. Yukawa đã được trao giải Nobel về vật lý năm 1949 vì công trình lý thuyết xuất sắc đó. Khi hạt pion được phát hiện, đã có một sự phấn khích to lớn trong cộng đồng vật lý vì người ta có cảm giác rằng con người đã có một sự hiểu biết nào đó về thế

giới nội nguyên tử. Nhưng đã phần khếch này chẳng được lâu vì chẳng bao lâu sau lĩnh vực này tỏ ra hết sức phức tạp.

Vào năm 1960 người ta đã phát hiện được một số lượng rất lớn các hạt khác nhau nhưng lại chưa rõ các hạt này liên hệ với nhau như thế nào. Những hạt mới được phát hiện này là kết quả của các máy gia tốc mới với năng lượng ngày càng cao cùng với các loại detector mới.

Năm 1961, một sơ đồ phân loại đã được phát triển cho các hạt mới được phát hiện đó. Nó giống như bảng tuần hoàn các nguyên tố hóa học trừ điều là ở đây là bảng cho các hạt. Sơ đồ phân loại này không chỉ cho một sự sắp xếp các hạt mới được phát hiện này mà còn tiên đoán được sự tồn tại của các hạt hiện còn chưa được phát hiện. Và tất cả những hạt được tiên đoán này sau đó đều lần lượt được phát hiện. Nhưng một câu hỏi được đặt ra: Tại sao sự phân loại đó lại thành công đến như thế?

Năm 1964, hai nhà vật lý¹ độc lập nhau đã đưa ra giả thuyết quark là các viên gạch cơ bản cấu tạo nên các hạt, vì họ tìm thấy rằng các quark có thể là cơ sở cho sơ đồ phân loại nói trên. Ban đầu, mô hình quark có ba loại: quark UP, quark DOWN, và quark STRANGE (lạ). Nhưng các quark có một tính chất rất đặc biệt, vừa lạ lùng vừa gây phiền phức. Đó là các quark đều có điện tích phân số nhưng người ta lại không phát hiện thấy trong tự nhiên hạt nào có điện tích như thế cả. Cụ thể là quark UP có điện tích là $+2/3$, quark DOWN có điện tích là $-1/3$, và quark lạ có điện tích là $-1/3$.

Như vậy, theo lý thuyết này, proton được cấu tạo bởi 2 quark UP và 1 quark DOWN, nên có điện tích là $+1$, còn neutron tạo bởi 2 quark DOWN và 1 quark UP nên có điện tích bằng 0.

Vậy các nhà vật lý phải làm gì để tìm ra một cái gì đó có thực sự tồn tại hay không? Họ sẽ phải tìm kiếm nó. Chính vì thế mà có nhiều ý định săn tìm các hạt quark. Nhưng không có một hạt quark nào được phát hiện. Đối với nhiều nhà vật lý thì điều này không có gì là ngạc nhiên cả. Các điện tích phân số là một khái niệm thực sự lạ lùng và không thể chấp nhận được. Theo quan điểm chung của năm 1966 thì quark có nhiều khả năng chỉ là những biểu diễn toán học, có lợi nhưng không có thực.

Do vậy, vào thời gian đó, phần lớn các nhà vật lý đều nghĩ rằng quark không tồn tại. Tuy nhiên, có một số ít các nhà vật lý không muốn vứt bỏ mô hình quark và họ vẫn kiên trì thực hiện những tính toán áp dụng mô hình

¹ Murray Gell-Mann và George Zweig.

này. Nhưng chẳng mấy ai chú ý tới họ.

Tuy nhiên, năm 1966 có một bước phát triển quan trọng trong câu chuyện này. Máy gia tốc tuyến tính ở Stanford (SLAC) đã hoàn tất và được đưa vào sử dụng. Đây là máy gia tốc rất dài với năng lượng cao dùng để gia tốc electron. Các thí nghiệm về tán xạ phi đàn tính electron - proton trong chương trình hợp tác MIT - SLAC đã được bắt đầu ở đây vào năm 1967 và kéo dài cho đến tận năm 1974. Nhóm thí nghiệm này bao gồm Henry Kendall, Richard Taylor và tôi cùng với một số nhà vật lý khác. Về mặt khái niệm, đây là một thí nghiệm rất đơn giản. Cụ thể là chỉ cần bắn các electron vào proton. Các electron sẽ tán xạ ra đồng thời kèm theo nhiều hạt khác nữa. Bạn chỉ cần ghi nhận và đo đạc các electron này là đã có bằng chứng trực tiếp đầu tiên về các quark. Điều này có thể giải thích được vì phương pháp luận khoa học ở đây khá đơn giản. Tôi sẽ giải thích bằng một sự tương tự.

Tôi cho bạn một bình thả cá cùng với một số con cá trong đó và đặt vào trong một buồng tối. Tôi hỏi bạn: hãy cho tôi biết có bao nhiêu con cá trong bình, với điều kiện bạn không được thò tay vào bình? Tôi cũng cho bạn một đèn flash. Điều mà bạn sẽ làm là bật đèn này lên, và đếm có bao nhiêu con cá trong bình, phải vậy không?

Thí nghiệm của chúng tôi về cơ bản cũng theo đúng ý tưởng đó. Chỉ có điều thay vì có chùm sáng chúng tôi có chùm electron, thay vì mắt nhìn, chúng tôi có các máy detector và thay vì bộ não để dựng lại các hình ảnh chúng tôi có các máy tính được lập trình bởi trí tuệ con người. Và, tất nhiên, thay vì tìm kiếm các con cá trong bình chúng tôi tìm những cái ở bên trong proton. Như vậy rõ ràng là về cơ bản là cùng một ý tưởng. Nếu hình dung thí nghiệm này như một kính hiển vi thì độ phóng đại của nó lớn gấp 60 tỷ lần độ phóng đại của một kính hiển vi thông thường.

Vậy chúng ta chờ đợi sẽ thấy những đặc trưng nào của tán xạ dựa trên mô hình quark so với dựa trên mô hình về proton thời đó, mô hình quan niệm điện tích của proton bị nhòe rộng ra. Theo một nghĩa nào đó, đây là mấu chốt vấn đề trên phương diện vật lý. Nếu bạn có một mô hình cũ trong đó điện tích của proton bị nhòe rộng ra thì bạn sẽ chờ đợi rằng các electron tới sẽ đi vào và không bị lệch nhiều lắm vì điện tích bị nhòe ra và không có gì rắn trong đó để thực sự làm tán xạ nó trong một va chạm rắn. Khi đó electron tới sẽ đi vào bên trong proton và không bị lệch hướng quá nhiều. Nhưng nếu bạn có các thành phần bên trong proton thì đôi khi một electron

đi vào và tán xạ với góc lớn trên một trong số các hạt thành phần đó.

Như vậy một lượng đáng kể các tán xạ với góc lớn sẽ ngụ ý rằng có những đối tượng nhỏ hơn ở bên trong proton. Do đó, bằng cách xem xét phân bố xác suất tán xạ ta có thể xác định được những cái ở bên trong proton và đó chính là cách phân tích của thí nghiệm này. Và bây giờ tôi muốn chỉ cho các bạn thấy chúng tôi đã phát hiện ra cái gì.

Những số liệu về phân bố xác suất tán xạ đo được cho thấy nó sai khác một thừa số cỡ 1000 so với phân bố mà mô hình cũ về proton tiên đoán. Cái mà những phép đo này cho thấy là một lượng lớn đến bất ngờ của các tán xạ dưới góc lớn. Bây giờ, các nhà thực nghiệm thử phân tích và dựng lại các hình ảnh qua những cái đã đo được.

Các đối tượng ở bên trong proton lớn đến mức nào? Kết quả chỉ ra rằng chúng giống như các hạt điểm. Chúng nhỏ hơn kích thước có thể đo được với độ phân giải của hệ đo. Như vậy, những dụng cụ đo của chúng tôi đã phát hiện ra rằng cả proton lẫn nơtron đều được cấu tạo bởi các thành phần giống như các hạt điểm. Gọi chúng là điểm vì chúng nhỏ hơn kích thước mà chúng tôi có thể đo được. Chúng tôi cũng chưa xác định được chúng có đúng là mang điện tích phân số hay không.

Điện tích phân số là một vấn đề khó hơn nhiều. Và để thực sự giải quyết được vấn đề này cần phải nghiên cứu một loại tán xạ khác. Tán xạ của các hạt neutrino sẽ giúp chúng ta giải quyết được vấn đề đó.

Trước hết, cần phải biết neutrino là gì? Neutrino về cơ bản là những hạt giống như ma vậy. Chúng có khối lượng rất nhỏ, không có điện tích và hầu như không tương tác. Nó tương tác yếu tới mức một neutrino có năng lượng 100 tỷ eV khi đi qua một khối sắt dài 4 triệu km, về trung bình, chỉ xảy ra có 1 tán xạ.

Vậy làm thế nào xác định được điện tích của các hạt thành phần? Bạn có thể làm điều đó bằng cách so sánh tán xạ của electron và của neutrino trên proton và nơtron. Sự so sánh những kết quả tán xạ electron của chúng tôi với các phép đo tán xạ ở CERN, Thụy Sĩ, đã chứng tỏ một cách chắc chắn rằng mô hình quark là đúng. Và các nhà vật lý vốn rất nghi ngờ sự tồn tại của quark thì giờ đây đã buộc phải chấp nhận.

Còn một câu hỏi nữa: vậy kích thước của quark thực sự là bao nhiêu? Chỉ biết rằng nó nhỏ hơn kích thước mà chúng tôi có thể đo được, vì vậy chúng tôi gọi nó là hạt điểm. Chúng ta không nhất thiết phải tin nó là điểm, nhưng trong chừng mực mà các dụng cụ của chúng tôi đo được thì chúng

tôi chỉ thấy chúng là các điểm. Giới hạn trên về kích thước của quark theo các phép đo hiện nay là cực kỳ nhỏ. Nếu lấy một nguyên tử cacbon, chẳng hạn, thì nó nhỏ rất rất nhiều hơn một virút và nếu phóng đại nó lên tới kích thước của Trái Đất thì lúc đó kích thước của quark chỉ cỡ nửa xentimét. Đó chính là giới hạn trên kích thước của quark. Thậm chí nếu chúng ta không đo được kích thước của quark đi nữa thì tôi hy vọng các bạn cứ tin rằng các bạn được cấu tạo từ các quark và chúng vẫn chung sống với nhau rất bền vững trong cơ thể bạn.

Đến đây, bạn có thể hỏi vậy tôi đã rút ra được những bài học gì về cuộc sống trong sự nghiệp của mình. Và dưới đây là một số bài học.

Hãy mơ ước và làm việc thật cật lực rồi những khát vọng cao cả nhất của bạn cũng sẽ trở thành hiện thực. Khi lựa chọn một sự nghiệp, hãy đi vào lĩnh vực mà bạn thực sự yêu thích nó. Chỉ khi có một mối quan tâm sâu sắc và niềm đam mê một lĩnh vực bạn mới có thể cam kết rằng cần phải làm một điều gì đó thực sự quan trọng. Cái đã cuốn hút tôi vào vật lý đó là cảm giác sợ hãi trước những điều kỳ diệu của tự nhiên và cách vận hành của nó. Khi còn là sinh viên và trong suốt sự nghiệp của tôi, tôi đã làm việc cật lực, nhưng tôi chưa bao giờ cảm thấy nặng nhọc cả vì tôi quá yêu vật lý. Tôi cảm thấy rằng, tôi có một công việc tốt nhất trên đời. Tôi được trả lương cho những tìm tòi nhằm giải quyết những câu đố của tự nhiên mà tôi chọn lựa và cho sự giảng dạy những môn mà tôi yêu thích.

Nghề nghiệp của tôi là một nguồn vui vô cùng to lớn. Khi tôi phát triển được một cái nhìn sâu xa vào một vấn đề bí hiểm nào đó tôi cảm thấy vô cùng sung sướng. Hãy thử nghĩ mà xem, khi làm được một phát minh, bạn có thể là người đầu tiên trong lịch sử nhân loại quan sát được hay hiểu được một bí mật của tự nhiên mà mình vừa khám phá.

Trong sự nghiệp của mình, tôi cũng học được một điều là để thực hiện được một điều gì đó quan trọng bạn cần phải chấp nhận rủi ro trong việc theo đuổi những ý tưởng và mục tiêu của bạn, ngay cả khi những người khác không ủng hộ bạn làm điều đó. Bạn cần phải dũng cảm giữ vững niềm tin của mình. Tôi sẽ chẳng bao giờ nhận được giải Nobel nếu không đi ngược lại những lời khuyên (với dụng ý cũng tốt thôi) từ những người rất đáng kính trọng trong lĩnh vực của mình.

Để kết luận, tôi muốn nêu một số nhận xét chung về tầm quan trọng của khoa học và công nghệ. Những cái mà chúng ta học được từ khoa học đã làm hình thành trong chúng ta một cái nhìn sâu sắc về vị trí của mình

trong vũ trụ. Nó mang lại cho chúng ta một sự hiểu biết nhất định về sự vận hành của vũ trụ từ những viên gạch cơ bản của thế giới nội nguyên tử cho tới vũ trụ bên ngoài. Và sinh học tiến hóa cho chúng ta một sự hiểu biết về vị trí của mình trong trật tự tự nhiên của sự sống.

Nhưng khoa học cũng có những tác động ghê gớm đến lối sống của chúng ta. Thế giới đang phát triển rất nhanh, và được thúc đẩy trên quy mô lớn bởi khoa học và công nghệ. Sự phát triển của loài người gắn bó rất khăng khít với những đổi mới xuất hiện từ sự sáng tạo của con người, từ những dụng cụ thô sơ thuở ban đầu tới xã hội công nghệ hiện đại ngày hôm nay. Trong thời đại hiện nay, khoa học và công nghệ đã mang lại những đổi mới làm nâng cao mức sống, hoàn thiện trạng thái sức khỏe của chúng ta và thúc đẩy nền kinh tế của các quốc gia. Nhưng khoa học và công nghệ phải được xã hội sử dụng một cách sáng suốt và nhân văn. Nhà vật lý lý thuyết nổi tiếng Victor Weisskopf có nói: "Xã hội dựa trên hai cột trụ: tri thức và lòng trắc ẩn. Lòng trắc ẩn mà không có tri thức thì vô dụng, còn tri thức mà không có lòng trắc ẩn sẽ là vô nhân đạo và độc ác".

PHẠM VĂN THIỀU dịch

PHẠM XUÂN YÊM*

BẢN GIAO HƯỞNG HUYỀN DIỆU GIỮA LƯỢNG TỬ VÀ TƯƠNG ĐỐI

In fact, we are all the children of broken symmetry.

Thực ra, tất cả chúng ta đều là những đứa con
của nguyên lý đối xứng bị phá vỡ.

Ủy ban Nobel¹

L'asymétrie c'est la vie!

Bất đối xứng, đó chính là sự sống!

Louis Pasteur

Abstract: The Pastoral Symphony of Quantum and Relativity theories

Dirac equation that governs the ultimate building blocks of matter (quarks and leptons) is first outlined with emphasis on spin and antimatter. A cursory glance at Relativity (special, general) and Cosmology then follows. Quantum chromodynamics and Electroweak interactions of the Standard Model are reviewed. The recent exciting events at the world largest collider LHC at CERN with the Higgs boson search, CP violation and the 2008 Nobel prize end in the allegretto.

1 - Phương trình Dirac: Spin và Phản vật chất

Hạt điện electron, thành phần cơ bản của vật chất ra đời và tràn đầy vũ trụ từ thuở Nổ Lớn (Big Bang), cái hạt cô đơn² mà ngày đêm chúng ta giao tiếp từ ánh sáng đèn lân quang thời xa xưa đến công nghệ thông-truyền tin tân kỳ ngày nay với điện thoại di động (bốn tỷ chiếc đang lưu hành trên trái

* Nguyên giám đốc nghiên cứu, CNRS và Đại Học P.et M. Curie, Paris.

¹ Trong một công bố báo chí nhân dịp trao giải Nobel Vật lý 2008 cho ba nhà khoa học Yoichiro Nambu, Makoto Kobayashi và Toshihide Maskawa.

²<http://amvc.free.fr/Damvc/Mai%20Ninh/TruyenNgan/HatDienCoDon%20-%20MN%20unicode.htm>.

đắt), máy vi tính, truyền thanh, truyền hình, phim ảnh số, iPod... Có lẽ chỉ vì electron lúc nào cũng ở trong ta và cạnh ta trong mọi khía cạnh của cuộc sống như nước với cá nên vô hình trung ta không ý thức hết tác động thường xuyên của nó. Ở trong ta thực không ngoa vì tế bào và gen DNA của da thịt con người đều là phân tử, chuỗi tập hợp của nguyên tử do trao đổi electron mà thành. Electron cũng chính là sợi dây kết nối liên ngành lý, hóa và sinh học hiện đại. Đề tài mệnh mông, khởi đầu năm 1897 khi J. J. Thomson (1856-1940)¹ thử nghiệm trên ống phóng tia âm cực, phát hiện ra electron với điện tích âm $-e$ và khối lượng m , hai tính chất cổ điển của một hạt. Paul Dirac (1902-1984), một thiên tài tầm cỡ Newton và Einstein, khi kết hợp nhuần nhuyễn Thuyết lượng tử với Thuyết tương đối hẹp, đúng tám mươi năm qua (1928) đã khám phá ra định luật cơ bản chi phối sự vận hành của hạt điện này và của tất cả các fermion khác như neutrino, proton, neutron, quark. Tại sao kết hợp? Lượng tử là điều dĩ nhiên cho vật thể vi mô như electron, còn Thuyết tương đối hẹp thì tối cần thiết để diễn tả sự dao động với vận tốc rất cao của nó. Phương trình Dirac là bản giao hưởng tuyệt vời của sự hợp phối nói trên, nó mở ra hai chân trời kỳ diệu: thứ nhất là electron mang *spin* $\hbar/2$, thứ hai là sự hiện hữu của *phản vật chất*². Có vật chất thì có phản vật chất, thí dụ hạt phản electron hay positron mang điện tích dương $+e$. Spin $\hbar/2$ của electron không hề hé lộ trong vật lý cổ điển mà là một đặc trưng độc đáo của lượng tử. Spin miêu tả tính chất quay vòng nội tại của các hạt vi mô cơ bản (như trái đất quay chung quanh trục của nó, nhưng spin tinh tế hơn), spin electron bằng $\hbar/2 = h/4\pi$ nghĩa là hạt điện này phải quay hai vòng 4π mới trở lại vị trí ban đầu, điều không tương trong cơ học cổ điển. Ta mừng tượng spin như chiếc kim la bàn nhỏ xíu, một momen từ tạo ra bởi electron mang điện tích tự quay tròn³ quanh trục của

¹ <http://www.aip.org/history/electron/jjrays.htm>.

² Phản vật chất và vật chất có cùng khối lượng m nhưng tất cả các đặc tính khác như điện tích, spin đều ngược dấu. Phản electron (positron) có điện tích $+e$, phản proton có điện tích $-e$, spin của phản hạt và hạt ngược chiều nhau. Những phản hạt của neutron, neutrino, meson K^0 , B^0 (hạt trung hòa) đều có spin (và các đặc trưng lượng tử khác) ngược dấu so với hạt.

³ Những vectơ $\mathbf{x}$, $\mathbf{v}$, $\mathbf{k}$ đều in đậm. Một vật quay với vận tốc $\mathbf{v}$ trên một quỹ đạo hình tròn (bán kính $x = |\mathbf{x}|$), chung quanh một trục thẳng góc với hình tròn đặt ở tâm nó. Đại lượng cơ học diễn tả sự quay tròn này gọi là momen động lượng L , nó là bán kính nhân với xung lượng, tích số của hai vectơ: $L = \mathbf{x} \times \mathbf{k}$. Danh từ momen lấy ở chữ Latinh *movimentum*, đôn bẩy xa khỏi trục mà vật quay chung quanh. Phép phân tích thứ nguyên - theo ba đại lượng phổ quát M (khối lượng), L (chiều dài) và T (thời gian) - cho

nó 'hai vòng mỗi lần'. Nhờ Faraday, Ampère, Maxwell chúng ta biết điện với từ tuy hai mà một, điện tích dao động sinh ra từ và ngược lại. Nếu điện tích $-e$ của electron là gốc nguồn và động cơ mở đường cho ngành điện tử, thì spin $\hbar/2$ của nó đóng vai trò tương tự đối với từ trường và khả năng tích lũy cùng 'trí nhớ' của từ tính trong công nghệ. Spin $\hbar/2$ mở ra một phạm trù mới cho vật lý hiện đại, nhánh 'spin-điện tử' đã mang giải Nobel Vật lý 2007 đến Albert Fert và Peter Grünberg với hiệu ứng Từ trở Khổng lồ¹ mà một trong nhiều ứng dụng là bộ nhớ MRAM cùng các đầu đọc, đầu ghi của đĩa cứng trong máy vi tính hiện thời. Thấu triệt phương trình cơ bản phong phú của Dirac, ta có thể di chuyển, chồng chập, thao tác và điều khiển electron và positron theo ý mình mà tạo dựng nên cả một nền công nghệ bán dẫn, siêu dẫn, vi điện tử, quang điện tử, spin-điện tử, vật liệu nano tinh tế ngày nay mà điện thoại và máy vi tính di động tân kỳ chỉ là tảng băng nổi. Như J. A. Wheeler ước tính, một phần ba tổng sản lượng kinh tế của cường quốc số một hiện nay có gốc nguồn từ những ứng dụng trực tiếp của công nghệ lượng tử, mình họa biết bao ứng dụng thực tiễn trong đời sống con người hầu hết khởi đầu từ những công trình nghiên cứu thuần cơ bản.

Nếu chúng ta từng xúc động đến sững sờ trước một áng thơ tiên của trái tim gửi người đồng điệu thì phương trình Dirac là một sáng tạo thần kỳ của trí tuệ trao tặng cho nhân loại, kết nhụy bản hôn phối huyền diệu giữa lượng tử và tương đối hẹp. Mời bạn đọc chiêm ngưỡng phương trình $(i\hbar\gamma^\mu\partial_\mu - mc)\Psi(x) = 0$ khắc trên cẩm thạch trong đại chủng viện Westminster ở London, nơi đăng quang và yên giấc của hoàng gia và các vĩ nhân Anh quốc². Mỗi ký hiệu trong phương trình đều mang một ý nghĩa đặc thù: Hằng số Planck $\hbar = 2\pi\hbar$ tượng trưng cho lượng tử. Vận tốc ánh sáng c , thời gian t và không gian ba chiều x, y, z gói ghém trong bốn tọa độ không-thời gian x^μ ($\mu = 0,1,2,3$), $x^0 = ct$, $x^1 = x$, $x^2 = y$, $x^3 = z$ và đạo hàm $\partial_\mu \propto \partial/\partial x^\mu$ đối với x^μ , tất cả là biểu tượng của thuyết tương đối hẹp. Dirac đã độc sáng ra bốn ma trận γ^μ để nối kết hai lý thuyết trên qua căn số của toán tử d'Alembertian diễn tả năng lượng bình phương $E^2 = |\mathbf{k}|^2c^2 + m^2c^4 = -c^2(i(|\mathbf{k}| - mc)(i|\mathbf{k}| + mc)$ của thuyết tương đối hẹp đi vào thế giới vi mô của

ta thấy hằng số Planck $\hbar = E/\nu$ (năng lượng nhân với thời gian) cùng có chung thứ nguyên ML^2/T với momen L , vì thế mô tả spin S (quay tròn như L) theo đơn vị $\hbar$ là điều tự nhiên và nhất quán. Momen từ của electron bằng $(e/m)\hbar/2$. Những hạt cơ bản của vật chất electron, neutrino, quark có spin bằng $\hbar/4\pi = \hbar/2$.

¹ Mai Ninh trong <http://www.diendan.org/khoa-hoc-ky-thuat/nobel-vat-ly-2007/>.

² <http://www.westminster-abbey.org/history-research/monumentsgravestones/people/12165>.

lượng tử¹. Trường hợp đặc biệt $E = mc^2$ không áp dụng được vì electron dao động với vận tốc rất cao². Bạn đọc tinh ý nhận ra căn số $(i(|\mathbf{k}| - mc)$ thấp thoáng trong phương trình $(i\hbar\gamma^\mu\partial_\mu - mc)\Psi(x) = 0$. Biến số x trong $\Psi(x)$ chỉ định bốn tọa độ không-thời gian: $x \equiv x^\mu$. Hệ quả vật lý của phương trình là sự hiện hữu tất nhiên của spin³ và hai dấu cộng trừ của $E = \pm (|\mathbf{k}|^2c^2 + m^2c^4)^{1/2}$ chính là con đường đưa đến phản vật chất, khiến bao người khi lần đầu tiếp cận chẳng khỏi ngỡ ngàng như lạc đến đảo nguyên! Nghiệm số của phương trình Dirac là spinor $\Psi(x)$ mang bốn thành phần, nó kết đọng thông tin và đặc tính lượng tử của electron và positron. Bốn thành phần của spinor mới đủ để diễn tả hai khía cạnh: (i) trạng thái quay vòng đối ngược chiều nhau spin up $\uparrow$ và spin down $\downarrow$ của electron, tựa như trái đất quay từ đông sang tây hay ngược lại, (ii) hạt electron và phản hạt positron phải gắn kết như bóng với hình. Chính cái spin up, spin down là nền tảng của hiệu ứng Từ trở Khổng lồ, theo đó điện trở của vật liệu mang từ tính giảm đi dưới tác động của từ trường. Còn phản vật chất từ đâu đến? Mỗi nghiệm của phương trình mang năng lượng dương $(|\mathbf{k}|^2c^2 + m^2c^4)^{1/2}$ thì một nghiệm khác mang năng lượng âm $-(|\mathbf{k}|^2c^2 + m^2c^4)^{1/2}$ tất yếu phải kèm theo, một hệ

Bạn đọc thấy trên tấm cảm thạch ghi khắc phương trình Dirac, hai ký hiệu $\hbar$ và c vắng mặt. Hai hằng số cơ bản này, tương trưng cho Lượng tử và Tương đối, là hệ đơn vị tự nhiên của vật lý ($\hbar = 1, c = 1$) làm chuẩn mực để mọi đại lượng khác dựa vào mà tính toán, đo lường. Trong đơn vị tự nhiên này, electron có spin $1/2$.

¹ Trong cơ học lượng tử, năng lượng E và vectơ xung lượng $\mathbf{k}$ đều trở thành đạo hàm riêng phần của bốn tọa độ không-thời gian $(ct, \mathbf{x})$ theo đó $E \rightarrow i\hbar \partial/\partial t$, $\mathbf{k} \rightarrow -i\hbar \partial/\partial \mathbf{x}$, xem Hoàng Dũng: *Nhập môn cơ học lượng tử*, Nxb Giáo dục (1999). Do hoán chuyển $E \rightarrow i\hbar \partial/\partial t$, $\mathbf{k} \rightarrow -i\hbar \partial/\partial \mathbf{x}$, công thức $E^2 - |\mathbf{k}|^2c^2 = m^2c^4$ của Thuyết tương đối hẹp trở thành $\square^2 + (mc/\hbar)^2$, với toán tử d'Alembertian $\square^2 \equiv \partial^2/\partial(ct)^2 - [\partial^2/\partial x^2 + \partial^2/\partial y^2 + \partial^2/\partial z^2]$. Lấy căn số bậc hai của toán tử $\square^2 + (mc/\hbar)^2$ chính là nhờ bốn ma trận $4 \times 4 \gamma^\mu$ nảy sinh từ trí tuệ siêu việt của Dirac. Ông cũng độc sáng ra spinor (một đối tượng hình học, trung gian giữa vô hướng và vectơ) và hàm kỳ dị $\delta(x)$ mà hai nhà toán học Pháp Elie Cartan và Laurent Schwartz triển khai sau này.

² Theo Thuyết tương đối hẹp, một vật khối lượng m chuyển động với vận tốc $\mathbf{v}$, nó có năng lượng $E = \rho mc^2$ và xung lượng $\mathbf{k} = \rho m\mathbf{v}$ với $\rho = 1/\sqrt{1 - v^2/c^2} \geq 1$. Những đại lượng $E, \mathbf{k}$ tuy mỗi cái riêng lẻ đều thay đổi theo vận tốc $\mathbf{v}$, nhưng công thức $E^2 = |\mathbf{k}|^2c^2 + m^2c^4$ không phụ thuộc vào $\mathbf{v}$ nữa, nó *bất biến* trong tất cả các hệ quy chiếu, tính chất bất biến là điều kiện tiên quyết mà Thuyết tương đối đòi hỏi. Vì electron có vận tốc rất cao nên phải dùng $E^2 = |\mathbf{k}|^2c^2 + m^2c^4$.

³ Những hạt có spin $\hbar/2$ gọi chung là fermion (vinh danh nhà vật lý Ý Enrico Fermi). Những hạt có spin số nguyên $0\hbar, 1\hbar$ gọi chung là boson (vinh danh nhà vật lý Ấn Độ Satyendra Nath Bose). Fermion như con quay tự xoay hai vòng quanh mình mỗi lượt, boson $0\hbar$ như một chấm tròn vô hướng, còn boson spin $1\hbar$ như một vectơ.

quả chẳng sao né tránh khi lấy căn của E^2 . Đứng trước sự thể 'bất đắc dĩ' của năng lượng âm này, thiên tài của Dirac tỏ hiện, ông tiên đoán sự hiện hữu của hạt phản electron qua cái nhìn rất độc đáo: trong vật lý cổ điển ta chỉ có $E > 0$ như $E = mc^2$. Trái lại, trong thế giới vi mô của vật lý lượng tử, năng lượng của một hạt có thể mất đi hay nhận được từng gói $h\nu$, vậy không có gì ngăn cản hạt khi mất đi quá nhiều gói $h\nu$ phải mang năng lượng âm; ngược lại, một hạt với $E < 0$ khi nhận được nhiều gói $h\nu$ có thể trở về trạng thái năng lượng dương. Thí dụ, trong đại dương của muôn vàn hạt electron có năng lượng âm và điện tích âm, nếu ta đủ sức kéo một hạt trong đại dương ấy ra ngoài, tức là đại dương ấy mất đi một electron mang $E < 0$, $-e$. Nhưng mất đi (tượng trưng bằng dấu $-$) cái âm thì cũng như nhận được cái dương, $-(-) = +$, vậy kết cục là ta thấy xuất hiện một lỗ hổng trong đại dương các electron mang năng lượng âm nói trên, lỗ hổng đó có điện tích $+e$ và năng lượng $E > 0$, nó chính là hạt *phản* electron hay positron. Tóm lại, hạt và phản hạt đều có năng lượng dương, chúng có chung khối lượng nhưng mọi đặc tính khác (điện tích, spin, sắc tích) đều ngược dấu. Ta có phản lepton, phản nguyên tử. Như vậy có vật chất thì cũng có phản vật chất, khi giao tụ chúng thành trung hòa và tự triệt tiêu để biến thành năng lượng thuần khiết; ngược lại, nếu cung cấp đủ năng lượng thì các cặp vật chất-phản vật chất được tạo ra. Hạt positron khối lượng m và điện tích $+e$ được Carl Anderson khám phá ra năm 1932 và Paul Adrien Maurice Dirac, bắt tử với phương trình của ông, năm sau 1933 nhận giải Nobel với Erwin Schrödinger. Máy chụp hình nổi PET (Positron Emission Tomography) dùng trong y học ngày nay là một ứng dụng trực tiếp của positron, khi nó hòa tụ với electron sẵn có trong cơ thể thì cặp positron-electron biến thành tia bức xạ cực kỳ tinh vi để rọi sáng chi tiết trong não bộ. Hơn nữa, khái niệm lỗ hổng nói trên sau này trở thành một công cụ rất hiệu lực để nghiên cứu sáng tạo trong ngành vật lý chất bán dẫn với transistor và các thiết bị vi điện tử.

Nhưng bạn tự hỏi tại sao Dirac lại lấy căn của toán tử $\varphi + (mc/\hbar)^2$, đại diện cho năng lượng bình phương $E^2 = |\mathbf{k}|^2 c^2 + m^2 c^4$ của Thuyết tương đối hẹp. Câu hỏi mà chính Niels Bohr - người khai sáng ra lý thuyết nguyên tử, vị trưởng lão của trường phái Diễn giải Copenhagen trong cơ học lượng tử, thủ đô xứ Đan Mạch quê hương của ông trở thành 'Thánh địa La Mekke' đối với các nhà vật lý thời tiền Thế chiến - cũng đặt ra cho Dirac khi ông đến thành phố này để trao đổi với Bohr năm 1927 về ý định kết giao lượng tử với tương đối hẹp đang manh nha trong đầu. Bohr nghĩ (nhầm) và mách

cho Dirac rằng sự hợp phối đó năm trước đã được thực hiện thành công rồi bởi O. Klein và W.Gordon với toán tử $\varphi + (mc/\hbar)^2$ viết trên, chẳng còn gì phải lưu tâm. Nhưng cái mà Bohr không ý thức hết mà chỉ có cái nhìn sâu sắc của Dirac nhận ra, là thuyết tương đối đòi hỏi phải có sự thuần nhất giữa thời gian t và không gian x, y, z gắn quện trong một thực tại không-thời gian bốn chiều Minkowski. Chúng phải ở cùng trên một bình diện. Phương trình sóng lượng tử của Schrödinger¹ không có sự đồng nhất tuyến tính nói trên, về trái phương trình Schrödinger có đạo hàm bậc nhất của thời gian t , trong khi về phải lại có đạo hàm bậc hai của không gian x, y, z . Còn phương trình Klein-Gordon tuy giữ được sự thuần nhất (đạo hàm bậc hai của cả thời gian lẫn không gian) nhưng lại mất đi cái tuyến tính đạo hàm bậc nhất của thời gian t , điều mà ngay từ thuở sơ khai của cơ học lượng tử Schrödinger, Heisenberg, Dirac đã dựa vào như một tiền đề để phát triển. Đối với Dirac, cái nhất quán và thuần túy đến căn cơ là điều tối quan trọng, trong đó toán học giữ vai trò rường cột để suy luận. Vậy bằng mọi cách Dirac phải lấy căn của phương trình Klein-Gordon để có đạo hàm bậc nhất cho cả thời gian lẫn không gian, điều mà ông thành công với bốn ma trận γ^μ . Khởi đầu chỉ là một đòi hỏi thuần lý trí, điều kỳ diệu là nó đã mở đường cho cách mạng công nghệ ngày nay mà người khai phá không ngờ. Ta không khỏi liên tưởng đến số ảo i , căn của số âm ($i^2 = -1$), sáng tạo vào thế kỷ 16 bởi các nhà bác học Ý Gerolamo Cardano và Raphaël Bombelli, tác động của số ảo này lan rộng muôn ngành², mà chính i đã mở hàng cho phương trình Dirac!

Nhà toán học Mark Kac xếp hạng các nhân vật siêu phàm theo hai lớp. Những anh tài mà công trình của họ người bình thường khác, sau biết bao nhọc nhằn và một chút duyên may, có thể bén mảng mô phỏng theo. Nhưng có những thiên tài như nhà ảo thuật, công trình của họ gây kinh ngạc, lạ lùng với thế tục. Dirac thuộc về lớp sau, sáng tạo huyền diệu của

¹ Phương trình sóng của Schrödinger dựa vào cơ học cổ điển *phi* tương đối tính theo đó $E = |\mathbf{k}|^2/2m$. Khi lượng tử hóa nó, nghĩa là năng lượng E và xung lượng $\mathbf{k}$ theo thứ tự trở thành những đạo hàm của thời gian và không gian (phụ chú 7), sự thuần nhất giữa thời gian (gắn với E) và không gian (gắn với $\mathbf{k}$) không còn nữa.

² Số ảo i này được dùng trong hàm $\text{Exp}[i/\hbar (\mathbf{k} \cdot \mathbf{x} - E t)]$ để diễn tả sự dao động tuần hoàn dưới dạng sóng phẳng của mọi vật thể vi mô. Hàm $\text{Exp}[i/\hbar (\mathbf{k} \cdot \mathbf{x} - E t)]$ tuần hoàn (theo thời gian) với tần số $\nu = E/h$ của Planck, và tuần hoàn (theo không gian) với bước sóng $\lambda = h/|\mathbf{k}|$ của de Broglie. Khi lấy đạo hàm theo t của $\text{Exp}[i/\hbar (\mathbf{k} \cdot \mathbf{x} - E t)]$ ta có thể suy ra $E \rightarrow i\hbar \partial/\partial t$, và lấy đạo hàm theo $\mathbf{x}$ ta có $\mathbf{k} \rightarrow -i\hbar \partial/\partial \mathbf{x}$ để cập trong phụ chú 7.

ông tựa như âm điệu của Amadeus Mozart từ đầu giáng trần. Một ngẫu nhiên là cả hai thiên tài Einstein và Dirac chỉ mới có 26 tuổi đời khi khám phá ra hai phương trình nền tảng của vật lý hiện đại $E = mc^2$ và $(i\hbar\gamma^\mu\partial_\mu - mc)\Psi(x) = 0$ từ đó mọi phát triển bây giờ và sau này đều phải dựa vào như một hệ hình (paradigm) của khoa học nói chung để vươn lên cao nữa. Cũng như cơ học cổ điển của Gallilei và Newton vẫn tiếp tục là nền tảng của vật lý mà hai thuyết tương đối cùng lượng tử đã dựa vào để phát triển và đưa ta đến hiểu biết ngày nay.

2 - Đường lên Lượng tử với hạt cơ bản

2a - Gói năng lượng sơ đẳng. Vào cuối thế kỷ thứ 19, có một mâu thuẫn giữa một bên là lý thuyết điện từ và nhiệt động học - hai trụ cột của vật lý thời ấy - bên kia là thực nghiệm đo lường về cường độ bức xạ nhiệt của vật đen¹. Thực thể, lý thuyết trên đưa đến một hệ quả phi lý là tổng năng lượng phóng xạ bởi vật đen phải vô hạn, nôm na như ngồi trước một bếp sưởi hồng, bất kỳ nhiệt độ cao thấp ra sao ta sẽ bị tan biến hết. Max Planck bằng một hành động hầu như tuyệt vọng đưa ra giả thiết theo đó các vật thể khi dao động với tần số ν thì năng lượng E phát ra phải theo từng 'gói' rời rạc

¹ Nhà vật lý ít người có cái duyên thi sĩ nên chỉ đặt toàn những tên vật đen, lỗ đen, nổ lớn, vật chất tối, đây! Trong đời sống hằng ngày, ta gọi vật đen (black body) là một vật liệu chỉ hấp thụ ánh sáng chiếu lên nó mà không phản xạ. Trong phòng thí nghiệm, vật đen là một lò bịt kín nung nóng ở nhiệt độ T và đục một lỗ nhỏ trên thành lò, ta nghiên cứu bức xạ nhiệt phát ra qua lỗ. Sự phân phối cường độ bức xạ phát ra bởi vật đen chỉ phụ thuộc vào T thôi chứ không vào bất cứ chất liệu nào ở trong lò. Điều này chứng tỏ bức xạ của vật đen chỉ phụ thuộc vào sự dao động của các thành phần cơ bản chung cho tất cả các chất liệu, mang tính chất rất phổ quát. Bức xạ nhiệt của vật đen là một trường hợp hi hữu trong vật lý có tính phổ quát tuyệt đối. Cường độ bức xạ là một hàm phổ quát của nhiệt độ T và tần số ν của ánh sáng bức xạ, mỗi tần số lại gắn liền với một màu (từ đỏ vàng sang tím) của ánh sáng đó. Một thanh sắt đen ở nhiệt độ bình thường nhưng thành đỏ khi nung nóng lên và trở nên trắng khi tăng nhiệt độ lên cao nữa. Công thức về bức xạ vật đen mà Planck viết ra ngày 14 tháng Chạp năm 1900 chính xác và phổ quát đến nỗi nó áp dụng từ lò kín nung nóng của phòng thí nghiệm ở Đại học Berlin thế kỷ 19 cho đến bức xạ nền của Vũ trụ sau vụ Nổ lớn mà hai vệ tinh COBE và WMAP vừa đo lường tàn dư nhiệt lượng phóng xạ cách đây khoảng 13.7 tỷ năm (giải Nobel Vật lý 2006). Biết đâu trăm năm sau, ở thế kỷ 22, con người sẽ đo lường được bức xạ của một vật đen khác kỳ dị hơn nhiều, đó là lỗ đen phóng xạ nhiệt ra ngoài chân trời tối kín của nó, lỗ đen chẳng hoàn toàn đen nữa. Thực vậy, khi nối kết với vật lý lượng tử, J.D. Bekenstein và S. Hawking khám phá ra là lỗ đen cũng phóng xạ nhiệt ra ngoài chân trời tối kín của nó như một vật đen và mang entropi luôn tăng trưởng, một liên hệ sâu sắc giữa vật lý cổ điển (trọng trường, nhiệt động học) và lượng tử.

<http://www.livescience.com/space/080903-our-black-hole.html>

như $1h\nu$, $2h\nu$, $3h\nu$... chứ không tuôn chảy liên tục. Kỳ lạ thay, năng lượng phun ra từng gói từng chùm. Cho bất kỳ một tần số sóng ν và một năng lượng X trung bình quy định bởi nhiệt động học cổ điển, ta chỉ cần p gói $h\nu$ là đủ đạt tới X rồi, $p(h\nu) \approx X$, những gói từ $(p+1) h\nu$ trở lên vì vượt quá đóng góp trung bình nên bị khử mạnh và làm cho tổng năng lượng trở thành hữu hạn. Điểm then chốt mà Planck giả thiết là một vật vi mô chỉ có thể tiếp nhận hay mất đi những đơn vị năng lượng $h\nu$. Einstein là người đầu tiên dùng giả thuyết gói ánh sáng $h\nu$ để diễn giải hiện tượng quang điện. Đặc tính nội tại rời rạc của lượng tử được Bohr chấp nhận để sáng tạo ra thuyết nguyên tử, tiếp theo Louis de Broglie vén mở lưỡng tính sóng-hạt của mọi vật thể vi mô, và cơ học lượng tử hình thành với nguyên lý bất định Heisenberg và phương trình sóng Schrödinger. Giả thuyết Planck do đó không còn là giả thiết nữa mà trở thành nền tảng của tri thức mà dấu ấn ngày càng in đậm trong sinh hoạt con người từ khoa học, công nghệ rồi lan rộng sang nhiều khía cạnh của triết học, văn hóa. Hằng số Planck h trong $E = h\nu$ có gốc nguồn ở tiếng Đức chữ Hilfe (phụ trợ), chi tiết này nói lên cái khiêm tốn của một nhà bác học lớn. Do tính toán qua hằng số rất nhỏ h mà ra, danh từ vi mô trong khoa học tự nhiên được hiểu như những vật chất kích thước bằng hay nhỏ hơn một phần tỷ mét, hay nano-mét. Như vậy, một nguyên tử rộng dài khoảng nano-mét có thể được coi như ngưỡng cửa bắt đầu đi sâu xuống thế giới vi mô trong đó bao gồm những hạt nhỏ hơn nữa như electron cùng proton và neutron, hai thành phần của hạt nhân nguyên tử.

2b - Hạt cơ bản. Ngược dòng thời gian, khái niệm về hạt cơ bản (nghĩa là những đơn vị vi mô nhỏ bé nhất không sao chia cắt cho nhỏ hơn được nữa) cấu tạo nên vạn vật đã từ lâu tiềm ẩn trong ý thức nhân loại. Nhưng câu hỏi là làm sao các hạt sơ đẳng gắn bó được với nhau bởi những lực nào để tạo nên vật chất? Con đường tìm kiếm những định luật cơ bản chi phối sự cấu tạo vạn vật bởi các hạt sơ đẳng là cả một quá trình gian lao nhưng say đắm trong cuộc vươn lên điển hình của loài người thôi thúc bởi cái Đẹp và cái Thật. Cái được hiểu là hạt cơ bản biến đổi với thời gian. Mới cách đây trăm năm, phân tử được coi là hạt cơ bản nhỏ bé nhất của vật chất, rồi phân tử lại do nhiều nguyên tử gắn bó với nhau qua trao đổi các điện tử electron của chúng mà thành. Sau đó nguyên tử cũng chỉ do hạt nhân và electron dao động chung quanh tạo lập, rồi đến hạt nhân cũng chẳng qua là một phức hợp của thành phần nhỏ hơn là proton và neutron, cuối cùng proton và

neutron cũng được tạo ra bởi hai hạt cơ bản gọi là quark u, d (viết tắt up, down), hai quark này tương tác với nhau qua sự trao đổi *keo* (gluon) mà làm nên proton hay neutron. Định luật tương tác *mạnh* của các quark để gắn kết chúng trong proton và neutron mang tên *sắc động lực học lượng tử* vay mượn chữ *điện động lực học lượng tử*, cái này diễn tả tương tác điện từ trong thế giới vi mô của electron. Điện động lực học lượng tử là nền tảng cơ bản cho sự phát triển kỳ diệu của công kỹ nghệ thông-truyền tin hiện đại với vi điện tử, quang điện tử, spin-điện tử. Hai danh từ *sắc* và *điện* để chỉ định hai tính chất lượng tử riêng biệt, ba *sắc tích* (color charge) của quark và một *điện tích* $-e$ của electron. Tên quark do nhà vật lý giải Nobel 1969 Murray Gell-Mann - vì túng danh từ thông dụng - mượn câu bí ẩn 'Ba quark cho Muster Mark' của nhà văn James Joyce để đặt tên cho ba thành phần cơ bản của vật chất, hạt mà Gell-Mann tiên đoán với dụng cụ toán học là nhóm đối xứng $SU(3)$, chính con số 3 quark này gọi cho Gell-Mann chữ quark. Trong sắc động lực có gluon mang sắc tích trao đổi giữa quark, còn trong điện động lực có photon trao đổi giữa electron. Tóm lại, hạt cơ bản của vật chất bất động hay sinh động là quark và lepton, bốn thôi không nhiều¹, hai quark u, d và hai

¹ Thực ra có mười hai hạt cơ bản chia ra làm ba họ, mỗi họ bốn hạt. Họ thứ nhì: hai quark c (charm), s (strange) và hai lepton μ , ν_μ và họ thứ ba: hai quark t (top), b (bottom) và hai lepton τ , ν_τ . Chúng đều có khối lượng lớn, thời gian sống lại vô cùng ngắn ngủi vì bị phân rã bởi lực *yếu* thành ra chỉ còn bốn hạt (hai quark u, d và hai lepton: electron, neutrino) bền vững để tạo thành vật chất. Sau nhiều lập luận thuần lý thuyết và tính toán, sự hiện hữu cần thiết của ba quark nặng charm, top và bottom đều được tiên đoán rồi sau đó thực nghiệm tìm ra. Quark charm bởi S. Glashow, J. Iliopoulos, L. Maiani, quark top và bottom bởi M. Kobayashi và T. Maskawa. Thực là một thành công kỳ diệu của Mô hình Chuẩn hạt cơ bản.

Gell-Mann tìm cách sắp đặt những phức hợp fermion, boson tạo nên bởi các ba quark nhẹ u, d, s trong một bảng tuần hoàn tựa như bảng Mendeleïev sắp xếp các hóa chất. Dụng cụ toán học (mà Gell-Mann dùng trong sự sắp đặt này) là nhóm đối xứng $SU(3)_F$ giữa ba quark u, d, s. Con số 3 đeo đuổi mãi Gell-Mann với nhóm đối xứng khác $SU(3)_C$ trong một công trình sau đó. Ngoài spin $\hbar/2$ và điện tích $+(2/3)e$ cho u và $-(1/3)e$ cho d và s, mỗi quark còn phải mang 3 đặc tính lượng tử khác đòi hỏi bởi phép thống kê Fermi-Dirac để cho chúng kết hợp được với nhau mà tạo thành proton, neutron. Đáng lẽ dùng ba ký hiệu 1, 2, 3 (hay a, b, c) nhằm chán, sao không nghĩ đến ba màu xanh đỏ vàng thay vì ba ký hiệu thường tình, Nambu, Han và Gell-Mann bèn gán ba *sắc* cho quark, ta ngầm hiểu ba *sắc tích* này chẳng ăn nhằm gì đến ba màu trong hội họa. Chớ quên là nhóm đối xứng $SU(3)_F$ liên kết ba quark nhẹ u, d, s chẳng liên hệ gì đến nhóm $SU(3)_C$ liên kết ba sắc tích mà sáu quark nhẹ hay nặng đều có. Lực mạnh gắn kết các quark có *sắc tích* vì thế mang tên Sắc Động lực học Lượng tử (Quantum ChromoDynamics, QCD). Đặc điểm của QCD là lực mạnh $\propto_s$ giảm khi năng lượng E của quark tăng. Tính chất lạ lùng này, trái ngược với lực điện từ mà chỉ QCD mới có gọi là *tự do tiệm cận* (asymptotic freedom), hàm

lepton electron, neutrino. Ngoài sắc tích, hai quark u, d còn mang điện tích $+(2/3)e$ cho u và $-(1/3)e$ cho d, cũng như electron mang điện tích $-e$, còn neutrino thì trung hòa, cả hai lepton electron và neutrino cũng như photon đều không có sắc tích. Là hạt cơ bản kỳ lạ nhất trong bốn hạt, neutrino vì tương tác quá ư nhỏ yếu với vật chất nên bay trong vũ trụ với vận tốc ánh sáng c như vượt chân không, chúng xuyên suốt trái đất gần như chẳng để lại một dấu ấn gì. Thực là một sứ giả độc đáo nổi cầu giữa thế giới vĩ mô vô cùng lớn rộng của thiên hà vũ trụ với thế giới vi mô muôn vàn nhỏ bé của hạ tầng nguyên tử. Neutrino nhẹ nhất trong bốn hạt cơ bản (khoảng một phần tỷ khối lượng electron) và nhiều nhất trong trời đất, mỗi giây đồng hồ trên diện tích một cm^2 của làn da chúng ta có chừng sáu mươi tỷ hạt neutrino từ mặt trời bay tới, không kể từ muôn vàn vì sao khác! Nếu từng ấy những hạt photon mà chạm tới chúng ta, chắc hẳn con người không thể sinh tồn dưới trạng thái hiện hữu. May thay, neutrino là hạt chỉ có tương tác *yếu* với quark u, d và electron, và chúng ta cũng như mọi vật thể khác đều do ba (trong bốn) hạt cơ bản là quark u, d và electron tạo thành. Vật chất đều do nguyên tử tạo thành, nhân lõi của nguyên tử do *quark* gắn bó bởi *lực mạnh* mà ra, chúng trao đổi *gluon* với nhau. Với *lực điện từ*, electron trao đổi photon với nhau và với proton để hợp thành nguyên tử, phân tử và vật liệu nói chung. Lực cơ bản thứ ba trong tự nhiên là *lực yếu* (chi phối phóng xạ nhân lõi nguyên tử và sự vận hành của neutrino) do tác động của W và Z. Hai tương tác *mạnh* và *yếu* chỉ vận hành trong thế giới vi mô. Thành phần cơ bản của vạn vật là fermion mang spin $\hbar/2$ gồm có quark và lepton tựa như những viên gạch của lâu đài vật chất, còn boson spin $1\hbar$ (photon, gluon, W, Z) tựa như hồ vữa để gắn những viên gạch. Boson làm trung gian mang thông điệp cho fermion tương tác với nhau qua trao đổi photon (lực điện

ý khi năng lượng tăng vô hạn thì α_s giảm xuống đến 0 (tương tác ràng buộc hết rồi, quark được tự do). Tính toán nhọc nhằn chứng minh được $\alpha_s(E) \rightarrow 0$ khi $E \rightarrow \infty$ là kỳ công của ba nhà vật lý lý thuyết D. Gross, H. Politzer, F. Wilczek với giải Nobel 2004. Quark và luật chi phối chúng (sắc động lực học lượng tử) được thực nghiệm kiểm chứng vô cùng chính xác (xem bài của J. Friedman cùng trong Kỷ Yếu). Trong khi lực điện từ giảm đi theo tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa hai điện tích, tự do tiệm cận làm cho lực mạnh gắn kết hai quark lại tăng với khoảng cách R giữa chúng, khiến quark ở năng lượng E nhỏ bị giam hãm trong proton và neutron, kéo được chúng ra ngoài không nổi, lực ràng buộc chúng mạnh lên khi kéo chúng xa nhau. Đó là lý do chẳng sao quan sát trực tiếp quark được, chúng bị cầm tù ở năng lượng thấp (infrared slavery), đối chọi với tự do tiệm cận của chúng ở năng lượng cao. Xin nhắc R và E tăng giảm đối ngược theo nguyên lý bất định ($R \times E \sim \hbar$).

từ), gluon (lực *mạnh*), W và Z (lực *yếu*). Ba lực lượng tử này được diễn tả vô chùng thỏa đáng trong Mô hình Chuẩn (Standard Model), một lý thuyết nhất quán đã vượt qua tất cả các thử thách thực nghiệm một cách vẻ vang, những tiên đoán suy ra từ Mô hình Chuẩn đều phù hợp và chính xác đến ngạc nhiên với kết quả thực nghiệm, mang hơn hai chục giải Nobel cho ngành vật lý hạt cơ bản trong khoảng 30 năm gần đây, không kể năm nay 2008.

Còn lại lực cơ bản thứ tư kéo giữ chúng ta trên mặt đất, đó là trọng lực. Các định luật của trọng lực - diễn tả bởi thuyết tương đối rộng - và của lượng tử không tương thích với nhau ở những điều kiện cực độ khi hai thế giới vi mô và vĩ mô cận kề như trong trung tâm sâu thẳm của lỗ đen, trong trạng thái vũ trụ ở kỷ nguyên Planck (giây phút ban đầu của Big bang với nhiệt độ kinh hoàng, không gian cực nhỏ, năng lượng cực lớn), hoặc trong các máy gia tốc năng lượng cao. Ở những điều kiện cực hạn ấy, không-thời gian cong uốn trơn tru của Thuyết tương đối rộng lại xung đột sâu sắc nhất với cái sôi động, thăng giáng lượng tử, các phương trình của hai thuyết khi kết hợp cho ra những đáp số vô hạn, phi lý. Mô hình Chuẩn không thể giải đáp cái mâu thuẫn này và thuyết Siêu dây (Superstring) hay thuyết Màng (M theory), về nguyên tắc, nhằm dung hòa và mô tả nhất quán tất cả bốn tương tác cơ bản trong cả hai thế giới cực lớn của vũ trụ bao la và cực nhỏ của hạ nguyên tử, nhằm thống nhất mọi điều về một mối. Đó là vấn đề hóc búa số một của vật lý ngày nay. Nhưng cần nhấn mạnh là mặc dù có những tiến bộ ngoạn mục, nhiều khía cạnh của siêu dây còn xa mới sáng tỏ và nhất là chưa/không có một tiên đoán nào của nó được chứng nghiệm đầu gián tiếp. Edward Witten - chuyên gia hàng đầu của thuyết siêu dây, nhà vật lý được huy chương Fields về toán, không ai, kể cả những giải Nobel, có công trình được trích dẫn nhiều bằng ông - một lần tuyên bố: thuyết siêu dây là một bộ phận của vật lý thế kỷ 21 đã tình cờ rơi xuống thế kỷ 20, ngụ ý có lẽ cần biết bao năm nữa mới được hoàn tất! Cơ sở toán học của nó quá phức tạp, các chuyên gia siêu dây phải tự mình mò mẫm sáng tạo, không như Einstein đã sẵn có hình học **cong Riemann** làm nền để khám phá ra Thuyết tương đối rộng.

2c - Kích thước trung mô. Thế giới vi mô vận hành theo những định luật của vật lý lượng tử, nhưng ảnh hưởng của nó vượt xa ra ngoài thế giới hạ nguyên tử chính vì trong cõi vĩ mô lớn rộng (từ thiên hà tinh tú, mặt trời, đến sinh vật, thực vật, khoáng vật trên trái đất) tất cả đều được tạo thành

bởi những hạt cơ bản. Những định luật lượng tử chi phối và điều hành “ngầm” các đặc trưng của vật chất ở thể khí, lỏng, đặc, kim loại, cách điện, bán dẫn, siêu dẫn. Ngành vật lý liên quan đến những đề tài đó mang tên gọi Vật lý Thống kê¹ mà nhiệt động học là trường hợp điển hình trong thế giới trung mô ở giữa hai thái cực vô cùng nhỏ và vô cùng lớn. Đặc biệt là các hạt có spin $\hbar/2$ (fermion nói chung) như quark, electron, neutrino phải tuân thủ ‘nguyên lý loại trừ’ của Pauli, theo đó, hai hạt fermion đồng nhất không thể cùng trong một trạng thái. Khi chúng ở chung một điểm không gian thì chúng phải có hoặc vận tốc hoặc chiều quay của spin khác nhau; nếu cùng vận tốc thì spin của chúng phải quay ngược chiều hoặc không ở chung một vị trí. Không thể có hai fermion chiếm lĩnh cùng một trạng thái xác định bởi năng lượng, spin, vận tốc, vị trí, sắc tích. Đó là những hạt có cá tính biệt lập, sự phân phối trạng thái các hạt fermion này phải tuân theo phép thống kê Fermi-Dirac mà ‘nguyên lý loại trừ’ là hệ quả. Chính ‘nguyên lý loại trừ’ của hạt mang spin $\hbar/2$ giải thích tại sao cũng với từng ấy electron trong cùng một thể tích mà có những vật liệu cái thì cách điện, cái thì dẫn điện, tại sao quark mang *sắc tích* hợp thành proton, neutron và chúng cùng với electron tạo ra các nguyên tử, những nguyên tử này khi gần nhau thì những electron của chúng lại tách biệt mà không kéo nhau cùng suy sập trong một trạng thái đông đặc như ‘súp’ của thuở Big Bang ban đầu. Trái ngược với fermion đơn độc, boson lại ưa thích song hành, nó dễ dàng kết hợp hòa đồng với boson khác càng nhiều càng tốt trong cùng một trạng thái, tập thể của chúng tuân theo phép thống kê Bose-Einstein. Cũng chính vì đặc tính hòa đồng này của tập thể các boson mà ta có laser, có hiện tượng siêu lỏng, siêu dẫn (một công nghệ của thế kỷ 21), có chất đông đặc Bose-Einstein tân kỳ kết hợp hàng triệu nguyên tử trong cùng một trạng thái mà những ứng dụng trong công nghệ nano là một thí dụ. Hai tính chất trái ngược nhau giữa fermion và boson là một đặc trưng của lượng tử mà phương trình Dirac với phép phản giao hoán² của ma trận γ^μ và spinor giữ vai trò chủ yếu. Mỗi

¹ Ở kích thước trung mô (một phần triệu mét trở lên) có hàng tỷ hạt vi mô, thử hỏi còn có cách khảo sát nào khác ngoài phép thống kê?

² Đặc trưng của cơ học lượng tử (mà nền tảng do Heisenberg và Dirac xây dựng) dựa trên những toán tử và ma trận. Toán tử (ma trận) A nhân với toán tử (ma trận) B thường khác B nhân với A. Nguyên lý bất định Heisenberg trong thuyết trường lượng tử tương đối tính dùng đến phép giao hoán $[A, B] \equiv AB - BA$ và phản giao hoán $\{A, B\} \equiv AB + BA$. Trường boson tuân theo phép giao hoán, còn trường fermion (spin $\hbar/2$) tuân theo phép phản giao hoán.

liên hệ kể trên giữa spin và thống kê là một trong vài định lý sâu sắc nhất của vật lý nói chung mà Wolfgang Pauli - người tiên đoán ra hạt 'ma' neutrino, tên hạt này lại do Enrico Fermi đặt ra - chứng minh năm 1940. Ngày nay nhìn lại, ta chẳng khỏi sững sờ nhận thấy trong khoảng thời gian tương đối ngắn, chỉ hơn mười năm ở Âu châu trước thời phát xít, đã xuất hiện biết bao cây đại thụ đặt nền tảng cho thuyết Lượng tử hiện đại mà dấu ấn ngày càng in đậm!

3 - Lược thuật về thuyết Tương đối

Sau vòng dạo chơi trong thế giới vi mô của Lượng tử, mời bạn đọc quay bước sang thăm miền đất mệnh mang của Tương đối, hai ngọn hải đăng của thế giới vi mô và vĩ mô hội tụ trong phương trình Dirac và nhiều nữa.

3a - Tương đối đặc biệt (hẹp). Ai trong chúng ta khi đi máy bay cửa sổ đóng kín và không gặp bão lay động mà có thể cảm thấy mình di chuyển với vận tốc khoảng ngàn cây số trong một giờ? Khoảng bốn trăm năm trước đây, Galilei cũng đưa ra một thí dụ tương tự, mở đầu cho *nguyên lý tương đối* mang tên ông: trong hầm kín mít không giao tiếp gì với thế giới bên ngoài của một chiếc tàu thủy di chuyển *đều đặn* với vận tốc v cố định, ta hãy quan sát những con bướm bay khắp phía và những giọt nước tí tách rơi. Nay để tàu đứng yên, ta thấy bướm vẫn bay và nước vẫn rơi hệt như trước, chẳng có gì thay đổi. Rồi tàu lại di chuyển *đều đặn*, nhưng với vận tốc và chiều hướng khác, bướm vẫn bay và nước vẫn rơi như khi tàu dừng ở bến. Nói một cách khác: những định luật miêu tả các hiện tượng thiên nhiên (bướm bay, nước rơi) không chút thay đổi trên tàu di chuyển *đều đặn* (bất kỳ vận tốc và chiều hướng nào) kể cả tàu dừng ở bến ($v = 0$). Tĩnh hay động chỉ là chuyện tương đối mà Galilei tóm tắt trong một câu 'di chuyển *đều đặn* cũng như không'. Trong hai hệ quy chiếu, một bên là bến đứng yên (tọa độ x, y, z, t), một bên là tàu di động (tọa độ x', y', z', t'), các định luật miêu tả thiên nhiên đều giống hệt nhau, hay $f(x, y, z, t) = f(x', y', z', t')$ hàm số f tượng trưng cho một định luật vật lý nào đó. Khi nguyên lý này áp dụng cho điện-từ để diễn tả vận tốc ánh sáng c không thay đổi trong tất cả các hệ quy chiếu di chuyển *đều đặn* thì $f(x, y, z, t) \propto (x^2 + y^2 + z^2) - (ct)^2$. Các tọa độ (x, y, z, t) và (x', y', z', t') của hai hệ quy chiếu phải liên hệ ra sao để cho đại lượng $s^2 = (x^2 + y^2 + z^2) - (ct)^2 = (x'^2 + y'^2 + z'^2) - (ct')^2$ không thay đổi¹. Sự bất biến của

¹ Sở dĩ ta lấy $s^2 = r^2 - (ct)^2$ với $r^2 \propto x^2 + y^2 + z^2$ mà không lấy $r - ct$ vì phải kể hai trường hợp ánh sáng chạy cùng hay ngược chiều với vận tốc v .

s^2 diễn tả hiện tượng vật lý theo đó vận tốc ánh sáng đo lường trên hai hệ quy chiếu đều bằng nhau và là $c \sim 300.000 \text{ km/s}$. Hiện tượng này do Michelson và Morley phát hiện năm 1887, nó trái ngược với trực giác và định kiến của mọi người trước năm thần kỳ 1905 vì họ tưởng (nhầm) rằng nếu vận tốc ánh sáng đo trên bến là c thì vận tốc ánh sáng đo trên tàu phải là $c \pm v$ (tùy theo ánh sáng chạy song song cùng chiều hay ngược chiều với tàu). Cũng vậy, người trên tàu khi đo vận tốc ánh sáng sẽ thấy vận tốc đó *phải khác* với vận tốc ánh sáng truyền đi trên bến, sự khác biệt đó cho ta v mà Michelson và Morley không sao đo lường thấy.

Với thời gian phổ quát duy nhất của Newton ($t = t'$) thì s^2 không sao bất biến được và đã làm đau đầu bao nhà khoa học. Điểm then chốt của thuyết Tương đối hẹp là các vị Lorentz, Poincaré, Einstein mỗi người một cách đã phát kiến ra hệ số $\rho = 1/\sqrt{1 - v^2/c^2} \geq 1$ chìa khóa mở đường vô cùng quan trọng cho cơ học tương đối tính¹, theo đó hệ quả đầu tiên là khối lượng m của một vật không còn cố định (tiền đề của cơ học cổ điển) mà tăng lên với vận tốc chuyển động của nó: $m(v) = \rho m$. Ta chỉ cần thay thế m bằng $m(v)$ trong tất cả các công thức của cơ học cổ điển Newton là chân trời mới của tương đối hẹp hé mở cho ta mọi hệ quả của nó. Nhưng tuyệt vời hơn cả là hai kho tàng mà Einstein tặng cho nhân loại, trước hết năng lượng và khối lượng tuy hai mà một qua phương trình $E = \rho mc^2$ của thế kỷ, liên kết năng

¹ Trường hợp vận tốc v song song cùng chiều với trục Ox , cơ học cổ điển cho ta $x' = x - vt$, $y' = y$, $z' = z$, $t' = t$ thì s^2 không sao bất biến được. Trái lại phép hoán chuyển Lorentz $x' = \rho(x - vt)$, $y' = y$, $z' = z$, $t' = \rho(t - xv/c^2)$ làm cho s^2 bất biến. Mà ta có thể 'đoán' được ρ qua s^2 : $s^2 = r^2 - (ct)^2 = r'^2 - (ct')^2$. Thực thể thời gian t' chỉ định bởi đồng hồ di động *đặt ở* vị trí x', y', z' ($r' = 0$), cho ta $ct' - 0 = (ct)\sqrt{1 - r^2/t^2c^2} = (ct)\sqrt{1 - v^2/c^2}$, do đó $t = \rho t'$. Đồng hồ trên vệ tinh của Hệ thống Định vị Toàn cầu (Global Positioning System, GPS) chỉ một giây, người ở dưới đất thấy dài hơn một giây, đồng hồ trên đó đập chậm đi ρ lần trong một đơn vị thời gian. Thuyết Tương đối rộng cho ta hệ quả ngược với thuyết Tương đối hẹp, đồng hồ tích tắc nhanh hơn vì cường độ trọng lực trên đó giảm đi so với mặt đất. Thuyết Tương đối rộng đã được kiểm chứng chính xác bằng thực nghiệm ngay từ năm 1919 (ánh sáng bị uốn cong bởi mặt trời, cùng với hiện tượng tuế sai của quỹ đạo hành tinh sao Thủy quay chậm 43'' trong một thế kỷ), chứng nghiệm mới đây nhất của thuyết này là Hệ thống Định vị Toàn cầu (GPS) trang bị các phương tiện vận tải trên trời dưới biển, kể cả điện thoại di động và iPod. Trên vệ tinh GPS, thuyết Tương đối rộng (hẹp) bảo cho ta đồng hồ tích tắc nhanh (chậm) hơn so với mặt đất, mà sự chính xác khoảng một phần ngàn tỷ giây của nhịp độ đồng hồ là điều kiện tối quan trọng cho GPS thành công. Thuyết tương đối hẹp còn bảo cho ta trên các hệ quy chiếu di chuyển với vận tốc v , thước đo không gian (theo hướng song song với v) bị co cụm lại với hệ số $1/\rho = \sqrt{1 - v^2/c^2}$, trái lại thước đo không thay đổi theo hướng thẳng góc với v .

lượng E khổng lồ với khối lượng m nhỏ bé¹. Thông điệp thứ hai, sâu sắc và kỳ lạ, là chẳng có một thời gian tuyệt đối và phổ quát trong một không gian biệt lập với thời gian. Có muôn ức thời gian (t' và t đều khác nhau nhưng cả hai đều chỉ định thời gian trong hai hệ quy chiếu) với nhịp độ nhanh chậm không đồng đều, khoảng cách thời gian của mỗi hệ quy chiếu tùy thuộc vào vận tốc chuyển động của hệ ấy. Mỗi thời-điểm phải gắn quện với mỗi không-điểm trong một thực tại bốn chiều gọi là thể giới Minkowski để diễn tả một sự kiện, cái 'lúc nào' phải đi với cái 'ở đâu'. Khoảng cách thời gian của bạn khác của tôi, ở mỗi điểm không gian lại gắn liền một đồng hồ đo thời gian với nhịp điệu tích tắc khác nhau. Sở dĩ bạn và tôi tưởng rằng chúng ta chia sẻ một thời gian phổ quát, chỉ vì cộng nghiệp con người trong cái không gian quá nhỏ bé so với vũ trụ, bạn và tôi đâu có xa nhau gì, vận tốc tương đối giữa chúng ta thẳm gì so với vận tốc ánh sáng ($v^2/c^2 \ll 1, \gamma \approx 1$). Hơn nữa, không có mũi tên thời gian lạnh lùng trôi của trực giác mà cơ học cổ điển Newton thừa nhận, cũng không có khái niệm hiện tại, cái *bây giờ* chẳng thể xác định và giữ vai trò ưu tiên đặc thù nào hết. Đã không có hiện tại thì nói chi đến quá khứ và tương lai, đó là nội dung triết học quá ư kinh ngạc của thuyết tương đối hẹp và rộng trong nhận thức về thời gian, nó không phải là mũi tên trôi một chiều từ quá khứ đến tương lai mà chỉ là một trong bốn thành phần của thực tại mang tên gọi không-thời gian chẳng cứng nhắc mà đàn hồi. Diễn tả hàm súc nhất về nhận thức này có lẽ nằm trong bức thư Einstein gửi cho con trai của Besso² khi nghe tin bạn mất. Bức thư viết: "Vậy bạn đã trước tôi một chút già từ cái thể gian lạ lùng này. Điều đó chẳng nghĩa lý gì. Đối với chúng ta, những nhà vật lý mang niềm tin, sự chia cách quá khứ, hiện tại và tương lai chỉ có giá trị của một ảo tưởng, dấu

¹ Khi triển khai hạn chế theo $(v^2/c^2) \ll 1$, $m(v) = m + [1/c^2] (\frac{1}{2})mv^2 + \dots$ mà $(\frac{1}{2})mv^2$ chính là động năng của cơ học, Einstein đã tìm ra $E = mc^2/\sqrt{1 - v^2/c^2}$. Trái với nhiều sách báo đại chúng liên kết $E = mc^2$ với hai trái bom rơi xuống Hiroshima và Nagasaki, phương trình của thế kỷ chẳng ảnh hưởng gì đến sự hình thành của bom hạt nhân (xem bài của Đỗ Đăng Giu cùng trong Kỷ yếu). Một vật mất đi (nhận được) một chút năng lượng δE , thì khối lượng của nó giảm đi (tăng lên) $\delta m = \delta E/c^2$. Einstein ngay tháng 9 năm 1905 đề nghị dùng nguyên tố radium để kiểm chứng $\delta m = \delta E/c^2$, vì nó phóng xạ nên khối lượng giảm đi. Phải đợi đến năm 1932, Cockcroft và Walton mới kiểm chứng được lần đầu phương trình trên.

² Người bạn thân thiết từ thuở hàn vi, người duy nhất ông cảm ơn trong công trình để đời đăng trên *Annalen der Physik* về thuyết Tương đối hẹp trong lúc hai người dạo chơi bàn luận ngày Chủ nhật tháng Năm năm 1905. Chữ gläubige trong bức thư có lẽ không nên hiểu theo nghĩa niềm tin tôn giáo, mà hàm ý xác tín vào lý trí. Bức thư gửi chưa đến một tháng thì Einstein cũng vào cõi vĩnh hằng.

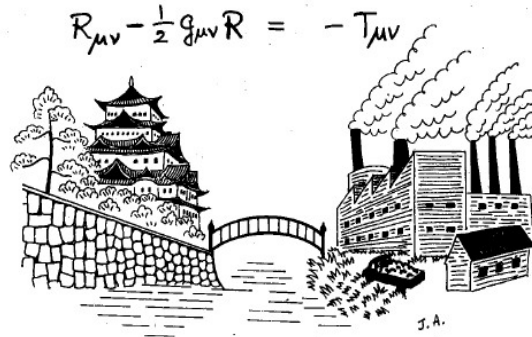
nó dai dẳng đến thế nào”.

3b - Tương đối tổng quát (rộng). Một ngày tháng Mười Một năm 1907 đang ngồi trong Phòng Đăng ký Bằng Sáng chế của thành phố Bern, Einstein chợt nảy ra một ý tưởng mà ông coi như mãn nguyện nhất trong đời: *một người rớt từ trên cao xuống không cảm thấy sức nặng của mình*. Ngày nay, phi hành gia lơ lửng trong những hỏa tiễn thám hiểm vũ trụ là hình ảnh quen thuộc của hiện tượng *vô trọng lực*. Bất kỳ mỗi điểm trong một thang máy đứt dây và rơi tự do đều có thể coi như một hệ quy chiếu *quán tính* trong đó trọng lực như bị xóa đi, phản ánh ý tưởng sung sướng nhất trong đời Einstein. Thêm bước nữa, ông muốn tượng một nơi xa lánh tất cả mọi thiên hà tinh tú, một không gian ở đó vắng mặt trọng trường. Trong cái không gian vô trọng lực ấy, có một hòm mà ta đẩy mạnh *lên cao* với một gia tốc nào đó, ta thấy *mọi vật* ở trong hòm bị đẩy rơi ngược chiều *xuống thấp* với *cùng một gia tốc*, giống như nó bị hút xuống bởi một trọng lực, điều quá quen thuộc trên xe hơi khi ta bất chợt nhấn mạnh phanh, mọi người như bị kéo về phía trước. Vậy thì vận chuyển có gia tốc nào khác gì tác động của trọng trường, có một mối liên hệ mật thiết giữa gia tốc và sức hút của trọng lực. Những tác dụng của một trọng trường *thực* có thể như bị *xóa bỏ* trong một hệ quy chiếu rơi tự do (gia tốc $\neq 0$), hoặc khi ta khảo sát vận chuyển có gia tốc, một trọng trường *ảo* như được *tạo ra*. Câu “di chuyển đều đặn cũng như không” của Galilei, qua ý tưởng sung sướng nhất trong đời của Einstein, nay biến thành “di chuyển không đều đặn chẳng khác gì tác động của trọng lực” đã mở đầu một kỷ nguyên mới cho vật lý, nói rộng thuyết Tương đối hẹp sang thuyết Tương đối rộng để thay thế thuyết Vạn vật hấp dẫn của Newton, định luật cổ điển này chỉ là trường hợp xấp xỉ gần đúng của thuyết Tương đối rộng vô cùng chính xác. Hơn nữa, còn thêm một nguyên nhân thúc đẩy Einstein mở rộng thuyết Tương đối hẹp vì ông nhận ra có một mâu thuẫn giữa thuyết này (vận tốc của mọi tín hiệu đều có *hạn*, kể cả ánh sáng) và luật cổ điển vạn vật hấp dẫn (trọng lực truyền đi với vận tốc *vô hạn* để vạn vật hút nhau *tức thì*). Vậy bằng cách nào đó sửa đổi luật hấp dẫn Newton sao cho hòa đồng với thuyết tương đối hẹp, mâu thuẫn nói trên sẽ tự động được giải đáp. Lý thuyết tương đối rộng, hay định luật Vạn vật hấp dẫn của Einstein có thể tóm tắt trong một câu: Không-Thời gian chẳng cứng nhắc mà đàn hồi, hình học Minkowski bốn chiều phẳng lạng của thuyết Tương đối hẹp bị *biến dạng* thành cong uốn bởi năng-khối lượng của vật chất. Sự phân phối năng lượng đã tạo ra cấu trúc cong của không-thời gian

để vận vật di chuyển như một biểu hiện của trọng trường chứ không có sức hút nào giữa chúng cả. Dưới ánh đèn huyền ảo của thuyết Tương đối rộng, hiện tượng vận vật hấp dẫn ‘cơ bắp’ của Newton nay tỏ ra hiện như cảnh tượng cong uốn của không gian để vận vật tìm nhau! Thuyết Tương đối rộng có thể tóm tắt như sau: khối lượng áp đặt không-thời gian phải cong đi, còn không-thời gian chi phối bất khối lượng phải chuyển động ra sao. Sự vận hành của vật chất (ánh sáng cũng là vật chất) bởi trọng trường không do một lực cơ bắp nào hết mà thực ra sự di chuyển đó lại ‘trây lười nhát’ theo đường trắc địa trong một không-thời gian bị cong bởi sự hiện hữu và phân phối của vật chất. Đáp lại, vật chất và năng lượng luôn luôn biến chuyển của chúng cũng tác động tới độ cong của không-thời gian, và cứ thế tiếp diễn liên hồi vũ điệu giữa cơ học và hình học. Thuyết Tương đối rộng được kiểm chứng vô cùng chính xác bằng thực nghiệm ngay từ năm 1919 (ánh sáng bị uốn cong bởi mặt trời, cùng với hiện tượng tuế sai của quỹ đạo hành tinh sao Thủy quay chậm 43'' trong một thế kỷ), chứng nghiệm mới đây nhất của thuyết này là Hệ thống Định vị Toàn cầu (GPS) trang bị các phương tiện vận tải và điện thoại di động. Trên vệ tinh GPS, thuyết tương đối rộng (hay hẹp) bảo cho ta đồng hồ tích tắc nhanh (hay chậm) hơn so với mặt đất, mà sự chính xác khoảng một phần ngàn tỷ giây của đồng hồ là điều kiện tối quan trọng cho GPS thành công.

Mời bạn coi bức thư Einstein gửi ngày mùng 9 tháng Giêng năm 1916 cho Karl Schwarzschild, nhà vật lý thiên văn Đức đã đầu tiên giải được chính xác phương trình của thuyết Tương đối rộng mà Einstein công bố tháng trước: “cái đặc điểm của lý thuyết mới này là không gian và thời gian tự chúng chẳng có tính chất vật lý gì cả. Nói đùa thôi, giả thử vận vật trên đời biến mất, thì theo Newton ta hãy còn một không gian rỗng tuếch phẳng lặng mênh mang và một mũi tên thời gian lặng lẽ trôi, nhưng theo tôi thì tuyệt nhiên chẳng còn chi hết, cả không gian lẫn thời gian và vật chất!”. Không-thời gian chẳng còn là một sân khấu bàng quan trong đó vật chất vận hành một cách độc lập, không có diễn viên (vật chất) thì sân khấu (không-thời gian) cũng chẳng còn. Thực là một cuộc cách mạng về tư duy mà Einstein mang đến cho nhân loại: chính vật chất trong đó có da thịt tâm tư con người xây dựng ra vũ trụ. Vật chất và không-thời gian chỉ là hai khía cạnh của một bản thể duy nhất, cái này sinh cái kia, không có cái này thì cũng chẳng có cái kia. Thông điệp vật lý ấy gói ghém trong phương trình Einstein $R_{\mu\nu} - (1/2)Rg_{\mu\nu} = (8\pi G/c^4)T_{\mu\nu}$, vế trái là tensor Ricci mô tả hình học

không-thời gian bốn chiều trong đó vận hành vạn vật, còn về phải là tensor năng-xung lượng của vật chất xây dựng nên cái cấu trúc cong uốn của không-thời gian. Nhà vật lý Nhật bản Yoichiro Nambu qua bức tranh nửa trào lộng nửa trầm tư minh họa về trái phương trình bằng cổng Rashomon xa xưa của một thoáng không gian trang nghiêm thanh thoát bên bờ suối, về phải bên kia cầu vương vấn trong cảnh trần ai bởi khói than nhà máy phản ánh vật chất nặng nề!



3c - Vũ trụ. Einstein là người trước tiên nhận ra cái toàn bộ chẳng sao tách biệt giữa vật chất-lực (cái nội dung) và không-thời gian (cái vỏ chứa). Tất cả chỉ là một mà ông gọi là vũ trụ và khoa học nghiên cứu cái toàn bộ đó mang tên là vũ trụ học mà nguyên tắc - được ông xây dựng trong một công trình ra đời tháng Hai năm 1917- vẫn tiếp tục làm nền tảng rọi sáng cho mãi đến ngày nay, mặc dù thay đổi nhiều về chi tiết và mô hình ban đầu. Trước hết ông nhận thấy phương trình của thuyết tương đối rộng *không* có nghiệm số nào tương ứng với một vũ trụ vĩnh cửu bất biến với thời gian mà định kiến ngàn xưa đều tin chắc như vậy, ngay cả với con người cấp tiến như Einstein! Ông đành thêm vào về trái phương trình một số hạng $\Lambda g_{\mu\nu}$ (ông gọi $\Lambda > 0$ là hằng số vũ trụ vì nó chẳng có hệ quả cục bộ nào ở bất kỳ các quy mô lớn hay nhỏ) để có được một nghiệm số diễn tả vũ trụ âm êm tĩnh lặng, *tuy cong về không gian nhưng lại phẳng* (không thay đổi) *với thời gian*. Nhưng chỉ vài năm sau đó, các nhà thiên văn vật lý W. de Sitter (Hà Lan), A. Friedmann (Nga) và G. Lemaître (Bi) khi xem xét toàn diện mười thành phần của phương trình Einstein đã chứng minh là vũ trụ không những cong về không gian mà cũng cong cả với thời gian, vậy vũ trụ hoặc dãn nở hoặc co nén chứ không tĩnh tại. Hỗ trợ quyết định cho phần lý thuyết trên xảy ra năm 1929 khi nhà thiên văn Mỹ E. Hubble đo lường quang phổ ánh sáng của các thiên hà và phát hiện chúng đồng loạt có tần số sóng bị giảm đi so với quang phổ đo trên trái đất. Tương tự như hiệu ứng

Doppler trong âm thanh, theo đó tiếng sáo phát ra trên tàu chạy xa bến thì người đứng yên trên bến nghe sáo trầm hơn, ngược lại nếu tàu tiến gần vào bến, tiếng sáo nghe bổng hơn¹. Vì quan sát thấy tần số ánh sáng giảm, Hubble suy ra là khoảng cách từ chúng ta tới các thiên hà tỷ lệ thuận với tốc độ của chúng, càng ở xa vận tốc càng lớn. Như vậy, vũ trụ không còn tĩnh lặng mà dãn nở như quả bóng khi ta bơm hơi vào, một thực tại chẳng sao chối cãi. Sự kiện thiên văn quan trọng hàng đầu này ngày nay được xác định rất vững vàng bởi nhiều đo lường khác, do đó hằng số Λ (mà Einstein đưa ra như một tiên đề để giữ tính lặng cho vũ trụ) chẳng còn cần thiết nữa khiến ông coi đó là sai lầm lớn nhất trong đời mình. Nhưng cái gì làm vũ trụ dãn nở? Nhiều nhà thiên văn và vật lý cho rằng có thể chính là hằng số Λ . Ai ngờ cái *sai lầm* hơn nửa thế kỷ trước nay có thể trở nên một thành viên chủ yếu chiếm ngự đến 74 % năng lượng của hoàn vũ dưới cái tên mới là *năng lượng tối* để làm dãn nở vũ trụ, cái năng lượng tối đầy bí ẩn này chưa ai biết là gì tuy nhiên nó chẳng phải do vật chất tạo thành mà lại mang đặc tính năng lượng của *chân không*². Việc tiên đoán sự dãn nở của vũ trụ thực là một kỳ công của thuyết tương đối rộng.

4 - Cơ cấu vận vật hình thành và hạt Higgs

4a - Mô hình Chuẩn. Ba tương tác cơ bản ‘phi hấp dẫn’ mang tên Sắc động lực (QCD) và Điện yếu (Electroweak) trong Mô hình Chuẩn của vật lý hạt phác họa ở phần 2b là thành tựu tuyệt vời của bản giao hưởng giữa hai thuyết Lượng tử và Tương đối hẹp. Thuyết *điện yếu* thống nhất hai lực thoạt trông rất khác biệt, đó là lực điện từ quen thuộc trong đời sống hằng ngày và lực yếu (chi phối sự vận hành của neutrino, phân rã và phóng xạ hạt nhân). Thuật ngữ *yếu* tương như yếu mềm ít tác động, nhưng thực ra nó

¹ Các chuyên gia gọi tần số ánh sáng bị giảm đi là sự xê dịch về phía đỏ (red shift), hàm nghĩa ánh sáng màu đỏ có tần số nhỏ hơn ánh sáng màu xanh. Lý do là vì nếu nguồn sáng hay âm thanh chuyển động ra xa (đến gần) bến, ánh sáng hay âm thanh sẽ mất nhiều (ít) thời gian hơn để tới người quan sát trên bến, bước sóng trên bến vì đó sẽ dài (ngắn) đi, hay tần số sóng sẽ giảm (tăng).

² Khi ta chuyển $\Lambda g_{\mu\nu}$ từ vế trái sang vế phải của phương trình Einstein, ta thấy tenxơ năng-xung lượng $T_{\mu\nu}$ có thêm một số hạng mới $\delta T_{\mu\nu} = -(\Lambda c^4/8\pi G) g_{\mu\nu}$. Số hạng mới này mang đặc tính của một chân không (vì Λ vô hướng và $g_{\mu\nu}$ có gốc nguồn thuần hình học, chẳng do năng-xung lượng của vật chất tạo nên), hơn nữa dấu trừ của $\delta T_{\mu\nu}$ có tác động đẩy ra (thay vì hút vào bởi lực hấp dẫn $+8\pi G/c^4 T_{\mu\nu}$ của vật chất làm không gian co lại). Vậy $\delta T_{\mu\nu}$ coi như tác động *phản* hấp dẫn của chân không để làm dãn nở vũ trụ và *năng lượng tối* chỉ định tính chất này.

chủ chốt điều hành các phản ứng nhiệt hạch trong các thiên thể, mang ánh sáng cho bầu trời ban đêm. Abdus Salam¹, người Pakistan, cùng với hai người Mỹ Sheldon Glashow và Steven Weinberg đã phát hiện ra là mặc dù hai định luật cơ bản điện-từ và yếu có cường độ tương tác quá khác biệt nhưng thực ra chúng có rất nhiều đặc tính chung và hơn nữa có thể hòa hợp trong một tương tác duy nhất mà Salam đặt tên là điện yếu. Thuyết này mang cho đồng tác giả Glashow, Salam, Weinberg giải Nobel năm 1979. Sở dĩ có sự khác biệt giữa hai cường độ là vì khối lượng của hạt photon (tượng trưng cho điện-từ, xin nhớ electron trao đổi photon) bằng 0 mà khối lượng của hai hạt W, Z (tượng trưng cho phân rã yếu, xin nhớ neutrino trao đổi W, Z) lại quá lớn. Thuyết điện yếu tiên đoán được khối lượng cùng các đặc tính của hai hạt W, Z và sau đó thực nghiệm kiểm chứng với độ chính xác tuyệt vời. Sự thống nhất hai hiện tượng điện-từ và yếu trong cùng một quy luật là cả một bước ngoặt của vật lý ở cuối thế kỷ 20, tầm quan trọng của nó có thể ví như Maxwell ở cuối thế kỷ 19 đã tổng hợp ba hiện tượng điện, từ và quang mà công nghệ hiện đại thông-truyền tin khai thác vô cùng màu nhiệm. Sự thống nhất này được thực hiện nhờ một cơ chế gọi là sự Phá vỡ Tự phát Đối xứng (Spontaneous Breaking of Symmetry, SBS) mà người tiên phong mở đường là Yoichiro Nambu, giải Nobel 2008 và Peter Higgs dùng SBS để tìm ra một kịch bản mang khối lượng cho W, Z và cả quark, lepton. Chúng ta dần dần tìm hiểu SBS và thuyết điện yếu qua những bước chuyển tiếp sau.

4b - Đối xứng. Trong tiến trình khám phá các định luật khoa học, ít nhất là trong phạm vi hạt cơ bản, nhiều nhà vật lý lấy nguồn cảm hứng trong cái đẹp cân đối hài hòa của thiên nhiên để quan sát, tìm tòi, suy luận, sáng tạo. Cái đẹp đó dĩ nhiên chủ quan trong nghệ thuật, văn chương, hội họa, âm nhạc, nhưng trong khoa học nó khách quan, định lượng và mang tên gọi *đối xứng*. Sự tìm kiếm những đối xứng và sự vi phạm tuần tự của nó, cũng như xác định được những gì bất biến trong vật lý (dùng công cụ *nhóm đối xứng* trong toán học) là phương pháp chỉ đường phổ biến và hữu hiệu trong công cuộc khám phá². Đối xứng gương là một thí dụ. Bạn hình dung đối xứng đó như sau: tay phải (hay trái) của ta có hình trong gương hệt như tay trái (hay

¹ <http://www.diendan.org/nhung-con-nguoi/abdus-salam/>

² Nhóm 'quay' trong hình học bốn chiều, còn gọi là nhóm đối xứng Lorentz, để làm sao cho khoảng cách không-thời gian $s^2 = (x^2 + y^2 + z^2) - (ct)^2$ thành một bất biến là một thí dụ. Coi phần 3a và **phụ chú 17**.

phải), và cái ta gọi là phía phải hay phía trái chỉ là ước lệ giữa con người. Không có gì cho ta phân biệt được mọi hiện tượng ở ngoài gương và hình chiếu của hiện tượng đó trong gương, sự hoán chuyển không gian $x \leftrightarrow -x$ hay đối xứng gương P (Parity) không làm chúng thay đổi, chúng bất biến. Một sáng nắng ấm mùa thu ngả đông với cây đỏ lá vàng của Hà Nội thời xưa, tháp chùa mái cong cổ kính soi hình xuống nước trong vát pha lê của hồ gương phẳng lặng, tháp và bóng trong hồ là biểu hiện của đối xứng gương toàn vẹn. Hai nhà vật lý Trung Quốc ở Mỹ T. D. Lee và C. N. Yang (giải Nobel 1957) khám phá ra là lực hạt nhân *yếu* vi phạm tới đa cái đối xứng gương P này, trong đó spin đóng vai trò quan trọng để giúp ta nhận ra sự vi phạm đối xứng. Spin của electron, của neutrino đều hoàn toàn quay về phía trái mà không quay về phía phải.

Nếu trong thế gian này tất cả đều cân xứng hoàn hảo thì *không có gì* hầu như dễ xảy ra hơn là *phải có gì* như Louis Pasteur từng nói: 'Bất đối xứng chính là nguồn sống!' khi ông nhận thấy có sự biệt hóa giữa phải và trái của chất lên men. Vậy kiếm tìm cơ chế phá vỡ đối xứng có lẽ cũng chẳng kém phần hào hứng.

Một thí dụ khác là đối xứng vật chất-phản vật chất hay đối xứng CP , theo đó các định luật vận hành của vật và của phản vật phải giống hệt nhau. Chữ C trong CP chỉ định điện tích (charge) hay sắc tích (và tất cả các lượng tử tính khác như spin), vì hoán chuyển vật chất-phản vật chất là thay đổi dấu của chúng. Trong bốn tương tác cơ bản thì ba lực hấp dẫn, điện từ và hạt nhân *mạnh* đều tuân thủ phép đối xứng P và CP , chỉ lực hạt nhân *yếu* mới vi phạm chúng, tới đa với đối xứng P , đôi chút với đối xứng CP , tương tác yếu của hạt và của phản hạt khác nhau ở mức độ vừa phải.

Một đối xứng khác thuộc về thế giới lượng tử là siêu đối xứng (supersymmetry), đó là sự hoán chuyển fermion $\leftrightarrow$ boson, một hệ quả của thuyết Siêu dây đề cập ở đoạn 2b. Đề tài về sự phá vỡ siêu đối xứng rất thú vị và thời thượng.

Nhưng có một đối xứng ngự trị tuyệt đối, không hề bị vi phạm trong sắc động lực và điện từ, một đối xứng đặc trưng của vật lý lượng tử, nó mang tên *đối xứng chuẩn* (gauge symmetry). Chính cái đối xứng này đã mở ra một chân trời mới lạ và là gốc nguồn cho sự thành công kỳ diệu của Mô hình Chuẩn. Ai trong chúng ta khi làm quen với cơ học lượng tử đều biết rằng bình phương của hàm số sóng $|\Psi(x)|^2$ cho ta xác suất xảy ra đối với một đại lượng nào đó. Ta thấy ngay hoán chuyển chuẩn $\Psi(x) \leftrightarrow \Psi(x) \exp[i\alpha(x)]$

với bất kỳ hàm thực $\alpha(x)$ nào không làm thay đổi $|\Psi(x)|^2$, cũng vậy nó không làm thay đổi các định luật của Mô hình Chuẩn, các đại lượng vật lý phải bất biến với hoán chuyển chuẩn. Chính vì vậy mà đối xứng chuẩn chi phối toàn diện sự vận hành của các tương tác *mạnh* và *điện-yếu*. Cụ thể ta mừng tượng đối xứng này như sau: điện thế của trái đất là một triệu volt và hai cực điện trong nhà là 1000000 volt và 1000220 volt, nhưng máy của chúng ta chạy với 220 volt không hề trục trặc mặc dù hàng triệu volt điện thế của quả đất. Cũng như $\alpha(x)$ là bất kỳ hàm gì, có muôn ngàn điện thế khác nhau ở mọi nơi trong hoàn vũ, nhưng định luật chi phối sự vận hành của chúng phải điều hòa ra sao để cho ta một trường điện từ duy nhất. Máy của chúng ta mang lên các thiên thể xa xăm không bị chi phối bởi điện thế tùy tiện lớn hay nhỏ trên đó, điện tích $-e$ của electron trong máy bao giờ cũng bất biến, ở đây hay ở đó, lực điện từ chi phối máy của chúng ta cũng là lực điện từ trên các thiên thể. Đó là ý nghĩa vật lý của đối xứng chuẩn. Phương trình Maxwell của tương tác điện-từ tuân thủ phép đối xứng chuẩn¹, đối xứng này trở thành nguyên lý chủ trì cho sự phát triển kỳ diệu của điện động học lượng tử, những tính toán trong lý thuyết này đưa ra nhiều tiên đoán được thực nghiệm kiểm định tới độ chính xác cao hơn một phần tỷ (momen từ của electron là một thí dụ). Đặc điểm của đối xứng chuẩn là nó đòi hỏi các boson - làm trung gian sứ giả cho fermion tương tác với nhau qua trao đổi các boson này - phải *không có khối lượng*. Quang tử photon trong điện động học lượng tử cũng như gluon trong sắc động lực học lượng tử là thí dụ của boson không có khối lượng. Ta gọi chúng là *boson chuẩn* (gauge bosons).

Ngay khi mới phác họa ra lý thuyết để diễn tả lực yếu khoảng những năm đầu 1950, nhiều nhà vật lý trong đó có Fermi, Feynman, Gell-Mann, Yang, Lee, Glashow đã tình ý nhận ra là giữa hai tương tác điện từ và yếu có nhiều cấu trúc và tính chất đồng nhất, vậy hầu như là chuyện đương nhiên nếu ta sử dụng phương pháp rất hiệu lực của đối xứng chuẩn trong điện từ để khám phá những định luật vận hành của lực yếu. Nhưng khốn thay, cái trở ngại là boson chuẩn W (làm sứ giả cho tương tác này) lại có khối lượng rất lớn chứ chẳng bằng 0 như photon trong điện từ. Tại sao vậy? Vì lực yếu

¹ Photon diễn tả bởi tứ-vectơ $A_\mu(x)$. Thay $A_\mu(x)$ bởi $A_\mu(x) + \partial_\mu \alpha(x)$ của bất cứ hàm $\alpha(x)$ nào không làm cho phương trình Maxwell thay đổi là thí dụ của đối xứng chuẩn trong tương tác điện từ. Photon không có khối lượng nhưng chính vì nó có vận tốc c cực đại nên nó có năng lượng E và xung lượng $\mathbf{k}$ khác 0 ($E = h\nu = |\mathbf{k}|c$).

chỉ tác động trong hạt nhân nguyên tử ở kích thước vi mô, trong khi lực điện từ trải rộng khắp hoàn vũ, mà tầm truyền R của lực lại tỷ lệ nghịch với khối lượng M của boson làm trung gian cho lực truyền đi, một hệ quả của nguyên lý bất định Heisenberg theo đó $RM \sim \hbar$. Biết tầm truyền R của lực yếu, ta suy ra là boson W phải có khoảng hai trăm ngàn lần khối lượng của electron, như vậy tương tác yếu không có đối xứng chuẩn. Ôi biết bao thất vọng nếu phương pháp rất hiệu lực của đối xứng chuẩn - nguyên nhân cho sự thành công tuyệt vời của lý thuyết điện từ - xem ra chẳng sao áp dụng được cho tương tác yếu.

Nhưng một chuyện ‘thần kỳ’ đã xảy ra để làm cho lực yếu cũng có đối xứng *chuẩn* như điện từ, đối xứng đó chỉ bị che khuất mà thôi. Câu chuyện khởi đầu từ hiện tượng siêu dẫn của ngành vật lý chất rắn ở kích thước trung mô xa lạ với hạt cơ bản tung hoành trong thế giới vi mô. Trong vật lý, cũng như trong nhiều môn khác, có một số nhỏ nhà khoa học kiến thức xuyên ngành uyên thâm, nhìn rộng ra ngoài cái chuyên môn của mình, tìm hiểu những gì phổ quát để mang lại cho ngành mình một luồng gió mới. Nhà vật lý Nhật bản Yoichiro Nambu ở Đại học Chicago là một trong số đó. Chuyên gia về hạt sơ đẳng nhưng ông cũng lưu tâm và có cái nhìn bao quát về vật lý siêu dẫn khác lạ với hạt, ông nhận thấy có cái gì liên kết hai ngành - cấu trúc toán học thì rất giống nhau nhưng vật lý thì lại khác biệt - và tìm thấy là đối xứng thực ra không bị phá vỡ mà chỉ bị che giấu bởi một tác động nào đó. Nhưng chính Peter Higgs, một nhà nghiên cứu ‘bình thường’ của xứ Scotland làm việc tại một đại học ‘nhỏ’ Newcastle upon Tyne đã tìm ra một kịch bản nhất quán để áp dụng ý tưởng Nambu cho *đối xứng chuẩn*, mở đường cho Glashow, Salam, Weinberg kết cấu lực điện từ với lực yếu.

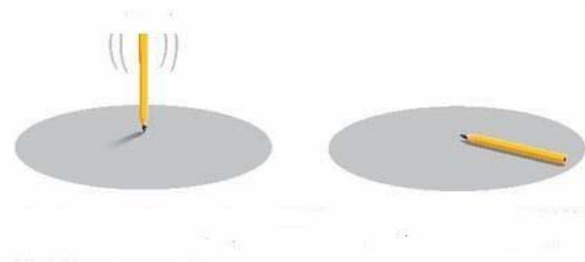
4c - Siêu dẫn điện từ. Hiện tượng siêu dẫn của vật liệu ở nhiệt độ thấp là một đặc trưng của vật lý lượng tử, dòng điện truyền qua một dây siêu dẫn có thể tồn tại hàng tỷ năm trên lý thuyết, ước lượng khoảng vài trăm ngàn năm bởi đo lường, nó không có điện trở. Một điện trường dẫu nhỏ đến đâu cũng khó xâm nhập được vào trong chất siêu dẫn vì nó bị triệt tiêu bởi dòng điện ‘lý tưởng’ nội tại của siêu dẫn. Không những điện mà cả từ trường cũng vậy. Một thời nam châm để gần một vật liệu siêu dẫn bị bật ra xa, thông lượng từ trường bị trục xuất một phần ra ngoài vật siêu dẫn, đó là hiệu ứng Meissner¹. Chính hiệu ứng này là ngọn nguồn cho xe lửa trong tương lai được ‘nâng’ lên trên đường ray, không bị lực ma sát nên xe lửa có

¹ Xem bài của Nguyễn Trọng Hiền cùng trong Kỷ yếu.

vận tốc rất cao. Vật liệu siêu dẫn ngăn chặn tầm truyền của trường điện từ, nó là một hệ thống trong đó photon chỉ có thể tác động trong một khoảng cách ngắn, khác với bản chất tự tại của sóng điện từ có thể truyền đi vô hạn. Vậy photon, cái *boson chuẩn*, khi chuyển động trong vật liệu siêu dẫn bị cản trở bởi một bức tường chắn gì đó và nó tác động *giống như có một khối lượng khác 0*. Bức tường chắn đó trong lý thuyết siêu dẫn của John Bardeen, Leon N. Cooper và John R. Schrieffer (BCS), giải Nobel 1972, chính là thể ngưng tụ của muôn ngàn cặp Cooper, cặp liên kết hai electron có spin up↑ spin down↓ đối nghịch. Mỗi cặp Cooper mang điện tích $-2e$ nhưng vì có spin 0 nên theo thống kê Bose-Einstein những cặp này có thể hòa đồng chung sống trong cùng một trạng thái đông tụ. Mỗi electron cô đơn và có cá tính mạnh mẽ, nhưng ở một hoàn cảnh đặc biệt nào đó (nhiệt độ thấp) khi kết bạn, mỗi cặp tuy rất mảnh mai nhưng khi tụ họp đông đảo lại vận hành như một dòng chảy thuần khiết của muôn ngàn điện tích và trở nên siêu dẫn (phụ chú 1). Cái đối xứng chuẩn trong điện từ thực ra không bị phá vỡ, nó chỉ bị che khuất đi bởi các cặp Cooper.

Đông tụ Bose của nguyên tử Helium 4 coi như boson, cũng như cặp Cooper, là ngọn nguồn của hiện tượng siêu lỏng, luồng thể lỏng bơi ngược trên thành ống nhỏ li ti. Vật liệu sắt từ (ferromagnetic) là thí dụ thứ ba trong đó hàng tỷ electron có spin cùng hướng về một phía duy nhất do tác động của một từ trường ngoài. Vật liệu sắt từ như vậy không có đối xứng tuyệt đối, mặc dù định luật cơ bản về sắt từ của Heisenberg hoàn toàn đối xứng trong sự phân phối spin, không có một chiều spin nào giữ ưu thế.

Trong ngôn từ của giới chuyên ngành, nếu phương trình cơ bản mang một phép đối xứng nào đó mà nghiệm số của phương trình ấy lại không có cái đối xứng nguyên thủy, ta gọi hệ thống đó *phá vỡ đối xứng tự phát* (Spontaneous Breaking of Symmetry, SBS). Đối xứng không bị vi phạm trong toàn thể, nó chỉ bị che khuất ở một điểm cục bộ nào trong trạng thái cơ bản (năng lượng cực tiểu) của vật chất. Siêu dẫn điện từ, Siêu lỏng và Từ sắt là ba thí dụ của SBS.



Minh họa hiện tượng SBS: Thế giới hoàn toàn đối xứng khi bút thẳng đứng, mọi chiều đều bình đẳng (hình trái). Nhưng khi bút rơi và chỉ có một chiều chiếm ưu thế (hình phải), đối xứng đâu có mất đi mà chỉ bị che khuất sau bút nằm ngang.

4d - Thuyết Điện yếu. Tính chất SBS là ngọn nguồn cho phép thống nhất được hai lực điện từ và yếu, chúng tưởng như khác biệt mà thực ra cùng tuân thủ phép đối xứng chuẩn. Xin nhắc lại, để thống nhất lực yếu với lực điện từ, ta sử dụng đối xứng chuẩn. Vậy ban đầu cũng như photon của điện từ, boson chuẩn W , sứ giả của lực yếu, không có khối lượng. Sau đó ta cần một trường boson mới lạ nào đó (trường Higgs) để ngăn chặn tác động của lực yếu và mang khối lượng cho W . Trường Higgs tựa như ngưng tụ của cặp Cooper trong điện từ. Cặp Cooper có spin 0 liên kết hai electron trong siêu dẫn điện từ được thay thế trong lực yếu bởi hạt Higgs cũng có spin 0. Trường Higgs tràn ngập chân không lượng tử, chân không này là trạng thái của vũ trụ thuở Nổ Lớn (Big Bang) có năng lượng cực tiểu nhưng vô hạn. Không những mang khối lượng cho hạt W , hạt Higgs còn mang khối lượng cho tất cả các hạt khác như quark, lepton. Chính cái cơ chế SBS phổ biến và chi phối nhiều ngành vật lý là do Nambu, khi suy ngẫm về thuyết siêu dẫn nói trên, đã đề xướng ra và Higgs áp dụng thành công trong vật lý hạt cơ bản để cho hai lực điện từ và yếu có thể hợp nhất được. Giải Nobel 2008 tặng thưởng Nambu đã sáng tạo cái cơ chế SBS này.

4e - Sáu Quark và vi phạm đối xứng CP. Như đề cập ở phần 4b, lực hạt nhân yếu vi phạm đối xứng vật chất-phản vật chất (đối xứng CP), một ngạc nhiên lớn vì ba lực cơ bản khác (hấp dẫn, điện từ và mạnh) đều tuyệt đối tuân thủ phép đối xứng này. Tương tác yếu của hạt và của phản hạt khác nhau. J. Cronin và V. Fitch cùng hai cộng sự viên khám phá ra năm 1964 sự vi phạm CP , và hai vị đã nhận giải Nobel 1980. Những năm đầu 1970, trong bối cảnh của vật lý hạt thời ấy với Mô hình Chuẩn đang ở buổi sơ khai, hai nhà vật lý trẻ Makoto Kobayashi và Toshihide Maskawa (KM) tiên phong đi tìm hiểu cơ chế nào cho phép sự vi phạm này. Hai ông, hoàn toàn do suy luận và tính toán, sau nhiều cuộc vật lộn với toán học 'ứng dụng', đã chứng minh (năm 1973) là ít nhất phải có sáu quark (đúng ra là phải có ba 'họ', mỗi họ có hai quark)¹ mới vi phạm được đối xứng CP . Vào thời ấy, quark hãy còn là một giả thiết, một đề tài tế nhị, nhiều người bài bác kể cả những cây

¹ Kobayashi và Maskawa rất khác biệt về cá tính và phương cách tiếp cận khoa học, Kobayashi thiên về thực nghiệm và trực giác, Maskawa thiên về toán học, hai vị bổ sung cho nhau. Họ chứng minh là nếu có N họ, mỗi họ có hai quark, thì sự vi phạm CP chỉ xảy ra nếu $(N-1)(N-2) > 0$. Ít nhất ba họ, sáu quark là ở đó.

đại thụ, và ngay cả nếu chấp nhận giả thiết quark thì lúc ấy người ta chỉ biết có ba quark thôi: up, down và strange quark! Thực nghiệm liên tiếp chứng tỏ sau đó sự chính xác của cơ chế vi phạm CP mà KM đề xướng. Năm 1974, quark *duyên* (charm) bắt đầu lộ diện, năm 1977 với quark *đáy* (bottom) và 1994 với quark *đỉnh* (top). Khám phá của Kobayashi và Maskawa góp phần quan trọng cho sự hình thành của Mô hình Chuẩn hạt cơ bản, nó diễn tả rất chính xác sự vi phạm đối xứng CP trong các thực nghiệm liên quan đến các meson K mang quark *kỳ* (strange) và meson B mang quark *đáy*. Kỳ diệu thay cái duyên không cân đối của thế giới lượng tử tiên đoán bởi Kobayashi và Maskawa mà giải Nobel 2008 vinh tặng.

Viễn cảnh

Ngày mùng 10 tháng 9 vừa qua, một sự kiện khoa học nóng hổi và quan trọng hàng đầu vừa diễn ra ở Trung tâm Âu châu Nghiên cứu Hạt nhân (CERN) ngay biên giới Pháp-Thụy Sĩ cạnh thành phố Genève, một sự kiện mà các nhà vật lý và thiên văn toàn cầu hồi hộp đợi chờ từ hơn mười năm. Hôm ấy, bắt đầu khởi động máy gia tốc hạt LHC (Large Hadron Collider) nằm sâu hơn 100 m trong lòng đất với chu vi 27 km. Khắp năm châu duy nhất chỉ có máy này có năng lượng cực kỳ lớn làm đầu tàu thế giới để khám phá, đào sâu tìm hiểu, nhằm thống nhất các định luật cơ bản tận cùng của vạn vật.

Nền tảng của mô hình chuẩn dựa trên sự hiện hữu thiết yếu của hạt Higgs vô hướng, tràn ngập không gian để cung cấp khối lượng cho tất cả các hạt khác khi tương tác với nó. Tựa như một đại dương vô hạn tràn đầy một cái gì (hạt Higgs), ở trong đó khi các hạt cơ bản khác dao động sẽ bị cản trở và di chuyển chậm đi do đó mang theo một khối lượng, giống như ánh sáng khi truyền trong nước bị bẻ cong. Khám phá ưu tiên của LHC là việc săn tìm hạt cơ bản Higgs này, hạt tạo ra *khối lượng* cho vạn vật, đề tài mũi nhọn, chìa khóa mở đường cho sự thống nhất hòa quyện giữa hai trụ cột của vật lý hiện đại: Lượng tử với Tương đối (hẹp và rộng). Thực vậy xin nhắc lại khối lượng là căn nguyên khởi đầu cho sự xuất hiện của không gian và thời gian, của vật chất, của vũ trụ. Không có khối lượng tức là năng lượng - thuyết Tương đối hẹp, qua phương trình $E = mc^2$ của thế kỷ, chẳng bảo cho ta là năng lượng và khối lượng tuy hai mà một sao? - thì chẳng có gì hết, kể cả *không gian và thời gian* trong đó vận hành vạn vật. Theo thuyết Tương đối rộng phác họa ở chương 3b, toàn bộ Không gian, Thời gian, Lực, Vật chất chẳng sao tách biệt, cặp không-thời gian (cái vỏ) và cặp lực-vật chất

(cái được chứa) chồng chéo gắn kết bên nhau, cấu trúc không phẳng mà cong uốn của không-thời gian (cái vỏ) được xây dựng bởi chính cái nội dung vật chất chứa đựng trong vỏ. Năng lượng là gốc nguồn chung cho tất cả, từ đó vật chất, lực, không gian, thời gian được tạo dựng nên.

Ngoài sự săn tìm hạt Higgs ra, còn bao câu hỏi thâm sâu khác đang đợi chờ trả lời bởi thực nghiệm ở LHC, trong đó xin tạm kể:

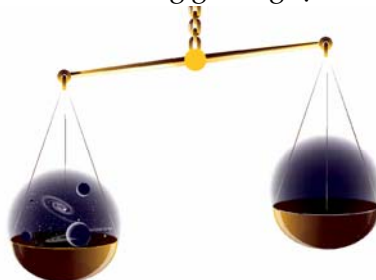
(i) *Đâu rồi phản vật chất?* Tại sao Có mà chẳng phải là tại sao Không?, câu hỏi siêu hình mà Leibniz đã tự đặt cho mình. Chuyển sang vật lý nó thành tại sao chúng ta sống trong thế giới của hạt mà không của phản hạt? Vì số lượng vật chất và phản vật chất phải bằng nhau, chẳng cái nào nhiều hơn cái nào ở cái thuở ban đầu của hoàn vũ. Từ năng lượng thuần khiết, chúng đều được hình thành theo từng cặp. Mà vật chất chính là nguyên tử, khí và thiên thể giăng đầy vũ trụ ngày nay, còn phản vật chất lại chẳng thấy tăm hơi, tại sao vũ trụ ngày nay lại chỉ có vật chất? Đó là một bí ẩn của mô hình Big Bang vì ba lực (mạnh, điện từ và hấp dẫn) trong bốn tương tác cơ bản đều tuân theo luật đối xứng vật chất-phản vật chất (đối xứng CP), không có sự dị biệt giữa chúng. Chỉ tương tác yếu mới vi phạm phép đối xứng CP. Nhưng sự vi phạm nhỏ của phép đối xứng vật chất-phản vật chất trong các phòng thí nghiệm trên trái đất có giải thích nổi về mặt định lượng tại sao trong vũ trụ ngày nay, vật chất lại áp đảo toàn diện phản vật chất, tại sao cái này lại biến đi từ trong trứng nước thời Big Bang, cơ chế bí ẩn gì đứng sau sự bất cân đối vật chất-phản vật chất ở cái thuở ban đầu? Đó là đề tài nghiên cứu ưu tiên của LHC cùng với sự săn tìm hạt cơ bản Higgs.

(ii) *Năng lượng tối* (mang tính chất đẩy ra) để làm dân nở vũ trụ, cái năng lượng tối đầy bí ẩn này chưa ai biết là gì, tuy nhiên, nó chẳng phải do vật chất tạo thành mà lại mang đặc tính năng lượng của *chân không* và chiếm đến chừng 73% năng-xung lượng trong hoàn vũ. Hằng số vũ trụ của Einstein đề cập ở đoạn 3c đóng vai trò gì trong năng lượng tối này?

(iii) *Vật chất tối* (mang tính chất hút vào) nắm đến 23% khối lượng trong vũ trụ, nó *không bức xạ* mà chỉ có vai trò giữ cho các thiên hà góp thành chùm chứ không tung bay khắp phía, khác lạ với vật chất bình thường (chỉ chiếm khoảng 4% khối lượng vũ trụ) của những thiên hà sáng ngời mà ta quan sát được, một đề tài nóng hổi của vũ trụ học và vật lý hạt cơ bản.

(iv) *Không gian chỉ có ba chiều sao?* Siêu đây là thuyết duy nhất đầu tiên trong vật lý xác định được con số $D = 10$ chiều của không-thời gian (hay 11

chiều trong thuyết M). Trước Siêu dây, số chiều 4 của không-thời gian ta quen dùng chỉ là một định đề tiên nghiệm ta tự cho ta, do cảm nhận và quan sát, minh họa không-thời gian là bộ phận chẳng thể tách rời khỏi vật chất mà thuyết tương đối rộng đã hé mở cho ta thấy. Những không gian còn lại bị cuốn tròn quá nhỏ để ta không quan sát được trong đời sống hằng ngày. Máy gia tốc LHC gián tiếp tìm kiếm không gian ẩn này, qua cái gọi là hiện tượng 'bất bảo toàn năng lượng ảo', vì ta chẳng đo lường nổi phần năng lượng bị thu hút vào cái không gian ngoại vi đó.



Cơ cấu gì đứng sau sự bất cân đối vật chất-phản vật chất ở cái thuở ban đầu của hoàn vũ? Nếu vật và phản vật đều bằng nhau lúc Big Bang, chúng sẽ cùng hủy diệt thành năng lượng thuần khiết. Chút thặng dư của một trên mười tỷ vật chất so với phản vật chất đủ để hình thành thiên thể, hành tinh và cuối cùng cuộc sống.

Thay lời kết. Dấu mang quá khứ huy hoàng, hoạt động khoa học và nghiên cứu ở châu Âu - quê hương của thuyết Lượng tử và thuyết Tương đối mà hơn ai hết Max Planck và Albert Einstein đã đóng góp vào - bị lu mờ phần nào trong nửa thế kỷ sau Đệ nhị Thế chiến 1939-1945 thảm khốc và phân hóa Đông-Tây. Năm nay 2008 mở đầu một bước ngoặt đánh dấu sự phục hưng của nền vật lý ở châu lục này mà sự nghiệp xây dựng nên CERN quả là một bài học vượt xa đối tượng khoa học thuần túy. Trên cánh đồng hoang lác đác mấy chú bò ăn cỏ ở Ferney-Voltaire biên giới Pháp-Thụy Sĩ, ngay sau Thế chiến này, nhiều nhà vật lý Âu châu di tản khắp nơi vì nạn phát xít đã trở về cố hương cùng đồng nghiệp ở lại xây dựng nên Trung tâm Âu châu Nghiên cứu Hạt nhân. Vì hòa bình và phát triển qua nghiên cứu cơ bản, với sự hỗ trợ tích cực của một số chính khách Pháp, Đức, Anh có tầm nhìn xa, họ đã chung sức mở đường cho sự hồi sinh và hòa giải của các nước Âu châu. Vì mỗi nước riêng lẻ không sao đủ nhân sự và phương tiện để hoàn thành sứ mạng, nguyên tắc tổ chức của CERN - tập hợp đóng góp tài năng, ngân quỹ từ nhiều nước châu Âu - đã tiên phong làm mô hình cho nhiều ngành hoạt động khác phỏng theo từ thiên văn, sinh học, công nghệ hóa tiến, hàng không, thậm chí cả kinh tế, chính trị (CERN ra đời nhiều

năm trước Liên hiệp Âu châu). Mạng lưới toàn cầu (world wide web) của internet ra đời ở CERN khoảng năm 1990 là một trong nhiều thành công kỳ diệu từ nghiên cứu cơ bản sang ứng dụng của cơ quan này, máy chụp hình scanner trong y học, kỹ thuật siêu dẫn điện từ tạo nên những khối nam châm khổng lồ là vài thí dụ khác. Năm 1992 (đúng 500 năm sau khi Columbus đặt chân lên châu Mỹ) máy gia tốc hạt SSC (Superconducting Super Collider) đầu tàu thế giới về vật lý hạt cơ bản đang được xây dựng ở Waxahachie, phía nam Dallas, Texas (Mỹ) bị cắt đứt hỗ trợ và ngừng hoạt động. Còn lại ngày nay là một bãi đất điều tàn khiến ta chẳng khỏi liên tưởng đến xứ Nắng u ẩn tháp Chăm của miền Trung gió cát. May thay CERN được sự đồng tình ủng hộ của các chính quyền Âu châu, quyết tâm thay thế sự hẫng hụt này và trong mười năm xây dựng nên LHC để mở đầu chu kỳ thăng trầm rời Mỹ sang Âu của ngành vật lý hạt mũi nhọn này. Hơn nữa, CERN còn đang tay đón mời sự cộng tác của những tài năng đến từ khắp mọi miền trên trái đất, kể cả những nước đang phát triển để tận mắt tận tay học hỏi rồi sáng tạo. Một cơ hội ngàn vàng đối với tài năng trẻ Việt Nam để tiếp cận nghiên cứu quốc tế trong chương trình cực kỳ quan trọng này, ở những lĩnh vực thuộc biên giới của tri thức nhân loại đang nóng bỏng.

NGUYỄN TRỌNG HIỀN*

SỰ ĐO ĐẠC HẰNG SỐ PLANCK - VÀ NHỮNG BÀI HỌC TỪ THỰC NGHIỆM

Abstract: This article reviews the key milestones in the history of the measurement of the Planck constant, h . The review also discusses a special application brought about by this universal constant in metrology, particularly the recently proposed new standards for volt, ampere and kilogram.

Tóm tắt: Bài viết sẽ điểm lại một vài mốc quan trọng trong việc đo đạc hằng số Planck, h , kèm theo những chi tiết lịch sử liên quan đến các tiến triển vật lý đã góp phần thúc đẩy quá trình thẩm định giá trị chính xác của hằng số phổ quát này. Bài viết cũng đề cập đến một ứng dụng của cơ chế lượng tử mà hằng số Planck mang lại, cụ thể là dự định chuẩn hóa các đơn vị đo lường bao gồm volt, ohm, ampere và kilogram.

1. Sự ra đời của hằng số Planck và vai trò của hằng số phổ quát này trong nghiên cứu cơ bản

h , ký hiệu hằng số mang tên Planck, xuất hiện lần đầu trong công trình khai mào cuộc cách mạng vật lý của thế kỷ XX, và từ đấy đến nay ký hiệu của hằng số này chưa hề thay đổi. Công trình của Planck mang một tựa đề khiêm tốn, *Über das Gesetz der Energieverteilung im Normalspectrum* (Về sự phân bố năng lượng trong bức phổ chuẩn), công bố trên *Annalen der Physics* (Kỷ yếu Vật lý) số 4, trang 553 (1901)¹. Trong bài viết vồn vện 11 trang khổ nhỏ này, khái niệm lượng tử lần đầu được đặt ra để giải thích phổ của vật đen, “Để tìm xác suất cho n dao động tử với tổng năng lượng U_n , phải cần xác định U_n không phải là một đại lượng liên tục có thể phân chia nhỏ ra mãi được, mà là từng phần riêng lẻ kết hợp làm nên tổng thể. Ta gọi một phần như vậy là một

* Jet Propulsion Laboratory, CalTech, Pasadena, California.

¹ M. Planck, “Über das Gesetz der Energieverteilung im Normalspectrum,” *Ann. d. Phys.* 4, 553 (1901).

nguyên tố năng lượng ε ". "Energieelement," từ dùng của Planck, tạm dịch là "nguyên tố năng lượng" hay "phần tử năng lượng," được dùng có lẽ để thể hiện tính không phân chia được của phần năng lượng riêng lẻ này. Nhưng ở đây, trong công trình kinh điển này của Planck, ta để ý là từ quantum hay lượng tử chưa xuất hiện.

Trong bài này, Planck còn lập thêm một kỳ tích ít khi được nhắc đến: lần đầu ông xác định giá trị của hằng số phổ quát mà sau này ta gán tên là hằng số Boltzmann. Đây là hằng số đặt nền móng cho vật lý thống kê. Ông gọi là hằng số k . k là chữ viết tắt của konstant, tiếng Đức có nghĩa là hằng số. Planck sau này trong hồi ký của mình đã thuật lại, rằng "Boltzmann là người đạt được hiểu biết thâm thúy nhất về entropy", nhưng ông cũng viết thêm "phải công bằng mà nói, Boltzmann đã không chỉ ra hằng số này, mà theo như tôi biết cũng không hề thắc mắc về giá trị của con số ấy"¹. Ngay sau khi xác định k theo định nghĩa của entropy mà Boltzmann đã thiết lập, Planck chỉ tiếp một hằng số phổ quát nữa, ông gọi là h , đơn thuần bởi vì h gần kề k , đi trước k trong bảng mẫu tự Latin. Và ông xác định,

$$\varepsilon = h\nu \quad (1)$$

ε là năng lượng cho mỗi phần riêng lẻ, với ν là tần số bức xạ. Như vậy năng lượng n phần chỉ đơn giản là, $E = n h \nu$. Từ đây để có năng lượng tổng thể U của vật đen ta dùng hệ thức Boltzmann, xác suất $\sim \exp(-E/kT)$, và nhanh chóng dẫn đến công thức,

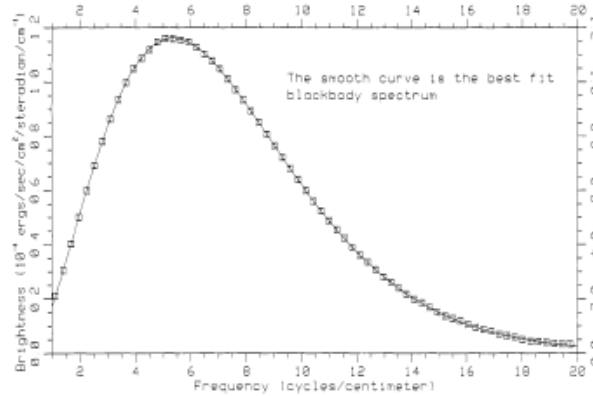
$$U(\nu, T) = 8\pi h \nu^3 / c^3 (\exp(h\nu/kT) - 1) \quad (2)$$

với T là nhiệt độ tuyệt đối của vật đen². Thực ra trong bài viết của mình, để đạt được công thức (2) của phổ vật đen, Planck đã đi theo lối khác: ông dùng các lập luận nhiệt động lực học, vì đây mới thực là sở trường của Planck. Sự hình thành của phương trình (1) bất hủ chính là bắt nguồn từ việc đối chiếu các biểu thức suy ra từ entropy của vật đen với kết quả thực nghiệm về bức xạ, để cuối cùng dẫn đến công thức (2), và cũng là mục tiêu tối hậu mà Planck đã nhắm tới trong bài viết của mình - điều này giải thích tựa đề bài viết của Planck. Để có được công thức (2), mà Planck *đoán* có lẽ là công thức chính xác của phổ vật đen (các kết quả thực nghiệm trước đây như quy luật dịch chuyển Wien, phổ bức xạ ở dãy sóng ngắn Wien, và sóng

¹ M. Planck, *Die Naturwissenschaften*, **14/15**, 153 (1943). (*Wissenschaftliche Selbstbiographie*, English translation, *A Scientific Autobiography*, by Frank Gaynor, in *Scientific Autobiography and Other Papers*, Philosophical Library, 1949.)

² Thermal Physics, Kittel.

dài của Ralyeigh-Jeans chỉ là những trường hợp đặc biệt của công thức này) thì *cách duy nhất* là E phải được kết hợp từ n phần riêng lẻ $h\nu$ chứ không thể biến thiên liên tục. Khái niệm Lượng tử này sinh chính là để hợp thức hóa công thức (2). Nhắc lại điều này là để cho ta thấy dù muốn hay không, tính *ad hoc* đã đóng vai trò không nhỏ trong sự diễn dịch của khái niệm Lượng tử, và vì vậy có lẽ sẽ phần nào thông cảm được với Planck khi ông về sau đã không mấy thỏa mãn với cách diễn dịch này.



Hình 1. Đường biểu diễn Planck, biểu thị bức phổ của vật đen - cường độ bức xạ vs. tần số. Công trình của Planck dựa trên các nghiên cứu về nhiệt của thầy mình là Kirchhoff, và là người đã chứng tỏ cường độ bức xạ U của bất kỳ vật đen nào chỉ tùy thuộc nhiệt độ của chúng. Hình trên là phổ của bức xạ nền vũ trụ từ 9 phút quan sát của đài quan sát không gian COBE (1990). Dữ kiện được biểu thị bằng ô vuông với sai số phóng đại gấp 10 lần, và cho thấy trùng hợp với phổ của vật đen ở nhiệt độ 2.725 ± 0.002 K¹.

Kết hợp những cơ sở thực nghiệm về bức xạ thiết lập bởi Wien và Stefan-Boltzmann vài năm trước đó, Planck đã lần đầu đo được, hay nói cho cường điệu hơn, là “tiên đoán” được giá trị của h và k (đơn vị cgs),

$$h = 6.55 \times 10^{-27} \text{ erg.sec},$$

$$k = 1.346 \times 10^{-16} \text{ erg/K}.$$

Danh từ quantum (hay quanta, số nhiều) lần đầu xuất hiện - và dường như cũng là lần duy nhất trong hầu hết các công trình vật lý của Planck - trong bài viết tiếp theo sau bài về phổ vật đen công bố trong cùng Kỷ yếu, và được đặt ngay trong tựa đề: “*Über die Elementarquanten der Materie und der*

¹ Matther et al., “A preliminary measurement of the cosmic microwave background spectrum by the Cosmic Background Explorer (COBE) satellite”, *Astrophysical Journal*, vol. 354, p. L37-L40 (1990).

Elektricität” (Về những lượng tử cơ bản của vật chất và điện)². Cần nhắc lại là trong giai đoạn này, các bằng chứng thực nghiệm về sự tồn tại của nguyên tử như là đơn vị khối lượng nhỏ nhất không phân chia được của vật chất vẫn chưa rõ rệt. Giống như các nhà khoa học cùng thời, Planck không mấy mặn mà với những chuyện này. Thế nhưng điều này đã không ngăn cản ông áp dụng khái niệm nguyên tử để dự đoán thêm về tính lượng tử của các điện tích. Cũng bằng những tính toán đơn giản dựa trên vật lý thống kê và cơ sở thực nghiệm đã có sẵn (ta sẽ bàn thêm chi tiết trong phần sau), Planck dễ dàng xác định giá trị của điện tích cơ bản,

$$e = 4.69 \times 10^{-10} \text{ esu.}$$

Ta sẽ thấy cả ba hằng số h , k và e liên hệ rất chặt chẽ trong quá trình đo đạc, đến mức có thể nói là không tách rời nhau. Dĩ nhiên, mỗi một hằng số cơ bản này, h , k hay e , có những chức năng vật lý độc lập không liên quan đến nhau. Nhưng quả thật là trong các phép đo đạc với độ chính xác cao, ta không thể nói chuyện đo h mà không kể đến e , và không thể bàn về giá trị của e mà quên đi k . Số phận run rủi thế nào, mà cả ba con số riêng biệt này lại do một người duy nhất là Planck lần đầu chỉ ra.

Cho tới thời điểm này (1901), bức tranh vật lý về cấu trúc nguyên tử vẫn còn nhập nhằng lẫn lộn. Chỉ mới ba năm trước đó người ta mới biết đến hạt electron nhờ những nghiên cứu về tia cathode của Thompson. Những đo đạc tiếp theo cho thấy, các điện tích có vẻ biến thiên liên tục chứ không phải lượng tử hóa như Planck đã chứng tỏ. Bản thân Planck cũng không tự tin lắm với khái niệm Lượng tử của năng lượng do chính ông đề xuất. Ông cho rằng, công thức về phổ vật đen mà ông tìm ra dựa trên các phân tử năng lượng riêng biệt chỉ là “*kết quả may mắn của sự diễn dịch, mang tính nghi thức*”¹. Trong những công trình về sau không thấy ông đề cập đến từ “quantum.” Ông đã vất vả trong nhiều năm tìm lối đi vòng để tránh phát hiện của chính mình. Đến mãi 5 năm sau đó, khi Einstein nhập cuộc với quanta, và là người đầu tiên nhìn nhận đặc tính lượng tử phải nhất thiết là bản chất nội tại của tự nhiên để giải thích hiện tượng hiệu ứng quang điện, Planck vẫn còn e dè đến nỗi đã không thể chấp nhận công trình này. Sau này ông kể “*vài đồng nghiệp của tôi đã xem sự dè dặt này gần như là bi thảm*”^{[2],[6]}. Cũng nên kể thêm, là hơn 10 năm sau khi khái niệm Lượng tử ra đời, Rutherford thực hiện thí

² M. Planck, “Über die Elementarquanta der Materie und der Elektricität,” *Ann. d. Phys.* **4**, 564 (1901).

¹ I. Müller, *Ann. d. Phys.* **17**, 2-3, 73 (2008).

nghiệm bắn phá chùm hạt alpha (1911), giúp Bohr xây dựng nên mô hình nguyên tử (1913). Đây là một tiến triển đáng kể, nhưng có lẽ đối với Planck, công trình của Bohr vẫn còn mang đậm nét hiện tượng luận (phenomenological), rõ rệt nhất là thiếu sự chặt chẽ và kết nối so với các phương trình Maxwell trong lý thuyết điện từ. Trong diễn văn nhận giải Nobel (1919)¹, Planck đã giải thích kỹ hơn về những trăn trở của ông, và vì thế ta sẽ không phân tích thêm ở đây.

Một bài học mà chúng ta có thể rút ra được từ góc nhìn lịch sử hay xã hội học, là bản thân các nhà phát minh - mà Planck là một điển hình nổi bật - khi lập nên thành tựu khoa học của mình, họ không nhất thiết thông hiểu thấu suốt mọi việc mình làm (Einstein là một cá biệt hiếm hoi). Cần phải nói ngay, đây không phải là một thất bại của cá nhân Planck. Bởi đây là đặc điểm chung của giai đoạn tiên phong - 100 năm trước đây hay bây giờ đều như thế². Họ đối đầu các vấn đề gai góc với vốn thực nghiệm ít ỏi nếu không phải là sai lệch, và trang bị phân tích tương đối thô sơ. Trong bối cảnh nhập nhằng như ta đã nhắc lại ở trên mà Planck vẫn có thể đi một mạch đến các giá trị của h , k và e , cho thấy trực giác vật lý tuyệt vời của ông. Mặc khác, khó khăn của Planck là bế tắc chung của vật lý trong giai đoạn bấy giờ. Từ điểm thuận tiện của một trăm năm sau nhìn lại, ta thấy đây là những bế tắc mang tính dự báo, để dọn đường cho sự bùng nổ những thành tựu hoàn chỉnh sẽ đến hơn 25 năm sau đây - như nguyên lý bất định của Heisenberg, phương trình Schrödinger và phương trình Dirac. Ở đây ta thấy vai trò của h , mà Planck gọi là lượng tử hành động, không khác gì vai trò của c , vận tốc ánh sáng, trong các phương trình Maxwell.

Một bài học khác nữa liên quan trực tiếp đến chủ đề bao trùm của bài viết này, là vai trò của thực nghiệm trong việc củng cố các khái niệm và thúc đẩy tiến triển vật lý. Ở những tình thế đặc biệt, kết quả thực nghiệm buộc ta phải vứt bỏ những kinh nghiệm chủ quan hay cảm nhận thông thường để đối diện với thực tại (hơn 300 năm trước là chuyện trái đất xoay quanh mặt trời, gần đây thì tốc độ ánh sáng là không đổi, sắp tới là lưỡng tính hạt và

¹ M. Planck, Nobel Address (1919), at www.nobelprize.org.

² Trong lịch sử đã có không ít những sáng tạo khoa học tầm cỡ bị chối bỏ bởi chính người đã phát minh ra chúng. Schrödinger cũng đã muốn rút lại phương trình mang tên ông khi gặp phải những khó khăn về cách diễn dịch tính chất vật lý của hàm sóng. Trước Planck cũng đã có những đồn đại là nhà tự nhiên học Darwin, cha đẻ của chọn lọc tự nhiên và thuyết Tiến hóa, lúc cuối đời đã không còn tin vào công trình mang tầm cỡ thế kỷ của ông (xin nhắc lại đây là lời đồn đại thiếu kiểm chứng).

sóng của vật chất, và sau đó nữa là mối liên hệ bất định của năng lượng và thời gian, hay động lượng và không gian v.v...), nhưng hơn thế nữa, chúng tạo tiền đề cho sự nảy sinh nhận thức cũng như cảm thụ trực giác vật lý mới. Đây là một trong những điểm trọng tâm mà người viết sẽ cố gắng làm sáng tỏ xuyên suốt bài viết này. Công việc xác định giá trị của h bằng những phép đo độc lập mà ta sẽ bàn trong mục kế tiếp đây cố nhiên đóng vai trò tối hậu trong việc kiểm chứng giả thiết lượng tử của Planck. Nhưng điều quan trọng không kém là các kết quả đo đạc này đã khẳng định một thực tại vật lý mới mẻ để góp phần làm nên sự trỗi dậy của vật lý lượng tử sau nhiều năm gần như chìm trong quên lãng, và dẫn đến các thành quả lý thuyết hoàn chỉnh vào cuối thập niên hai mươi mà ta vừa kể ra ở trên.

2. Những công trình đo đạc ban đầu

Đặc tính “phổ quát” (universal) của một hằng số đòi hỏi nó phải thông dụng và vạn năng. Nếu h chỉ xuất hiện trong phổ bức xạ của vật đen không thôi thì đúng như là Planck đã nghi ngờ, giá trị của h chỉ là tính “nghi thức.” Việc tìm các trường hợp vật lý khác có vai trò của h vì thế trở nên vô cùng cấp thiết. Trong mục này ta sẽ bàn đến hai phương thức độc lập để xác định h , cả hai phương thức cổ điển này ta đã nhắc sơ qua ở phần trước. Phương thức thứ nhất dùng hiệu ứng quang điện, và thứ hai là thông qua hằng số Rydberg và mô hình nguyên tử của Bohr. Bởi vì giá trị của h bị chi phối từ các sai số trong đo đạc của e hoặc k , ta cũng sẽ bàn đến phương thức độc lập để xác định hai hằng số này ở phần cuối mục này.

2.1. Hiệu ứng quang điện

Einstein là người đầu tiên hưởng ứng khái niệm lượng tử của Planck, và ông áp dụng khái niệm này để giải thích hiệu ứng quang điện¹. Với phong cách rất đặc trưng của mình, trong công trình này Einstein còn đi xa hơn nữa bằng việc giới thiệu đặc tính hạt của ánh sáng, mở ra khái niệm về bản chất lưỡng tính sóng/hạt của vật chất (hay hạt cơ bản)².

Pin mặt trời, tên thông dụng ngày nay của hiệu ứng quang điện, lần đầu được phát hiện bởi Hertz; ông cũng là nhà thực nghiệm đã chứng minh

¹ A. Einstein, “Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt,” *Annalen der Physik*, vol. 322, Issue 6, pp.132-148 (1905). English translation, “A Heuristic Interpretation of the Radiation and Transformation of Light,” in *100 years of Planck’s Quantum*, edited by I. Duck and E. Sudarshan (2000).

² A. Einstein, *Physikalische Zeits*, 10, 817 (1909), *English translation in 100 years of Planck’s Quantum*, edited by I. Duck and E. Sudarshan, (2000).

bản chất sóng điện từ của ánh sáng. Hertz để ý (1887) là khi chiếu ánh sáng lên bề mặt một số kim loại, thì ông thấy dòng điện xuất hiện trong các kim loại ấy. Lenard sau này (1903) còn cho thấy là cường độ dòng điện gia tăng theo tần số ánh sáng¹. Chi tiết mới mẻ này làm ta nhớ đến phương trình (1) của Planck và có lẽ là điểm tựa làm đòn bẩy cho giả thiết của Einstein. Luận của Einstein khá đơn giản: cường độ dòng điện hay là động năng của electrons trong kim loại tất yếu phải đến từ năng lượng của ánh sáng, theo kiểu như viên bi trắng (là ánh sáng) va vào viên bi xanh (là các điện tử) và khiến viên bi xanh chuyển động. Có nghĩa là ánh sáng là một tập hợp gồm nhiều "hạt" năng lượng mà Einstein gọi là *das Lichtquantum* hay lượng tử ánh sáng (từ photon lúc này chưa xuất hiện²). Nghe thì quả thật đơn giản nhưng điều này mâu thuẫn dữ dội với bản chất sóng của ánh sáng mà ta đã kinh nghiệm qua các hiện tượng nhiễu xạ và giao thoa.

Tính cách cách mạng trong giả thiết của Einstein về bản tính hạt của ánh sáng là đánh giá công bằng của lịch sử. Nhưng ở vào thời điểm ấy không mấy ai tin tưởng đề xuất của Einstein. Như đã đề cập ở trên, Planck xem việc vực dậy khái niệm Lượng tử là một sai lầm. Còn các nhà thực nghiệm? Các nhà thực nghiệm chín chắn và đầy ngờ vực của chúng ta đã nghĩ gì? Có lẽ trong số này ít người xem việc làm của Einstein là cách mạng. "... liệu lĩnh nếu không nói là ấu tã."³ Đây là nhận định ban đầu của Millikan về giả thiết bản tính hạt của sóng điện từ. Trong vật lý, phản ứng gay gắt, nồng hậu hay vô cảm không phải là lời phán quyết cuối cùng; thực nghiệm mới là. Ta cũng biết chính Millikan, chứ chẳng phải ai khác, là người sau này đã chứng thực lý thuyết của Planck và Einstein.

Bản chất lưỡng tính hạt/sóng của ánh sáng phải chờ đến 20 năm sau, khi nguyên lý bất định ra đời ta mới có lời giải đáp thỏa đáng. Nhưng trước mắt Einstein cũng chỉ cho thấy có thể kiểm chứng mối liên hệ giữa cường độ dòng điện và năng lượng của ánh sáng. Để xác định động năng của electron ta chỉ việc dùng một hiệu điện thế. Tần số ánh sáng càng cao thì phải càng tăng hiệu điện thế V để tiếp tục giữ cho cường độ dòng điện hay vận tốc v là zero. Tức là,

$$mv^2/2 = V \bullet e = h\nu - p, \quad (3)$$

¹ P. Lenard, *Ann d. Phys.* 12, 469, (1903).

² G. N. Lewis là người đầu tiên gọi các lượng tử ánh sáng là photon (1926).

³ R. A. Millikan, "A Direct Photoelectric Determination of Planck's h ", *Phys. Rev.* Vol VII, No. 3, 355 (1916).

$$\text{hay } \Delta V/\Delta \nu = h/e, \quad (4)$$

với p là năng lượng cần thiết để dứt electron ra khỏi kim loại¹. Vấn đề lý thuyết của hiệu ứng quang điện thực sự chỉ có thể (và Einstein được trao giải Nobel là nhờ phương trình (3), vốn chỉ là một phần khiêm tốn trong toàn bộ bài viết này của ông). Công tác thực nghiệm tương chừng như không thể rõ ràng hơn; đo mức biến thiên của hiệu điện thế với tần số ánh sáng, và sự biến thiên sẽ là đường thẳng với độ dốc là tỉ số h/e . Ở đây, ta bắt gặp tên tuổi các nhà thực nghiệm đã từng “vang bóng một thời” vào cuộc: Stark² (vào năm 1911), rồi Richardson³ cộng tác với Compton⁴ (vào năm 1912 và 1914) và một số các nhà thực nghiệm khác. Thế nhưng kết quả ban đầu đã cho thấy việc đo đạc sẽ không đơn giản. Trong bài báo cáo (1916) của mình, Millikan thuật lại rằng Ladenburg tuyên bố là các dữ kiện thực nghiệm của ông cho thấy là $\sqrt{V}$ - chứ không phải V - tuyến tính với ν . Cũng những dữ kiện này, Hughes đem phân tích lại thì thấy quả là V chứ không phải $\sqrt{V}$, tuyến tính với ν ! Gần mười năm sau khi Einstein công bố công trình của ông, cha đẻ electron là Thompson tổng kết (1914), “các kết quả thực nghiệm cho đến bây giờ nói chung là cho thấy có [mối liên hệ tuyến tính giữa V và ν], nhưng tôi cũng phải thú nhận rằng các bằng chứng thực nghiệm trực tiếp ... là nghèo nàn [và kém thuyết phục].”

Trong công trình được xem là kinh điển này, Millikan đã tổng kết những vấn đề kỹ thuật mà có thể đã dẫn đến hàng loạt các kết quả thực nghiệm sai lạc. Một trong những yếu tố chính là các thí nghiệm này đã không thực hiện trong môi trường chân không, và tần số ánh sáng bị giới hạn trong một dải quá ngắn.

Millikan là người đầu tiên giải quyết thỏa đáng tỉ số h/e theo đúng như Einstein đã chỉ ra trong phương trình (4). Trước đó vài năm Millikan cũng đã lần đầu chứng tỏ sự lượng tử hóa của điện tích bằng thí nghiệm “Giọt

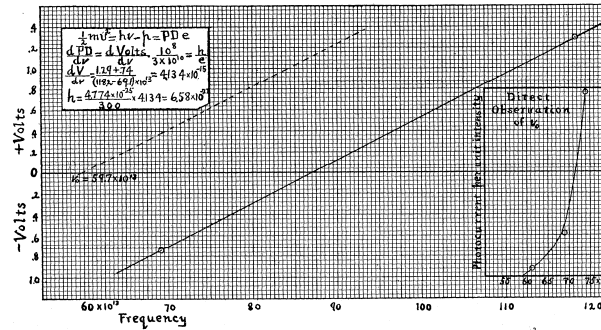
¹ p còn gọi là năng lượng cách biệt (energy gap), lúc này chỉ là một hiệu số với vai trò mờ nhạt nhưng mang ý nghĩa thực dụng rất rõ. Nếu tần số ánh sáng quá thấp, như tần số sóng radio hay cao tần, thì năng lượng ánh sáng sẽ không vượt qua được p của hầu hết các kim loại và kết quả là dòng điện sẽ không xuất hiện. Việc chế tạo vật liệu để có thể kiểm soát được p và tạo ra dòng điện là một lĩnh vực nghiên cứu sôi động của vật lý chất rắn. Về cơ bản, các hệ cảm biến chế tạo cho dây sóng cao tần dùng vật liệu siêu dẫn như mối nối SIS (superconductor-insulator-superconductor junction) cũng chỉ là nhằm giảm mức cách biệt năng lượng p này.

² Nobel 1918.

³ Nobel 1928.

⁴ Nobel 1927.

Dầu” nổi tiếng (1911)¹, và xác định giá trị của e là $4.774 \pm 0.009 \times 10^{-10}$ esu hay. Dùng con số này và tỉ số h/e đo được, ông suy ra h là 6.57×10^{-34} J.sec với sai số là 0.5%. Ta thấy ngay là cả hai giá trị này đều thống nhất với tiên đoán của Planck².



Hình 2. Hiệu ứng quang điện cho phép chúng ta xác định tỉ số h/e , chỉ là độ dốc của đường biểu diễn Volts vs. tần số. Đồ thị trên là dữ liệu của Millikan xác định $h/e = 4.134^{15}$ (đơn vị cgs) với sai số là 1%. Ở đây ta thấy h & e đi đôi với nhau. Ngay cả trong các phép đo hiện đại, ta sẽ thấy việc đo đạc h sẽ còn tiếp tục tùy thuộc vào giá trị của e .

2.2. Hằng số Rydberg và mô hình nguyên tử của Bohr

Balmer, một giáo viên trung học trường nữ ở Basle, Thụy Sĩ, lần đầu tìm thấy công thức thực nghiệm cho sự phân bố các vạch phổ của khí hydro (1885),

$$\lambda_m = 3646 \times n^2 / (n^2 - 1) \quad (5)$$

với $n = 3, 4, 5, \dots$. Và Balmer có thể tiên đoán bước sóng của 9 vạch đầu tiên của chuỗi phổ hydro (thời ấy người ta chỉ thấy tất cả có 9 vạch) với sai số là 1 phần ngàn! Rydberg (1890) viết lại phương trình (5) như sau,

$$1/\lambda = R_\infty (1/2^2 - 1/n^2) \quad (6)$$

với R_∞ là hằng số Rydberg cho khí hydro, ngày nay có giá trị là

$$R_\infty = 10\,973\,731.568\,527(73) \, m^{-1}$$

Với sai số là 6.6×10^{-12} , R_∞ là hằng số được biết với độ chính xác cao nhất trong tất cả các hằng số vật lý.

Như ta đã học trong các lớp vật lý lượng tử đại cương, Bohr sau này xây dựng mô hình nguyên tử với các quỹ đạo của electron được lượng tử hóa và cho thấy các vạch phổ chỉ là năng lượng dôi ra khi electron chuyển từ quỹ đạo ngoài vào trong. Bohr tìm ra công thức nổi tiếng, cho thấy R_∞ là kết hợp

¹ R. A. Millikan, "The Isolation of an Ion, a Precision Measurement of its Charge, and the Correction of Stokes's Law," *Phys. Rev.* Vol. 32, 349 (1911).

² Millikan được trao giải Nobel (1922) qua hai công trình này.

của các hằng số cơ bản,

$$R_{\infty} = 2\pi^2 m_e e^4 / h^3 c. \quad (7)$$

Dùng công thức này, vào thời ấy người ta đo được giá trị của hằng số Planck là $6.542 \pm 0.011 \times 10^{-34}$ J.sec.

Để ý là trong giá trị trên của R_{∞} ta đã điều chỉnh khối lượng của electron m_e thành $m_e M / (m_e + M)$, với M là khối lượng hạt nhân của hydrogen. Với hydro nhẹ, tỉ số trên là 1,000 545, với deuterium là 1,000 272, và với tritium là 1,000 182. Ta cũng phải kể thêm yếu tố điều chỉnh của cấu trúc tinh thể, cỡ chừng vài phần triệu. Và dấu đây là một điều chỉnh vô cùng nhỏ, nhưng ý nghĩa: bởi ta phải cần đến những phát triển sau này của điện động lực học lượng tử (quantum electro dynamic hay là QED). Giá trị chính xác của R_{∞} là một trong những bằng chứng hùng hồn nhất về sự cần thiết của việc nâng cao độ chính xác trong việc đo đạc một hằng số: bởi công thức của Bohr không thuật hết câu chuyện, mà phải cần đến Dirac và QED mới đạt được sự thống nhất giữa lý thuyết và thực nghiệm¹.

2.3. Tán xạ Tia X và số Avogadro

Planck xác định điện tích của electron là dựa trên kết quả của hằng số Faraday, thực chất chỉ là điện tích của 1 mole hay là 6.02×10^{23} electrons. Vấn đề xác định điện tích của electron trong trường hợp này vì vậy bị chi phối bởi mức độ chính xác của số Avogadro hay A . Thực ra Planck trong công trình đã dẫn (5) đã nhằm giá trị của A (còn gọi là hằng số Locksmith) với một giá trị khác. Điều may mắn là sự nhầm lẫn này lại đưa đến giá trị đúng đắn của e ! Phương cách phổ thông² (tiên phong bởi Bragg và con của ông) xác định A trong giai đoạn này là lấy tỉ số của thể tích của một mole chia cho thể tích của một tế bào tinh thể,

$$A = 8V_{mole}/V_{cell} = 8M/\rho a_0^3, \quad (8)$$

với M là khối lượng của 1 mole và ρ là mật độ thể tích, a_0 là cạnh của khối lập phương của tế bào tinh thể. Vào thời điểm này người ta đã có thể xác định a_0 khá chính xác nhờ phương thức tán xạ các mạng tinh thể bằng quang tuyến-X. Đây cũng là cách xác định điện tích của electron độc lập với thí nghiệm “Giọt dầu” của Millikan. Và nhờ đây mà các nhà vật lý phát hiện con số của Millikan nhỏ hơn gần 1%.

¹ G.W. Series, “The Rydberg Constant,” Contemporary Physics, vol. 14, no. 1, 49-68 (1974).

² P. Becker et al., “Towards an atomic realization of the kilogram: The measurements of N_A and $N_A h$,” in “Metrology and Fundamental Constants,” Proceeding of the International School of Physics Enrico Fermi, Course CLXVI, 519, (2007).

k , hằng số Boltzmann liên hệ với số Avogadro qua hằng số khí lý tưởng R , $k = R/A$. Ta thấy là k và e đều bị chi phối bởi A .

2.4 Kết luận sơ bộ

Năm 1919, Birge tổng kết các giá trị đo được của h với bài viết tựa đề, “Giá trị cái nhiên nhất của hằng số Planck, h .”¹ Đây là công trình đầu tiên trong loạt các bài phân tích những dữ kiện về h , e và các hằng số cơ bản khác liên tục hàng mấy chục năm sau đó của ông. Birge liệt kê 7 phương pháp đo đặc thực hiện bởi các nhóm khác nhau, trong đó có 4 phương pháp mà ta vừa kể ở trên (kể cả quy luật bức xạ của Planck). Hết thấy những phương pháp này đều cho giá trị na ná như nhau, điều khác biệt quan trọng ở đây là mức độ chính xác hay sai số trong phép đo đặc có phần khác nhau. Rồi ông kết luận, “Do vì phương pháp dùng bởi Millikan là trực tiếp, giá trị e có khả năng là gần đúng. Chúng ta do đó kết luận là $h = (6.5543 \pm 0.0025) \times 10^{-34}$ joule.sec, tuy nhiên cũng ghi nhận rằng thêm vào sai số kể trên, giá trị này giả định tính đúng đắn của 4.774 như là giá trị của e , và thực ra mang một sai số chừng hơn 1 phần trăm.” (NTH gạch dưới)

Đây là các giá trị ngày nay² (theo hệ thống SI),

$$h = 6.626\,068\,96(33) \times 10^{-34} \text{ J s,}$$

$$e = 1.602\,176\,487(40) \times 10^{-19} \text{ C.}$$

So với giá trị ngày nay với sai số chỉ vài chục phần tỉ, hai con số của Millikan và các đồng nghiệp cùng thời với ông chỉ khác chừng hơn 1%. Tức là về cơ bản các bậc tiền bối đã hoàn thành xuất sắc công tác thực nghiệm. Tuy vậy, về mặt chuyên môn, sai số 1% là một sự khác biệt đáng kể khi so với sai số chưa đầy một phần ngàn trong giá trị mà Birge kết luận ở trên. Phải mất thêm gần 15 năm nữa chúng ta mới thấu rõ cội nguồn của phần lớn sai số này; là do giá trị sai lệch của e đúng như Birge đã nhắc nhở. Ở đây ta thấy sự cẩn trọng của Birge là hết sức cần thiết. Thực ra, nếu xét một cách công bằng thì trong phần phân tích của Millikan về sai số của e trong công trình “Giọt dầu” đã dẫn ở trên, ông đã có chỉ rõ rằng một sai số tiềm ẩn lớn nhất của e có khả năng bị chi phối bởi giá trị viscosity hay độ nhớt của dầu. Các kết quả giám định về sau cho thấy quả thật độ nhớt của dầu mà Millikan dùng là bị sai chừng 1%.

¹ Birge, R. “The Most Probable Value of the Planck Constant h ,” *Phys. Rev.*, vol. 14, Issue 4, pp. 361-368 (1919).

² P. J. Mohr, B. N. Taylor, and D. B. Newell, “CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants,” *Rev. Mod. Phys.* 77(1), 1, (2007).



Hình 3. Bức tượng bán thân của Robert Millikan tại khoa Vật lý, California Institute of Technology (Caltech). Millikan được xem là một trong ba nhà khoa học sáng lập trường (Ảnh của Greg Griffin).

Feynman, sau này công tác tại Khoa Vật lý của Caltech và cũng là người có tiếng là nghĩ gì nói vậy, đã nhận định chuyện này như sau.

“Chúng ta học được nhiều từ kinh nghiệm làm sao để xử lý một số cách mà mình tự làm dối mình... Điều lý thú khi nhìn lại lịch sử đo điện tích của electron sau Millikan. Nếu ông vẽ nó ra như là hàm số theo thời gian, ông thấy là con số sau lớn hơn của Millikan chút xíu, rồi con số theo sau đó hơn chút xíu nữa, cho đến cuối cùng họ dừng lại ở con số cao hơn chút nữa.”

“Tại sao họ đã không phát hiện ra con số cao ngay từ đầu đi? Đây là cái điều các khoa học gia rất xấu hổ - cái chuyện này - bởi vì có vẻ như người ta làm những chuyện như vậy: khi họ có một con số quá cao hơn giá trị của Millikan, họ nghĩ chắc có điều gì sai trái, rồi họ ráng tìm cho ra lý do. Khi họ có con số gần con số của Millikan, họ không nhìn kỹ hơn. Vậy rồi họ loại bỏ những con số khác biệt quá, rồi là những chuyện đại loại như vậy. Ngày nay, chúng ta đã học được những cái mẹo này, thành ra chúng ta không bị những căn bệnh như vậy.”

“Nhưng mà câu chuyện dài về việc làm sao để biết mà tránh tự dối mình - để giữ cho được tính ngay thẳng trong khoa học - ừ, tôi cũng xin lỗi mà nói, là những điều mà chúng ta không có dạy trong lớp học. Chúng tôi chỉ mong sao các bạn sẽ bị bắt quả tang [về lâu dài vì chuyện sẽ lộ ra].”

“Nguyên tắc đầu tiên là bạn đừng tự dối mình - và chính mình là người dễ lừa dối mình nhất. Bạn phải cẩn thận.”¹

3. Các phép đo hiện đại

Giá trị của h , k và e như vậy về cơ bản đã được giải quyết thỏa đáng từ sau công trình của Millikan và phổ của khí hydrogen; bức tranh lớn của tự

¹ R. Feynman, “Cargo Cult Science”, Adapted from the Caltech commencement address given in 1974.

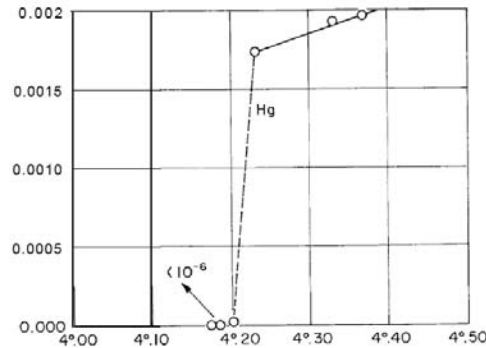
nhiên đã được khẳng định. Từ đó đến nay đã gần một trăm năm, số lượng dữ liệu và các phương thức đo đạc các hằng số này đã trở nên vô cùng tinh vi. Ngày nay, mức độ chính xác của những giá trị này đã được xác định lên đến vài phần tỉ. Tại sao phải cần thiết đo chính xác đến như vậy? Và chính xác như thế nào là đủ? Câu trả lời sẽ tùy vào mỗi cá nhân. Nhưng xét cho cùng, giá trị thật của một hằng số không phải chỉ là có bao nhiêu con số ý nghĩa đếm được. Câu hỏi trọng tâm nên là, ta sẽ làm gì với những chuỗi số này? Có thêm một con số theo sau chuỗi số vốn đã dài là một thử thách thực nghiệm đáng kể và sẽ thúc đẩy việc phát triển kỹ thuật (xem mục 4), nhưng không phải là điều duy nhất chúng ta nhắm đến. Điều chúng ta quan tâm là sự thống nhất giữa các cơ chế vật lý mà giá trị hằng số mang lại. Cho đến thời điểm mà ta đang xét, hầu hết các phát triển về lượng tử liên quan đến vai trò của h đều chịu tác động trực tiếp từ các vấn đề thực nghiệm. Các phát hiện thực nghiệm như luật bức xạ, hiệu ứng quang điện hay vạch phổ của khí hydrogen đã dẫn trước lý thuyết hàng ba bốn chục năm. Dưới đây ta sẽ kể thêm một phát hiện thực nghiệm khác dẫn đường tiếp một giai đoạn nữa, trước khi nhường vai trò đi đầu lại cho lý thuyết. Ta sẽ thấy các nghiên cứu lý thuyết này dẫn đến một phép đo tỉ số h/e hết sức lạ lùng và bất ngờ. Và kết quả là vật lý lượng tử sẽ được kiểm chứng một cách cực kỳ chính xác, có thể nói chính xác nhất trong toàn bộ các nền tảng lý thuyết của vật lý học hiện đại.

Bạn đọc tinh ý có lẽ đã nhận thấy tỉ số h/e mang đơn vị tương đương là *volts x giây*, đây cũng là đơn vị của từ thông. Như vậy, từ thông buộc phải có một vai trò gì đấy trong các cơ chế vật lý xác định tỉ số này. Duyên nợ của tỉ số h/e với các nhà vật lý trở nên sôi động và đầy kịch tính vào năm 1962. Sự việc bắt nguồn từ các nghiên cứu về đặc tính vật lý của các electrons trong môi trường siêu dẫn, một hiện tượng kỳ lạ đã được biết đến từ hơn nửa thế kỷ trước đó.

3.1. Hiện tượng siêu dẫn, hiệu ứng Meissner và sự lượng tử hóa từ thông.

Năm 1908, Kamerlingh Onnes và các cộng sự ở Đại học Leiden, Hà Lan, lần đầu tiên hóa lỏng thành công helium ở nhiệt độ sôi là 4.2 K. Họ đã vượt qua nhóm của James Dewar ở Cambridge trên hành trình khai phá vùng nhiệt độ thấp. Dewar vốn là người đi tiên phong trong các kỹ thuật làm lạnh, ông là người đầu tiên đã hóa lỏng thành công hydrogen (nhiệt độ sôi là 20.3 K) mười năm trước đó. Trong quá trình hóa lỏng khí helium, Onnes

cũng đã phải sử dụng chất lỏng hydrogen của Dewar cung cấp¹. Thành công này bước đầu ghi nhận khả năng thực nghiệm đáng nể từ nhóm nghiên cứu của Onnes tại Leiden. Ba năm sau, Onnes lập tiếp một kỳ tích vang dội: ông phát hiện ra điện trở của thủy ngân biến mất hoàn toàn khi nhiệt độ của nó giảm xuống dưới 4.2 K. Onnes gọi hiện tượng này là siêu dẫn (xem hình 4).



Hình 4. Hiện tượng siêu dẫn của thủy ngân phát hiện bởi Onnes vào năm 1911, cho thấy điện trở của thủy ngân biến mất dưới 4.2K. (Tài liệu lấy từ bài diễn văn Nobel của Schrieffer²)

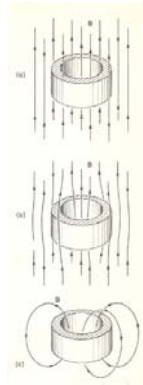
Như ta đã biết, là bên trong vật dẫn điện hoàn hảo, tức là vật với điện trở là zero, điện trường E cũng là zero. Theo Maxwell, thì $\nabla \times E$ hay $\partial B / \partial t$ cũng bằng zero, như vậy từ trường B sẽ không thay đổi. Tức là nếu ban đầu có từ trường B , khi ta hạ nhiệt độ để vật chuyển từ bình thường sang siêu dẫn, thì bên trong vật siêu dẫn vẫn còn nguyên B theo như vật lý cổ điển. Trái với dự đoán này, vào năm 1933, thí nghiệm của Meissner cho thấy là vật liệu trong quá trình chuyển trạng thái từ bình thường sang siêu dẫn sẽ đẩy từ trường ra khỏi chúng! Dựa trên cơ sở này, hai anh em H. London và F. London đoán là mật độ dòng điện siêu dẫn tỉ lệ với vector thế năng A , điều này khác hẳn với định luật Ohm của vật dẫn điện, vốn cho rằng mật độ dòng điện tỉ lệ với điện trường E . Từ đây anh em nhà London có thể giải thích một số tính chất điện từ của vật siêu dẫn, đáng kể nhất là hiệu ứng Meissner đã nói đến ở trên (xem hình 5). Các đặc điểm điện và từ trong vật chất, từ cách điện hay dẫn điện đến bán dẫn rồi siêu dẫn, tất cả cơ bản là bị chi phối phần lớn bởi sự vận hành của các điện tử hay là electrons bên trong những môi trường này. Và ảnh hưởng của môi trường (chủ yếu là các mạng

¹ D. van Delft, "Little cup of helium, big science," *Physics Today*, p. 36, March (2008).

² Schrieffer, Nobel address, at www.nobelprize.org.

trình thể) trên những chuyển dịch của các điện tử cũng rất quan trọng. Năm 1957, Bardeen, Cooper và Schrieffer chỉ ra rằng sự tương tác giữa các electrons và những dao động của mạng tinh thể làm cho những electrons, vốn cùng điện tích, hút nhau. Bình thường, các electrons là fermion và mỗi hạt điện tử chiếm trạng thái riêng. Ở nhiệt độ thấp, lực hút giữa hai electrons làm chúng kết đôi với nhau và trở nên boson, và cho phép hết thảy electron tụ lại trong cùng trạng thái, tạo nên dòng điện siêu dẫn hay siêu dòng điện.

Vật siêu dẫn mà ta nói đến ở trên là một khối kim loại đặc (như chì, nhôm hay niobium, v.v...). Nếu ta dùng các vật liệu này để làm một cái vòng, rồi hạ thấp nhiệt độ cho nó trở nên siêu dẫn, thì Fritz London tiên đoán (1948) là từ thông tạo bởi các điện tích trong vòng siêu dẫn sẽ được lượng tử hóa¹. Lúc ấy cũng ít người hiểu điều này và cũng chẳng ai để ý. Đây là một lý do tại sao chẳng mấy khi lý thuyết đi trước thực nghiệm: ít ai tin vào những tiên đoán lý thuyết.



Hình 5. Hiệu ứng Meissner và sự lượng tử hóa từ thông. a) Trạng thái bình thường. b) Trạng thái siêu dẫn. c) Sau khi tắt từ trường B. Tài liệu từ "The Feynman Lectures on Physics - Quantum Mechanics", bởi R. Feynman, R. Leighton và M. Sands (1965).

Căn nguyên của sự lượng tử hóa từ thông đi từ tính đơn trị của hàm sóng Ψ của các điện tích. Như Schrödinger đã chỉ ra,

$$\Psi = \Psi_0 \exp(i\theta), \quad (9)$$

với Ψ_0 là biên độ của hàm sóng, và θ là pha (xem các sách giáo khoa, như Feynman Lectures in Physics). F. London cho thấy là động lượng (momentum) của các điện tích tùy thuộc vào tổng của vector thế năng và pha của hàm sóng. Khi động lượng của các điện tích bằng không (tức là

¹ F. London, "On the Problem of Molecular Theory of Superconductivity" *Phys. Rev.* vol 74, no. 5, 562 (1948).

dòng điện bằng không), thì pha θ của hàm sóng liên hệ với vector thế năng A như sau,

$$h\nabla\theta = 2\pi qA, \quad (10)$$

Khi ta lấy tích phân của vector thế năng dọc theo đường bên trong vòng siêu dẫn, ta có từ thông. Phương trình trên trở nên,

$$\oint_{\text{vòng kín}} \nabla\theta \cdot ds = q/h \oint_{\text{vòng kín}} A \cdot ds = 2\pi q/h \Phi \quad (11)$$

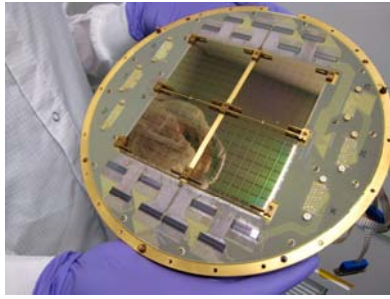
Lập luận của F. London dựa trên tính đơn-trị của hàm sóng. Khi ta đi quanh đúng 1 vòng, pha của hàm sóng sẽ thay đổi. Nhưng để cho giá trị của hàm sóng không đổi thì pha của hàm sóng phải thay đổi đúng bằng $2\pi n$, với n là số nguyên 1, 2, 3.... Kết quả là từ thông tạo bởi dòng điện này mang giá trị là

$$\Phi = n \times h/q \quad (12)$$

với q là điện tích. Với q bằng e , điện tích của electron, lượng tử từ thông là $h/e \sim 4 \times 10^{-15}$ volt.giây (hay 4×10^{-7} gauss.cm²).

Phải đến 13 năm sau, năm 1961, người ta mới kiểm chứng được lời tiên đoán của F. London. Phần dưới đây lược trích từ các bài giảng vật lý của Feynman, "Trong thí nghiệm của Deaver và Fairbank, một hình trụ nhỏ làm bằng vật liệu siêu dẫn, sợi dây đồng tráng thiếc có đường kính là 0.013 mm. Thiếc siêu dẫn ở $T = 3.8K$, còn đồng thì vẫn dẫn điện bình thường. Sợi dây được để trong một từ trường, và nhiệt độ được hạ thấp cho đến khi thiếc trở nên siêu dẫn rồi từ trường được tắt đi. Theo luật Lenz thì từ thông bên trong hình trụ không thay đổi, và mômen từ phải tỉ lệ thuận với từ thông bên trong. Và người ta đo mômen từ trong sợi dây siêu dẫn bằng hiệu ứng Faraday: để một vòng dây cuốn quanh sợi dây siêu dẫn và khi sợi dây siêu dẫn dao động thì sẽ tạo ra hiệu điện thế trong vòng dây cuốn.

Deaver và Fairbank thấy từ thông quả là được lượng tử hóa, nhưng đơn vị cơ bản chỉ bằng một nửa giá trị mà London đã tiên đoán. Thêm một nhóm khác, Doll và Nabauer, cũng thấy tương tự. Lúc đầu, người ta không hiểu. Nhưng sau đó người ta nhận ra là $q = 2e$, là điện tích của cặp đôi Cooper."



Hình 6. Hệ cảm biến dùng Transistion Edge Sensor, một trong những ứng dụng kỹ thuật mới nhất sử dụng đặc tính siêu dẫn. Trong ảnh là hệ cảm biến TES chế tạo tại Jet Propulsion Laboratory và squid (superconducting quantum interference device - một ứng dụng của hiệu ứng Josephson) chế tạo bởi Viện Tiêu chuẩn Kỹ thuật (NIST, Colorado). Đây là phần tâm của các thí nghiệm đo tính phân cực của bức xạ nền của các thí nghiệm ở Nam Cực¹ (BICEP và SPUD/Keck) và bằng bóng thám không² (Spider), cả hai thí nghiệm này sẽ đi vào hoạt động vào năm 2010.

3.2. Hiệu ứng Josephson

Giả sử ta có hai vật siêu dẫn được nối với nhau bằng một lớp cách điện. Cách sắp đặt như vậy còn gọi là mối kết Josephson. Josephson tiên đoán rằng, *trong mối kết siêu dẫn-cách điện-siêu dẫn (SIS) luôn có dòng điện siêu dẫn cho dù V bằng 0 thì siêu dòng điện này vẫn khác zero*. Đây là hiệu ứng Josephson³.

Cường độ dòng điện sẽ biến thiên như sau,

$$I = I_c \sin \varphi, \quad (13)$$

Josephson còn cho thấy thêm là khi đặt một hiệu điện thế dc V_0 ngang mối nối SIS, ta sẽ có dòng điện ac với tần số f bằng tích của V_0 với lượng tử của từ thông,

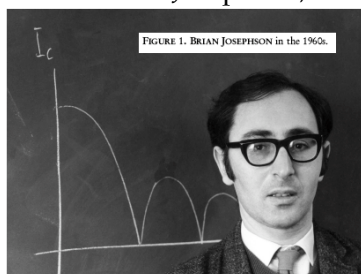
$$f \equiv d\varphi/dt = 2e/h \times V_0 \quad (14)$$

¹ H. T. Nguyen et al., "BICEP2/SPUD: Searching for inflation with degree scale polarimetry from the South Pole," To appear in Proceedings of SPIE Volume 7010, Editors: Jacobus M. Oschmann, Jr.; Mattheus W. M. de Graauw; Howard A. MacEwen, "Space Telescopes and Instrumentation 2008: Optical, Infrared, and Millimeter".

² B. Crill et al., "SPIDER: A Balloon-borne Large-scale CMB Polarimeter," To appear in Proceedings of SPIE Volume 7010, Editors: Jacobus M. Oschmann, Jr.; Mattheus W. M. de Graauw; Howard A. MacEwen, "Space Telescopes and Instrumentation 2008: Optical, Infrared, and Millimeter".

³ B. Josephson, "Possible new effects in superconductive tunneling," *Phys. Lett.*, vol 1., 251 (1962).

Các phương trình (13) và (14) còn gọi là phương trình Josephson. Các tính toán chi tiết cho thấy là I_c có dạng hàm số Bessel (điều này giải thích đường biểu diễn trong tấm hình của Josephson, hình 7 và 8).



Hình 7. Brian Josephson vào những năm 1960

Câu chuyện sau đây được thuật lại bởi Donald McDonald¹ trên tạp chí *Physics Today* (Vật lý Ngày nay) và là một bài học điển hình về phong cách tư duy và phương thức khoa học. Nó cho thấy các khoa học gia, dù ý thức rất rõ giới hạn trực giác vật lý của họ, vẫn vấp phải những sai lầm đáng kể do sự chủ quan khó tránh khỏi.

Hai nhân vật chính là Giáo sư John Bardeen và anh học trò Brian Josephson. Bardeen đạo ấy là nhà vật lý chất rắn hàng đầu, ông vốn là cha đẻ của transistor (Nobel 1956), là nhân tố mang đến những tiến bộ kỹ thuật nhảy vọt làm thay đổi hẳn nếp sống hiện đại. Như đã thấy ở trên, Bardeen còn là cha đẻ của lý thuyết BCS sau này đã mang lại giải Nobel thứ hai cho ông. Còn Josephson chỉ là anh sinh viên năm đầu cao học vật lý tại Cambridge.

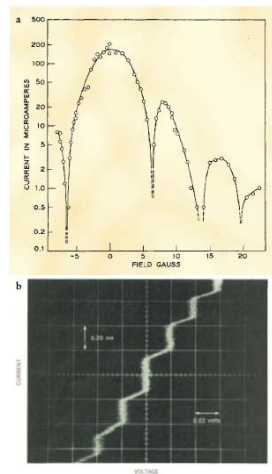
Công trình của Josephson gửi đến *Physics Letters* vào ngày 8 tháng Sáu 1962. 25 tháng Bảy, Bardeen gửi đến *Physical Review Letters* bài viết phản hồi lại Josephson. Tháng Chín 1962, Josephson và Bardeen lần đầu được dịp mặt đối mặt. Cả hai về Queen Mary College để tham dự Hội nghị Quốc tế lần thứ Tám về Vật lý Nhiệt độ thấp. Một nhân vật trong câu chuyện thuật lại. "[Josephson] vừa công bố lý thuyết của mình trên *Physics Letters*, và một trong những nhiệm vụ của tôi là xem thử có đáng theo đuổi hay không... Lúc ấy tôi không hiểu lý thuyết này, nhưng lần gặp ở Cambridge, có sự hiện diện của Pippard, làm tôi tin là Josephson là đặc biệt... Kể đó, tôi nhớ là tôi giới thiệu Josephson với Bardeen ở London, khi ấy mọi người đứng rải rác trong hội trường lớn. Josephson cố giải thích lý thuyết của mình cho John Bardeen nghe. Nhưng Bardeen khẽ lắc đầu rồi nói, 'Tôi

¹ D. McDonald, "The Nobel Laureate versus the Graduate Student," *Physic Today*, p. 46 July (2001).

không nghĩ vậy, bởi vì ông đã suy nghĩ cẩn thận vấn đề này trước rồi. Tôi đứng đó suốt cuộc đối thoại ngắn ngủi. Xong Bardeen bỏ đi, và Josephson đã rất bức tức. Hẳn không hiểu nổi sao mà Bardeen có thể là một nhà khoa học nổi tiếng cho được!”

Bardeen sau đó khai mạc hội nghị với bài giảng kỷ niệm Friz London. Bữa sau đến phiên Josephson trình bày công trình của mình, ông tiên đoán là cặp đôi cooper trong vật siêu dẫn sẽ chui qua vật cách điện, và sẽ là một hiệu ứng mạnh. *“Vừa xong thì Bardeen đứng lên diễn tả lý thuyết của ông ta về sự chui hầm của hạt electron đơn lẻ, và nhắc rằng cặp đôi cooper không thể vượt qua được rào cản của vật cách điện. Trong khi Bardeen nói, Josephson cắt lời ông ta. Cuộc trao đổi qua lại nhiều lần, với Josephson đáp trả từng lời chỉ trích một. Quang cảnh khá là ôn hòa, bởi cả hai đều ăn nói nhẹ nhàng, không bị cuốn vào những phát biểu gay gắt, dù lịch sử sau này đã chứng tỏ, một giải Nobel đang treo lơ lửng trên bàn cân.”* Cuối buổi, người tổng kết cho là hai kẻ tranh luận có vẻ như nói bằng các thứ tiếng khác nhau. Josephson thì tin rằng đó chỉ là cuộc tranh biện những ý tưởng. Những người kể câu chuyện nhận định, *“Nhưng sự việc thực ra là hơn thế. Đó là sự đối chọi giữa tuổi trẻ và thâm niên, giữa sự táo bạo của lòng hăng hái và bề sâu của kinh nghiệm, giữa những phép tính và trực giác.”* Họ còn nói thêm, *“Bardeen là người sáng lập lý thuyết BCS, nhưng Josephson tin là ông hiểu nó hơn người đã sáng tạo ra nó.”* Kể ra thì trường hợp này không phải là không có tiền lệ. Ta biết là Einstein đã như thế với Lorentz và Planck. Rồi Heisengberg, Pauli... về sau cũng đã như thế với Einstein. Schrödinger, cha đẻ của hàm sóng gắn liền với phương trình mang tên ông, cũng đã hiểu không đúng thực chất chức năng vật lý của nó - Born mới là người đầu tiên gắn biên độ xác suất cho hàm sóng¹.

¹ Thực sự Born chỉ đề cập đến điều này qua một chú thích trong bài viết của ông. Chú thích này về sau đã mang lại giải Nobel cho Born. Người ta kháo nhau rằng đây là công trình ngắn nhất trong lịch sử giải Nobel.



Hình 8. Bằng chứng thực nghiệm hiệu ứng Josephson. a) sự biến thiên của siêu dòng điện trong mỗi nối theo từ trường (M. Rowell, xem ref. [25]). b) Sidney Shapiro's chứng minh I-V đặc thù của mỗi nối Josephson chiếu xạ tần số 9.75 GHz, mỗi nấc là $2e/h$ (từ *Physics Today*, October 1969, p. 45).

Chỉ trong vòng một năm sau khi Josephson công bố tiên đoán của mình, Anderson cùng đồng nghiệp là Rowell tại Bell Labs thực hiện thí nghiệm và chứng minh là người học trò của mình đã đúng một cách xuất sắc (Anderson vốn là nhà vật lý lý thuyết và vào năm 1961 là Giảng viên thăm viếng tại Cambridge, lúc ấy Josephson là học trò trong lớp của Anderson). Hình 8a cho thấy họ đã đo được siêu dòng điện trong mỗi nối Josephson biến thiên theo từ trường bên ngoài. Hình 8b cho thấy lượng tử từ thông qua bậc thang của dòng điện. Một nấc thang là $2e/h$. Ngay sau khi công trình của Anderson và Rowell được đăng, Bardeen đã viết thư đến *Physics Letters* rút lại những chỉ trích của ông.

Khi hiệu ứng Josephson được phát hiện, người ta thấy ngay ứng dụng của hiệu ứng này trong việc chuẩn hóa đơn vị volt, với $2e/h$ trong phương trình (13) được gọi là K_J . Các đo đạc dùng các mối nối Josephson với thành phần vật liệu khác nhau với kích cỡ khác nhau cho thấy các giá trị này vô cùng chính xác. Jain, Lukens và Tsai¹ vào năm 1987 chứng tỏ là giá trị của K_J chỉ khác biệt chừng 1 phần 10^{19} , tương đương với sự khác biệt về điện tích tuyệt đối đo được giữa electron và proton. Điều này cũng có nghĩa là cơ chế vật lý mà Josephson phát hiện ra là đúng chính xác.

3.3. Hiệu ứng Hall lượng tử.

¹ A. K. Jain, J. E. Lukens and J. S. Tsai, "Test for Relativistic Gravitational Effects on Charge Particles," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 58, no. 12, p. 1165 (1987).

Nếu ta tiếp tục lập luận theo cách phân tích đơn vị như trên, nghĩa là mỗi lượng tử từ thông h/e , có đơn vị là **volt•giây**, đem chia cho điện tích cơ bản là e thì ta sẽ có *volt/ampere* hay là *ohm*, đơn vị điện trở. Và vì thế điện trở h/e^2 sẽ đương nhiên cũng được lượng tử hóa. Vấn đề là thiết lập cơ sở thực nghiệm như thế nào để có thể xác định được điều này? Trong trường hợp này vật liệu bán dẫn đã chứng tỏ là công cụ rất hiệu quả.

Các phát triển của công nghệ bán dẫn, ngoài những ứng dụng trong kỹ thuật, còn tạo nên nhiều cơ sở thực nghiệm cho nghiên cứu cơ bản. Rõ rệt nhất là sự chế tạo các loại transistor đặc biệt còn gọi là MOSFET. Trong những linh kiện này, các electrons được gói trong một bề dày chừng 10 nm, di chuyển hầu như là chỉ trong một mặt phẳng.

Các electrons khi bị giới hạn trong không gian 2 chiều, dưới ảnh hưởng của từ trường bên ngoài, cho thấy là điện trở của chúng được lượng tử hóa. Đây là hiệu ứng Hall lượng tử, do von Klitzing và đồng nghiệp tìm ra vào năm 1980¹.



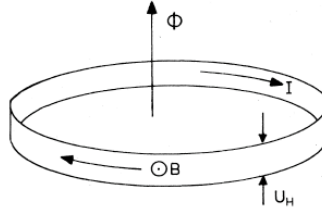
Hình 9. Von Klitzing (bên phải) trong lần gặp gỡ với James Cronin và tác giả bên lề buổi hội thảo Rencontres du Vietnam, Hà Nội, tháng 8, 2006. (Ảnh của Nguyễn Đức Phương)

Như ta đã biết, hiệu ứng Hall cổ điển là một hình thức thể hiện lực Lorentz: electron khi dịch chuyển theo hướng x , dưới ảnh hưởng của từ trường B theo hướng z sẽ bị đẩy theo hướng y ($y = -x \times z$, dấu trừ là do điện tích âm của electron). Bởi vì các electron này không thoát ra khỏi vật liệu, chúng sẽ dồn dần về phía ngoài cùng và cuối cùng tạo nên một điện trường đủ mạnh để cân bằng lại sức đẩy Lorentz. Hiệu điện thế dọc theo hướng y , còn gọi là hiệu điện thế U_H sẽ là,

$$U_H = (B/n_s e) \cdot I \quad (15)$$

I là dòng điện theo hướng x (ngược chiều với dòng điện quy ước), n_s là mật độ điện tích trong bề mặt xy . Điện trở Hall sẽ là, $R_H = U_H/I = B/n_s e$.

¹ K. von Klitzing, G. Dorda and M. Pepper, "New Method for High Accuracy Determination of the Fine-Structure Constant Based on Quantized Hall Resistance," Phys. Rev. Lett., vol 45 no. 6, 494 (1980).



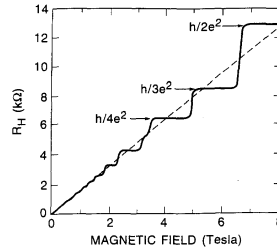
Hình 10. B là từ trường áp dụng từ bên ngoài. I là dòng chuyển động của các electron (ngược chiều với dòng điện quy ước) và U_H là hiệu điện thế Hall. Φ là từ thông tạo ra bởi dòng điện $-I$; ta thấy Φ được lượng tử hóa, mỗi lượng tử là h/e (von Klitzing¹, 1986). Để ý là, điện tích ở đây là từng electron riêng lẻ, không phải cặp đôi Cooper như trong trường hợp siêu dẫn.

Dưới ảnh hưởng của từ trường bên ngoài, năng lượng của mỗi electron được lượng tử hóa thành từng thang bậc (còn gọi là bậc Landau). Các electron vì thế chỉ được phân bố vào trong những mức năng lượng nhất định, có nghĩa là mật độ của các electron do vậy sẽ không biến thiên một cách liên tục mà được lượng tử hóa theo từng thang bậc như sau,

$$n_s = j / (B/h/e) \quad (16)$$

với $j = 1, 2, 3...$ Và do vậy điện trở Hall sẽ là (xem hình 5),

$$R_H = h/je^2 \quad (17)$$



Hình 11. Điện trở Hall của khí electron hai chiều điển hình biến thiên theo từ trường ở nhiệt độ 50 mK. Đường không liên tục là giá trị điện trở Hall cổ điển. (Theo tài liệu của Eisentein²)

Ta để ý là điện trở, hay tỉ số đảo là điện dẫn có đơn vị tương đương là vận tốc. Thành ra tỉ số $\alpha = e^2/hc \sim 1/137$ là vô hướng, và do đó giá trị của nó là tuyệt đối và không tùy thuộc vào hệ thống đơn vị. α còn gọi là hằng số cấu trúc tinh tế, biểu thị cường độ của tương tác điện từ. Sommerfield là người chỉ ra tầm quan trọng của con số thuần túy này. Giá trị mới nhất³ (2008) của α được xác định qua số đo moment từ bất thường của electron, $1/\alpha = 137.035\,999\,084\,(51)$ [0.37 phần tỉ]. Các phép tính chi tiết của điện động lực học lượng tử (QED) kết hợp với các chương trình vi tính cho thấy

¹ K. von Klitzing, "The Quantized Hall Effect," *Rev. Mod. Phys.* Vol. 58, no. 3, 519 (1986).

² J. P. Eisenstein, "The Quantum Hall Effect," *Am. J. Phys.* 61, (2), 179 (1993).

³ D. Hanneke, S. Fogwell, and G. Gabrielse, "New Measurement of the Electron Magnetic Moment and the Fine Structure," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 100, (12), 120801 (2008).

là có sự thống nhất giữa lý thuyết và thực nghiệm. Tuy nhiên, theo Aoyama et al.¹ (2007), các phép tính này phải cần đến 891 giản đồ Feynman để đạt được độ chính xác của những đo đạc hiện đại. “Điều này không khỏi làm ta liên tưởng đến các vòng ngoại luân (epicycle) của thiên văn trước thời Kepler và Copernicus,” một nhà vật lý đã than như thế².

4. Vai trò của các hằng số cơ bản trong đo lường

Với đa số chúng ta thì trong quá trình xác định h , k hay e hay bất kỳ một hằng số nào khác, thường ta chỉ chú trọng đến giá trị số, và không hề phiên hà đến vấn đề đơn vị. Bởi ta cho rằng, đơn vị chỉ là định nghĩa. Trên thực tế, việc định nghĩa đơn vị là vấn đề rắc rối kể không hết. Ta hãy xét trường hợp đơn vị đo chiều dài là mét. Trong bài viết, “Về vấn đề mét,” Kleppner đã trình bày rất có duyên về lịch sử cách xác định đơn vị chiều dài này. Ông chơi chữ ngay từ tựa đề bài viết trong mục “Hệ quy chiếu” của tạp chí *Physics Today*, nguyên bản tiếng Anh, “On The Matter of the Meter³”. Kleppner kể lại, “Mét lần đầu thấy ánh sáng vào tháng Tám 1793 khi Chính quyền Cộng hòa Pháp ban hành nghị định, rằng mét là một phần mười triệu khoảng cách của một phần tư đường kinh tuyến đi qua Paris. Thế là các nhà khảo sát vào cuộc, và trong vòng mấy năm một số thanh platinum được đưa ra để làm hiện vật cho mét. Vài cuộc khảo sát sau đó cho thấy là sự việc không được chính xác lắm như ta hy vọng. Cho nên vào năm 1889, Hội nghị toàn thể về Trọng lượng và Đo lường lần thứ nhất tái xác định mét là độ dài giữa hai lần dẫu trên thanh platinum-iridium đặt ở Sèvres. Tuy nhiên hai năm sau đó, Albert A. Michelson phát minh cách dùng kính giao thoa của ông để đo chiều dài với mức chính xác [ngắn hơn] bước sóng ánh sáng. Phương pháp của ông chính xác đến độ vào năm 1889 tiêu chuẩn mét đã trở nên lỗi thời ngay khi vừa được tái định nghĩa.”

Kleppner giải thích, “Hội nghị Toàn thể về Trọng lượng và Đo lường [là ủy ban] phán xét cuối cùng về các tiêu chuẩn khoa học, và là một tổ chức quốc tế. Cũng như mọi đàm phán quốc tế, để đạt được sự thỏa thuận về tiêu chuẩn làm nền là công việc dằng dai, có khi kéo dài quá đến nỗi khi đạt được định nghĩa về pháp lý thì chúng trở thành lỗi thời về mặt khoa học.” Một ví dụ nữa. Đồng hồ nguyên tử được phát minh từ những năm 1950. Vậy mà đến năm 1960, Hội nghị Toàn

¹ Aoyama et al., “Revised Value of the Eighth-Order Contribution to the Electron $g-2$,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 99, 11, 110406 (2007).

² B. W. Petley, “The Role of Fundamental Constant in Metrology,” *Metrologia*, 29, 95-112 (1992).

³ D. Kleppner, “On The Matter of Metter,” *Physics Today*, 11, March (2001).

thể về Trọng lượng và Đo lường lần thứ 12 ra nghị định rằng giây là một phần của năm dương lịch 1900 (!). Các nhà thiên văn có lẽ thỏa mãn với định nghĩa này, nhưng vài nhà vật lý đã rất bức. Kleppner mỉa mai, “*Nếu thời gian là cái chỉ đo được bằng đồng hồ, vậy khi đồng hồ không còn tồn tại nữa thì thời gian có vấn đề.*” Phải chờ đến 1967, khi Hội nghị Toàn thể về Trọng lượng và Đo lường nhóm họp lần thứ 13, giây mới được tái định nghĩa theo tần số cấu trúc siêu tinh tế của cesium. Ta thấy là công việc xác định tiêu chuẩn đo lường là quá trình biến đổi không ngừng, khởi đầu từ hiện vật thực thể cơ bản, như cái thước đo hay quả cân bằng platinum, và dần dần chuyển sang những đại lượng hay hằng số vật lý bất biến đổi theo thời gian và không gian, như vận tốc ánh sáng hay hằng số Planck.

Xuyên suốt bài viết này, vô hình trung ta đã ngầm đồng ý với định nghĩa của Maxwell, là mỗi đại lượng vật lý được biểu thị như sau,

$$\text{đại lượng vật lý} = \{ \text{giá trị số} \}_x \times [\text{đơn vị}]_x \quad (18)$$

với dòng dưới x để chỉ hệ thống đơn vị¹.

Phương trình (18) nhắc cho ta sự chọn lựa rõ ràng trong việc xác định một đại lượng vật lý. Ta có thể hoặc là chọn một hệ thống đơn vị rồi đi tìm giá trị số, hoặc là xác định giá trị số, rồi tìm đơn vị. Trong trường hợp vận tốc ánh sáng, sai số phần lớn là do định nghĩa của mét. Ta đã biết vận tốc ánh sáng là không đổi (điều này đúng chính xác ít ra là trong không - thời gian đồng nhất), vậy thì ta cứ gọi con số này theo như cách ta muốn, rồi xác định giây hay mét theo sau. Các nhà lý thuyết thì thích chọn $c = 1$. Năm 1983, Cục Đo lường Chất lượng Quốc tế biểu quyết $c = 299\,792\,458$ m/s, chính xác. Mét, trước đây là đơn vị nền (based unit), từ 1983 trở đi trở thành đơn vị dẫn xuất (derived unit), và được xác định dựa trên khoảng cách mà ánh sáng truyền đi trong một giây (299 792 458 m).

¹ T. Quinn, “Physical Quantities,” in “Metrology and Fundamental Constants,” Proceeding of the International School of Physics “Enrico Fermi, Course CLXVI, 59, (2007).

Hệ Đơn vị Planck và Giá trị SI Tương đương (CODATA 2006^[16])

Đơn vị	Công thức	Giá trị	Giá trị SI
Độ dài	$(\eta G/c^3)^{1/2}$	1 l_P	$1.616252(81) \times 10^{-35}$ m
Thời gian	$(\eta G/c^5)^{1/2}$	1 t_P	$5.39124(27) \times 10^{-44}$ s
Khối Lượng	$(\eta c/G)^{1/2}$	1 m_P	$2.17644(11) \times 10^{-8}$ kg
Điện tích	$(\eta c 4\pi\epsilon_0)^{1/2}$	1 q_P	$1.875545\,870(47) \times 10^{-18}$ C
Nhiệt độ	$(\eta c^5/k^2 G)^{1/2}$	1 T_P	$1.416785(71) \times 10^{32}$ K

Cũng theo cách suy luận tương tự, ta có thể để thêm cả ba, h , k và e , đều bằng 1. Planck là người đầu tiên chọn hệ thống này, ông gọi là Hệ Đơn vị Tự nhiên, ngày nay ta gọi là hệ đơn vị Planck. Trong hệ đơn vị này, Planck chọn $c = G = \eta = k = 1/4\pi\epsilon_0 = 1$ ¹ ($\eta = h/2\pi$). Bảng trên đây cho thấy giá trị tương đương trong hệ SI của các đơn vị nền về độ dài, thời gian, khối lượng, điện tích và nhiệt độ theo hệ đơn vị Planck. Giá trị của các đơn vị này lúc đầu ít người để ý, nhưng gần đây đã đóng vai trò đặc biệt trong vật lý hạt cơ bản và vũ trụ học. Ví dụ khoảng thời gian nhỏ hơn thời gian Planck được xem là không mang ý nghĩa vật lý, do vậy ta có thể xem đây là khởi điểm của thời gian. Trước đây vũ trụ không hiện hữu, có nghĩa là không có sự hiện hữu của không gian và thời gian. Khoảng thời gian này còn gọi là kỷ nguyên Planck. Từ đây cho đến 10^{-32} giây là giai đoạn vũ trụ lạm phát, tức là giai đoạn vũ trụ nảy sinh từ hư không rồi nở lớn gần bằng trái cam (~ 10 cm) với một nền bức xạ có nhiệt độ vô cùng cao. 3 phút sau vật chất (hạt cơ bản) tạo thành, vũ trụ tiếp tục dãn nở và nguội dần rồi dần dà phát triển cho đến ngày nay (xem thêm hình 1). Đây là lĩnh vực sôi nổi của vũ trụ học, và nằm ngoài phạm vi của bài viết này. Tuy nhiên, có một vấn đề liên hệ đến chủ đề đang bàn thảo là các câu hỏi về khả năng thay đổi của các hằng số theo thời gian; vũ trụ sẽ khác đi như thế nào nếu các hằng số đã mang những giá trị khác². Hay là suốt giai đoạn hình thành của vũ trụ, có thể các

¹ Không có sự mâu thuẫn trong giá trị của α khi chọn hệ đơn vị này. Đúng ra, $\alpha = k_{coulomb}e^2/hc$. Cho nên nếu ta chọn $c = h = e = 1$, $k_{coulomb} \sim 1/137$ ^[1].

^[1] K. A. Tomilin, "Fine-structure constant and dimension analysis," Eur. J. Phys. **20**, L39–L40 (1999).

² Rees tuyên bố có sáu con số chi phối Vũ trụ của chúng ta. Một, là tỉ số giữa lực điện và lực trọng trường giữa các vật thể $\sim 10^{36}$: nếu bớt đi vài con số zero thì tuổi Vũ trụ sẽ ngắn hơn, không đủ cho sự tiến hóa sinh học. Hai, là thành phần năng lượng thái ra khi hydro

hằng số cơ bản đã có những giá trị khác ngày nay. Cụ thể là hằng số cấu trúc tinh tế $\alpha = e^2/\hbar c$ vốn là một đại lượng vô hướng được nhắm đến như là một trong những ứng viên có khả năng thay đổi nhiều nhất¹. Tuy nhiên, cho đến thời điểm này chúng ta không có bằng chứng thực nghiệm nào rõ rệt.

Sự chọn lựa đơn vị mà Planck gọi là “tự nhiên” có lẽ sẽ khó tạo được những cảm giác thoải mái cho người tiêu dùng. Chẳng hạn, đối với người đi chợ thì họ không nhất thiết sẽ thích nghi với việc dùng 50 triệu “khối lượng Planck” thay cho gần 1 kilo để diễn tả sức nặng của một con gà. Thành thử các tiêu chuẩn đo lường vừa phải mang tính bất biến đổi mà cũng phải quen thuộc - nếu không thì người ta sẽ tránh sử dụng chúng. Điển hình trước mắt là xã hội Mỹ. Mặc dù hệ thống giáo dục ở nước này từ gần 50 năm nay đã hô hào việc sử dụng Hệ Đơn vị quốc tế SI, đại bộ phận người dân nước này vẫn còn duy trì thói quen xài bộ và bảng Anh thay vì mét và kilogram².

Như đã đề cập trong các phần trên, công việc xác định h cùng các hằng số cơ bản khác gần đây bị giới hạn bởi các tiêu chuẩn đo lường. 1 volt (hay 1 ampere, hay 1 Kelvin hay 1 kg) của phòng thí nghiệm này không chính xác với 1 volt (hay 1 ampere, hay 1 Kelvin hay 1 kg) của những nơi khác. Tại phiên họp thứ 94 vào tháng 10 năm 2005, Ủy ban Quốc tế về Trọng lượng và Đo lường (CIPM) kiến nghị thành lập các bước chuẩn bị tái định nghĩa kilogram, ampere, kelvin và mole sao cho các đơn vị này phải liên kết chính

tổng hợp, 0.7%: chúng ta sẽ không tồn tại nếu nó là 0.6% hay 0.8%. Ba, là thành phần của mật độ vật chất, ~0.4: nếu thấp hơn thì ngân hà hay tinh tú không tạo thành được, cao hơn thì Vũ trụ đã sụp đổ từ lâu. Bốn, là sự tăng tốc của Vũ trụ, có vẻ như kìm chế sự dãn nở của Vũ trụ. Năm, là tỉ số [năng lượng cần để phá vỡ ngân hà]/[năng lượng nghỉ của ngân hà] ~10⁵: nếu nhỏ hơn nhiều thì Vũ trụ sẽ vô cấu trúc (và chúng ta sẽ không tồn tại), nếu lớn hơn Vũ trụ sẽ quá nóng và tinh tú như mặt trời sẽ không tồn tại. Sáu, là số chiều trong không gian: sự sống sẽ không tồn tại nếu không gian là 2 hay 4 chiều^[1].

^[1] B. W. Petley, “The fundamental constants and physics” in “Recent Advances in Metrology and Fundamental Constants,” *Proceeding of the International School of Physics Enrico Fermi, Course CXLVI*, 93 (2000).

¹ For a general review on this subject, see, for example, “Inconstant constants – Do the inner workings of nature change with time?”, by J. Barrow and J. Webb, *Scientific American*, May 2005, and references therein.

² Điều này đã gây nhiều phiền hà không nhỏ. Câu chuyện hay nhắc đến gần đây nhất là sự kiện tàu không gian đi sao Hỏa của NASA, có tên là Mars Climate Orbiter (Vệ tinh khí hậu sao Hỏa), bị lạc quỹ đạo vào tháng 9 - 1999. Lỗi là do trong chương trình vi tính của NASA thiếu sự thống nhất giữa kilomet và dặm Anh (1.6 km), kết quả là chiếc vệ tinh trị giá 125 triệu dollars này lệch vào bầu khí quyển của sao Hỏa và bốc cháy.

xác với giá trị của các hằng số cơ bản. Một trong các đề cử là để bốn đơn vị nền này liên kết chính xác với bốn hằng số cơ bản là h , e , k và A . Cứ mỗi 5 năm, CODATA (Committee on Data for Science and Technology hay Ủy ban về Dữ liệu Khoa học và Kỹ thuật) xuất bản các giá trị chuẩn của các hằng số cơ bản. Lần mới đây nhất là 2006. Các đề cử này để chuẩn bị cho lần ra sắp tới của CODATA vào năm 2011.

Sau đây là các định nghĩa mới của các đơn vị đo lường theo CIPM¹.

1. Mét, đơn vị không gian, là sao cho vận tốc ánh sáng chính xác là 299 792 458 mét mỗi giây.

2. Giây, đơn vị thời gian, là sao cho tần số dịch chuyển siêu tinh tế của trạng thái nền của nguyên tử cesium 133 chính xác là 9 192 631 770 hertz.

3. Kilogram, đơn vị khối lượng, là sao cho hằng số Planck chính xác là $6.626\,069\,3 \times 10^{-34}$ joule giây.

4. Ampere, đơn vị dòng điện, là sao cho điện tích cơ bản chính xác là $1.602\,176\,53 \times 10^{-19}$ coulomb.

5. Kelvin, đơn vị nhiệt độ, là sao cho hằng số Boltzmann chính xác là $1.380\,650\,5 \times 10^{-23}$ joule/Kelvin.

6. Mole, đơn vị số lượng của một chất trong một lượng nhỏ cơ bản, như số nguyên tử, phân tử, ion hay electron hay bất kỳ hạt hay nhóm hạt nào, là sao cho số Avogadro chính xác là $6.022\,141\,5 \times 10^{23}$ mỗi mole.

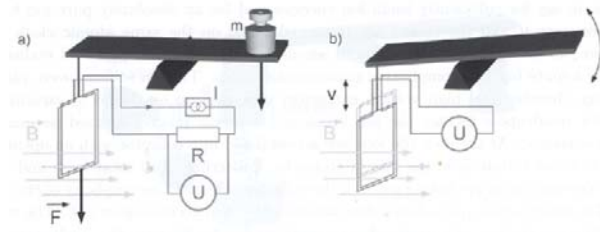
Trong khuôn khổ của bài viết này ta sẽ xét trường hợp liên quan đến kilogram và hằng số Planck. Từ việc xác định chính xác hằng số **Joshephson** K_J và hằng số von Klitzing R_K ,

$$K_J = 2e/h = 483\,597,9 \text{ GHz/V}, \quad (19)$$

$$R_K = h/e^2 = 25\,812.807 \, \Omega, \quad (20)$$

ta thấy ngay hai hằng số này có thể dùng để chuẩn hóa volt và ohm. Từ đây ta cũng thiết lập được tiêu chuẩn đơn vị dòng điện là ampere.

¹ Mills et al., "Redefinition of the kilogram, ampere, Kelvin and mole: a proposed approach to implementing CIPM recommendation 1 (CI-2005)," *Metrologia*, 43, 227-246 (2006).



Hình 11. Nguyên lý của cân watt. a) Trạng thái tĩnh: Lực điện từ F tác động lên dòng điện I trong cuộn dây được bằng với quả cân mg . b) Trạng thái động: cuộn dây chuyển động với tốc độ v theo chiều thẳng đứng, xuyên qua từ trường B và hiệu điện thế cảm ứng được đo bằng volt kế chuẩn Josephson (Richard 2006).

Việc chuẩn hóa của kilogram dùng hằng số Planck bằng cách cân bằng công cơ học với công điện trường, còn gọi là cân Watt, và về cơ bản việc thực hiện là khá đơn giản¹ (Kibble 1975). Thí nghiệm bao gồm hai bước² (xem hình 11). Bước thứ nhất là cân hiện vật M dùng từ trường B và dòng điện I trong cuộn dây, sao cho

$$Mg = I \cdot dl \times B \quad (21)$$

với l là chiều dài cuộn dây. Bước thứ hai cho cuộn dây di chuyển với vận tốc đều v theo hướng thẳng đứng ngang qua từ trường B , và lập tức một hiệu điện thế U nảy sinh theo hiệu ứng Faraday như sau,

$$U = \int (v \times B) \cdot dl = - \int (dl \times B) \cdot v, \quad (22)$$

So với phương trình (21), ta rút ra,

$$UI = Mgv \quad (23)$$

Dùng hiệu ứng Josephson và Hall lượng tử (các phương trình 13 và 17), ta có được,

$$M = C f f' / g v \cdot h \quad (24)$$

Với C là hệ số calibration, f_j và f'_j chỉ là các tần số Josephson (từ phương trình (14)).

¹ B. P. Kibble, "A measurement of the gyromagnetic ratio of the proton by the strong field method in Atomic Masses and Fundamental Constants," edited by J.H. Sanders and A. H. Wapstra, vol 5, pp. 545-551 (1976).

² P. Richard, "Redefinition of the kilogram based on a fundamental constant," in "Metrology and Fundamental Constants," Proceeding of the International School of Physics Enrico Fermi, Course CLXVI, 499, (2007).



Hình 12. Hệ thống cân Watt Mark II, tại National Physics Laboratory, Anh quốc, theo Robinson và Kibble (2006)³.

5. Lời kết

Vốn chỉ là một khái niệm để tiếp cận thế giới vi mô mơ hồ, lượng tử nhanh chóng được kiểm chứng là đặc tính vật lý nội tại của bản chất các sự vật. Như khối lượng, hay như điện tích là những đặc tính nội tại của vật chất. Nhưng khác với khối lượng hay điện tích vốn là nguồn độc lập và duy nhất của tương tác cơ bản, lượng tử đóng vai trò thiết lập các cơ chế tương tác. Có lẽ Planck đã có ý nói điều này khi ông gọi h là Wirkungsquantum, lượng tử hành động. Ta thấy là lượng tử cung cấp cơ chế để “đóng gói” năng lượng, thể hiện trong phổ vật đen hay phổ vạch nguyên tử. Lượng tử còn “đóng gói” từ thông, như đã thể hiện trong hiệu ứng Josephson hay hiệu ứng Hall lượng tử. Cách đóng gói này, hay còn gọi là sự lượng tử hóa, đã dẫn đến những phương thức cho phép ta chuẩn hóa các đơn vị đo lường như volt, ohm và ampere và kilogram.

Chúng ta thấy được sự gắn bó chặt chẽ giữa các hằng số k , h và e - cả ba hằng số phổ quát đều do Planck định trị trước nhất. Thực ra trên phương diện cơ bản, có lẽ cũng không gì ngạc nhiên khi trong các phép đo h có sự chi phối của e , bởi vì trong toàn bộ những phép đo này đều có sự hiện diện của tương tác điện từ. Dĩ nhiên, như thế không có nghĩa là phép đo của chúng ta sẽ bị giới hạn, bởi lịch sử đã chứng minh - và qua bài viết này người viết hy vọng bạn đọc sẽ phần nào đồng ý - rằng tương tác điện từ không chỉ là một lợi thế về kỹ thuật để bám sát hằng số phổ quát này, mà còn là một mảnh đất màu mỡ cho việc phát triển vật lý nói chung.

Dù vậy ta không thể không hỏi luôn, có phép đo nào của h mà không thông qua tương tác điện từ? Có lẽ một trong những cố gắng đáng kể được

³ I. Robinson and B. Kibble, “An initial measurement of Planck’s constant using the NPL Mark II watt balance,” *Metrologia*, 44, 427–440 (2007).

nhắc đến gần đây nhất là các công trình lý thuyết của nhà vật lý tài năng Đàm Thanh Sơn. Trong khi chúng ta bận rộn suốt bài viết này với tỉ số h/e , thì từ vài năm trước Sơn đã chỉ cho thấy là tỉ số h/k , hay chính xác hơn, $(1/4\pi)^2 \times h/2\pi k$ là hằng số phổ quát biểu thị giá trị nhỏ nhất của tỉ số viscosity hay độ nhớt và mật độ thể tích entropy¹. Giới hạn này nếu tồn tại có nghĩa là hết thấy các dòng chảy, kể cả trong hiện tượng siêu chảy, đều có độ nhớt khác zero. Sơn và các cộng sự của ông tiên đoán là có khả năng các thí nghiệm ở Trung tâm Gia tốc RHIC (Relativistic Heavy Ion Collider) có thể kiểm chứng giới hạn này từ hỗn hợp plasma quark và gluon, khi chúng chuyển trạng thái từ quarks và gluon sang hadrons.

Ta thấy hằng số h đã đóng vai trò khai phóng nhiều vấn đề vật lý vừa mang tính nền móng cơ bản cho khoa học, vừa thú vị cũng như thiết thực trong kỹ thuật và đời sống. Bài viết còn để trống rất nhiều chi tiết lịch sử và chuyên môn liên quan đến các phép đo đạc và các hằng số phổ quát nói chung; thì cũng là điều tất yếu bởi đây là một chủ đề, là một lĩnh vực nghiên cứu vật lý cơ bản phong phú và đa dạng. Người viết đã cố gắng phác thảo một phần những đóng góp chính trong lĩnh vực này, trước là để cùng bạn đọc có được một góc để nhìn và suy gẫm về cống hiến đột phá của Planck trong vật lý nhân dịp kỷ niệm 150 ngày sinh của ông, và sau là để góp phần giới thiệu một mảng hoạt động nghiên cứu sôi nổi mà hằng số Planck đã mang lại trong hơn một trăm năm qua, và để thấy rằng trong tương lai cơ chế lượng tử hứa hẹn sẽ còn mang lại nhiều cơ hội để lập tiếp những phát minh bất phá nữa.

Cảm ơn Phi Tuấn Hùng đã giúp hiệu đính bài viết. Và xin cảm ơn mạng Internet và trang truy tìm Google đã giúp tác giả rất nhiều và đặc biệt hiệu quả trong việc học thêm về đề tài đo lường và các hằng số vũ trụ, cũng như trong quá trình tìm kiếm những tư liệu cho bài viết này.

NTH.

Pasadena, Tháng 9, 2008

¹ Đàm Thanh Sơn and A. O. Starinets, "Viscosity, Black Holes, and Quantum Field Theory," *Annual Review of Nuclear and Particle Systems*, vol. 57, Issue 1, p.95-11 (2007).

ĐỖ ĐĂNG GIU*

KỶ NGUYÊN MỚI

Abstract: Some anecdotes of discoveries leading to the first man-made nuclear chain reaction.

Chicago, chiều ngày 2 tháng 12 năm 1942. Ngoài trời gió đông lạnh buốt.

Trong một phòng thể dục cũ của trường đại học, được dùng làm phòng thí nghiệm cho nhóm nghiên cứu do Enrico Fermi hướng dẫn để thử nghiệm tính khả thi của phản ứng dây chuyền hạt nhân, 42 khoa học gia, phần lớn lấy chỗ ở trên ban công, chen chúc đứng nhìn Fermi cùng một vài người khác đang đi vào những bước cuối cùng của thử nghiệm. Trước mặt họ là pin hạt nhân, một khối khổng lồ màu đen, có hình cầu dẹt như trái đất, gồm gần 400 tấn than đá, 60 tấn oxyde uranium, và 6 tấn uranium kim loại.



Enrico Fermi

Đồng hồ chỉ 3 giờ 49 phút chiều. Fermi ra lệnh cho Weil, một phụ tá, kéo cái thanh điều khiển cuối cùng ra khỏi cái pin 12 inch. Weil theo lệnh và

* Nguyên Giám đốc Nghiên cứu CNRS, Đại học Paris XI ORSAY, Pháp.

kéo thanh cadmium ra 12 inch. *"Lần này chắc sẽ được"*, Fermi nói với Arthur Compton, người quản lý dự án plutonium, cũng đang có mặt trong phòng, đứng ngay bên cạnh Fermi.

Herbert Anderson, một người chứng kiến thử nghiệm, viết lại như sau:

"Ban đầu, người ta nghe thấy tiếng máy đo neutron làm tic-tic-tắc, tic-tic-tắc. Rồi những tiếng tic tắc mỗi lúc một nhanh thêm để sau cùng biến thành một tiếng vang to và đều, máy đo neutron không theo kịp đà nữa. Đó là lúc cần phải dùng máy ghi biểu đồ. Khi máy này được bật lên, mọi người tự nhiên im lặng nhìn kim của máy ghi tiếp tục đi lên. Một sự im lặng đáng sợ. Ai nấy đều hiểu ý nghĩa của cái đó: nó có nghĩa là pin đã đi đến mức cường độ cao, và máy đo neutron không có khả năng đo kịp nữa. Cường độ vẫn tiếp tục tăng lên mỗi lúc một nhanh hơn và thang tỷ lệ của máy cũng phải được thay đổi để máy có thể ghi được. Bất thành linh, Fermi gơ tay lên và tuyên bố: "Pin đã tới hạn".

Lúc đó là 3 giờ 53 phút. Pin đã chạy được 4 phút 5 giây. Nhân loại vừa bước vào một Kỷ Nguyên mới.

Trước mắt, sự thành công đó là nhờ ở Fermi và các cộng tác viên của ông. Nhưng nó cũng nhờ ở những khám phá mà nhiều người khác đã tìm ra trước. Sau đây là chuyện của một vài khám phá quan trọng.

Một sự tan vỡ khổng lồ.

Kungälv là một làng nhỏ gần tỉnh Göteborg, Thụy Điển. Bà Lise Meitner có hẹn với người cháu ruột là Otto Frisch cùng đến nơi này để vừa nghỉ lễ Giáng Sinh vừa để bàn về những kết quả thực nghiệm mới của Otto Hahn và Fritz Strassmann vừa gửi từ Berlin tới. Cả hai cô cháu là những nhà vật lý học trước đây đã từng làm việc ở viện nghiên cứu KWI (Kaiser Wilhelm Institut), nhưng đã phải rời bỏ nước Đức để lánh sự đàn áp của Đức Quốc xã. Riêng Lise Meitner và Otto Hahn là hai người bạn rất thân, vì thể liên lạc khoa học rất chặt chẽ và Hahn bao giờ cũng gửi những kết quả mới nhất cho Meitner để hỏi ý kiến.



Lise Meitner và Otto Hahn trong phòng thí nghiệm của viện KWI ở Berlin

Ngày 21/12/1938, hai ngày trước khi lên tàu hoả tới Kungälv, Lise Meitner đã nhận được một thư của Hahn hỏi ý kiến về một khám phá mới. Vốn là, đã từ mấy tháng rồi, Hahn và Strassmann nghiên cứu về phản ứng của neutron trên uranium. Người ta vẫn cho là phản ứng hấp thụ đó sẽ sinh ra những hạt radium, lấy được từ uranium bằng cách tháo ra hai hạt helium (tia alpha). Thư của Hahn viết như sau:

"Sự thật là có một cái gì rất lạ về chuyện những " đồng vị radium" này mà, trong lúc này tôi chỉ nói cho bạn biết mà thôi. Các nửa đời sống của ba hạt nhân đồng vị này đã được đo lường hết sức chính xác; chúng cho phép loại trừ tất cả mọi nguyên tố, trừ barium... Mấy hạt đồng vị radium này thật giống như barium vậy! "

Ngay sáng hôm sau khi tới Kungälv, Meitner đưa thư của Hahn cho Frisch và bảo cháu phải đọc ngay. Frisch đọc xong và nói: *"Barium! Cháu không tin được. Chắc là có sai lầm ở đâu đó"*. Frisch có mang theo một đôi ván trượt tuyết và muốn được đi một chút. Thế là hai cô cháu đi ra ngoài cánh đồng, cháu đi trượt ván trước, cô đi bộ bên cạnh, vừa đi vừa bàn về kết quả của Hahn. Cả hai người đều cố gắng hiểu nhưng rồi cùng đưa đến một kết luận: *"Cái đó không thể có được!"*. Ba mươi năm sau, Frisch đã tóm tắt ý nghĩ của cả hai người như sau:

"Làm sao hạt nhân barium có thể tạo ra được từ uranium? Từ trước đến giờ, người ta đã không thấy một hạt nào lớn hơn hạt proton hoặc hạt nhân helium (hạt alpha) được phát ra khỏi những hạt nhân lớn, và không thể nghĩ rằng một số lớn hạt nucleon có thể tách ra được cùng một lúc: lý do là không có đủ năng lượng để làm cái đó. Cũng không thể nghĩ rằng hạt nhân uranium có thể bị cắt ngang làm hai. Hạt nhân không phải là một cái gì giòn cứng để có thể cắt ngang hoặc nổ vỡ. Hơn nữa, Bohr đã nhấn mạnh rằng hạt nhân giống như một giọt chất lỏng."

Vậy mà mẫu đồ giọt chất lỏng lại chính là cái làm cho hạt nhân có thể

chia làm đôi được. Hai cô cháu ngồi nghỉ trên một thân cây bên đường. Meitner móc túi lấy ra một mảnh giấy và một cái bút chì. Bà vẽ một vài vòng tròn chồng lên nhau và nói: "*Liệu nó có thể như thế này được không?*". Frisch kể lại: "*Khổ một nỗi là bà cô của tôi, ngay từ khi còn trẻ, đã rất kém về hình học không gian ba chiều, trong khi đó thì tôi lại khá về môn này. Thực ra thì lúc đó, trong đầu tôi cũng đã có một ý nghĩ tương tự, và tôi vẽ lại thành hai vòng tròn nối với nhau ở một điểm*". Meitner nhìn thấy và nói: "*Tốt quá, đó chính là cái tôi muốn nói!*"



Phân hạch hạt nhân theo mẫu đồ giọt chất lỏng

Frisch sau này nhớ lại: "*Tôi nghĩ ngay tới vấn đề là điện tích sẽ làm giảm sức căng bề mặt của hạt nhân*". "Một giọt chất lỏng có được là vì các phân tử được giữ ở trong nhờ sức căng bề mặt, cũng như một hạt nhân nhờ tương tác mạnh. Nhưng sức đẩy giữa các hạt proton đi ngược lại tương tác mạnh đó, và hạt nhân càng lớn thì sức đẩy càng mạnh. Frisch làm một vài con tính nhỏ và đi tới kết luận là sức căng sẽ không còn nữa khi số proton lên tới 100. Số proton trong hạt uranium là 92, cũng gần bằng số giới hạn đó.

Frisch tiếp tục kể lại: "*Lise Meitner nói rằng nếu quả thực ta chia hạt uranium được ra làm hai hạt rời nhau như vậy, chúng sẽ đẩy nhau ra với một năng lượng rất lớn*". Năng lượng đó có thể tính được dễ dàng. Ví dụ, ta có hai hạt nhân có điện tích Z_1 và Z_2 , coi như hai quả hình cầu được đặt sát vào nhau, tức là với hai trung tâm cách nhau một khoảng cách d bằng tổng số các bán kính của hai hạt. Hai hạt này sẽ đẩy nhau và khi đã thật xa nhau thì chúng sẽ có một tổng số động năng bằng $Z_1 Z_2 e^2 / d$. Để có một ý niệm về độ lớn của năng lượng này, ta hãy ví dụ là hai hạt đó giống nhau, với số khối $A = 110$ và số nguyên tử $Z = 50$, động năng tổng hợp trên sẽ là 200 MeV (1 MeV = một triệu eV). 200 MeV! Một con số khổng lồ, khi ta nhớ rằng thường ra trong các phản ứng hóa học, các năng lượng phát ra chỉ có khoảng vài chục eV, tức là mười triệu lần nhỏ hơn. Thử tính năng lượng có thể lấy ra được từ 1 gram uranium khi ta biết rằng mỗi gram uranium có khoảng 2.5×10^{21} nguyên tử! Năng lượng đó tương đương với 20 ngàn tấn TNT! Dĩ nhiên, khi đó Meitner và Frisch chưa nghĩ gì tới phản ứng dây chuyền hạt nhân và những hậu quả của nó.

Câu chuyện neutron và Uranium

Như thường lệ, sáng Chủ nhật hôm đó, mùng 5 tháng 2 năm 1939, Bohr cùng cộng tác viên là Rosenfeld, rủ nhau đi ăn điểm tâm ở cafeteria của đại học Princeton. Tình cờ lại có Placzek cũng tới ăn và cả ba người ngồi cùng bàn nói chuyện. Bohr, Rosenfeld và Placzek cả ba là những vật lý gia lý thuyết, chuyên về vật lý hạt nhân.



Niels Bohr

Câu chuyện dĩ nhiên chạy quanh vấn đề hạt nhân. Chính xác hơn, họ bàn về chuyện phân hạch của các hạt nhân uranium và thorium. Placzek nói: *"Tình trạng bây giờ lại càng khó hiểu hơn bao giờ hết"*. Ông tỏ ý nghi ngờ về giá trị của mẫu đồ giọt chất lỏng (liquid drop model) mà chính Bohr đã đề ra để giảng nghĩa hiện tượng phân hạch. Placzek nói: *"Uranium và thorium là những hạt nhân nặng tương tự như nhau vậy không có lý do gì mà tính hấp thụ neutron và phân hạch lại khác nhau như vậy, nếu ta tin ở mẫu đồ giọt chất lỏng"*.

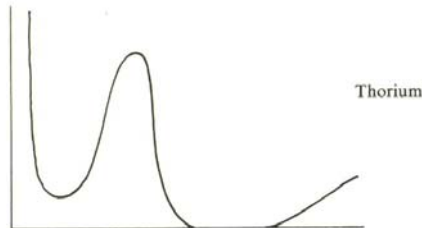
Để hiểu được cái 'khó hiểu' mà Placzek nêu lên, ta cần định nghĩa một lượng mà các vật lý gia vẫn dùng, gọi là tiết diện. Nhà bác học người Anh, Rudolph Peierls cho ta một khái niệm về tiết diện bằng ví dụ sau đây:

"Ví dụ, nếu tôi ném một quả bóng vào một cái cửa kính có diện tích là một foot vuông (f^2), xác suất có thể là một lần trên mười tôi sẽ làm vỡ cửa kính và chín lần trên mười kính không vỡ và quả bóng bật lại. Theo cách nói của các vật lý gia, cái cửa kính đặc biệt này, với cách ném đặc biệt của tôi, có một tiết diện bị vỡ là $1/10 f^2$, và một tiết diện đàn hồi là $9/10 f^2$ "

Placzek muốn nói đến hiện tượng đã được nghiệm thấy là khi hấp thụ những neutron năng lượng cao, khoảng 1 MeV trở lên thì cả thorium lẫn uranium đều có những tiết diện hấp thụ và phân hạch như nhau, trong khi đó thì chỉ có uranium bị phân hạch khi hấp thụ những neutron gọi là neutron nhiệt hay neutron chậm, với năng lượng rất thấp xuống tới số không. Sự kiện này không thể hiểu được theo mẫu đồ giọt chất lỏng.

Bất thành linh, Bohr nghĩ ra lý do tại sao và ngồi ngẩn ra. Như để khỏi quên mất cái lý do mà mình vừa thấy, và quên cả phép lịch sự, ông đứng dậy, đẩy lùi ghế ra sau và đi ra khỏi phòng ăn. Rosenfeld vội vã đứng dậy đi theo. *"Vội xin lỗi Placzek, tôi đi ra theo Bohr, đang yên lặng bước đi trên con đường nhỏ phủ đầy tuyết và chìm đắm trong những suy nghĩ sâu xa, mà tôi thậm trọng không phá rối"*, Rosenfeld kể lại về sau.

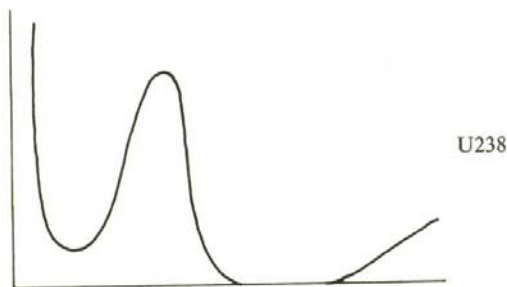
"Ngay khi về tới phòng làm việc", Rosenfeld nhớ lại, *"Bohr vội vã đi ngay lên bảng và nói với tôi: 'Bây giờ nghe tôi nhé. Tôi biết hết lý do tại sao', rồi, không nói gì hơn nữa, Bohr vẽ lên bảng hình vẽ thứ nhất sau đây."*



Tiết diện hấp thụ neutron của Th232

Trong hình vẽ trên, hoành độ chỉ năng lượng của neutron và tung độ đo tiết diện hấp thụ của thorium. Năng lượng của neutron đưa tới tiết diện bằng số không nằm trong khoảng 1 MeV. Khoảng năng lượng này chia đường biểu diễn thành hai phần: phần dưới năng lượng thấp, với một thành phần có hình chuông, là tiết diện hấp thụ neutron không đưa tới phân hạch; phần trên cho tiết diện hấp thụ đưa tới phân hạch.

Sau đó, dịch sang bên cạnh, Bohr vẽ hình thứ hai sau đây, cho tiết diện hấp thụ neutron bởi U238.

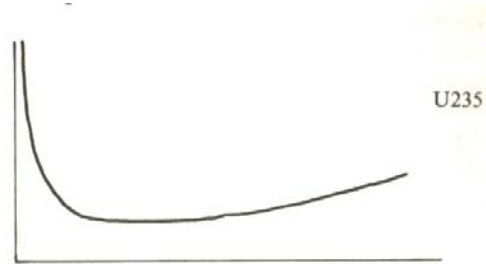


Tiết diện hấp thụ neutron của U238

Nó giống hệt như hình trên cho thorium. Vậy U238 và Th232 có những

đặc tính hấp thụ neutron tương tự như nhau và không có gì khó hiểu cả.

Nhưng còn họa đồ thứ ba mà Bohr vẽ như sau:



Tiết diện hấp thụ neutron của U235

Hình này cho tiết diện hấp thụ neutron của nguyên tố đồng vị 235 của uranium. Người ta biết được là trong thiên nhiên, đồng vị này có với tỉ lệ 0.7%. Tỉ lệ này nhỏ vì lý do là đồng vị uranium 235 có một đời sống trung bình rất ngắn so với uranium 238, và 0.7% là tỉ lệ cân bằng.

Vẽ xong hình thứ ba này rồi, Bohr mới bắt đầu giảng nghĩa như sau. Th232 và U238 đều có những số proton và neutron là những số chẵn, và trên phương diện lý thuyết, người ta biết là chúng có những đặc tính hấp thụ neutron năng lượng cao giống nhau. "*Vậy cái khác biệt và khó hiểu phải là do đồng vị U235!*". Bohr tuyên bố một cách chắc chắn. Nó phải là nguyên do của sự phân hạch khi hấp thụ neutron chậm.

Bohr tiếp tục phân tích vấn đề năng lượng như sau. Các hạt thorium và uranium cần một năng lượng kích động trên 6 MeV để có thể phân hạch. Khi một hạt Th232 và U238 hấp thụ một hạt neutron, hạt này rơi vào trường hấp thụ của những nucleon (tên gọi chung cho các hạt neutron và proton) có sẵn và lấy được một động năng trung bình khoảng 5 MeV: đó là năng lượng kích động hạt neutron mang lại cho hạt nhân trên. Cái này cũng giống như khi một vật rơi từ ngoài khí quyển vào trái đất, khi vật đó rơi xuống tới mặt đất thì có một động năng lớn sinh ra bởi sức hút của trái đất. Vật đó đã biến đổi thế năng của trường hấp thụ thành động năng. Muốn phân hạch được, hạt neutron phải đem tới thêm ít nhất là 1 MeV nữa dưới hình thức động năng có sẵn để các hạt Th232 và U238 có năng lượng kích động trên 6 MeV. Điều này cho phép giảng nghĩa hai hình đầu tiên mà Bohr đã họa ra.

Ngược lại, U235 có một số neutron lẻ là 143. Khi một neutron bị hạt nhân U235 hấp thụ, trước hết nó cũng lấy được một động năng khoảng 5 MeV như những hạt nhân kia. Hơn nữa, nó lại có thể gộp đôi với hạt

neutron lẻ trong hạt uranium và lấy thêm được một năng lượng liên kết nữa khoảng từ 1 tới 2 MeV. Đó là một đặc tính của tương tác hạt nhân, gọi là tương tác ghép đôi (pairing interaction). Nhờ tương tác ghép đôi, hạt neutron, dù có bất cứ năng lượng nào, khi bị hạt nhân U235 hấp thụ ít nhất cũng sẽ có một động năng khoảng 6-7 MeV, thừa đủ để cho phép hạt nhân uranium phân hạch. Hình thứ ba mà Bohr đã họa ra cho thấy là với bất cứ năng lượng nào, neutron cũng có thể bị hấp thụ bởi U235 đưa tới phân hạch hạt nhân này.

Đó là tất cả cái khác biệt giữa hấp thụ neutron bởi uranium và thorium nó cho phép trả lời cái khó khăn mà Placzek đã nêu lên. Cho tới lúc bấy giờ, người ta đã chưa hiểu vai trò của hạt đồng vị U235.

Tháng 4 năm 1939, Bohr trình bày ý tưởng của mình ở hội thảo của Hội Vật lý Mỹ ở Washington về vấn đề hấp thụ neutron chậm bởi U235. Báo *New York Times* ra ngày 29/4 thuật lại những bàn cãi trong hội nghị, nhất là về sự bất đồng của các nhà khoa học trên vấn đề khả thi làm bom nguyên tử. Quan điểm của Bohr là, tuy rằng U235 có tiết diện hấp thụ neutron và phân hạch rất lớn, ông không tin vào khả thi làm tách đồng vị U235 này ra với một số lượng lớn đủ để có thể có được phản ứng dây chuyền.

Cán cân năng lượng

Ta hãy quay lại với Lise Meitner và Otto Frisch khi họ khám phá ra được rằng hạt nhân uranium, sau khi hấp thụ một neutron có thể phân hạch, và mỗi phân hạch phát ra một năng lượng khoảng 200 MeV. Điều này đủ để người ta có thể làm những áp dụng, như sau này làm ra phản ứng dây chuyền và tất cả những hậu quả của nó. Nói một cách khác, và trái với cái gì mà người ta vẫn nhầm nghĩ, không cần phải có Einstein và thuyết Tương đối của ông, với phương trình nổi tiếng $E = mc^2$, thì mới lấy ra được năng lượng nguyên tử. Tuy nhiên, ngay sau khi tìm ra nguyên do của sự phân hạch và năng lượng khổng lồ phát ra, Lise Meitner và Frisch đã đặt ngay câu hỏi: "*Vậy 200 MeV đó lấy ở đâu mà ra*". Lise Meitner đã tìm ra ngay lời giải. Vốn là khi xưa, vào năm 1909 khi bà mới có 31 tuổi, Lise Meitner đã được gặp Albert Einstein trong một hội nghị ở Salzburg ở nước Áo là quê hương của bà. "*Einstein trình diễn về sự phát triển trong quan điểm của nhân loại về bản tính của phóng xạ. Lúc đó quả thực tôi không hiểu hết nguyên thủy của thuyết tương đối*". Trong buổi trình diễn đó, Einstein đã viết ra phương trình $E = mc^2$ mà bà không quen thuộc, và chỉ cách tính ra năng lượng tùy theo

khối lượng.

Những cái đó cho đến ngày hôm nay ngồi trên khúc cây bên rừng thông Lise Meitner hãy còn nhớ. Cũng như bà có sẵn trong đầu những số lượng về những độ hụt khối lượng của các nguyên tử. Độ hụt khối lượng là hiệu số giữa số nguyên tử và khối lượng của nguyên tử đó tính theo đơn vị khối lượng nguyên tử $A - m(A, Z)$. Nếu một hạt nhân uranium vỡ ra thành hai hạt nhân nhẹ hơn, hai hạt nhân này có một khối lượng nhỏ hơn khối lượng của hạt nhân uranium. Nhỏ hơn bao nhiêu? Cái đó, Lise Meitner có thể tính ra một cách dễ dàng: độ hụt đó vào khoảng một phần năm khối lượng của hạt proton. Tính ra năng lượng theo phương trình của Einstein. *"Một phần năm khối lượng của một proton"*, Frisch la lớn lên, *"là vừa bằng 200 MeV. Vậy đó chính là nguồn gốc của năng lượng được phát ra, mọi chuyên đều hợp lý"*.

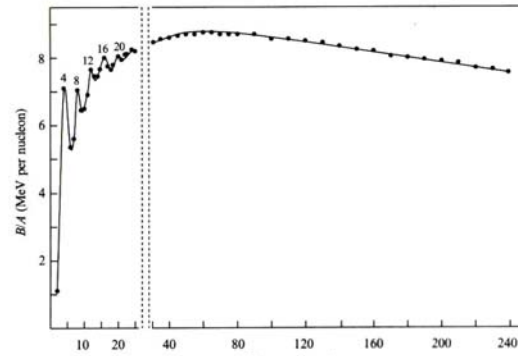
Sau một tuần lễ ở Kungälv, Lise Meitner trở về Stockholm và Otto Frisch về Copenhagen là những nơi hai người làm việc tạm thời. Về tới Copenhagen, hôm sau mùng 3 tháng 1, Frisch đưa ngay bản thảo một bài báo vừa được viết ra với Meitner cho Niels Bohr xem, với hy vọng sẽ được sự đồng ý của thầy. Chưa kịp nói một câu, Frisch đã thấy Bohr đập tay lên trán và hét to: *"Trời ơi, sao mà chúng ta đã có thể ngu độn đến như vậy! Cái này thật là quá đẹp. Nó phải là như vậy!"* Frisch chỉ nói chuyện với Bohr có vài phút đồng hồ vì Bohr đang còn bận sửa soạn hành trình sang Mỹ, và ngay sau đó viết thư báo tin vui cho người cô biết: *"Bohr đã tức khắc đồng ý về mọi phương diện với chúng ta... Ông ấy chỉ muốn có chút thì giờ để xem xét về vấn đề năng lượng và sẽ nói chuyện thêm với cháu sáng mai"*. Biết tầm quan trọng của phát minh này, Bohr hứa với Frisch là ông sẽ không loan tin này ra ở Mỹ trước khi bài báo của Frisch và Meitner đã được nhận đăng, để bảo vệ quyền sở hữu của hai người này.

Trở lại chuyện độ hụt khối lượng khi nói tới các nguyên tử, các nhà vật lý thường dùng một lượng tương tự gọi là năng lượng liên kết để nói về các hạt nhân. Năng lượng liên kết là năng lượng cần dùng để tách rời tất cả các hạt trong một nguyên tử. Khi tách rời các hạt trong một nguyên tử có Z proton và N neutron, ta lấy được N neutron và Z nguyên tử hydrogen (gồm 1 proton và 1 electron). Vậy năng lượng liên kết B được cho bởi hệ thức:

$$B/c^2 = Zm_H + Nm_n - m(A, Z)$$

Năng lượng liên kết tăng lên với khối lượng số A , vì vậy người ta thường dùng năng lượng liên kết riêng là năng lượng liên kết trung bình

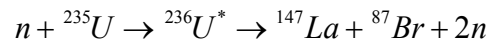
của mỗi nucleon B/A . Thực nghiệm cho những kết quả ở biểu đồ sau đây:



Năng lượng liên kết riêng thực nghiệm

Điều đáng chú ý trong hệ thức trên là, với cùng một số nucleon, năng lượng liên kết riêng càng lớn có nghĩa là khối lượng của hạt nhân càng nhỏ. Như vậy có nghĩa là nếu muốn có năng lượng phát ra trong một phản ứng, người ta phải tìm cách biến những hạt có năng lượng liên kết nhỏ thành những hạt có năng lượng liên kết lớn. Hình vẽ trên cho ta thấy có hai cách:

- Một là, tìm cách biến những hạt nhân thật nặng thành nhiều hạt nhân nhẹ hơn. Ví dụ: phân hạch của U235 sau khi hấp thụ neutron:



Đây là nguyên tắc của các lò hạt nhân, dùng hiện tượng phân hạch.

- Hoặc ngược lại, tìm cách ghép những hạt thật nhỏ thành những hạt lớn hơn một chút. Hình trên cho thấy là nếu ghép hai hạt deuterium ($A=2$, có năng lượng liên kết riêng bằng 1 MeV) thành một hạt helium ($A=4$, có năng lượng liên kết riêng lớn hơn nhiều, bằng 7 MeV), ta sẽ có năng lượng phát ra. Đây là nguyên lý của phản ứng kết hạch. Phản ứng này đã được dùng để chế tạo bom khinh khí nhưng cho tới nay chưa được dùng để chế tạo năng lượng trong kỹ nghệ.

Đi tới phản ứng dây chuyền

Vào thời kỳ đầu năm 1939, hiểu biết của các vật lý gia về hiện tượng hấp thụ neutron và phân hạch của uranium có thể tóm tắt như sau:

- Cả U235 và U238 đều hấp thụ neutron nhanh (năng lượng trên 1 MeV) và phân hạch.
- U238 hấp thụ neutron chậm nhưng không phân hạch.
- Chỉ có U235 mới phân hạch sau khi hấp thụ neutron chậm.

- Trung bình, mỗi phân hạch sinh ra tức thời từ 2 tới 3 neutron gọi là neutron sớm (prompt neutron) và cũng có thể còn có ít (khoảng 1%) neutron muộn (delayed neutron) được phát ra bởi sự phân hủy của những hạt nhân phóng xạ có khối lượng trung bình được hình thành bởi phân hạch đầu tiên (như ^{147}La và ^{87}Ba trong phản ứng phân hạch của ^{235}U ở trên).

Nếu muốn có phản ứng dây chuyền, điều kiện là *ít nhất* một trong những neutron được sinh ra sau mỗi phân hạch phải được hấp thụ bởi một hạt uranium trong những điều kiện để hạt này có thể phân hạch tiếp, nghĩa là hoặc neutron đó có năng lượng cao hoặc là, nếu nó có năng lượng thấp, được hấp thụ bởi một hạt U235. Fermi định nghĩa một hệ số k là tỷ lệ giữa số neutron của một thế hệ trên số neutron của thế hệ trước đó. Nếu $k \geq 1$, người ta có phản ứng dây chuyền.

Khó khăn là vì:

- Những hạt neutron, tuy có năng lượng cao khi được phát ra, nhưng nhanh chóng mất năng lượng này ví tương tác với môi trường chung quanh (với chính những hạt nhân uranium ở chung quanh hoặc với chất điều hòa).

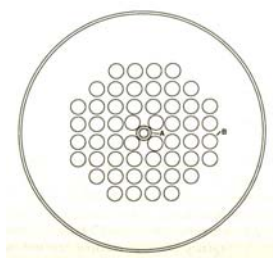
- Tỷ số U235 có trong uranium tự nhiên quá thấp (0,7 %) vì vậy xác suất để những hạt neutron được hấp thụ bởi U235 rất bé. Một phần lớn neutron sau khi mất năng lượng để trở thành neutron chậm sẽ không bị hấp thụ bởi U235 để phân hạch mà lại bị hấp thụ bởi U238 không đưa tới phân hạch.

- Thời đó, người ta cho là không thể làm phân tách đồng vị (isotope separation) để tăng tỷ số U235 trong uranium tự nhiên.

Khi Bohr trình bày giả thiết của ông ở Hội nghị của Hội Vật lý Mỹ về vai trò đặc biệt của U235, Fermi lúc đó cũng có mặt ở đó. Fermi chưa hẳn tin vào vai trò của U235 như Bohr đã trình bày. Ông tin rằng có thể làm được phản ứng dây chuyền bằng cách dùng uranium thiên nhiên. Với cậu sinh viên trẻ Herbert Anderson, Fermi nói: "*Ở lại đây làm việc với tôi. Chúng ta sẽ dùng uranium thiên nhiên. Rồi anh sẽ thấy. Chúng ta sẽ là những người đầu tiên làm được phản ứng dây chuyền.*" Anderson nghe lời và ở lại với Fermi. Phương pháp mà Fermi áp dụng là thử nghiệm, đi từng bước và tiến lên dựa trên kinh nghiệm của những bước đi trước.

Bước đầu đã được làm khi Fermi còn ở Đại học Columbia. Trước hết, ông muốn biết là với một cách xếp đặt uranium và chất điều hòa nào đó, số neutron phát ra sẽ có tăng lên hay không. Với gần 250 kg uranium oxide mà Szilard mượn được của hãng Eldorado Radium, Fermi sắp đặt theo như

hình sau đây:



Một cách xếp đặt nguyên liệu uranium

Uranium oxide được bỏ vào trong 52 ống tròn và đặt trong một thùng đựng đầy dung dịch manganese dùng làm chất điều hòa. Ở giữa là một nguồn neutron Ra+Be. Kết quả là hoạt độ của neutron tăng lên 10%. Độ tăng neutron rất nhỏ, tuy nhiên đó là một kết quả khích lệ vì dù sao số neutron cũng đã có tăng lên.

[Điều đáng chú ý ở đây là Fermi đã dùng một chất điều hòa để có một hiệu ứng tốt mà thực ra chưa hiểu đúng lý do tại sao lại cần chất đó. Mục đích của chất điều hòa là để làm neutron chậm đi: nếu neutron mất năng lượng rất nhanh để trở thành những neutron nhiệt có năng lượng khoảng chục eV thì xác suất được hấp thụ bởi U235 rất lớn (tỷ lệ hấp thụ $1/v$, v = vận tốc) mặc dù chỉ có ít U235 trong uranium tự nhiên. Vậy mà Fermi lại không tin ở giả thiết của Bohr về vai trò của U235.]

Từ thử nghiệm thứ nhất này, Fermi đã rút ra được hai bài học:

- Số lượng uranium tự nhiên có quá ít. Vì khối lượng quá nhỏ, rất nhiều neutron được sinh ra đã có thì giờ để đi ra ngoài không bị hấp thụ và bị mất đi.

- Dung dịch manganese không phải là một chất điều hòa tốt.

Vì vậy hai năm sau, vào tháng 9, 1941, khi vẫn còn ở Columbia, Fermi làm lại thử nghiệm trên với những phương tiện lớn hơn. Mục đích là để liệu xem sẽ cần bao nhiêu nguyên liệu uranium tự nhiên sắp xếp như thế nào để đi tới phản ứng dây chuyền và cùng một lúc để thử nghiệm phương cách kiểm tra tránh tai nạn có thể xảy ra. Fermi tả lại cái pin ấy như sau: " cái pin này lớn hơn tất cả những gì mà chúng tôi đã xây từ trước tới giờ. Đó là một cấu trúc bằng những tảng than đá trong đó để lẫn những hộp đựng uranium oxide. Hộp hình khối vuông mỗi cạnh 8 inch, đựng được khoảng 60 pound (27 kg) uranium oxide, cả thấy có 288 hộp." Fermi gọi cái cấu trúc đó là một cái pin (pile). Segrè kể lại như sau: "Khi nghe Fermi gọi cái cấu trúc đó là một cái pin, tôi lại tưởng là, vì ông ta là người Ý, có thể là ông ấy muốn dùng chữ pin để nhắc lại cái pin điện

Volta. Tôi đã thất vọng khi nghe Fermi nói là, không, ông ấy chỉ muốn nói đó là một đồng (a pile = một đồng)!"

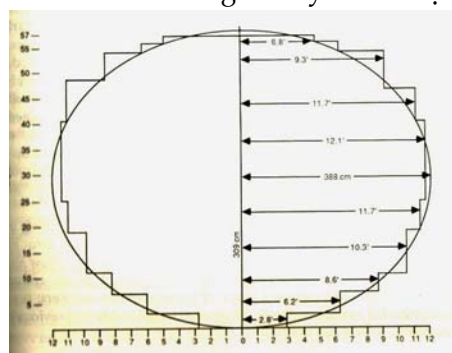
Kết quả khi thử nghiệm đã không được như mong muốn: hệ số k lấy được chỉ tới 0.87. Fermi nói: "0.87 nghĩa là còn thiếu 0.13. Không tốt!".

Vào đầu năm 1942, Ủy ban Plutonium quyết định dời chương trình làm phản ứng dây chuyền của Fermi tới Đại học Chicago. Vì lúc đó thì vấn đề làm bom nguyên tử đã được chính thức hóa, mà một trong những yếu tố để có bom này là phản ứng dây chuyền, dự án của Fermi được hỗ trợ nhiều hơn về tài chính. Ở Đại học Chicago, người ta đã tìm được một chỗ để nhóm nghiên cứu làm việc: đó là một cái phòng thể thao chơi squash bỏ không, khá rộng.

Ở đây, sau vài lần thử nghiệm nữa, Fermi đi tới kết luận là:

- Cần phải có than đá tinh khiết hơn, trong đó không có những nguyên tố khác có thể hấp thụ các neutron;
- Cần có nhiều uranium kim loại, có tỷ trọng lớn hơn uranium oxide;
- Pin cần có một cấu trúc hình cầu.

Cái pin mà nhóm Fermi cuối cùng đã xây lên có họa đồ như sau:



Cấu trúc của lò thử nghiệm CP-1

Nó có hình ellipsoid bẹt, giống như một cái nắm cửa. Cái pin này được gọi là CP-1 (Chicago Pile N°1). Đúng theo cách làm việc của mình, Fermi đi tới cấu trúc này theo từng chặng, xây từ thấp lên cao theo từng tầng, và mỗi lần một tầng được làm thêm thì lại đo hệ số k . Bằng cách đó, Fermi đã tính được bằng phép ngoại suy là sẽ có phản ứng dây chuyền khi pin lên tới tầng 56 hay 57. Đây là một tấm ảnh xấu xí của pin.



Pin CP-1, lò phản ứng hạt nhân đầu tiên.

Như vậy cho tới sáng ngày 2 tháng 12 năm 1942, Fermi bắt đầu thử nghiệm quan trọng nhất. Trước hết, ông ra lệnh rút hết các thanh cadmium điều khiển ra, trừ một thanh. Cường độ neutron được đo và so với dự đoán. Sau đó, Fermi ra lệnh rút thanh cadmium cuối cùng ra một nửa. Máy đo neutron chỉ cường độ tăng lên rồi đi ngang. Fermi lại dùng thước kéo làm vài con tính, rồi lại bảo người phụ tá Weil rút thanh đó ra thêm 6 inch. Cường độ neutron lại tăng thêm rồi lại ngừng ở một độ ngang. Fermi lại rút thước tính, và mỗi lần như vậy đều thấy độ tăng đúng như dự đoán. Fermi cho kéo thanh điều khiển ra thêm 6 inch nữa. Cường độ neutron lại tăng lên nữa và lần này lên quá khả năng đo lường của một vài máy đo. Một nhân chứng kể lại như sau:

"Sau khi các máy đã được điều chỉnh lại, Fermi lại bảo Weil rút thanh cadmium ra 6 inch nữa. Pin vẫn còn ở dưới mức tới hạn. Cường độ tăng lên từ từ, và bất thành linh có một tiếng đổ vỡ rất lớn. Hóa ra là thanh điều hòa bất ngờ bị bỏ lỏng và rơi vào trong pin. Lúc đó là 11 giờ 30 sáng. Fermi nói: " Tôi đói rồi. Bây giờ chúng ta hãy đi ăn trưa đã."

Mở cửa cho thần khổng lồ

Họ đã cùng nhau đi ăn trưa, nhưng chắc là chẳng có một người nào đã nghĩ tới chuyện ăn uống. Họ đều biết chắc là họ đã đi đến bước cuối cùng và chiều nay khi trở lại, pin sẽ tới hạn. Vì vậy, đúng 3 giờ 53 phút, khi Fermi tuyên bố là pin đã tới hạn, *"không ai có một nghi ngờ nào hết."*, theo lời kể lại của Anderson.

Tuy nhiên, người ta có một cảm giác băng khuâng, như theo lời thuật lại của Eugene Wigner, một nhà bác học gốc Hungary, cũng có mặt ở Chicago lúc đó:

"Tuy rằng chúng tôi đã tiên đoán được kết quả của thử nghiệm, nhưng khi làm

được thì chúng tôi cũng bàng hoàng. Đã từ lâu rồi, chúng tôi vẫn biết là chúng tôi sắp sửa mở một cái hộp có một ông thần khổng lồ; vậy mà khi làm xong, chúng tôi vẫn không tránh khỏi một cảm giác lạ lùng. Tôi cho là cái cảm giác của chúng tôi cũng giống như cảm giác của một người vừa làm một cái gì mà người đó biết là sẽ có những hậu quả xa xôi không thể lường trước được."

Lời bàn cuối

Nói đúng ra, Kỷ nguyên Mới đã không bắt đầu buổi chiều ngày 2 tháng 12 năm 1942 với sự hoàn thành phản ứng dây chuyền đầu tiên của Fermi. Nó đã bắt đầu ngày 14 tháng 12 năm 1900 khi, trước Hội Vật lý của Berlin, nhà bác học Max Planck đã đưa ra giả thiết năng lượng tử của mạch dao động, khởi đầu cho thuyết Lượng tử. Thuyết Lượng tử, và tiếp theo là cơ học lượng tử, đã đem lại những hiểu biết cơ bản cần thiết để đi tới việc hoàn thành phản ứng dây chuyền.



Max Planck

NGUYỄN VĂN HIỆU*

MỘT THẾ KỶ PHÁT TRIỂN SÔI ĐỘNG CỦA VẬT LÝ

A Century with the Effervescent Development of Physics

Abstract. This article is a brief review of the marvellous achievements of physics during the whole 20-th century originated from the quantum hypothesis of Max Planck. The motive for this discovery was the need to explain the empirical laws on the black body radiation. The subsequent discoveries leading to the foundation of the relativistic theory of quantized fields - the topmost height of the quantum physics at present time, and a powerful tool for the study of the structure of matter, were reviewed. The crucial role of the discoveries of quantum physics in the foundation of high technologies of 21-st century was discussed.

The prediction on the enlargement of quantum physics to include other natural sciences toward the foundation of the multidisciplinary quantum science was announced. This would be a good chance for Vietnam and other developing countries to catch up with advanced countries.

Phát minh thuyết lượng tử của Max Planck vào năm 1900 và hàng loạt những phát minh nối tiếp đã mở ra một thời kỳ mới rất sôi động trong lịch sử vật lý với sự hình thành và phát triển *Vật lý lượng tử*. Những thành tựu tuyệt vời của vật lý lượng tử đã thúc đẩy sự phát triển của nhiều ngành khoa học tự nhiên khác như hóa học, khoa học vật liệu, khoa học về sự sống cũng như đã trở thành cơ sở khoa học của nhiều loại công nghệ hiện đại như công nghệ vi điện tử, công nghệ quang tử, công nghệ máy tính, công nghệ viễn thông, v.v...

Sự phát minh thuyết lượng tử

* Viện sĩ, Chủ tịch Hội đồng Khoa học ngành Khoa học Vật liệu, Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

Vào những năm cuối thế kỷ 19, trên cơ sở những kết quả nghiên cứu thực nghiệm về bức xạ điện từ của các vật đen lý tưởng, Wilhelm Wien đã thiết lập được định luật mang tên ông về cường độ bức xạ phụ thuộc tần số ở nhiệt độ xác định. Định luật Wien không phù hợp với công thức Rayleigh-Jeans suy ra từ lý thuyết trường điện từ của Maxwell. Với một giả thuyết táo bạo về việc năng lượng của trường điện từ đơn sắc chỉ có thể nhận các giá trị gián đoạn là bội nguyên của một đại lượng nhỏ nhất $h\nu$ gọi là lượng tử năng lượng tỷ lệ với tần số ν , trong đó h là một hằng số vạn năng, Max Planck đã tìm ra công thức của cường độ bức xạ phụ thuộc tần số của vật đen lý tưởng hoàn toàn phù hợp với định luật Wien cũng như với các kết quả nghiên cứu thực nghiệm của các tác giả khác, trong đó có định luật Stefan-Boltzmann. Wilhelm Wien được nhận giải Nobel năm 1911 và đến năm 1918 Max Planck được nhận giải Nobel.

Cơ học lượng tử

Mở rộng giả thuyết Planck và đề xuất lý thuyết mới về ánh sáng đơn sắc gồm các hạt gọi là photon có năng lượng và xung lượng được xác định bởi công thức Planck và thuyết tương đối, Albert Einstein đã giải thích được các quy luật được thiết lập bằng thực nghiệm về hiệu ứng quang điện mà thuyết điện từ Maxwell không giải thích được. Năm 1921, Albert Einstein được giải Nobel. Tiếp theo đó, các kết quả nghiên cứu thực nghiệm của Arthur Holly Compton về tán xạ đàn tính của ánh sáng đơn sắc lên điện tử tự do hoàn toàn phù hợp với công thức suy ra từ thuyết photon của Einstein, gọi là hiệu ứng Compton. Ông đã nhận giải Nobel năm 1927.

Hiện tượng năng lượng chỉ có thể có các giá trị gián đoạn được gọi là sự lượng tử hóa năng lượng. Thừa nhận thêm sự lượng tử hóa mômen xung lượng của điện tử chuyển động quanh hạt nhân (mômen xung lượng chỉ có thể nhận các giá trị là một bội nguyên của $\frac{h}{2\pi}$) cùng với sự lượng tử hóa

năng lượng và áp dụng thuyết photon của Einstein, Niels Bohr đã xây dựng nên lý thuyết lượng tử về cấu tạo nguyên tử, cho phép tính ra bước sóng của các vạch nguyên tử hydro phù hợp với thực nghiệm, và được nhận giải Nobel năm 1922.

Sự tồn tại song song hai lý thuyết khác nhau về ánh sáng, lý thuyết sóng cho phép giải thích các hiện tượng sóng như giao thoa, nhiễu xạ, và lý thuyết photon của Einstein cho phép giải thích các hiệu ứng lượng tử như hiệu ứng quang điện, hiệu ứng Compton, các vạch quang phổ... chứng tỏ

ánh sáng có lưỡng tính sóng-hạt. Louis de Broglie đã nêu ra giả thuyết về lưỡng tính sóng-hạt của các hạt vi mô, trước hết là của điện tử, và đề xuất ý tưởng về một lĩnh vực cơ học mới nghiên cứu chuyển động của các hạt vi mô theo những định luật sóng. Tiếp theo đó các nhà khoa học Đức Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger và Max Born đã phát triển lý thuyết của Louis de Broglie và xây dựng thành công lĩnh vực mới này. Đó là **Cơ học lượng tử**. Louis de Broglie nhận giải Nobel năm 1929, Werner Heisenberg - năm 1932, Erwin Schrödinger - năm 1933 và Max Born - năm 1954. Do có tính chất sóng cho nên trong sự chuyển động của chùm điện tử qua một khe hở nhỏ phải xảy ra hiện tượng nhiễu xạ giống như hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng. Clinton Davisson và George Thomson đã quan sát được hiện tượng nhiễu xạ của chùm điện tử và được nhận giải Nobel năm 1937. Những kết quả nghiên cứu thực nghiệm của Venkata Raman về tán xạ không đàn tính của ánh sáng trên các nguyên tử hoàn toàn phù hợp với tiên đoán của thuyết lượng tử, và Venkata Raman đã nhận giải Nobel năm 1930.

Sau khi cơ học lượng tử được xây dựng trên cơ sở lượng tử hóa cơ học kinh điển không tương đối tính, Paul Dirac đã thực hiện việc lượng tử hóa cơ học tương đối tính tuân theo thuyết tương đối của Einstein và đề xuất phương trình sóng spinơ nổi tiếng mang tên ông. Một hạt tích điện chuyển động theo quỹ đạo vừa có mômen xung lượng, vừa tạo ra mômen từ tỷ lệ thuận với mômen xung lượng với hệ số tỷ lệ μ_B gọi là magneton Bohr. Điện tử có mômen xung lượng riêng gọi là spin, đồng thời có mômen từ riêng, song theo các kết quả thực nghiệm thì hệ số tỷ lệ này là $2\mu_B$. Từ phương trình Dirac suy ra rằng đối với mômen từ riêng của electron có spin $\frac{1}{2}$ quả

thực hệ số này phải là $2\mu_B$. Thật là tuyệt vời. Phương trình Dirac có các lời giải mô tả các trạng thái năng lượng âm. Theo Dirac chân không là một "biển" điện tử lấp đầy tất cả các trạng thái năng lượng âm và bỏ trống tất cả các trạng thái năng lượng dương. Sự bỏ trống một trạng thái năng lượng âm $-E$ và điện tích âm $-e$ chính là sự xuất hiện của positron - phản hạt của điện tử, với năng lượng dương $+E$ và điện tích dương $+e$. Như vậy, theo lý thuyết của Dirac, đã có hạt mang spin $\frac{1}{2}$ thì phải có phản hạt. Paul Dirac đã

nhận giải Nobel năm 1933.

Hiện tượng dao động của sự phân bố điện tử trên hai mức của một hệ nguyên tử hai mức dưới tác dụng cộng hưởng của ánh sáng đơn sắc được Isidor Rabi phát hiện ra (dao động Rabi) là một hiện tượng nửa khăng định

tính đúng đắn của lý thuyết lượng tử về tương tác của ánh sáng với các hệ nguyên tử. Isidor Rabi đã nhận giải Nobel năm 1944.

Thuyết lượng tử Bohr về cấu tạo nguyên tử cho phép hiểu được nguồn gốc sâu xa của các tính chất hóa học của các nguyên tử và sự sắp xếp các nguyên tố hóa học trong bảng phân hạng tuần hoàn Mendeleev, nếu thừa nhận một số quy tắc về sự phân bố điện tử trên các lớp. Để giải thích nguồn gốc sâu xa của các quy tắc đó, Wolfgang Pauli đã nêu ra nguyên lý sau đây: mỗi trạng thái của điện tử trong nguyên tử chỉ có thể bị chiếm bởi một điện tử, hai điện tử không thể tồn tại trong cùng một trạng thái. Nguyên lý đó sau này được gọi là nguyên lý loại trừ Pauli, và Wolfgang Pauli đã nhận giải Nobel năm 1945.

Lý thuyết trường lượng tử

Mặc dù đã đạt những thành tựu xuất sắc được công nhận bởi hàng chục giải Nobel, cơ học lượng tử và thuyết photon tồn tại độc lập và song song vẫn chưa là một học thuyết hoàn chỉnh về cấu tạo của thế giới vi mô và về các quá trình vật lý trong thế giới đó. Trong khi sự hình thành cơ học lượng tử là kết quả của việc áp dụng các quy tắc lượng tử hóa vào các hệ cơ học thì thuyết photon của Einstein mới chỉ được hình thành bằng việc thừa nhận giả thuyết về tính chất hạt của ánh sáng đơn sắc. Richard Feynman, Sin-Itiro Tomonaga, Julian Schwinger đã tiến hành việc lượng tử hóa trường điện từ kinh điển theo những quy tắc lượng tử hóa là sự mở rộng các quy tắc lượng tử hóa trong cơ học lượng tử, đồng thời lượng tử hóa luôn cả các hàm sóng trong cơ học lượng tử xem như một loại trường kinh điển (lượng tử hóa lần thứ hai), và xây dựng thành công một học thuyết thống nhất về chuyển động và tương tác của điện tử và photon, gọi là *Điện động lực học lượng tử* (Quantum Electrodynamics, viết tắt là QED). Xuất phát từ một số ít những nguyên lý chung, điện động lực học lượng tử diễn đạt một cách thống nhất tất cả các thành tựu của vật lý lượng tử từ khi thuyết lượng tử của Max Planck ra đời, đồng thời còn tiên đoán một loạt hiện tượng mới như cấu trúc siêu tinh tế của nguyên tử hydro (xê dịch Lamb) và mômen từ dị thường của điện tử, và là lý thuyết của tất cả các quá trình biến đổi của các hệ gồm điện tử, positron và photon. Độ xê dịch Lamb và mômen từ dị thường của điện tử đã được đo với độ chính xác rất cao trong các thí nghiệm của Willis Eugene Lamb và Polykarp Kusch. Kết quả thực nghiệm phù hợp với những tiên đoán của điện động lực học lượng tử, Willis Eugene Lamb và Polykarp Kusch đã nhận giải Nobel năm 1955.

Sự lượng tử hóa trường điện từ và trường spinơ diễn tả các điện tử và positron trong điện động lực học lượng tử đã được mở rộng để áp dụng cho tất cả các hạt vi mô khác. Hideki Yukawa đã vận dụng lý thuyết lượng tử về trường meson có khối lượng để giải thích nguồn gốc sâu xa của lực hạt nhân gắn kết các proton và neutron thành các hạt nhân nguyên tử và tiên đoán sự tồn tại của các meson. Từ các số liệu về bán kính các hạt nhân, ông cũng ước tính khối lượng của meson. Sau khi các meson được phát hiện trong tia vũ trụ, Hideki Yukawa đã nhận giải Nobel năm 1949.

Đến những năm 50 của thế kỷ trước, lý thuyết trường lượng tử tương đối tính đã diễn đạt một cách thống nhất tất cả các trạng thái lượng tử của các hệ vi mô và các quá trình biến hóa giữa các hạt đó. Với những đóng góp to lớn trong việc xây dựng lý thuyết trường lượng tử, Richard Feynman, Julian Schwinger và Sin-Itiro Tomogana đã nhận giải Nobel năm 1965.

Tính đối xứng của các hệ lượng tử

Các hệ lượng tử thường có các tính chất đối xứng đối với một tập hợp các phép biến đổi tạo thành một nhóm đối xứng. Các trạng thái của một hệ có tính đối xứng có thể được diễn tả bởi các biểu diễn bất khả quy của nhóm đối xứng tương ứng. Để ghi nhận công lao của ông trong việc ứng dụng lý thuyết nhóm vào sự nghiên cứu tính đối xứng của các hệ lượng tử, Eugene Wigner đã được tặng giải Nobel năm 1963.

Trong các nhóm đối xứng của các hệ vi mô, ngoài các phép biến đổi liên tục có ba phép biến đổi gián đoạn là biến đổi liên hợp điện tích C (biến hạt thành phản hạt), phép nghịch đảo không gian P và phép đảo ngược thời gian T . Các quá trình biến đổi trong điện động lực học lượng tử bất biến đối với từng biến đổi gián đoạn C , P và T . Cho đến trước năm 1956, người ta vẫn cho rằng tất cả các loại tương tác của các hạt vi mô đều bất biến với ba biến đổi đó, nghĩa là mọi quá trình biến đổi đều bảo toàn C , P và T . Nếu đúng như vậy thì không thể lý giải được hiện tượng K -meson có thể phân rã lúc thì thành hai π -meson, lúc thì thành ba π -meson. Để giải thích điều đó Chen-Ning Yang và Tsun-Dao Lee đã giả thiết rằng P không bảo toàn trong các quá trình tương tác yếu và tiên đoán sự bất đối xứng của sự phân bố điện tử theo góc trong quá trình phân hủy neutron phân cực. Thí nghiệm đã chứng minh rằng ý tưởng đó của Chen-Ning Yang và Tsun-Dao Lee là đúng, và hai ông đã nhận giải Nobel năm 1957.

Sau khi biết rằng trong tương tác yếu P không bảo toàn thì nhiều nhà

vật lý vẫn tin rằng tích CP là bảo toàn mặc dù cả P và C đều không bảo toàn. Thực ra trong tương tác yếu tích CP cũng không bảo toàn. Điều đó đã được phát hiện trong thí nghiệm của James Cronin và Val Fitch. Hai ông đã nhận giải Nobel năm 1980.

Các hạt vi mô có một đặc điểm khác với các vật thể vĩ mô là các hạt cùng một loại "giống hệt nhau" và chúng ta không thể phân biệt được hai hạt cùng một loại. Do đó các nhà vật lý giả thiết rằng hàm sóng của một hệ hạt vi mô có tính đối xứng (không thay đổi) hoặc phản đối xứng (đổi dấu) đối với phép hoán vị hai hạt đồng nhất. Loại hạt mà hàm sóng có tính đối xứng tuân theo thống kê Bose-Einstein và được gọi là boson, còn loại hạt mà hàm sóng có tính phản đối xứng tuân theo thống kê Fermi-Dirac thì được gọi là fermion. Từ định nghĩa thống kê Fermi-Dirac suy ra nguyên lý loại trừ Pauli đối với các fermion.

Một thành công tuyệt đẹp của lý thuyết trường lượng tử tương đối tính là việc chứng minh được nguyên lý loại trừ Pauli. Xuất phát từ các tiên đề cơ bản nhất của vật lý là tính bất biến đối với phép biến đổi Lorentz, nguyên lý nhân quả vi mô và tính xác định dương của năng lượng, Pauli và Luders đã chứng minh được rằng các hạt sơ cấp có spin nguyên phải tuân theo thống kê Bose-Einstein, còn các hạt có spin bán nguyên phải tuân theo thống kê Fermi-Dirac (định lý spin-thống kê), và số lượng tử CTP phải bảo toàn (định lý CPT). Cho đến nay chưa có thí nghiệm nào chứng tỏ các định lý đó bị vi phạm.

Sau khi các máy gia tốc năng lượng cao cỡ hàng chục GeV được xây dựng và bắt đầu hoạt động vào những năm 60 của thế kỷ trước, người ta phát hiện ngày càng nhiều hạt mà thời đó gọi là hạt sơ cấp. Trong vật lý học các hạt sơ cấp thời đó lại xuất hiện tình trạng giống như hóa học trước khi bảng tuần hoàn Mendeleev ra đời. Gell-Mann và Ne'eman đã đề xuất phân loại các hạt sơ cấp theo các biểu diễn bất khả quy của nhóm SU(3). Trong các đa tuyến SU(3) có một thập tuyến mà vào thời kỳ đó mới chỉ biết có chín hạt. Thuyết đối xứng SU(3) tiên đoán phải có hạt thứ mười gọi là Ω^- . Sau khi thực nghiệm phát hiện được Ω^- , Murray Gell-Mann được trao giải Nobel năm 1969 để ghi nhận công lao của ông trong việc phát triển lý thuyết đối xứng của các hạt sơ cấp.

Ngay sau khi phát minh ra proton, neutron, các meson và neutrino, và coi các hạt đó cùng với điện tử và photon là các hạt sơ cấp được diễn tả bởi các trường lượng tử tương ứng, người ta đã biết rằng có bốn loại tương tác

của các hạt sơ cấp: tương tác mạnh, tương tác điện từ, tương tác yếu và tương tác hấp dẫn. Mặc dù hằng số tương tác yếu hiệu dụng giữa bốn fermion có các giá trị rất bé so với hằng số tương tác điện từ, song hai loại tương tác này lại có nhiều đặc điểm giống nhau. Từ những kết quả thực nghiệm về sự tương tự giữa hai loại tương tác đó, Abdus Salam, Steven Weinberg và Sheldon Glashow đã đề xuất lý thuyết thống nhất về tương tác điện từ và tương tác yếu, gọi là tương tác điện từ–yếu, được truyền bởi một trường meson vectơ. Do có sự phá vỡ tự phát của tính đối xứng, các hạt truyền tương tác yếu trở nên có khối lượng lớn và do đó hằng số tương tác hiệu dụng của tương tác yếu trở nên rất nhỏ. Abdus Salam, Steven Weinberg và Sheldon Glashow đã nhận giải thưởng Nobel năm 1979. Hai mươi chín năm sau, năm 2008, Yoichiro Nambu lại nhận giải Nobel do có những đóng góp từ lâu vào việc nghiên cứu sự phá vỡ tự phát tính đối xứng, cùng với Makoto Kobayashi và Toshihide Maskawa có công lao tiếp tục phát triển lý thuyết thống nhất tương tác điện từ–yếu.

Tương tác điện từ–yếu giữa các fermion được truyền bởi một trường meson trung gian có spin bằng 1. Photon với khối lượng bằng không và truyền tương tác điện từ là một hạt của trường này. Ngoài ra còn có các hạt nặng khác là các hạt $W^\pm$ tích điện và hạt Z^0 trung hòa truyền tương tác yếu. Carlo Rubbia và Simon van der Meer đã phát hiện ra các hạt meson trung gian truyền tương tác yếu và nhận giải Nobel năm 1984.

Trường meson trung gian trong tương tác điện từ–yếu là một loại trường vectơ đặc biệt gọi là trường chuẩn (gauge field) thỏa mãn hệ phương trình vi phân phi tuyến bất biến đối với một nhóm không abel SU(2). Các biến đổi chuẩn SU(2) có các tham số phụ thuộc tọa độ không thời gian (local gauge transformations). Gerardus 't Hooft và Martinus Veltman đã phát triển lý thuyết các trường chuẩn không abel và nhận giải Nobel năm 1999.

Cấu tạo các hạt nhân nguyên tử và các "hạt sơ cấp"

Sau khi xây dựng được lý thuyết hoàn chỉnh về cấu tạo của các nguyên tử trên cơ sở các định luật của cơ học lượng tử, các nhà vật lý đã bắt đầu ngay việc nghiên cứu cấu tạo của các hạt nhân nguyên tử. Hạt nhân nhỏ bé nhất là hạt nhân của nguyên tử hydro, gọi là proton. Ngoài các proton, mỗi hạt nhân nguyên tử còn gồm các neutron có khối lượng xấp xỉ khối lượng proton, cùng có spin $\frac{1}{2}$ như proton nhưng là hạt trung hòa. James Chadwick là người đã phát hiện được neutron và được trao giải Nobel năm

1935.

Khi proton hoặc neutron va chạm với các hạt nhân hoặc khi hai hạt nhân va chạm với nhau thì thường xảy ra các phản ứng hạt nhân. Vì neutron không tích điện và do đó không bị các hạt nhân đẩy ra cho nên dù chuyển động rất chậm, neutron vẫn có thể va chạm với hạt nhân để gây ra phản ứng hạt nhân. Với những công trình nghiên cứu các phản ứng hạt nhân gây ra bởi các neutron chậm, Enrico Fermi đã được trao giải Nobel năm 1938.

Proton mang điện dương cho nên khi đến gần một hạt nhân nào đó thì bị hạt nhân này đẩy ra. Do đó muốn làm cho proton va chạm với hạt nhân thì phải truyền cho nó một động năng đủ để thắng lực đẩy của hạt nhân. Lần đầu tiên trên thế giới Ernest Lawrence đã chế tạo thành công máy gia tốc tròn gọi là cycrotron có tác dụng tăng tốc các proton để gây ra phản ứng hạt nhân và nhận giải Nobel năm 1939. Sự nghiên cứu các phản ứng hạt nhân đã tạo ra cơ sở khoa học cho việc sử dụng năng lượng hạt nhân.

Theo lý thuyết trường lượng tử, đã có proton và neutron thì phải có các phản hạt của chúng là antiproton và antineutron. Emilio Segre và Owen Chamberlain đã phát hiện được antiproton và được trao giải Nobel năm 1959. Hạt nhân tất cả các nguyên tử đều gồm các proton và các neutron, gọi chung là nucleon. Với những kết quả nổi bật trong sự nghiên cứu cấu trúc của các hạt nhân nguyên tử, Maria Goeppert-Mayer và Hans Jensen đã nhận giải Nobel năm 1963, sau đó Aage Bohr, Ben Mottenson và Leo Rainwater lại nhận giải Nobel năm 1975.

Khi các hạt tích điện như proton, antiproton, điện tử, positron có năng lượng cao (trong các tia vũ trụ hoặc các máy gia tốc) va chạm với nhau hoặc với các hạt nhân nguyên tử thì ngoài các quá trình tán xạ đàn tính, còn xảy ra các quá trình sinh nhiều hạt khác. Nhiều giải Nobel đã được trao cho các nhà vật lý có cống hiến lớn vào sự phát minh ra các hạt mới: Louis Alvarez năm 1968, Burton Richter và Samnel Ting năm 1976, Leon Lederman, Melvin Schwartz và Jack Steinberger năm 1988, Martin Perl và Frederick Reines năm 1995. Với những kết quả nghiên cứu về các neutrino sinh ra trong các quá trình biến đổi của vũ trụ, Raymond Davis Jr và Masotoshi Koshiba đã được trao giải Nobel năm 2002.

Lúc đầu, khi số hạt được phát hiện còn ít, người ta gọi đó là các "hạt sơ cấp". Cho đến nay vật lý học đã chứng minh rằng tất cả các "hạt sơ cấp" tham gia vào tương tác mạnh, gọi là các hadron, đều là các hệ hạt do các hạt

"cơ bản hơn" tạo thành. Là người đi tiên phong trong việc nghiên cứu thực nghiệm cấu tạo của các nucleon, Robert Hofstadter đã nhận giải Nobel năm 1961.

Lý thuyết về cấu tạo của các hadron có nhóm đối xứng SU(3) cũng đã được Murray Gell-Mann đề xuất: tất cả các hadron đều được tạo thành từ một loại hạt "cơ bản hơn" gọi là quark. Có ba loại hạt quark diễn tả bởi biểu diễn cơ bản - tam tuyến của nhóm SU(3). Mỗi hạt proton, neutron hoặc hyperon đều gồm ba hạt quark, còn các meson là các hệ quark-antiquark. Các hạt quark có điện tích phân số bằng $\frac{1}{3}$ hoặc $\frac{2}{3}$ điện tích của điện tử.

Cho đến nay chưa có thí nghiệm nào phát hiện được điện tích phân số. Như vậy, nếu quả thực có các quark thì các hạt này "bị cầm tù vĩnh viễn" bên trong các hadron và không bao giờ được "tự do". Bằng các thí nghiệm về tán xạ của điện tử và neutrino trên nucleon, Jerome Friedman, Henry Kendall và Richard Taylor đã "chụp ảnh" được các quark bên trong nucleon, đã đo một cách gián tiếp điện tích của chúng và thu được các giá trị phân số nói trên. Ba ông đã nhận giải Nobel năm 1990. Nếu giả thiết rằng, mặc dù các hạt quark "bị cầm tù vĩnh viễn", nhưng ở bên trong các bức tường của "nhà tù" các hạt này được tự do hoàn toàn, thì các nhà lý thuyết có thể tính được khá chính xác các giá trị của các tham số vật lý của các hadron. Kết quả tính toán chỉ phù hợp với các số liệu đo được trong các thí nghiệm nếu hàm sóng của hệ ba hạt quark tạo thành các baryon là hoàn toàn đối xứng đối với sự hoán vị các hạt quark, mà điều đó lại mâu thuẫn với đòi hỏi hàm sóng của mọi hệ nhiều quark phải phản đối xứng vì các quark tuân theo thống kê Fermi-Dirac. Mâu thuẫn này có thể khắc phục ngay nếu giả thiết thêm rằng có ba tam tuyến quark rất giống nhau, ngoài các bậc tự do đã biết còn có thêm một bậc tự do mới cho phép phân biệt ba tam tuyến này. Điều đó có nghĩa là có hai nhóm đối xứng SU(3), một nhóm SU(3) ứng với bậc tự do đối xứng nội tại đã biết từ trước (với các số lượng tử là điện tích và số lạ) gọi là hương (flavor), và nhóm SU(3) khác ứng với bậc tự do mới gọi là sắc hoặc màu (color). Nếu mỗi baryon là một đơn tuyến của nhóm SU(3) màu và do đó hàm sóng của nó phải hoàn toàn phản đối xứng đối với sự hoán vị các "tọa độ màu" của các quark, thì theo thống kê Fermi-Dirac hàm sóng đó lại hoàn toàn đối xứng đối với sự hoán vị các tọa độ vốn có trước đây. Sự phù hợp giữa các kết quả tính toán và các số liệu đo đạc được cho phép chúng ta tin rằng "tọa độ màu" và nhóm đối xứng SU(3) màu thực sự tồn tại. Trường chuẩn bất biến đối với nhóm SU(3) màu diễn tả các meson vectơ không có khối lượng và truyền tương tác mạnh giữa các quark. Chính tương tác này gắn kết các quark và antiquark thành các hadron, cho nên meson vectơ của

trường chuẩn $SU(3)$ màu được gọi là gluon.

Động lực học của hệ lượng tử gồm các trường quark, là các tam tuyến của nhóm $SU(3)$ màu, tương tác với trường chuẩn của nhóm không abel này, được gọi là *sắc động lực học lượng tử* (Quantum Chromodynamics QCD). David Gross, David Politzer và Frank Wilczek đã phát triển sắc động lực học lượng tử và chứng minh rằng khi các quark có năng lượng rất cao hoặc khi các quark rất gần nhau thì chúng trở nên tự do (tự do tiệm cận), mặc dù chúng tương tác với trường gluon. Kết quả đó giải thích tại sao có thể tính toán với quark bên trong hadron như là tính toán với các quark tự do. David Gross, David Politzer và Frank Wilczek đã được trao giải Nobel năm 2004.

Cơ sở khoa học của nhiều lĩnh vực công nghệ cao

Vật lý lượng tử đã được vận dụng để nghiên cứu các trạng thái của điện tử trong tinh thể, đã thiết lập cấu trúc vùng năng lượng của điện tử trong chất rắn và tiên đoán sự tồn tại của một loại vật liệu đặc biệt mà trước đó chưa hề được biết đến là các chất bán dẫn. Willian Shockley, John Bardeen và Walker Brattain đã phát minh hiệu ứng transistor trên chất bán dẫn và nhận giải Nobel năm 1956. Phát minh đó đã mở đầu cho cả một nền công nghiệp điện tử bán dẫn-vi điện tử trong nửa sau của thế kỷ XX.

Trong những năm tiếp theo hàng loạt giải Nobel đã được trao cho các nhà vật lý có các phát minh lớn khác trong vật lý lượng tử các chất đậm đặc. Những công trình nghiên cứu của Lev Landau đã đem đến cho ông giải Nobel năm 1962. Hiện tượng siêu dẫn điện được phát minh bằng thực nghiệm từ năm 1911, nhưng mãi đến năm 1957 lý thuyết siêu dẫn mới được John Bardeen, Leon Cooper và Robert Schrieffer tìm ra nhờ vận dụng các quy luật của vật lý lượng tử. Ba ông đã nhận giải Nobel năm 1972. Louis Neel đã có đóng góp lớn lao vào sự phát triển từ học và nhận giải Nobel năm 1971. Phát minh hiện tượng xuyên ngầm (tunneling) của điện tử trong các chất bán dẫn và các chất siêu dẫn đã được áp dụng để tạo ra nhiều loại linh kiện điện tử mới. Các tác giả của các phát minh này Leo Esaki, Iva Giaever và Brian Josephson đã nhận giải Nobel năm 1973. Với những công trình nghiên cứu xuất sắc về cấu trúc điện tử của các vật liệu từ và các hệ không trật tự, Philip Anderson, Nevil Mott và John van Vleck đã nhận giải Nobel năm 1977. Những công trình nghiên cứu xuất sắc về vật lý nhiệt độ thấp của Pyotr Kapitsa đã đem đến cho ông giải Nobel năm 1978. Kenneth Wilson phát triển lý thuyết lượng tử hiện tượng chuyển pha và nhận giải

Nobel năm 1982. Là người phát minh hiệu ứng Hall lượng tử, Klaus von Klitzing đã nhận giải Nobel năm 1985. Sau đó Hornst Stömer và Daniel Tsui lại phát hiện hiệu ứng Hall lượng tử phân số. Nghiên cứu lý thuyết hiệu ứng Hall lượng tử phân số, Robert Laughlin đã chứng minh rằng các chuẩn hạt trong chất lỏng Hall lượng tử phân số có điện tích phân số và tuân theo thống kê phân số, một loại thống kê lượng tử trung gian giữa thống kê Bose-Einstein và thống kê Fermi-Dirac. Ba ông đã nhận giải Nobel năm 1998.

Là những người phát minh chất siêu dẫn ở nhiệt độ cao, Johannes Bednorz và Karl Müller đã nhận giải Nobel năm 1987. Để ghi nhận công lao to lớn trong sự phát triển lý thuyết siêu dẫn và siêu chảy từ mấy chục năm trước, năm 2003 Alexei Abrikosov, Vitaly Ginzburg và Anthony Leggett đã được nhận giải Nobel.

Jack Kilby đã phát minh ra mạch tổ hợp, mở đầu cho sự phát triển công nghệ vi điện tử. Zhores Alferov và Herbert Kroemer đã phát minh ra các chuyển tiếp dị chất bán dẫn và đã thúc đẩy sự phát triển công nghệ quang điện tử. Ba ông đã nhận giải Nobel năm 2000. Hiện tượng từ trở khổng lồ GMR do Albert Fert và Peter Grünberg phát minh ra đã được ứng dụng có hiệu quả trong các bộ nhớ của máy tính, và hai ông đã nhận giải Nobel năm 2007.

Ngoài việc tạo ra các vật liệu và linh kiện điện tử mới, vật lý lượng tử còn đem đến cho chúng ta nhiều phương pháp và thiết bị nghiên cứu cấu tạo vật chất. Người phát minh phương pháp năng phổ điện tử là Kai Siegbahn được trao giải Nobel năm 1981, sau đó người phát minh thiết bị hiển vi điện tử là Ernst Ruska cùng với hai người phát minh thiết bị hiển vi điện tử quét là Gerd Binnig và Heinrich Rohrer cũng đã nhận giải Nobel năm 1986.

Đồng thời với việc tạo ra cơ sở khoa học cho công nghệ chế tạo các vật liệu mới của công nghệ điện tử và máy tính, vật lý lượng tử đã thúc đẩy sự ra đời và phát triển của công nghệ quang tử. Phát minh ra laser của Nikolai Basov, Alexander Prokhorov và Charles Townes mở ra một hướng mới trong quang học là quang học lượng tử. Ba ông đã nhận giải Nobel năm 1964.

Với những kết quả nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm xuất sắc về tương tác của bức xạ điện từ với các điện tử trong nguyên tử, Alfred Kastler được trao giải Nobel năm 1966. Sử dụng laser, Dennis Gabor đã phát minh

ra holography và nhận giải Nobel năm 1971, Nikolas Bloembergen và Arthur Schawlow đã phát triển phương pháp quang phổ laser và nhận giải Nobel năm 1981. Với phát minh hiệu ứng maser trên nguyên tử hydro và đồng hồ nguyên tử, Norman Ramsey được trao giải Nobel năm 1989.

Phương pháp làm lạnh bằng tia laser (laser cooling) và bẫy bằng tia laser (laser trapping) do Steven Chu, Claude Cohen-Tannoudji và William Phillips phát minh đã được sử dụng có hiệu quả trong nghiên cứu vật lý. Ba ông đã nhận giải Nobel năm 1997. Năm 2005, giải Nobel đã được trao cho John Hall và Theodor Hänsch vì đã có công lao phát triển quang phổ laser phân giải cao, và cho Roy Glauber là người có công lao xây dựng lý thuyết hiện tượng kết hợp quang học (optical coherence) trong các chùm tia laser.

Các thành tựu nghiên cứu các quá trình quang học sử dụng các loại laser cùng với các thành tựu nghiên cứu các vật liệu quang điện tử đã tạo ra cơ sở khoa học cho sự phát triển công nghệ quang tử đang được ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp và đời sống, từ các thiết bị thu và phát hình, các màn ảnh phẳng, các hệ thông tin quang, điện thoại di động, các máy ảnh số đến việc sử dụng laser trong các hệ tự động, trong chẩn đoán bệnh và chữa bệnh v.v...

Triển vọng trong thế kỷ XXI

Trong suốt một thế kỷ kể từ khi Max Planck nêu ra giả thuyết lượng tử năng lượng đến nay, vật lý lượng tử đã liên tục phát triển, đã làm giàu nhanh chóng cho kho tàng kiến thức của nhân loại về cấu tạo của vật chất và về bản chất sâu xa của tất cả các quá trình vật lý trong tự nhiên. Hiện tại và trong tương lai vật lý lượng tử còn phát triển nữa theo hướng hoàn thiện lý thuyết thống nhất tương tác điện từ và tương tác yếu, nhất là sau khi phát hiện ra hạt Higgs hoặc biết chắc rằng không có hạt Higgs. Có hạt Higgs hay không? Có một lý thuyết thống nhất cả bốn loại tương tác là tương tác mạnh, tương tác điện từ, tương tác yếu và tương tác hấp dẫn, lý thuyết thống nhất về cấu tạo của tất cả các loại hạt hay không? Ngoài bốn chiều của không thời gian Minkowski có các chiều dư hay không? Có siêu đối xứng giữa các hạt tuân theo hai thống kê khác nhau hay không? Không-thời gian có cần lượng tử hóa hay không? Hy vọng rằng với các thí nghiệm được tiến hành trên máy gia tốc LHC đã xây dựng xong ở Geneve và sắp hoạt động cũng như trên các máy gia tốc khác sẽ được xây dựng trong tương lai, những câu hỏi đó sẽ lần lượt được trả lời, và vật lý lượng tử sẽ có bước phát

triển mới. Vai trò của các quá trình tương tác giữa các hạt đối với sự tiến hóa của vũ trụ cũng sẽ càng ngày càng được làm sáng tỏ.

Trong nửa sau của thế kỷ XX, từ khi các nhà vật lý phát minh ra chất bán dẫn và chế tạo được các loại laser, các lĩnh vực công nghệ cao như điện tử, viễn thông, quang tử, máy tính điện tử đã phát triển hết sức nhanh chóng và làm thay đổi hẳn nền công nghiệp trên thế giới. Vật lý lượng tử cũng đã thâm nhập vào hóa học và công nghệ sinh học và đóng góp đáng kể vào các phát minh lớn của hai lĩnh vực khoa học tự nhiên này.

Trong khoảng hai chục năm gần đây, việc nghiên cứu các quá trình vật lý lượng tử trong các cấu trúc cỡ nanô mét đã thu được những kết quả rất phong phú. Sự thâm nhập của vật lý lượng tử vào hóa học và công nghệ sinh học và sự kết hợp vật lý nanô với điện tử và công nghệ thông tin đã dẫn đến sự ra đời của một lĩnh vực khoa học đa ngành đầy triển vọng là *khoa học và công nghệ nanô*. Vật lý lượng tử đang kết hợp với các khoa học tự nhiên khác và các công nghệ cao để trở thành *khoa học lượng tử*. Trong thế kỷ XXI, khoa học lượng tử sẽ tạo ra sự phát triển mới của nền công nghiệp trên thế giới đang hướng tới một nền kinh tế tri thức. Đó cũng là thời cơ mới giúp cho các nước đang phát triển có thể đi tắt và tiến lên theo sát được các nước tiên tiến. Triển vọng đó đang chờ đón khoa học Việt Nam.

HỒ TRUNG DŨNG*

LỰC VAN DER WAALS VÀ LỰC CASIMIR: TỪ VẬT LÝ CƠ BẢN TỚI ỨNG DỤNG

Abstract. A review on various developments concerning van der Waals and Casimir forces is given. Both of these forces are caused by zero-point vacuum fluctuations, thus are purely quantum effects. Important experiments on measuring the Casimir force by means of torsion pendulum and atomic force microscope are discussed. The role of the van der Waals and Casimir forces in nanosystems including the stiction phenomenon, actuators, noncontact mechanical devices, interaction of hydrogen atoms with carbon nanotubes, and biomimetic dry adhesive is investigated. The applications of the Casimir effect for constraining predictions of extra-dimensional unification schemes are considered.

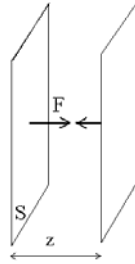
I. Lực xuất hiện từ chân không

Từ đầu thế kỷ 19, các nhà khoa học đã nhận thấy rằng có thể giải thích hiện tượng mao dẫn nếu giả định rằng lực hút giữa chất lỏng và các phân tử thủy tinh khác lực hút giữa chính các phân tử chất lỏng. Trong lý thuyết hiện tượng luận thành công đầu tiên về lực liên nguyên tử, nhà vật lý Hà Lan J. D. van der Waals đã cải thiện phương trình mô tả trạng thái của chất lỏng và chất khí bằng cách thêm vào một thành phần mô tả lực hút giữa các phân tử trung hòa điện. Nguồn gốc của lực liên nguyên tử chỉ được hiểu rõ sau khi lý thuyết lượng tử ra đời. Năm 1930, F. London tính lực giữa hai phân tử và năm 1932, J. E. Lennard-Jones tính lực giữa một phân tử và một tấm kim loại lý tưởng ở khoảng cách gần. Năm 1948, H. B. G. Casimir tiên đoán hai tấm dẫn điện lớn, phẳng, trung hòa cách nhau một khoảng cách z trong chân không hút nhau với lực trên đơn vị diện tích.

* Viện Vật lý Thành phố Hồ Chí Minh.

$$P(z) = \frac{F(z)}{S} = -\frac{\pi^2}{240} \frac{\eta c}{z^4}$$

Ở đây η là hằng số Planck, c là vận tốc ánh sáng, và S là diện tích các tấm. Hình 1 minh họa hệ khảo sát bởi Casimir. Khi một trong hai vật tham gia tương tác là vi mô, ta sẽ gọi lực là lực van der Waals, còn khi cả hai vật tham gia tương tác đều là vĩ mô, ta sẽ gọi lực là lực Casimir. Lực van der Waals và Casimir là hiệu ứng thuần túy lượng tử.



Hình 1: Lực Casimir xuất hiện giữa hai tấm kim loại phẳng trung hòa điện

Trong điện động lực học cổ điển, không có lực tác dụng giữa các vật thể trung hòa điện và không có phân cực nội tại. Tất cả các lực chúng ta biết từ vật lý cổ điển và lượng tử phụ thuộc vào điện tích hoặc hằng số tương tác. Ví dụ lực Coulomb tác dụng giữa các vật thể tích điện phụ thuộc vào điện tích của chúng. Lực hấp dẫn phụ thuộc vào khối lượng các vật tham gia tương tác. Lực giữa các hạt cơ bản phụ thuộc vào các hằng số tương tác yếu và mạnh. Biểu thức trên cho thấy lực Casimir không phụ thuộc vào hằng số tương tác nào mà chỉ phụ thuộc vào hằng số Planck - thể hiện rõ ràng bản chất lượng tử của chúng. Ở các khoảng cách ngắn, độ lớn của lực Casimir hoàn toàn không nhỏ. Ví dụ cho các tấm có diện tích 1 cm^2 ở khoảng cách 1 micro mét , lực này có độ lớn tương đương với lực hấp dẫn giữa hai khối lượng 400 gr ở khoảng cách 1 cm hay lực Coulomb tác dụng lên electron trong nguyên tử hydro. Nếu vật thể có mật độ đủ loãng để có thể bỏ qua tương tác giữa các phân tử tạo thành, việc cộng theo cặp lực van der Waals sẽ cho ta lực Casimir.

Casimir giải thích hiệu ứng mà ngày nay mang tên ông qua khái niệm chân không lượng tử. Theo lý thuyết trường lượng tử, không gian rỗng, tức là chân không, ngập đầy những dao động điểm không ở tất cả các tần số. Năng lượng tổng cộng của các dao động điểm không là vô hạn. Tuy nhiên, đối với các trường trong vật lý (trừ trường hấp dẫn), năng lượng chỉ được xác định tới một hằng số. Khi tính năng lượng thực của một quá trình lượng tử, đầu tiên người ta cũng sẽ nhận được một giá trị vô hạn. Giá trị này được

làm cho hữu hạn bằng cách trừ đi một đại lượng bằng với năng lượng chân không trong không gian rỗng. Sử dụng phương pháp này, Casimir đã tính năng lượng tổng cộng của các dao động chân không giữa hai tấm kim loại lý tưởng song song cách nhau một khoảng z . Điều kiện biên như vậy chỉ được thỏa mãn bởi các dao động có biên độ trên bề mặt các tấm bằng không. Kết quả thu được là một đại lượng vô hạn. Tuy nhiên, sau khi trừ đại lượng vô hạn này cho năng lượng vô hạn của dao động chân không trong không gian rỗng, ta nhận được một giá trị hữu hạn phụ thuộc vào khoảng cách. Lực Casimir chính là đạo hàm âm của năng lượng hữu hạn này theo khoảng cách.

Lực van der Waals có cùng bản chất với lực Casimir. Các phân tử tham gia tương tác van der Waals là trung hòa điện và không có phân cực nội tại, do đó giá trị chờ đợi của các toán tử mômen phân cực của chúng bằng không. Lực van der Waals là kết quả của các thăng giáng chân không. Các thăng giáng này tạo ra các mômen lưỡng cực tức thời trong các phân tử không có phân cực nội tại. Năm 1956, E. M. Lifshitz đã phát triển một lý thuyết tổng quát hơn về lực Casimir và lực van der Waals cho các tấm phẳng dày song song. Trong lý thuyết này, vật chất của tấm được xem như một môi trường liên tục đặc trưng bởi hằng số điện môi phụ thuộc tần số. Lý thuyết của Lifshitz cũng tính đến ảnh hưởng của nhiệt độ.

Trong cấu hình phù hợp, lực Casimir có thể đổi chiều và trở thành lực đẩy. Ví dụ một tấm phẳng bằng vật liệu thuận tay trái (một loại vật liệu mới trong đó véc tơ điện trường, từ trường và véc tơ sóng tạo thành một hệ thuận tay trái, thay cho thuận tay phải như trong các vật chất thông thường), có tính khuếch đại sẽ tạo ra lực đẩy Casimir đủ lớn để cân bằng được lực hấp dẫn và treo lơ lửng một gương nhôm có độ dày 0.5 micro mét [xem U. Leonhardt and T. G. Philbin, *New. J. Phys.* 9, 204, (2007) và minh họa trong hình 2].



Hình 2: Trên nguyên tắc, lực đẩy Casimir có thể treo lơ lửng một người (Telegraph, UK, 7/8/2007)

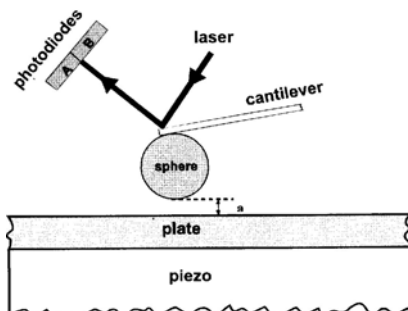
II. Đo lực Casimir

Đo lực Casimir rất phức tạp do khó giữ các vật thể vĩ mô ở khoảng cách dưới $1\text{ }\mu\text{m}$ (cho các vật thể nhỏ ở khoảng cách xa, độ lớn của lực thấp hơn độ nhạy của các thiết bị đo hiện đại). Có một số thách thức cơ bản cần vượt qua khi tiến hành đo lực Casimir. Bề mặt của bất kỳ vật liệu nào cũng không phẳng một cách lý tưởng. Chúng gồ ghề, bị phủ bởi tạp chất hóa học và bụi. Sự phụ thuộc của lực vào khoảng cách đòi hỏi các phép đo khoảng cách thật chính xác và có độ lặp lại cao. Điều này không đơn giản ở các khoảng cách dưới một micro mét. Thêm vào đó, lực tĩnh điện do các điện tích dư trên bề mặt và độ lệch điện thế cũng làm nhiễu kết quả đo.

Thí nghiệm đầu tiên đo lực Casimir được thực hiện bởi Sparnaay năm 1958 sử dụng cân bằng lò xo. Kết quả cho thấy sự tồn tại của lực hút, nhưng sai số phép đo lên tới 100%. Trong những năm sau đó rải rác có các thí nghiệm với sai số giảm dần tới khoảng 50%. Thí nghiệm hiện đại đầu tiên được thực hiện bởi Lamoreaux năm 1997. Trong thí nghiệm này, lực Casimir giữa một thấu kính cầu phủ vàng và một tấm phẳng được đo bằng con lắc xoắn. Một số hoàn thiện quan trọng đã cho phép đạt được bước tiến đáng kể về độ chính xác. Hiệu điện thế dư giữa các bề mặt đã được tiếp đất được bù bằng cách áp dụng điện thế vào thấu kính. Thấu kính được di chuyển về phía tấm qua đế piezo (piezo là loại vật liệu có khả năng thay đổi kích thước dưới tác dụng của điện trường). Sự thay đổi khoảng cách được đo bằng giao thoa kế laser với sai số tuyệt đối cỡ 10 nm. Việc định chuẩn được thực hiện bằng cách đo lực tĩnh điện tại các điện thế khác nhau ở khoảng cách xa, khi lực Casimir rất nhỏ. Các số liệu thực nghiệm so với lý thuyết chỉ sai lệch độ 5-10% ở khoảng cách $1\text{ }\mu\text{m}$. Đây là một bước tiến đáng kể so với các thí nghiệm trước đó. Tuy chưa đủ chính xác để xác định ảnh hưởng của độ dẫn điện hữu hạn của màng kim loại, độ nhám bề mặt và nhiệt độ khác không, thí nghiệm của Lamoreaux là cú hích thúc đẩy các nghiên cứu tiếp theo, lý thuyết cũng như thực nghiệm.

Năm 1998, Mohideen và các cộng sự đã đưa ra một cách tiếp cận hoàn toàn mới để đo lực Casimir sử dụng kính hiển vi nguyên tử lực (một loại kính hiển vi dùng để khảo sát bề mặt với độ phân giải cao). Sơ đồ thí nghiệm được trình bày trong hình 3. Lực Casimir tác dụng giữa một quả cầu polystyrene đường kính khoảng $200\text{ }\mu\text{m}$ và một đĩa sapphire, cả hai tráng kim loại. Quả cầu được gắn ở đầu cần của kính hiển vi nguyên tử lực. Dưới tác dụng của lực cần này sẽ uốn cong, làm lệch chùm tia laser với độ lệch được ghi nhận bởi các photo đi-ốt A và B. Khoảng cách giữa tấm và quả cầu

được thay đổi nhờ đế piezo. Sai số tuyệt đối trong các phép đo khoảng cách xuống tới 0.8 nm. Sai số tuyệt đối trong phép đo lực khoảng $8.5\text{pN}=8.5\times 10^{-12}\text{ N}$ với độ tin cậy 95%, chuyển sang sai số tương đối là 1.75% tại khoảng cách nhỏ nhất 62 nm. Các phép đo sử dụng kính hiển vi nguyên tử lực đã cho phép kiểm chứng tác động của độ dẫn điện hữu hạn của kim loại và độ nhám bề mặt.



Hình 3: Sơ đồ hệ đo lực Casimir giữa quả cầu và tấm bằng kính hiển vi nguyên tử lực

Lực Casimir mà chúng ta thảo luận ở trên tác động theo phương vuông góc với bề mặt. Lực Casimir còn có thể xuất hiện theo phương ngang nếu các vật thể được bố trí bất đối xứng hoặc các tính chất của chúng là bất đẳng hướng.

Nhiều cố gắng cũng đã được bỏ ra để đo lực van der Waals liên nguyên tử, ví dụ bằng cách cho một chùm nguyên tử chuyển động với vận tốc xác định tán xạ trên một chùm khác hoặc trên một mẫu khí đứng yên. Lực giữa nguyên tử và vật vĩ mô đã được đo bằng cách quan sát độ lệch của một chùm nguyên tử chuyển động gần một hệ trụ kim loại hoặc điện môi. Trong một sơ đồ thí nghiệm tương tự, độ lệch chùm nguyên tử chuyển động giữa hai tấm kim loại được ghi nhận qua quan sát số nguyên tử thất thoát do dính vào bề mặt tấm.

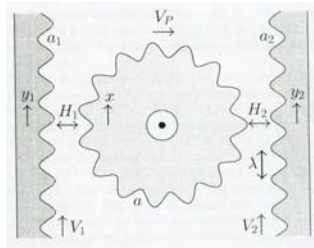
III. Hiệu ứng Casimir trong các hệ nano

Trước kia, tác động của hiệu ứng Casimir trong các hệ cơ học đã được nhắc đến. Thế nhưng chỉ tới gần đây, do sự thu nhỏ kích thước của các thiết bị, việc nghiên cứu vai trò của lực Casimir trong quá trình sử dụng cũng như chế tạo các thiết bị này mới trở nên cấp thiết. Tại các khoảng cách dưới vài chục nano mét, lực Casimir có thể áp đảo các lực khác, dẫn tới các thành phần chuyển động của các thiết bị bị kết dính vào tấm đế hoặc vào nhau. Cùng với hiện tượng mao dẫn, sự kết dính cũng làm giảm hiệu suất của các quy trình chế tạo thiết bị. Từ đó xuất hiện nhu cầu chế tạo các hệ trong đó

lực Casimir được triệt tiêu hoặc hạn chế. Mục tiêu này có thể đạt được nếu ta tính đến rằng lực Casimir trong các cấu trúc nhiều lớp có thể hút hoặc đẩy. Với thiết kế phù hợp, có thể tạo ra sự cân bằng giữa các đóng góp hút và đẩy, tức là tạo được các hệ nano với tương tác Casimir bằng không.

Lực Casimir cũng có thể đóng vai trò tích cực trong các hệ vi cơ. Ví dụ, lực Casimir có thể dùng để khởi động chuyển động của một tấm silicon có kích thước nano. Trong một thí nghiệm minh họa, một quả cầu phủ vàng được treo phía trên một tấm polysilicon pha tạp. Tấm này có thể quay quanh một trục mảnh. Khi quả cầu được dịch chuyển lại gần tấm, lực Casimir tác động lên tấm làm nó nghiêng quanh trục trung tâm về phía quả cầu. Như vậy dao động chân không của trường điện từ đã dẫn đến chuyển động cơ học của một tấm phẳng trong một thiết bị vi cơ điều khiển bởi lực Casimir. Một ví dụ khác là con lắc Casimir. Kết cấu con lắc gồm một tấm kim loại cơ động gắn với một lò xo đáp ứng định luật Hooke và tương tác qua lực Casimir với một quả cầu kim loại cố định. Định luật Hooke tuyến tính với khoảng cách, trong khi lực Casimir mang tính phi tuyến mạnh, dẫn tới thế năng của con lắc có một cực tiểu địa phương và một cực tiểu toàn cục phân cách bởi một rào thế. Lực Casimir làm thay đổi tần số cộng hưởng của dao động quanh cực tiểu địa phương, làm cho dao động trở thành phi tuyến. Hiệu ứng này có thể hữu ích trong các hệ vi cơ và nano cơ tương lai.

Việc điều khiển các tương tác cơ học ở quy mô kích thước nhỏ là một trong những thách thức lớn nhất cho các hệ vi cơ. Một mối lo cụ thể là độ bền của các linh kiện cơ học tinh tế khi chúng phải thường xuyên cọ xát, dẫn tới khả năng bị bào mòn nhanh chóng. Một trong những ứng cử viên cho việc tạo ra các động cơ truyền lực không tiếp xúc chính là lực Casimir. Lực Casimir chuẩn trong hệ khởi thủy gồm hai tấm song song có phương vuông góc với bề mặt và có khuynh hướng không ổn định. Có thể lợi dụng các tính chất hình học ví dụ như độ dợn sóng của bề mặt để tạo ra lực Casimir theo phương ngang và sử dụng chúng để truyền lực cơ học một cách ổn định. Trong hình 4 là sơ đồ thiết kế đề nghị của một thiết bị truyền lực gồm bánh răng và hai băng chuyền. Bằng cách lựa chọn tốc độ của băng chuyền, có thể bắt bánh răng xoay theo các chiều đối nghịch. Thiết kế kể trên có tiềm năng ứng dụng như đầu dò hoặc bộ khuếch đại.



Hình 4: Sơ đồ thiết bị truyền lực có các bộ phận cơ không tiếp xúc [M. Miri and R. Golestanian, Appl. Phys. Lett. 92, 113103 (2008)]

Các thí nghiệm chính xác về lực Casimir kể trên được thực hiện cho các vật thể tráng kim, thế nhưng vật liệu sử dụng phổ biến nhất trong công nghệ nano là chất bán dẫn. Độ dẫn điện của chất bán dẫn trải từ tính chất kim loại tới tính chất điện môi, mở ra khả năng điều khiển và vi chỉnh lực Casimir. Việc đo lực Casimir giữa các chất điện môi luôn luôn khó khăn do các điện tích định xứ trên bề mặt và độ lệch hiệu điện thế. Các chất bán dẫn với độ dẫn điện tương đối cao có ưu điểm là tránh được sự tích điện trên bề mặt, trong khi hằng số điện môi của chúng thể hiện sự phụ thuộc vào tần số đặc trưng cho chất điện môi. Việc thay đổi độ dẫn điện của chất bán dẫn có thể thực hiện bằng cách thay đổi nồng độ pha tạp hoặc chiếu tia laser.

Lực van der Waals tương tác giữa nguyên tử và bề mặt cũng có thể có những ứng dụng quan trọng trong các hệ nano. Lực này được chú ý nhiều những năm gần đây do hiệu ứng phản xạ lượng tử của các nguyên tử siêu lạnh và ngưng tụ Bose-Einstein. Người ta đã chỉ ra rằng lực van der Waals có thể được sử dụng để lưu giữ hydro trong các ống nanocarbon. Ống nanocarbon có thể được hình dung như một ống trụ bằng than chì bao gồm các lớp lục giác đồng tâm. Việc nghiên cứu lực van der Waals giữa các nguyên tử và ống nanocarbon là vấn đề thời sự do tiềm năng sử dụng ống nanocarbon tường đơn làm bể chứa hydro. Ta biết rằng lưu giữ hydro là vấn đề chủ chốt trong công nghệ năng lượng hydro thay thế dầu mỏ. Vì lý do này, bất kỳ cơ chế lưu giữ hydro nào cũng có tiềm năng ứng dụng quan trọng. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng cho các nguyên tử và phân tử hydro, vị trí bên trong ống là ưu thế hơn về năng lượng so với bên ngoài.

Sử dụng bởi côn trùng và bò sát để di chuyển trên các bề mặt khô cũng như ướt, không đàn hồi và thậm chí lộn ngược, các hệ kết dính gồm nhiều sợi mảnh là một ví dụ sinh động về tiến hóa hội tụ trong sinh học. Gần đây, thực nghiệm đã chỉ ra rằng sự kết dính được tạo ra chính là nhờ tương tác van der Waals. Để khuếch đại lực van der Waals, cần tạo ra bề mặt có diện

tích tiếp xúc lớn. Trong trường hợp bò sát Gecko với khối lượng lên tới 300 gr, điều này đạt được nhờ chân chúng có nhiều lớp đồng dạng gồm các mạch máu đỡ các vảy lưới bằng chất sừng dài khoảng 100 micro mét, tách thành các sợi bàn chải đường kính 200 nm, giúp tạo ra một diện tích tiếp xúc rất rộng mà không làm phát sinh lực đẩy phục hồi bề mặt. Hệ thống keo kết dính khô này đã được mô phỏng nhân tạo sử dụng phương pháp chế tạo MEMS (microelectromechanical systems), với mục đích ứng dụng ví dụ như trong việc cố định vị trí chính các hệ MEMS.

IV. Hiệu ứng Casimir và vật lý hiện đại

Ta biết rằng có bốn loại tương tác cơ bản: hấp dẫn, điện từ, yếu và mạnh. Tương tác hấp dẫn được mô tả bởi lý thuyết tương đối tổng quát của Einstein trong đó định luật hấp dẫn Newton là trường hợp riêng. Tương tác điện từ được mô tả bởi các phương trình Maxwell của điện động lực học cổ điển, và khi bao gồm các hiệu ứng lượng tử, bởi điện động lực học lượng tử. Tương tác yếu là thuần túy lượng tử. Nó được mô tả cùng với tương tác điện từ bởi lý thuyết Weinberg-Salam. Tương tác mạnh được mô tả bởi sắc động lực học lượng tử. Mô hình chuẩn mô tả cùng lúc ba tương tác: điện từ, yếu và mạnh. Đã có rất nhiều nỗ lực trong các thập kỷ gần đây nhằm thống nhất cả bốn loại tương tác, nhưng chưa thành công. Việc kiểm chứng các tiên đoán lý thuyết thường đòi hỏi phải xây dựng các máy gia tốc mới với năng lượng khổng lồ, khó đạt tới trong tương lai gần.

Nhiều mở rộng của mô hình chuẩn, bao gồm siêu hấp dẫn và lý thuyết dây, sử dụng một ý tưởng cũ là giả định số chiều không thời gian thực ra phải lớn hơn bốn. Các chiều không gian thêm vào được thu gọn ở một quy mô độ dài nhỏ đến mức chúng không thể hiện trong đời sống thường ngày và thậm chí trong các thí nghiệm chính xác. Trong một thời gian dài người ta cho rằng thu gọn xảy ra ở quy mô độ dài Planck, tức là khoảng 10^{-33} cm với quy mô năng lượng tương ứng là khoảng 10^{19} GeV.

Tình trạng trên thay đổi hoàn toàn trong các mô hình thống nhất mới với năng lượng thu gọn thấp hơn nhiều, khoảng 10^3 GeV, và độ dài thu gọn rất lớn - tới một phần của milimét. Các chiều ngoại lai "lớn" như vậy xuất hiện nếu người ta giả định rằng các trường tương tác trong mô hình chuẩn chỉ tồn tại trong không gian bốn chiều bình thường, trong khi duy nhất trường hấp dẫn truyền sang các chiều ngoại lai. Hệ quả là thế hấp dẫn Newton giữa hai khối lượng điểm m_1 và m_2 cách nhau khoảng cách r có

thêm bổ chính dạng Yukawa

$$V(r) = -\frac{Gm_1m_2}{r}(1 + \alpha_G e^{-r/\lambda}),$$

trong đó G là hằng số hấp dẫn, α_G là hằng số không thứ nguyên đặc trưng cho lực Yukawa, và λ là phạm vi tương tác của lực Yukawa. Đáng chú ý là lực dạng Yukawa cũng có thể xuất hiện theo cách không liên quan đến chiều không gian ngoại lai, ví dụ như trong các mở rộng của mô hình chuẩn dựa trên sự trao đổi các boson nhẹ có khối lượng $\eta/\lambda c$.

Tại các khoảng cách ngắn, các thí nghiệm hấp dẫn dạng Eötvös hay Cavendish không cho các ràng buộc mạnh cho các giá trị của α_G và λ , ví dụ, các giá trị $\alpha_G=10^5$ và $\lambda=10 \mu\text{m}$ không bị cấm. Với cặp giá trị này, khi hai vật cách nhau khoảng cách bằng λ , lực bổ chính Yukawa lớn gấp 10^5 lần lực hấp dẫn Newton thông thường. Người ta đã chỉ ra rằng ở các khoảng cách tương tự, ràng buộc chặt chẽ nhất cho các lực mới và các chiều không gian bổ sung chính là từ các phép đo chính xác lực van der Waals và lực Casimir gần đây. Để tăng cường hơn nữa các giá trị chặn trên, các thí nghiệm tinh vi hơn, sử dụng lớp phủ bề mặt phẳng và dày hơn đang được chuẩn bị.

V. Kết luận

Lực van der Waals và lực Casimir là đề tài của các nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm hết sức đa dạng, và có ứng dụng trong cả vật lý cơ bản và công nghệ. Đó là do khái niệm thăng giáng chân không, tâm điểm của hiệu ứng Casimir, là một trong những khái niệm tổng quát nhất, cơ bản nhất của vật lý hiện đại. Có rất nhiều thể hiện quan trọng khác của hiệu ứng Casimir trong vật lý hạt cơ bản, hấp dẫn và vũ trụ học, vật lý nguyên tử và vật lý chất rắn mà chúng ta chưa kịp đề cập đến ở đây, ví dụ như mô hình túi của hadron, các cơ chế rút gọn tự phát chiều ngoại lai, vũ trụ học lạm phát, vật chất và năng lượng tối, lý thuyết nguyên tử Rydberg, ma sát nguyên tử, hiện tượng làm ướt, v.v...

Phát triển gây kinh ngạc nhất trong những năm gần đây trong lĩnh vực này là các phép đo chính xác lực Casimir giữa các bề mặt kim loại. Các kết quả thực nghiệm đã mở ra những khả năng ứng dụng mới và thúc đẩy các nghiên cứu tiếp theo. Hầu hết các kết quả lý thuyết về hiệu ứng Casimir trước năm 1997, là năm xuất hiện các kết quả thực nghiệm chính xác đầu tiên, là bởi các nhà nghiên cứu lý thuyết trường. Hình thức luận chủ yếu là các công cụ toán chính xác trong một lý thuyết vật lý áp dụng cho một hệ

tương đối đơn giản. Hình thức luận lý tưởng này không phù hợp cho vật lý chất rắn, trong đó các hệ được xem xét phức tạp tới mức đòi hỏi phải vận dụng nhiều mô hình gần đúng khác nhau.

Vai trò của lực van der Waals và Casimir trong công nghệ sẽ tăng lên do vi hóa là xu hướng chủ đạo hiện nay. Dưới một ngưỡng khoảng cách nhất định, các lực này đóng vai trò then chốt. Ứng dụng của lực Casimir như là một phép thử của vật lý cơ bản cũng tỏ ra vô cùng hứa hẹn. Các thí nghiệm với kinh phí thấp, quy mô nhỏ đo lực Casimir có thể thay thế các máy gia tốc khổng lồ. Tất cả những điều này cho thấy chúng ta đang đứng trước ngưỡng cửa của những phát kiến quan trọng liên quan đến hiệu ứng Casimir.

Bạn đọc muốn tìm hiểu thêm về lực van der Waals và Casimir có thể đọc các bài tổng quan: M. Bordag *et al.*, Phys. Rep. 353, 1 (2001), S. Y. Buhmann *et al.*, Prog. Quant. Electr. 31, 51 (2007) và các tài liệu trích dẫn trong đó.

CHU HẢO

BOHR, VỊ “TRƯỞNG LÃO” QUYẾT ĐOÁN*

Trong quá trình tiếp cận và nghiên cứu thế giới vi mô có kích thước nhỏ hơn nguyên tử (khoảng 10^{-8} cm) ở đầu thế kỷ này, các nhà khoa học đã nhận ra rằng vật lý Newton tỏ ra bất cập. Vào lúc ấy, một học thuyết mới dần dần được hình thành, nhằm xây dựng một công cụ hữu hiệu để giải thích thế giới vi mô. Đó là thuyết lượng tử (TLT). Cùng với thuyết tương đối, nó đã đặt nền móng cho cuộc cách mạng khoa học-công nghệ hiện đại đã và đang làm thay đổi một cách cơ bản toàn bộ hoạt động của loài người.

Ấy thế mà sau hơn nửa thế kỷ trên con đường đi tìm chân lý khoa học, với tinh thần dám nghĩ, dám làm, quyết không để những điều còn mập mờ trong nhận thức, các nhà vật lý đã đi đến một kết luận làm kinh hoàng giới khoa học: “Nguyên lý” bất định Heisenberg - một trong những tiên đề quan trọng nhất của Thuyết lượng tử - là không nhất thiết!

Ra đời vào năm 1900 khi xuất hiện “TLT năng lượng” của Max Planck (nhận giải Nobel 1918), TLT được phát triển không ngừng. Ví dụ như: 1905- “TLT ánh sáng” của Albert Einstein (nhận giải Nobel 1921); 1913 - “TLT quỹ đạo” của Niels Bohr (nhận giải Nobel 1922); 1924 - “Thuyết về lưỡng tính sóng-hạt của các hạt vi mô” của Louis de Broglie (nhận giải Nobel 1929); 1925 - “Cơ học lượng tử và nguyên lý bất định” của Werner Heisenberg (giải Nobel 1932); 1926 - “Phương trình Schrödinger” (nhận giải Nobel 1933); cũng năm 1926 - “Mô tả xác suất của hàm sóng” của Max Born (nhận giải Nobel 1954)...

Trong đó, lưỡng tính sóng-hạt, phương trình Schrödinger, và mô tả xác suất là những tiên đề cơ bản nhất của Cơ học lượng tử (CHLT). Cần nhấn

* Nội dung chính của bài này tác giả đã viết từ năm 1998, ngay sau khi bài báo của S. Dur, T. Nonn và G. Rempe được công bố, dưới dạng phổ biến khoa học và đăng ở Tạp chí Tia Sáng. Tác giả chân thành cảm ơn TS. Nguyễn Vinh Quang đã cung cấp thêm các tư liệu mới có liên quan và góp những ý kiến quý giá để bài báo được trình bày lại như sau đây.

mạnh rằng nhiều điều thường quen được gọi là “nguyên lý” thực chất chỉ là hệ quả của những tiên đề kể trên. Chẳng hạn, cụm từ “Nguyên lý bất định Heisenberg” lần đầu tiên được Ruak dùng (1928) để gọi “hệ thức bất định Heisenberg” khi nghĩ rằng nó đúng cho mọi trạng thái; sau đó mọi người gọi theo. Cần phân biệt rõ rằng từ “bất định” trong hệ thức bất định Heisenberg không đồng nghĩa với từ “xác suất” (khái niệm Toán học) mà Max Born dùng; nó là cách gọi tắt của khái niệm “độ bất định” được Heisenberg định nghĩa đầu tiên, rồi được phát triển, và hiện tại được mô tả bằng khái niệm “độ lệch toàn phương” của lý thuyết xác suất. Cách gọi đầy đủ là “hệ thức giữa các độ bất định Heisenberg”. Nó chỉ là hệ quả, được dẫn ra khi dùng dạng cụ thể của tọa độ và toán tử xung lượng (đã được tiên đề hóa như là một bộ phận của tiên đề về dạng của phương trình Schrödinger) và dùng tính chuẩn hóa tới đơn vị của hàm sóng (hệ quả của tiên đề về mô tả xác suất). Cũng như vậy “Nguyên lý chồng chập trạng thái” cũng chỉ là hệ quả của sự tuyến tính của phương trình Schrödinger chứ không hẳn là một “Nguyên lý”!

Thật ra, ngay từ buổi sơ khai của Thuyết lượng tử, vào những năm 1920 đến 1930, đã xảy ra một cuộc tranh luận gay gắt giữa hai “cây đại thụ” trong làng vật lý hiện đại là Bohr và Einstein về *tính ngẫu nhiên* thái quá và *tính bất khả tri* khiến cưỡng của cơ học lượng tử. Phần thắng đã thuộc về Bohr, chủ yếu là nhờ vào uy tín khoa học hầu như tuyệt đối của mình. Vào thời điểm đó, Bohr đã hành động hết như một vị trưởng lão. Ông phán quyết rằng: *không bàn cãi nữa! Các hạt lượng tử vừa có tính sóng, vừa có tính hạt*; và rằng: *Nguyên lý bất định Heisenberg là cốt lõi của Thuyết lượng tử*. Einstein và nhiều nhà khoa học khác âm ức, nhưng... đành im lặng. Vì sao họ đành ngậm ngùi im lặng? Vì họ không đủ uy tín để đương đầu với Bohr, vì họ không đủ lý lẽ để bác bỏ các lập luận đầy vô đoan của Bohr, và cuối cùng, nhưng có lẽ là quan trọng nhất, vì trình độ kỹ thuật lúc đó chưa cho phép tiến hành các thí nghiệm thực sự (chứ không phải các thí nghiệm tưởng tượng như đã được cả Bohr lẫn Einstein vận dụng) để kiểm nghiệm lập luận sai lầm của Bohr khi bảo vệ “Nguyên lý bất định Heisenberg”.

Cho đến tận bây giờ, trong bất kỳ cuốn sách giáo khoa vật lý hiện đại nào, bí hiểm sâu sắc nhất của Thuyết lượng tử là lưỡng tính sóng - hạt của các hạt vi mô cũng đều được mô tả bằng một thí nghiệm tưởng tượng đơn giản sau đây: chiếu một chùm hạt vi mô vào một màn chắn có hai khe rất hẹp đặt rất gần nhau và quan sát xem chúng đập vào chỗ nào trên màn

hứng đặt ở phía sau. Theo kết quả tính toán của Thuyết lượng tử thì trên màn hứng sẽ xuất hiện ảnh giao thoa gồm các dải tối và sáng xen kẽ nhau. Điều đó chứng tỏ rằng, chùm hạt vi mô khi đi qua hai khe hẹp sát nhau đã diễn biến hết như hai chùm sóng giao thoa (sóng ánh sáng chẳng hạn); chỗ thì tăng cường cho nhau, chỗ thì triệt tiêu nhau, phụ thuộc vào việc chúng gặp nhau ở chỗ nào. Kết quả tính toán theo thuyết lượng tử đó không phụ thuộc vào mật độ của chùm hạt vi mô: ngay cả khi chùm hạt rất yếu, hàng giờ mới có một hạt đi qua thì kết quả cũng vẫn phải cho thấy ảnh giao thoa. Điều đó có nghĩa là từng hạt, từng hạt một đi qua khe cũng tạo nên bức tranh giao thoa như vậy! Thật là phi lý! Và điều phi lý ấy đã làm Einstein điên đầu: làm sao một hạt riêng lẻ cũng có thể giao thoa với chính nó? Làm sao hạt có thể biết được cả hai khe đều mở và hợp tác tạo thành ảnh giao thoa?

Nhằm mục đích phản bác điều phi lý đó, Einstein đề nghị kiểm tra kết quả thí nghiệm tưởng tượng nói trên bằng cách xác định chính xác xem thực sự thì hạt đi qua khe nào? Ý tưởng về thí nghiệm tưởng tượng này của Einstein rất đơn giản: rọi một tia sáng nhỏ vào các khe, lúc đó ta sẽ quan sát được một vài photon đập vào hạt và nảy bật ra khi hạt đi qua một khe nào đó. Như vậy tức là có thể xác định được chính xác hạt đã chui qua khe nào chứ không có chuyện nó chui qua đồng thời cả hai khe! Và như vậy, chẳng có hiện tượng giao thoa nào xảy ra, chẳng có chuyện một hạt đơn lẻ lại giao thoa với chính nó.

Không may thay (hay là rất may thay???), lúc đó Bohr đã lên tiếng. Vị trưởng lão này viện dẫn “Nguyên lý bất định Heisenberg” nói rằng: *nếu muốn xác định chính xác vị trí của hạt thì phải chấp nhận tăng độ bất định của xung lượng của hạt, và ngược lại*. Bohr giải thích rằng, điều đó xảy ra là vì khi đập vào hạt, các photon đã cung cấp cho hạt những kích động xung lượng hỗn độn, không kiểm soát được. Những nhiễu loạn đó làm cho vị trí nơi mà hạt chạm vào màn hứng bị xê dịch đi một khoảng xấp xỉ khoảng cách giữa hai vạch giao thoa, và như vậy ảnh giao thoa bị nhòe đi. Nói cách khác, muốn quan sát được chính xác hạt lượng tử đã chui qua khe nào thì đừng nghĩ đến bức tranh giao thoa nữa! Đến bước này thì Einstein đành phải chào thua, và Thuyết lượng tử cứ thế mà tồn tại và phát triển song song với “Nguyên lý bất định Heisenberg”.

Einstein cũng không tin vào tính ngẫu nhiên, cho rằng việc “chỉ có thể tiên đoán kết quả với một xác suất nào đó” là bởi CHLT mô tả “hiện thực”

một cách chưa đầy đủ (“Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?” by A. Einstein, B. Podolsky and N. Rosen, *Physical Review* 1935. Về sau công trình này được nhắc đến như là Hiệu ứng EPR) và có thể mô tả đầy đủ khi dùng thêm các biến số “ẩn” (hidden variables). (Nguyễn Xuân Xanh, *Einstein*, Nxb Tổng hợp Thành phố HCM, 2006, tr.202). Bohr đã phản bác những quan điểm đó của Einstein bằng một bài báo, dùng chính tên bài báo trên của Einstein, đăng cùng trong một tạp chí, vào cùng một năm. Và hành động hết như một vị trưởng lão, Bohr đã phán quyết rằng: “Không bàn cãi nữa!”

29 năm sau, 1964, John Bell đã phát minh ra một bất đẳng thức (BĐT Bell) (“On the Einstein Podolsky Rosen Paradox”, *JS Bell, Physics* Vol. 1, No. 3, pp. 195-200, 1964”) cho phép kiểm tra một cách định lượng bằng thực nghiệm xem CHLT đúng (khi BĐT Bell bị vi phạm) hay Einstein đúng. Sự kiện đó quan trọng tới mức được coi là sự mở đầu của cuộc “cách mạng thứ hai của Thuyết lượng tử”. Từ 1981 A. Aspect, và sau đó là Y. Shih, G. Grisin, A. Zeilinger v.v... đã cố gắng thu được những kết quả thực nghiệm cho BĐT Bell. Rồi tại “Hội nghị quốc tế về các trạng thái nén và các hệ thức bất định”, Moscow, 1992, hầu như người ta đã đi đến kết luận: “CHLT đúng, Einstein sai!”.

Phải đợi đến 70 năm sau, vào mùa thu năm 1998, điều kiện kỹ thuật hiện đại (dựa chủ yếu chính trên các kết quả của thuyết lượng tử!) mới cho phép S. Dur, T. Nonn và Gerhard Rempe làm việc tại Đại học Konstanz (*Nature* 395/3 sept.1998) lập thí nghiệm hai khe thực sự với chùm hạt lượng tử là chùm nguyên tử, được làm lạnh bằng tia laser đến gần độ không tuyệt đối, có bước sóng khá dài để dễ quan sát ảnh giao thoa, đồng thời có khối lượng khá lớn để không bị tác động đáng kể bởi các xung kích thích (do sóng cực ngắn tạo ra khi quan sát đường đi của nó) mà làm nhòe ảnh giao thoa. Kết quả hết sức bất ngờ: khi ngắt nguồn sóng cực ngắn dùng để xác định đường đi của hạt thì ảnh giao thoa lập tức biến mất. Nhưng ở đây, chẳng có điều gì liên quan đến “Nguyên lý bất định Heisenberg” cả, bởi trong thí nghiệm này xung lượng của nguyên tử không thay đổi là bao (hàng ngàn lần nhỏ hơn sự thay đổi cần thiết để làm nhòe ảnh giao thoa) khi xác định chính xác nó đi qua khe nào. Hoàn toàn từ bỏ khái niệm “Nguyên lý bất định Heisenberg”, nhà vật lý Yu Shi ở Đại học Cambridge đã giải thích kết quả thí nghiệm trên bằng một khái niệm hoàn toàn khả tri khác là *khái niệm rối lượng tử* (Entanglement - các hạt lượng tử *dính líu một*

cách bùng nhùng với nhau), được Schrödinger đưa ra từ 1935 (“Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik, E. Schrödinger - Die Naturwissenschaften, 1935, Volume 23, Issue 50, pp. 844-849” and *Discussion of Probability Relations between Separated Systems*, E. Schrödinger, Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, 1935”).

2002, tại Feynman Festival, Maryland, Mỹ, Nguyễn Vinh Quang đã chứng minh rằng hệ thức bất định Heisenberg (và cả hệ thức bất định Robertson-Schrödinger, tổng quát hơn, chứa hệ thức bất định Heisenberg như là một trường hợp riêng) không mô tả nguyên lý vật lý tổng quát, vì không luôn có nghĩa (Quantum Theory: Reconsideration of Foundation - 4, Sweden, Jun 2007, AIP CP 962, P 330). Do đó việc S. Dur, T. Nonn và G. Rempe thu được những kết quả thực nghiệm không liên quan gì đến “Nguyên lý bất định Heisenberg”, là điều không khó hiểu.

Thế là “*Nguyên lý bất định Heisenberg*” đã không phải là nguyên lý bất di bất dịch nữa! Nhưng may thay, Thuyết lượng tử và các hệ quả của nó vẫn còn nguyên giá trị. Hoá ra là để khẳng định khái niệm lưỡng tính sóng-hạt, không nhất thiết phải chấp nhận “Nguyên lý bất định Heisenberg”, mà thay vào đó có thể và cần phải dùng nguyên lý rối lượng tử. *Trong trường hợp cụ thể này, thái độ trường lão của Bohr đã có tác dụng tích cực: Nó tạm thời dẹp bỏ cuộc tranh luận lý thuyết khó lòng ngã ngũ (vì chưa có điều kiện thực nghiệm chứng minh) để tập trung vào khai thác tối đa các hệ quả hiển nhiên của Thuyết lượng tử đối với khoa học và công nghệ.*

Cũng cần phải nói thêm rằng, hiện tại vẫn đang tồn tại hai cách diễn giải:

1. Truyền thống, coi cơ học cổ điển là tất định và cơ học lượng tử là xác suất.

2. Bohmian, coi cả cơ học cổ điển lẫn cơ học lượng tử đều là tất định [David Bohm, A Suggested Interpretation of the Quantum Theory in Term of “Hidden” Variables; Phys. Rev. 85.166 (1952)]

Khó có thể hình dung được rằng, Bohr lại không có nghi ngờ gì trong khi sử dụng “Nguyên lý bất định Heisenberg” như là một bửu bối trong cuộc tranh luận với Einstein; lại dễ dàng chấp nhận “*tính bất khả tri*” của cơ học lượng tử như vậy. Nhưng lại rất có thể là với trực giác siêu việt của mình, Bohr đã vững tin rằng về tổng thể thuyết lượng tử là đúng đắn và giả thuyết bất khả tri dựa trên ý tưởng của Heisenberg sẽ được thay thế bởi một giả thuyết khả tri khác. Nếu quả thật như vậy thì Bohr xứng đáng là vị

trưởng lão vật lý học *bậc “-1”* so với Einstein thuộc *bậc “0”*, như cách xếp hạng của Landau, nhà vật lý kiệt xuất của Liên Xô, người tự cho mình chỉ đáng *bậc “1”*! Các thể hệ hậu duệ của các vị trưởng lão đã không ngừng lao động miệt mài theo cả hai hướng: một mặt tận dụng tối đa các hệ quả của thuyết lượng tử, mặt khác, tìm mọi cách làm rõ điều nghi vấn đau đầu nhất trong nền móng của nó.

Quả thật, Tri thức là vô cùng và Quá trình nhận thức là tiệt cận!

HỒ KIM QUANG*

THÔNG TIN, TÍNH TOÁN VÀ VẬT LÝ LƯỢNG TỬ

Abstract. At present information is encoded, stored, transmitted and manipulated according to the laws of classical physics, and so has fundamental limitations. It has been argued that these limitations could be circumvented with resources of quantum mechanics. In fact, when quantum mechanics is applied to both processing and transmission of information, results of research have shown that communication and computing devices can acquire enormous power due to essential quantum properties, in particular superposition and entanglement of states. Problems considered intractable with classical means (such as factoring of large numbers and simulations of quantum systems) can be solved at substantially lower costs in computational resources; and new or improved ways of communicating (such as teleportation and secret-key distribution) will become feasible. However, many difficulties of practice and principle remain unresolved. We discuss the basic issues as well as prospects for advances.

Bài báo này sẽ đề cập đồng thời hai cuộc cách mạng khoa học lớn nhất trong thế kỷ XX: cơ học lượng tử và khoa học thông tin (kể cả tin học). Trong vài chục năm gần đây, lý thuyết thông tin và tin học đã làm thay đổi một cách ghê gớm lối sống và lối làm việc của chúng ta, và khi cơ học lượng tử được áp dụng cho cả quá trình xử lý lẫn quá trình truyền thông tin, thì những lĩnh vực đầy hấp dẫn và còn tương đối non trẻ này đã được nâng lên một tầm vóc mới về sức mạnh và độ tinh xảo, đồng thời những phát minh sau đó đã làm xuất hiện khả năng làm thay đổi một cách còn dữ dội hơn nữa trong khoa học, công nghệ và xã hội.

1. Thông tin cổ điển

* Nguyên giáo sư vật lý Đại học Laval, Quebec, Canada.

Thông tin là một khái niệm có từ cổ xưa và hiện diện ở khắp mọi nơi, nhưng lý thuyết thông tin như chúng ta biết thì mới chỉ tồn tại khoảng 60 năm nay, và thông tin như chúng ta hiểu có một ý nghĩa hạn chế và chính xác.

Thông tin là một khái niệm vật lý: nó là một quá trình có nguyên nhân và hậu quả, nó sử dụng các phương tiện vật lý thực để lưu trữ, truyền và xử lý, và do đó nó phụ thuộc vào và bị hạn chế bởi các định luật vật lý. Trái lại, tính bất biến của nó, tức là sự không nhạy cảm của nó đối với các dạng và các cách diễn đạt, gợi ý rằng nó là một khái niệm vật lý cơ bản, giống như năng lượng và xung lượng.

Vậy, chúng ta có thể định nghĩa thông tin như thế nào cho một nghiên cứu chính xác? Ta có thể lấy gợi ý từ vật lý và coi nó như một quá trình chiếm lĩnh tri thức. Giả sử tôi cho bạn giá trị x của một tính chất X nào đó, sự phát lộ này sẽ chẳng chứa thông tin gì nếu như bạn đã biết giá trị ấy, nhưng nó sẽ có hàm lượng thông tin cực đại nếu như bạn chưa biết giá trị đó và nó lại là giá trị duy nhất khả dĩ. Như vậy, thông tin là cái mà bạn sẽ chiếm lĩnh được nếu bạn biết giá trị của X . Claude Shannon, cha đẻ của lý thuyết thông tin, đã định nghĩa thông tin như một loại *entropy*: Nếu X có giá trị x với xác suất $p(x) \leq 1$, thì hàm lượng thông tin của X phụ thuộc vào phân phối xác suất của X theo công thức $S[X] = -\sum_x p(x) \log_2 p(x)$, trong đó hàm logarithm ở đây, theo quy ước, là logarithm cơ số 2. Khi X có thể nhận hai giá trị có xác suất như nhau thì $S[X] = 1$: như vậy, một biến lưỡng trị hay nhị phân (gọi là *bit*) có thể chứa một đơn vị thông tin. Tổng quát hơn, thông tin cực đại có thể được chứa trong một biến N trị là $\log_2(N)$: giá trị này đạt được khi phân phối xác suất là đều với mọi $p(x) = 1/N$.

Định nghĩa này về hàm lượng thông tin là hoàn toàn hợp lý. Ví dụ, nếu bạn muốn mã hóa một trong 8 thông điệp khả dĩ có xác suất như nhau, thì bạn chỉ cần 3 bit, tức là ba đơn vị thông tin; mặt khác, ta cũng có $\log_2 8 = 3$.

Một khi thông tin đã được tạo ra, nó sẽ được truyền đi hoặc là qua không gian (truyền thông) hoặc là qua thời gian (lưu trữ). Do đó, việc tìm ra các phương pháp tường minh, gọi là các *mã*, để làm tăng hiệu suất, giảm tỷ lệ sai sót và bảo vệ được tính nguyên vẹn của sự truyền dữ liệu là một điều hết sức quan trọng.

Shannon đã chứng minh rằng để truyền n giá trị của một đại lượng nhị phân X qua một kênh truyền thông (không nhiễu), người ta chỉ cần gửi theo kênh đó $nS[X]$ bit (nhỏ hơn n). Ý tưởng này về sự *nén dữ liệu* có một tầm

quan trọng to lớn về mặt thực tiễn trong viễn thông, trong thư tín *on-line* và trong lưu trữ dữ liệu vì nó tiết kiệm được các *tài nguyên* (resources) (bạn hãy nghĩ tới các file ZIP và MP3). Nhưng điều gì sẽ xảy ra khi trong kênh truyền có nhiễu? Điều này xảy ra khi một số bit ngẫu nhiên lật từ 0 sang 1 hoặc từ 1 sang 0. Lại một lần nữa, Shannon đã tìm được các điều kiện tối ưu mà một kênh truyền thông cần phải có để có thể cho phép một xác suất sai sót là nhỏ tùy ý trong quá trình truyền. Chuyện những điều kiện như vậy tồn tại thật đáng ngạc nhiên: Chúng nói với chúng ta rằng không cần phải thiết kế những kênh có nhiễu rất thấp với chi phí quá lớn, mà tốt hơn, chúng ta nên tập trung nỗ lực để tìm ra những kỹ thuật sửa lỗi mạnh hơn, cho phép dựng lại dữ liệu gốc không có lỗi. Ví dụ, định dạng DVD có thể chứa nhiều thông tin thực hơn rất nhiều so với định dạng CD một phần vì nó bao gồm một sơ đồ sửa lỗi hiệu quả hơn. Bên cạnh việc lưu trữ dữ liệu, việc mã hóa sửa lỗi đóng một vai trò cực kỳ quan trọng trong Internet, trong tính toán, trong phát thanh truyền hình và viễn thông.

Trong cả mã hóa nguồn và mã hóa kênh, Shannon đã chứng minh sức mạnh của việc xử lý thông tin.

Lý thuyết mã hóa thông tin cũng có liên quan đến thông tin “ẩn giấu” hay *khoa mật mã*. Nó bảo đảm sự an toàn cho những trao đổi trên các kênh công cộng, ví dụ như trong thương mại hay ngân hàng điện tử. Khoa mật mã đương đại đã sử dụng lý thuyết tổ hợp, đại số trừu tượng, và lý thuyết số, cũng như các khía cạnh của lý thuyết thông tin, độ phức tạp tính toán và gần đây hơn cả cơ học lượng tử nữa.

Một mẫu thông tin căn bản trong mật mã là “chìa khóa” mã, nó xác định *output* chức năng của thuật toán mật mã. Trong khi mã hóa, chìa khóa này chỉ định một sự biến đổi cụ thể văn bản thường thành văn bản mã hóa hoặc đảo ngược lại quá trình trên trong khi giải mã. Có hai loại hệ thống mật mã, một dựa trên sự phân phối chìa khóa mã đối xứng (hay riêng) và một dựa trên sự phân phối chìa khóa mã bất đối xứng (hay công khai).

Trong hệ thống mật mã dùng chìa khóa đối xứng, người gửi (gọi là A) và người nhận (gọi là B) cùng chia sẻ với nhau một chìa khóa bí mật, đó là một xâu rất dài các con số. A mã hóa bức thư đã số hóa của mình bằng cách cộng (ví dụ) bức thư này cùng với chìa khóa rồi gửi bức thư đã được mã hóa theo một kênh công cộng. B sẽ giải mã bằng cách trừ đi để đảo ngược lại bức thư mã hóa. Dưới đây, chúng ta sẽ thấy rằng mật mã lượng tử cũng sẽ sử dụng chính nguyên lý đó. Hệ thống sẽ rất an toàn chừng nào chìa khóa còn được giữ gìn hết sức cẩn thận cho tới khi đưa ra dùng và không được lặp lại.

Nhược điểm chủ yếu của hệ thống này nằm trong sự phân phối an toàn các bit của chìa khóa mã: hơn nữa thông tin cổ điển này có thể được sao chép bởi phía đối phương mà không làm nhiễu động các bản gốc làm phương hại đến an toàn của hệ thống.

Trong hệ thống mật mã dùng chìa khóa bất đối xứng, chìa khóa gồm chìa khóa công khai (ai cũng có thể biết) được dùng để mã hóa và một chìa khóa riêng vẫn còn được giữ bí mật và được dùng để giải mã. Cả hai chìa khóa này được tạo ra một cách bí mật như một cặp có liên quan với nhau và được lựa chọn sao cho việc tính toán để suy ra chìa khóa riêng từ chìa khóa công khai là rất khó (nhưng không phải là không thể làm được). Các thuật toán Diffie - Hellman và RSA là các thuật toán chìa khóa bất đối xứng đầu tiên được biết đến một cách công khai và thuộc số những thuật toán được sử dụng rộng rãi nhất, nhưng cũng còn có cả những thuật toán khác¹.

Để minh họa ta hãy lấy hệ thống mật mã RSA (của các tác giả R. Rivest, A. Shamir và L. Adleman, 1979). Người giữ chìa khóa lấy hai số nguyên tố lớn là p và q từ danh sách dài và ngày càng dài thêm của các số nguyên tố². Anh ta tính tích $N = p \cdot q$ và lấy một số nguyên dương k bất kỳ sao cho không có ước số chung với $p - 1$ và $q - 1$, rồi sau đó phát đi số N và k . Trong khi đó, anh ta tính chìa khóa bí mật s theo p , q và k qua hàm Euler mà chúng ta không cần biết chi tiết của nó, nhưng điều quan trọng ở đây là rất khó tìm được s một cách trực tiếp từ N và k . Thuật toán RSA được thiết kế sao cho khi sự mã hóa được thực hiện nhờ N và k , còn khi giải mã, tức là nghịch đảo lại quá trình trên, lại được tiến hành với các số N và s . Để cho đối phương phá được mật mã này, họ phải tìm được phân tích duy nhất $N = p \cdot q$, một bài toán hầu như không thể giải quyết nổi, đặc biệt khi bản thân hai thừa số nguyên tố rất lớn. Nói là không giải được ở đây có nghĩa là số các bước tính toán c cần thiết để giải bài toán đó tăng theo hàm mũ (chứ

¹ Năm 1997, công chúng cũng mới được biết rằng mật mã chìa khóa công khai cũng đã được James H. Ellis phát minh vào năm 1970, một ý tưởng mà sau đó đã được Clifford Cocks (thuật toán RSA) và Malcolm J. Williamson (thuật toán Diffie - Hellman) thực hiện vào đầu những năm 1970, trong thời gian họ làm việc cho cơ quan tình báo Anh (GCHQ).

² Hầu hết tất cả các số nguyên tố lớn đã biết là các số Mersenne, tức là các số có dạng $2^m - 1$. Ngày hôm nay số nguyên tố Mersenne lớn nhất có $m = 43\,112\,609$ là một con số có 12 978 189 chữ số thập phân tương đương với 43 112 609 chữ số 1 trong biểu diễn nhị phân.

không phải là theo hàm đa thức) với kích thước L của bài toán³. Ví dụ, trong thuật toán được biết là hiệu quả nhất hiện nay, thì việc phân tích ra thừa số của một số có 130 chữ số thập phân tương ứng với $L = 300$ bit và đòi hỏi $c = 10^{18}$ bước, một nhiệm vụ chắc chắn là khả thi, nhưng sẽ tốn rất nhiều thời gian. Tuy nhiên, nếu L tăng lên gấp đôi, c tăng tới 10^{25} thì đối với các máy tính mà chúng ta có hiện nay đây là một bài toán thực tế không thể giải nổi. Điều này giải thích tại sao người ta lại tin rằng mật mã RSA là không thể phá vỡ nổi, ít nhất là hiện nay cho tới khi máy tính lượng tử đầu tiên xuất hiện.

2. Tính toán cổ điển

Mục này sẽ không đề cập đến lý thuyết tính toán nói chung, tức sự nghiên cứu những nền tảng của thông tin và tính toán cũng như sự thực hiện những tính toán đó trên các hệ máy tính, mà sẽ chỉ tập trung vào một số ít vấn đề của tính toán cổ điển nhằm hướng tới một hình mẫu tính toán khác.

Tính toán là một quá trình vật lý: nhiệm vụ của máy tính là mã hóa các đầu vào (*input*) trong một hệ vật lý, xử lý các tín hiệu đã mã hóa với tốc độ cao nhờ các phương tiện vật lý theo những lệnh từng bước một rất xác định dựa trên một tập hợp các phép tính sơ cấp và cuối cùng cho hiển thị kết quả cũng nhờ các phương tiện vật lý. Dữ liệu được thể hiện dưới dạng các *bit*, tức các biểu tượng của ký hiệu nhị phân. Hệ nhị phân, hay còn gọi là hệ đếm cơ số 2, là hệ có ưu điểm tương thích với logic Boole, đồng thời dễ thực hiện và thiết kế hơn bất cứ một hệ đếm nào khác¹. Các mẫu thông tin (các chữ cái, các ký hiệu số học, v.v...) cũng sẽ được mã hóa thành những xâu các bit, chẳng hạn như 10110 và được lưu trữ tạm thời trong các *thanh ghi*, được thao tác trên một bit hoặc một cặp bit một lần bằng các phép tính sơ cấp, được gọi là các *cổng logic*, chúng tạo ra một bit duy nhất như là output. Chỉ

³ Trong độ tăng kiểu hàm mũ $c = a^{f(L)}$, trong khi đó độ tăng kiểu đa thức $c = L^n$, ở đây a và n là các hằng số độc lập với L , còn $f(L)$ là một hàm số nào đó của L . Các cách diễn đạt như “thời gian kiểu đa thức” hay “tương đương kiểu đa thức” đều có ý nghĩa tương tự.

¹ Chữ số nhị phân, hay bit, có hai giá trị mà ta gọi là 0 và 1. Hệ nhị phân có một ký hiệu duy nhất là 1, nó không thể sống được vì nó đòi hỏi số các chỗ trong bộ nhớ tăng theo hàm mũ theo lượng thông tin cần phải xử lý. Hệ thập phân gồm 10 ký hiệu (chữ số), sau khi được sử dụng cho chiếc máy tính đầu tiên ENIAC, nó đã bị vứt bỏ gần như hoàn toàn do cồng kềnh và khó sử dụng. Vài số nguyên dương đầu tiên viết trong ba hệ đếm nói trên là: 1, 11, 111, 1111, ... trong ký hiệu nhất phân; 0, 1, 10, 11, ... trong ký hiệu nhị phân; và 0, 1, 2, 3, ... trong ký hiệu thập phân.

có hai phép toán logic sơ cấp một - một, nhưng tồn tại tới 16 cách để lấy một cặp bit thành một bit duy nhất. Thực tế thì chúng ta không cần tới tất cả 16 cách đó, bởi vì chỉ cần một cổng, chẳng hạn như cổng NAND², là có thể mô phỏng được bất kỳ một cổng nào khác hoặc tổ hợp của các cổng. Vì lý do đó mà NAND được gọi là cổng vạn năng. Vì cả đầu vào (*input*) và đầu ra (*output*) đều là các bit, nên các cổng logic đều có thể ghép nối với nhau cho phép xử lý các từ n -bit¹. Mọi máy tính (song song hay nối tiếp), về lý thuyết, đều có thể được xây dựng theo một kiến trúc đơn giản từ vô số các bản sao của một họ phổ quát các cổng và các dây nối.

Cả thông tin (các bit) lẫn sự xử lý (các cổng) đều được thực hiện nhờ các tranzito rắn được tích hợp trong các bộ vi xử lý - bộ não của một máy tính. Trong khoảng ba chục năm trở lại đây, vì các tranzito ngày càng trở nên nhỏ hơn, tạo điều kiện cho sự tăng đều đặn mật độ của các cổng, nên số *bit* có thể lưu trữ trong *chip* bộ nhớ cứ hai năm lại tăng hơn gấp đôi. Nếu luật Moore (luật tăng theo hàm mũ) vẫn tiếp tục còn đúng thì số electron tham gia vào sự chuyển mạch của các tranzito riêng rẽ trong các mạch hiệu quả nhất sẽ giảm từ vài trăm như hiện nay tới còn 1 vào năm 2020. Những hiệu ứng lượng tử của các electron riêng rẽ khi đó sẽ bắt đầu làm nhiễu sự hoạt động chức năng của các dụng cụ: đây là một giới hạn vật lý cơ bản chứ không phải là một trở ngại về mặt kỹ thuật. Để vượt qua được rào chắn này, chúng ta sẽ cần phải có một hình mẫu tư duy (*paradigm*) mới, trong đó không chỉ các chuyển mạch mà cả và quan trọng nhất là thông tin và logic xử lý nó phải có một diện mạo lượng tử.

Cũng còn có một loại hạn chế cơ bản khác đối với sự tính toán đi đôi với độ phức tạp. Một bài toán tính toán được coi là giải được (chẳng hạn như phép nhân) nếu số phép tính sơ cấp c đòi hỏi để giải được nó tăng theo hàm đa thức đối với kích thước của bài toán đó, được đo bằng số *bit* L để định nghĩa nó. Nó được nói là không thể xử lý được (chẳng hạn như phân tích ra thừa số) nếu như c tăng theo L kiểu hàm mũ. Và cuối cùng, có những nhiệm vụ mà, về nguyên tắc, thậm chí máy tính cũng không thể làm nổi. Sự thật đáng ngạc nhiên này đã được Alain Turing, người được coi là cha đẻ của lý thuyết tính toán hiện đại, phát minh năm 1936. Trước đó, đáp lại sự thách

² Cổng NAND tạo ra số 0 nếu cả hai *input* đều là 1, trong các trường hợp còn lại tạo ra số 0.

¹ Có 2^n số phân biệt có cùng chiều dài n bit. Đối với $n = 3$, các số này là 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111.

thức của David Hilbert², người đang tìm cách đặt nền tảng vững chắc hơn cho toán học, Kurt Gödel đã chứng tỏ, qua một phép chứng minh khôn khéo và tuyệt đẹp, rằng trong một hệ thống toán học đầy đủ và nhất quán (hay phi mâu thuẫn) vẫn có thể tồn tại những mệnh đề không thể quyết định được, nghĩa là chúng không thể được chứng minh và cũng không thể bác bỏ được. Một mệnh đề có thể là đúng nhưng không nhất thiết phải là chứng minh được.

Vì các chứng minh trong toán học nhìn chung là tự động, bước này tiếp sau bước kia một cách logic. Hilbert đã băn khoăn tự hỏi liệu các khẳng định không thể chứng minh được như vậy có thể nhận dạng được bằng các phương tiện cơ học hay không. Turing đã chấp nhận thách thức đó theo một cách rất mới mẻ bằng cách đưa vào khái niệm *máy vạn năng* (universal machine), đó là máy, theo lý thuyết, có thể mô phỏng hoạt động của bất kỳ một máy tính với nhiệm vụ cụ thể nào (còn được gọi là máy Turing) mà không hề bị chậm đi một cách đáng kể đồng thời cũng thỏa mãn luận đề Church - Turing¹, theo đó *mọi hàm được coi là tính được đều có thể được tính nhờ một máy Turing vạn năng*. Cho đến nay người ta vẫn chưa tìm được phản ví dụ nào cho mệnh đề trên. Đây là một kết quả rất mạnh, vì nó có nghĩa rằng các máy tính đa năng đều có thể được chế tạo với một bậc phức tạp hữu hạn về cấu trúc.

Với cấu trúc trừu tượng này, Turing đã chứng tỏ được rằng sự tồn tại giả định của một dụng cụ cơ học nhằm xác lập tính quyết định đều phải dẫn đến mâu thuẫn. Nói một cách khác, *Entscheidungsproblem* là không thể giải được. Điều này dẫn đến hệ quả là sự tìm kiếm một thuật toán lớn có khả năng quyết định được khẳng định này hay khác - chẳng hạn như phỏng đoán Goldbach hay phỏng đoán hai số nguyên tố sinh đôi - có thể chứng minh được hay không đều sẽ nếm mùi thất bại.

Máy Turing vạn năng, cũng giống như bất kỳ chiếc máy tính hiện đại nào, đều xử lý thông tin theo các định luật của vật lý cổ điển, và do đó cũng phải chịu chung những hạn chế của nó. Vậy vật lý lượng tử, với toàn bộ cái

² Hilbert quan niệm rằng một hệ thống toán học cần phải đầy đủ, nhất quán và quyết định được. “Quyết định được” ở đây có nghĩa là trong hệ thống đó cần phải tồn tại một phương pháp xác định cho phép khẳng định được một mệnh đề nào đó là đúng hay sai. Bài toán về tính quyết định đó theo tên gốc tiếng Đức của nó được viết là *Entscheidungsproblem*.

¹ Alonzo Church đã chứng minh một cách độc lập một kết quả tương đương bằng cách sử dụng một phương pháp dựa hoàn toàn trên logic ký hiệu.

nhìn bao quát của nó đối với Tự nhiên, đã ảnh hưởng đến lập luận của Turing như thế nào và làm thế nào mà nó có thể mang đến cho chúng ta một lối thoát ra khỏi những hạn chế cơ bản đó?

3. Tính toán lượng tử

Như chúng ta đã thấy, sự nghiên cứu kỹ lưỡng những hạn chế của các dụng cụ thông tin và tính toán đã chỉ ra vật lý lượng tử như một hướng phát triển của những thế hệ các bộ vi xử lý thông tin tiếp theo. Năm 1982, Richard Feynman đã bàn đến chuyện một hệ lượng tử nhân tạo có thể được sử dụng như thế nào để thực hiện những tính toán và mô phỏng các hệ vật lý. Sau đó, vào năm 1985, David Deutsch đã đề xuất *máy Turing lượng tử vạn năng*, một mô hình tính toán tuân theo các định luật của cơ học lượng tử, có khả năng hỗ trợ những loại thuật toán mới và giải được các lớp bài toán phức tạp mới và do vậy mà có khả năng vượt xa các máy tính hiện có.

Cơ học lượng tử

Nguồn gốc của sức mạnh này nằm trong một nhận xét có tầm quan trọng then chốt là: *các trạng thái lượng tử có thể được chồng chất một cách tuyến tính*. Trong cách phát biểu chuẩn của cơ học lượng tử thì điều này được suy ra từ một định đề nói rằng một hệ lượng tử kín có thể được mô tả một cách đầy đủ nhờ một không gian vectơ phức (hay *không gian Hilbert*) và các khái niệm của nó. Đặc biệt, một vectơ của không gian này - tương ứng với một trạng thái nào đó của hệ đang xét (trạng thái này được gọi là trạng thái thuần) - đều có thể được viết như một tổ hợp tuyến tính của tất cả các vectơ cơ sở của không gian đó, mỗi vectơ cơ sở này được nhân với một hệ số phức, được coi như là biên độ xác suất, vì bình phương môđun của nó cho ta xác suất để vectơ trạng thái đã cho nằm theo hướng được xác định bởi vectơ cơ sở tương ứng. Đối với một vectơ trạng thái $|\psi\rangle$ ta có phương trình $|\psi\rangle = \sum_i c_i |i\rangle$, trong đó $|i\rangle$ là vectơ cơ sở và c_i là một số phức sao cho $\sum_i |c_i|^2 = 1$. Những đại lượng vật lý luôn liên quan đến bình phương của $|\psi\rangle$ và do vậy sẽ xuất hiện những số hạng với tích của hai thành phần và làm xuất hiện hiện tượng *giao thoa*.

Một hệ lượng tử cô lập tiến triển một cách tất định và thuận nghịch, hay nói theo ngôn ngữ chuyên môn, là qua một *toán tử tuyến tính unita*. Nếu một trạng thái lượng tử đã biết ở một thời điểm nào đó thì nó có thể được xác định một cách chắc chắn ở một thời điểm bất kỳ nào khác.

Vậy làm thế nào chúng ta quan sát được trạng thái đó? Các sách giáo

khoa nói với chúng ta rằng một khi chúng ta đã tạo cho một hệ vật lý kín ở một trạng thái $|\psi\rangle$ nào đó một cách thích hợp đối với phép đo một tính chất M nào đó của hệ, thì chúng ta có thể nhận được một giá trị m nào đó của M một cách không chắc chắn mà chỉ với một xác suất nào đó, và vectơ trạng thái này sẽ **suy sập** về một vectơ đặc trưng cho m , đồng thời sẽ xóa đi tất cả những thông tin khác mà nó chứa¹. Trong số rất nhiều khả năng mà hệ có trước khi đo, một kết cục duy nhất sẽ xuất hiện, và sự lựa chọn này được chi phối bởi các định luật xác suất: thực tế là một kết cục riêng rẽ hoàn toàn ngẫu nhiên là đi ngược lại lương tri và đặt một hạn chế cơ bản đối với sự tìm kiếm nguyên nhân của mỗi sự kiện. Tại sao lại như vậy? Câu hỏi này là một phần của vấn đề rất gây tranh cãi của việc giải thích cơ học lượng tử. Nhưng chúng ta có thể hiểu được nó đã xảy ra như thế nào theo cách sau.

Trong một phép đo, dụng cụ đo đã tương tác với hệ được quan sát sao cho một tính chất được lựa chọn của hệ sẽ có ảnh hưởng đến tính chất tương ứng của dụng cụ và kết quả của sự tương tác đó được thể hiện bằng số chỉ của dụng cụ. Vì hệ và dụng cụ tương tác, nên một số phương diện khác của hệ cũng phải bị nhiễu loạn theo một cách nào đó. Bây giờ, đối tượng quan sát và dụng cụ đo tạo nên một hệ kín mà sự tiến triển của hệ này tuân theo các định luật của cơ học lượng tử một cách nghiêm ngặt, nhưng mặt khác, những dữ liệu đọc được lại phải được tạo ra theo cách cổ điển. Nói một cách khác, bất kỳ khi nào ta thực hiện một phép đo, những ảnh hưởng lượng tử sẽ được phóng đại lên tới mức cổ điển và do đó những quy tắc chi phối sự tiến triển của hệ theo thời gian cũng sẽ thay đổi: sự tiến triển unita trước khi đo sẽ được thay thế trong lúc đo bằng một sự thay đổi gián đoạn, phi tất định và bất thuận nghịch. Nhưng đối với câu hỏi “tại sao lại có hai loại tiến hóa như thế” thì vẫn chưa có câu trả lời: hiện vẫn chưa có lời giải nào đã biết cho bài toán đó.

Qubit

Với một ít những yếu tố đó của cơ học lượng tử, bây giờ ta hãy thử tìm hiểu những cơ sở của tính toán lượng tử.

Một mạch lượng tử bao gồm các dụng cụ logic cơ bản (các cổng lượng tử) có nhiệm vụ xử lý các đơn vị lượng tử cơ bản của thông tin (*qubit*). Qubit

¹ Ở đây chúng tôi theo cách giải thích chính thống của Dirac – von Neumann.

là tương tự lượng tử của bit cổ điển (cbit)². Qubit là một đối tượng lượng tử sống trong không gian Hilbert hai chiều và có thể được thực hiện như một hệ vật lý thực (ví dụ như electron, photon, ion hoặc nguyên tử hai mức). Trong khi cbit nhận giá trị 0 hoặc 1, thì qubit có thể ở trạng thái $|0\rangle$ hoặc $|1\rangle$ hoặc một tổ hợp tuyến tính nào đó của chúng $|\psi\rangle = c_0|0\rangle + c_1|1\rangle$, với $|c_0|^2 + |c_1|^2 = 1$. Các vectơ đặc biệt $|0\rangle$ và $|1\rangle$ là các vectơ đơn vị trực giao và được gọi là các *trạng thái tính toán cơ bản*¹. Như vậy, ở bất kỳ thời gian đã cho nào, một qubit có thể mã hóa cả 0 và 1, các giá trị đặc trưng của $|0\rangle$ và $|1\rangle$.

Giả sử rằng chúng ta có trong tay hai bit. Trong khi thanh ghi cổ điển hai bit có thể lưu trữ ở một thời điểm bất kỳ đã cho *chỉ một* trong số 4 cấu hình khả dĩ (00, 01, 10, 11), thì một thanh ghi hai bit lượng tử có thể lưu trữ ở bất kỳ thời điểm nào đã cho *tất cả 4* trạng thái cơ sở $|00\rangle, |01\rangle, |10\rangle, |11\rangle$ trong một chồng chất tuyến tính. Chúng ta có thể thấy được khuynh hướng đó khi kích thước thông tin tăng: trong khi bộ nhớ của các thanh ghi cổ điển vẫn còn không thay đổi (một cấu hình một lần) thì khả năng lưu trữ của các thanh ghi lượng tử tăng theo hàm mũ với số bit n cần lưu trữ. Chẳng hạn hệ lượng tử còn tiến triển một cách unita thì toàn bộ 2^n trạng thái cơ sở khả dĩ vẫn còn được lưu trữ trong một *thanh ghi n -qubit duy nhất* và khả dụng đồng thời cho việc xử lý. Đó chính là chỗ chứa đựng một trong những nguồn sức mạnh được thừa nhận của các máy tính lượng tử.

Các cổng lượng tử

Vậy các trạng thái qubit được tạo ra và xử lý như thế nào? Chúng ta biết rằng thường thì các hệ lượng tử, kể cả các qubit, cần phải tiến triển qua các toán tử tuyến tính unita. Đó cũng là điều kiện mà tất cả các *cổng logic lượng tử* xử lý thông tin lượng tử cần phải thỏa mãn. “Tính tuyến tính” ở đây ngụ ý rằng tổng của các vectơ biến đổi thành tổng của các vectơ được biến đổi, và do vậy chúng ta chỉ cần những quy tắc thao tác cho các vectơ cơ sở. Còn “tính unita” có nghĩa là độ dài của các vectơ đã được biến đổi vẫn được giữ nguyên, và một cổng lượng tử luôn có thể được đảo ngược bởi một cổng lượng tử khác sao cho một cổng lượng tử chấp nhận n bit đầu vào cần phải

² Để nhấn mạnh sự phân biệt, chúng ta gọi bit cổ điển (*classical bit*) là *cbit* và bit lượng tử là *qubit*.

¹ Tất nhiên, chúng ta có thể chọn các vectơ cơ sở trực chuẩn (tức vuông góc và có chiều dài đơn vị) bất kỳ nào khác.

trả lại n bit đầu ra. Tính thuận nghịch này là một tính chất phân biệt của các cổng lượng tử, trái ngược với các cổng cổ điển có thể là thuận nghịch và cũng có thể là không. Tập hợp các toán tử unita trên n qubit là vô hạn. Tuy nhiên, hóa ra là, như trong trường hợp cổ điển, có một *tập phổ quát*: trong tính toán lượng tử, bất kỳ một cổng logic đa qubit nào đều có thể được tạo thành bằng cách tổ hợp các phép quay đơn qubit và các cổng CNOT hai qubit¹. Điều đáng nói là cặp phép toán này là tất cả những gì chúng ta cần cho việc tính toán lượng tử.

Một ví dụ về cổng đơn qubit là phép quay U_H được định nghĩa bởi

$$U_H |0\rangle = (|0\rangle + |1\rangle) / \sqrt{2}$$

$$U_H |1\rangle = (|0\rangle - |1\rangle) / \sqrt{2}$$

U_H làm thay đổi cơ sở tính toán thành một cơ sở trực chuẩn khác, hay nhìn theo một cách khác, nó làm cho các trạng thái “cổ điển” tiến hóa thành các chồng chất². Giả sử chúng ta có một thanh ghi lượng tử n -qubit ban đầu ở trạng thái $|0\ 0 \dots 0\rangle$ và áp dụng tới mỗi qubit đơn của thanh ghi cổng U_H . Trạng thái kết quả của thanh ghi khi này là $|0\ 0 \dots 0\rangle + |0\ 0 \dots 1\rangle + \dots + |1\ 1 \dots 1\rangle$ (với sai khác một thừa số nhân cho cả tổng) và kết quả này có thể được viết ngắn gọn là $\sum_{x=0}^{\omega-1} |x\rangle$ với $\omega = 2^n$ và x là các số thập phân biểu diễn các số nhị phân tương ứng. Một điểm quan trọng cần phải lưu ý là khi áp dụng U_H n lần trên $|00\dots 0\rangle$ thì ta sẽ tạo ra trạng thái của thanh ghi chứa tất cả ω số hạng với trọng số như nhau³. Đây là một ví dụ đơn giản nhất về “sự xử lý lượng tử song song” đầy sức mạnh. Một máy tính cổ điển có thể lặp lại tính toán trên ω lần hay người ta sử dụng ω bộ vi xử lý khác nhau làm việc song song. Hãy tưởng tượng một số ω rất lớn, như 2^{400} chẳng hạn, khi đó bạn sẽ thấy rằng một máy tính lượng tử có thể mang lại cho ta một lợi ích cực kỳ to lớn kiểu hàm mũ so với máy tính cổ điển, cả về thời gian lẫn bộ nhớ.

Những cổng phức tạp hơn

¹ Tác dụng của CNOT là $|00\rangle \rightarrow |00\rangle, |01\rangle \rightarrow |01\rangle, |10\rangle \rightarrow |11\rangle$ và $|11\rangle \rightarrow |10\rangle$.

² Ngoài U_H ra, cũng rất có ích nếu biết hai cổng qubit đơn quan trọng khác: cổng X, là phép trao đổi $|0\rangle \leftrightarrow |1\rangle$ và cổng Z có tác dụng $|0\rangle \rightarrow |0\rangle$ và $|1\rangle \rightarrow -|1\rangle$.

³ Rất thú vị để lưu ý rằng U_H có thể mô phỏng được một bài toán thuần túy cổ điển, khi gieo một cách trung thực một con súc sắc đa diện.

Các thao tác thực không hề đơn giản và vì vậy chúng ta cần phải có định nghĩa cho những *chức năng* thực hơn trong tính toán lượng tử. Để làm điều đó, chúng ta dùng hai thanh ghi, thứ nhất là thanh ghi n -bit để theo dõi dữ liệu *input* và thanh ghi thứ hai m -bit để lưu trữ dữ liệu *output*. Mỗi một *input* x được biểu diễn bởi $|x\rangle$, trạng thái lượng tử của thanh ghi thứ nhất¹. Tương tự, $|y\rangle$ là trạng thái lượng tử của thanh ghi thứ hai đối với *output* $y = f(x)$. Việc đánh giá $f(x)$, mà ta giả thiết là một hàm tuyến tính, khi đó được tiến hành nhờ một toán tử unita U_f , được định nghĩa sao cho $U_f |x\rangle|0\rangle = |x\rangle|f(x)\rangle$ và được thực hiện bằng một mạng lưới các cổng. Giả sử ta cần $f(x)$ cho $\omega = 2^n$ số x . Ta tạo ra một chồng chất đồng đều của tất cả các giá trị *input* trong một thanh ghi duy nhất rồi cho chạy tính toán U_f một lần, ta sẽ nhận được tất cả ω giá trị $f(0), \dots, f(\omega - 1)$ chỉ trong một lần chạy. Nói một cách nôm na thì các phép toán liên tiếp nhìn đại khái như sau (ở đây cũng sẽ bỏ qua các thừa số nhân)

$$|\psi\rangle = U_f (U_H |0\rangle)|0\rangle \approx U_f \sum_{x=0}^{\omega-1} |x\rangle|0\rangle \approx \sum_{x=0}^{\omega-1} |x\rangle|f(x)\rangle$$

Vậy là chúng ta đã nhận được giá trị của $f(x)$ đối với ω giá trị của x , *tất cả chỉ trong một lần tính*. Điều này nhìn tưởng như là một ma thuật, nhưng đó thực chất chỉ đơn giản là do tính *song song lượng tử*. Và không chỉ là do tính song song lượng tử, mà còn do cả *tính vướng víu lượng tử* nữa, vì các trạng thái $|x\rangle$ và $|f(x)\rangle$ có tương quan rất mạnh: mỗi giá trị của $f(x)$ vẫn còn một mối liên hệ với giá trị của x đã tạo ra nó và thanh ghi tổ hợp $m + n$ bit chứa những tính chất chung của hai thanh ghi con.

Tuy nhiên, chúng ta không thể truy cập trực tiếp tới tất cả ω giá trị của $f(x)$, vì nếu chúng ta tiến hành đo trên thanh ghi *output* thì chúng ta sẽ chỉ nhận được một giá trị, chẳng hạn $u = f(x_u)$ với một xác suất nào đó và trạng thái $|\psi\rangle$ của thanh ghi tổ hợp sẽ suy sụp về trạng thái $\sum_i |x_u^i\rangle|u\rangle$ đồng thời xoá đi mọi thông tin khác trong bộ nhớ của thanh ghi. Để nhận được giá trị khác của $f(x)$ chúng ta cần phải lặp lại toàn bộ thủ tục trên từ đầu một lần nữa. Việc truy xuất những kết quả của một tính toán lượng tử hiện vẫn còn là một nhiệm vụ đầy thách thức.

Rõ ràng là, không phải mọi loại tính toán đều có thể hưởng lợi một cách đầy đủ từ những ưu thế của tính song song lượng tử. Những bài toán đòi hỏi phải đánh giá một tính chất toàn cục nào đó của hàm chứ không phải

¹ Chúng ta tiếp tục sử dụng cách ký hiệu rút gọn trong đó, ví dụ, số thập phân z trong trạng thái $|z\rangle$ chỉ tương đương nhị phân của nó.

các giá trị riêng rẽ của nó là những bài toán có thể được hưởng cái lợi đó. Tìm chu kỳ của một hàm tuần hoàn là một ví dụ quan trọng của loại bài toán như thế.

Các hàm tuần hoàn

Giả sử hàm $f(x)$ mà chúng ta thảo luận ở trên là một hàm tuần hoàn của x với chu kỳ τ , tức là $f(x + \tau) = f(x)$ đối với mọi x . Để đơn giản ta giả sử rằng $\omega = 2^n$ là một bội số nguyên của τ . Mục đích của chúng ta chỉ là tìm τ . Sau khi dùng cổng U_f chúng ta làm phép đo trên thanh ghi *output* và nhận được một giá trị u nào đó và trạng thái của thanh ghi tổ hợp suy sụp về trạng thái $\sum_{j=0}^{\omega/\tau-1} |c_u + j\tau\rangle |u\rangle$ trong đó tính tuần hoàn của hàm $f(x)$ bây giờ được phản ánh trong thanh ghi *input*. Hằng số c_u (phụ thuộc vào u) có thể thực sự được loại đi bằng cách áp dụng phép biến đổi Fourier gián đoạn U_{FT} trên thanh ghi thứ nhất. Một phép đo sau đó trên thanh ghi này sẽ cho giá trị của τ .

Vậy để nhận được τ ta phải trả một giá như thế nào? Một cách ngây thơ nhưng vẫn còn là tốt nhất đối với một máy tính cổ điển cần phải làm công việc này đơn giản là tính $f(x)$ cho $\omega/2 = 2^{n-1}$ giá trị của x và tìm xem khi nào hàm này lặp lại giá trị của mình. Một máy tính lượng tử sẽ làm n bước tính toán để thực hiện U_H và một bước để thực hiện U_f và n^2 bước để thực hiện U_{FT} . Và như vậy máy tính lượng tử đã tiết kiệm được thời gian theo kiểu hàm mũ so với thuật toán cổ điển.

Để có được một cái nhìn sâu sắc hơn vào nguồn sức mạnh của tính toán lượng tử, sẽ là không thừa nếu chúng ta xem xét lại thủ tục tính toán mà chúng ta vừa thực hiện. Thủ tục này gồm ba bước chính: trước hết, U_f tạo ra một trạng thái vướng víu liên kết hai thanh ghi, nó chia sẻ tính chất toàn cục của hàm U_f mà chúng ta tìm kiếm. Thứ hai, sự gỡ vướng víu của trạng thái tương quan này được thực hiện bằng cách chiếu nó lên một không gian con của không gian Hilbert. Cuối cùng, U_{FT} sẽ làm hé lộ tính chất toàn cục được ẩn giấu trên thanh ghi thứ nhất và làm cho nó trở nên truy cập được.

Thuật toán phân tích ra thừa số của Shor

Mục đích của thuật toán nổi tiếng này tính hai thừa số nguyên tố p và q của một số nguyên dương N . Trong lời giải của bài toán này có một bước quan trọng là tìm chu kỳ τ của hàm tuần hoàn $f(x) = a^x \bmod N$, trong đó $a < N$ là một số được chọn ngẫu nhiên và là số nguyên tố cùng nhau với N .

(tức là không có ước số chung khác 1 với N). $(c \bmod N)$ là một số nguyên nằm giữa 0 và $N - 1$, nhận được bằng cách lấy c trừ đi một bội số thích hợp của N). Một khi đã xác định được τ , các thừa số nguyên tố của N sẽ thu được bằng cách tính các ước số chung lớn nhất của $a^{\tau/2} \pm 1$ và N dựa vào thuật toán Euclid nổi tiếng với chi phí thời gian kiểu đa thức. Như chúng ta đã thấy ở trên, thuật toán lượng tử có thể tìm được chu kỳ của hàm $f(x)$ với thời gian tiêu tốn kiểu đa thức, trong khi không có một thuật toán cổ điển nào có thể làm điều đó một cách hiệu quả như vậy. Phát minh này của Peter Shor về tính giải được của bài toán phân tích ra thừa số nguyên tố trên máy tính lượng tử đã có những hậu quả ghê gớm, vì nó có thể sẽ đe dọa đến sự an toàn của nhiều mật mã hiện có dựa trên sự không thể phân tích ra thừa số nguyên tố của các số lớn trên thực tiễn.

Những thực hiện cụ thể

Với những khái niệm cần thiết của tính toán lượng tử đã được cho ở trên, bây giờ bước tiếp theo là thực hiện chúng và tổ hợp những yếu tố khác nhau đó thành một hệ có thể thay đổi cỡ được (*scalable system*). Trong mô hình dựa trên mạch mà chúng ta ngầm có trong đầu thì một hệ như vậy cần phải

(1) có một sự biểu diễn bền vững thông tin thành các qubit sao cho chúng vẫn còn giữ được các tính chất lượng tử trong một khoảng thời gian nhất định;

(2) có thể xử lý theo ý muốn các qubit bằng cách lựa chọn tùy ý từ một họ phổ quát các cổng unita sao cho thời gian tiêu tốn để thực hiện các phép tính sơ cấp ít hơn nhiều so với thời gian mà hệ còn là kết hợp theo cơ học lượng tử;

(3) có thể tái tạo được nhiều lần một trạng thái lượng tử cụ thể (ban đầu) nào đó, mà lý tưởng là một trạng thái thuần, với entropy bằng không; sau hết

(4) có thể đo được trạng thái *output* cuối cùng, nghĩa là một sự liên kết giữa một hoặc nhiều qubit với một hệ cổ điển sao cho trạng thái qubit được quan sát được dịch thành một trạng thái của hệ cổ điển.

Đối với một hệ đã cho, những đòi hỏi này là rất khó đáp ứng một cách đồng thời, vì chúng, nói chung, là đối nghịch nhau: hệ cần phải được cô lập tốt để giữ được những tính chất lượng tử của nó, nhưng các qubit lại cần phải sẵn sàng để được xử lý; nếu chúng ta muốn có một máy tính đủ lớn để

lưu trữ nhiều qubit thông tin, thì sẽ rất khó để giữ cho nhiều lượng tử là đủ thấp. Một sự thực hiện trên thực tế là phải tìm kiếm một sự thăng bằng tinh tế giữa những ràng buộc đó. Hơn nữa, về mặt kỹ thuật, không thể đảm bảo được rằng khối tính toán là hoàn toàn cô lập với môi trường, và sự liên kết tàn dư với bên ngoài, dù có yếu, cũng sẽ gây ra sự *mất kết hợp*. Thuật ngữ này dùng để chỉ sự mất kết hợp lượng tử, tức là mất tính thuần khiết của trạng thái, do đó của thông tin cho môi trường, điều này xuất hiện là do những tác động của các cổng lượng tử trải rộng ra bên ngoài khối tính toán.

Càng có nhiều qubit trên thanh ghi thì sự liên kết của chúng với môi trường sẽ càng mạnh và sự thành công trong tính toán sẽ giảm đi theo kiểu hàm mũ. Thật may mắn là các nhà lý thuyết đã phát triển được những thuật toán rất hiệu quả có thể khắc phục được nhiều lượng tử và cho phép truyền không nhiều thông tin lượng tử trên các kênh lượng tử khá bị nhiễu.

Hiện nay có rất nhiều hoạt động nghiên cứu tại các trường đại học và các công ty máy tính trên khắp thế giới nhằm chế tạo chiếc máy tính lượng tử cỡ lớn đầu tiên. Nếu như mục tiêu này còn chưa thể đạt được thì người ta cũng đã chứng minh được rằng nó hoàn toàn là có thể thực hiện được.

Photon - hạt tải truyền thống của thông tin - cũng đã được dùng làm biểu diễn qubit trong một số thiết kế. Các công cụ được phát triển trong quang tử học (*photonics*) (như gương, bộ dịch pha, bộ tách chùm) đều đã được sử dụng để tạo ra các phép biến đổi unita đơn qubit. Các photon không tương tác trực tiếp với nhau, do đó để tạo ra các cổng hai-qubit, chúng cần được làm cho tương tác gián tiếp với nhau bằng cách cho chúng hoặc cùng truyền qua một vật liệu quang học phi tuyến như trong *máy tính lượng tử photon quang học*, hoặc đi qua một hốc quang học chất lượng cao và tương tác với một nguyên tử duy nhất được rỏ vào bên trong hốc như trong *máy tính photon QED hốc*. Thực hiện vật lý của các mô hình tính toán lượng tử thuộc loại này đã được chứng minh năm 2007.

Trong thiết kế dùng *cộng hưởng từ hạt nhân* (NMR), bộ xử lý lượng tử là một phân tử có xương sống gồm một số nguyên tử mà hạt nhân của chúng chứa một số lẻ proton hoặc neutron (chẳng hạn như cacbon-13). Các qubit được cung cấp bởi các trạng thái spin của hạt nhân mà ta có thể xử lý bằng cách đặt vào các từ trường dao động theo các xung với tần số radio và có độ kéo dài điều khiển được và được thu (đọc) bởi các dụng cụ NMR tương tự như các dụng cụ được dùng trong các bệnh viện và các phòng thí nghiệm hóa học. Năm 2001 có rất nhiều sự hứng khởi bởi vì một máy tính NMR bảy-qubit, dùng 10^{18} phân tử đồng nhất chứa 5 nguyên tử flo và 2 nguyên

tử cacbon, dựa theo thuật toán Shor, đã nhận dạng ra 3 và 5 là các thừa số nguyên tố của 15.

Trong *phương pháp bẫy ion*, một chuỗi các nguyên tử tích điện được làm lạnh và bị nhốt vào tâm một thể tạo bởi một tổ hợp của một điện trường dao động và một điện trường tĩnh được duy trì trong chân không cao. Ánh sáng laser điều biến chiếu tới các ion sẽ thực hiện các phép toán trên đó và được dùng để đọc các trạng thái của nguyên tử. Những trạng thái spin này tương tác với nhau qua những trạng thái chuyển động tập thể cùng chia sẻ và biểu diễn các qubit. Với phương pháp này, vào năm 2008, người ta đã tạo được các trạng thái vướng víu với 8 ion canxi, số hạt vướng víu lớn nhất mà người ta đã đạt được. Một số phát triển quan trọng mới đây (như các ion con thoi giữa các vùng bẫy mà không làm mất thông tin lượng tử được lưu trữ, thiết kế các mảng bẫy hai chiều, chế tạo các bẫy ion bằng các kỹ thuật sản xuất các chất bán dẫn hiện có) đã làm cho cách tiếp cận này trở thành một trong những cách tiếp cận tiên tiến nhất và đóng vai trò lát đường cho sự tăng trưởng nhanh về kích thước của các bộ xử lý lượng tử.

4. Thông tin lượng tử

Vậy vật lý lượng tử sẽ cung cấp cho lý thuyết thông tin những tài nguyên động và tĩnh mới nào? Và liệu những tài nguyên mới này có làm cho việc trao đổi thông tin trở nên hiệu quả hơn không? Liệu chúng có truyền được những thông tin bí mật một cách an toàn hơn không? Đó là một số câu hỏi mà chúng ta có thể trả lời khi thông tin và các kênh truyền thông được phép mang tính cơ học lượng tử.

Lý thuyết thông tin lượng tử phong phú hơn lý thuyết thông tin cổ điển một cách cơ bản: nó không chỉ hỗ trợ mọi khả năng cổ điển mà còn có những sức mạnh mới dựa trên những tính chất độc đáo của các trạng thái lượng tử. Những kết quả cơ bản của Shannon có thể mở rộng một cách suôn sẻ tới thế giới lượng tử. Định nghĩa của ông về entropy thông tin, khái niệm nén dữ liệu và định lý mã hóa kênh không nhiễu cũng như có nhiều của ông, tất cả đều có những đối ứng lượng tử. Nhưng cái làm cho lĩnh vực mới xuất hiện này trở nên một chủ đề hấp dẫn là vai trò ngày càng tăng của một tính chất chủ yếu là lượng tử, đó là tính vướng víu của các trạng thái¹.

¹ Thuật ngữ này, hay gốc tiếng Đức của nó "Verschränkung", được Erwin Schrodinger năm 1935 để mô tả các mối tương quan cơ học lượng tử đặc biệt mạnh giữa hai hạt như đã được xem xét trong EPR.

Vướng víu

Những hạt giống mà từ đó lý thuyết thông tin lượng tử mọc lên có thể nói bắt nguồn từ bài báo công bố năm 1935 của Einstein, Podolsky và Rosen (EPR), trong đó các tác giả đã phân tích các mối tương quan rất cụ thể tồn tại giữa hai bộ phận của một hệ lượng tử, hai bộ phận này đã tương tác với nhau trong quá khứ nhưng bây giờ đã tách ra xa nhau. Họ đã nhận xét rằng những mối tương quan này đã làm cho ta có thể tiên đoán được một tính chất lượng tử của bộ phận ở xa bằng cách đo chính tính chất đó ở bộ phận thứ hai; họ khẳng định tiếp rằng đại lượng cần tiên đoán phải có một giá trị xác định ngay cả trước khi được đo. Nhưng vì cơ học lượng tử không cho phép có các giá trị xác định trước khi đo, nên EPR kết luận rằng lý thuyết này là không đầy đủ. Ba chục năm sau, John Bell đã nhận thấy rằng những thí nghiệm về các hạt vướng víu có thể dùng để kiểm chứng xem có tồn tại một cách mô tả thế giới đầy đủ hơn phù hợp với hai giả thiết do EPR đưa ra hay không, mà cụ thể là tính định xứ và tính hiện thực¹. Ông đã phát hiện ra các bất đẳng thức tương quan *cần phải* thỏa mãn trong mọi mô hình định xứ hiện thực (ví dụ như mô hình biến ẩn định xứ), nhưng lại *có thể bị* vi phạm bởi cơ học lượng tử. Đặc biệt, sự vi phạm quan sát được của những giới hạn này trong một hệ lượng tử sẽ chỉ ra sự hiện diện của vướng víu. Các thực nghiệm gần đây chứng tỏ sự vi phạm các bất đẳng thức Bell đã làm mất hiệu lực của các mô hình biến ẩn và lại càng củng cố thêm cho cơ học lượng tử.

Các thí nghiệm tương tự EPR có thể thực hiện được bằng sự phân rã của hạt meson π^0 đứng yên thành một electron và một positron. Hai sản phẩm phân rã (có spin 1/2) chuyển động cùng phương nhưng ngược chiều nhau. Vectơ trạng thái của hệ hai hạt này là trạng thái tổ hợp có spin 0 được biểu diễn qua các hướng *up/down* của spin electron và positron dưới dạng

$$|\psi_{ep}\rangle = |\uparrow\downarrow\rangle - |\downarrow\uparrow\rangle$$

Hai hạt này có thể ở cách xa nhau nhiều năm ánh sáng, nhưng chúng vẫn có tương quan vướng víu với nhau không thể tách ra được, và khi chúng ta đo spin của electron theo một *hướng tùy ý* thì spin của positron sẽ

¹ “Tính định xứ” ở đây có nghĩa là kết quả đo trên một hạt trong cặp hạt vướng víu độc lập với cái đã được làm đồng thời với hạt thứ hai được đặt ở ngoài phạm vi tương tác giữa chúng. Còn tính hiện thực có nghĩa là chúng ta có thể tiên đoán một cách chắc chắn giá trị của một đại lượng vật lý độc lập với các quan sát.

có hướng chính xác là *ngược lại*². Như vậy, phép đo trên một hạt dường như đã cố định một cách tức thời trục spin của hạt kia. Đó là cái tác dụng xa “ma quái” đã từng làm cho Einstein phải trăn trở. Phương trình trên, được ám chỉ như một cặp EPR, là một ví dụ về trạng thái vướng víu tối đa. Hai spin cùng nhau tạo nên một trạng thái thuần xác định, nhưng khi được xét một cách tách rời thì mỗi trạng thái spin là bất định (hoặc bị trộn) một cách tối đa¹.

Nói chung, các trạng thái thuần vướng víu là chồng chất của ít nhất của hai trạng thái tích, chứ không thể được viết như một trạng thái tích đơn trong bất cứ một cơ sở nào khác. Tất cả các trạng thái thuần vướng víu đều chứa những tương quan cơ học lượng tử mạnh; chúng phủ nhận các mô hình biến ẩn định xứ. Các trạng thái trộn cũng có thể được tạo ra với những mức độ vướng víu khác nhau, sau đó được đo, được chưng cất, được cô đặc, được pha loãng và được xử lý. Vướng víu đã trở thành một tài nguyên căn bản đối với sự viễn tải và mã hóa lượng tử và được xem như một thành phần rất được mong muốn trong tính toán và mật mã lượng tử. Ngoài ra, nó cũng có nhiều ứng dụng trong trắc đạc với độ chính xác cao, và vì nó có liên quan đến một số bài toán còn để mở trong đại số tuyến tính và giải tích hàm, nên nó cũng trở thành một bộ phận của toán học.

Viễn tải lượng tử

Vướng víu cho phép truyền một trạng thái lượng tử chưa biết mà thực sự không cần gửi nó đi. Giả sử A muốn truyền tới B, người sống ở một nơi xa, một qubit ở trạng thái ϕ mà A chưa biết cũng như không thể đo hay sao chép được².

Giả sử A và B cùng chia sẻ một cặp EPR vướng víu ở trạng thái $|E\rangle = |00\rangle + |11\rangle$ (trong đó qubit đầu tiên được gán cho A và qubit thứ hai được gán cho B) và viết trạng thái được truyền dưới dạng $|\phi\rangle = a|0\rangle + b|1\rangle$, trong đó a và b chưa biết. Trạng thái ba qubit ban đầu do A sở hữu là

² Điều quan trọng là cần phải nhớ điểm này để hiểu được sự viễn tải lượng tử.

¹ Khi một trạng thái lượng tử có thể được biểu diễn bởi một vectơ trong không gian Hilbert, thì người ta nói rằng nó là một trạng thái thuần (khiết); trong trường hợp ngược lại nó là một “trạng thái trộn”. Một trạng thái thuần được xác định bởi biên độ xác suất có giá trị phức của nó; trong khi một trạng thái trộn được xác định bởi mật độ xác suất có giá trị thực.

² Cả hai đều vì những lý do cơ học lượng tử.

$$|\phi\rangle|E\rangle = a|000\rangle + a|011\rangle + b|100\rangle + b|111\rangle$$

Để lại qubit thứ ba (chỉ thuộc B), A áp dụng cổng CNOT cho hai qubit của mình, rồi sau đó áp dụng cổng U_H cho qubit đầu tiên trong hai qubit đó, kết quả nhận được trạng thái

$$|00\rangle(a|0\rangle + b|1\rangle) + |01\rangle(a|1\rangle + b|0\rangle) + |10\rangle(a|0\rangle - b|1\rangle) + |11\rangle(a|1\rangle - b|0\rangle)$$

Sau đó A tiến hành đo trên hệ của mình và nhận được một trong 4 trạng thái 00, 01, 10, hoặc 11, với xác suất như nhau và làm cho trạng thái đó suy sụp về một trong bốn số hạng trong biểu thức trên. Đến đây, A sẽ gửi email cho B nói rằng “Tôi có 00”. Thực ra hai bit cổ điển đó là đủ, nhưng để đảm bảo cho B hiểu, cô viết thêm: “Hãy nhìn qubit của bạn, bạn sẽ có ϕ trong đó”; hoặc “Tôi có 01 (áp dụng cổng X cho qubit của bạn)”; hoặc “Tôi có 10 (hãy áp dụng cổng Z cho qubit của bạn)”; hoặc cuối cùng: “Tôi có 11 (hãy gửi qubit của bạn qua X, sau đó qua Z, bạn sẽ có ϕ)”. Như vậy một qubit đã được truyền đi mà không cần phải gửi: xem ra cơ học lượng tử còn tuyệt vời hơn cả khoa học viễn tưởng!

Viễn tải lượng tử dùng vướng víu như một yếu tố then chốt của nó. Cũng thật rõ ràng là quá trình lượng tử này là hoàn toàn phù hợp với *thuyết tương đối* (vì A phải chuyển tải kết quả của mình qua một kênh cổ điển, mà kênh này không thể làm cho thông tin chuyển động nhanh hơn ánh sáng được), đồng thời nó cũng phù hợp với *định lý không nhân bản* (ở cuối của quá trình này ϕ được xóa khỏi qubit đầu tiên của A, bằng cách được thay bằng 0 hoặc 1, để xuất hiện ở một chỗ khác, trong qubit của B).

Mật mã lượng tử

Trong mục trước chúng ta đã thấy rằng sức mạnh của máy tính lượng tử có thể được lợi dụng để phá một số hệ thống mật mã chìa khóa công khai tốt nhất hiện có đã biết. Trong mục này chúng ta sẽ thấy cơ học lượng tử có thể cung cấp một loại mật mã thay thế về *bản chất là an toàn hơn nhiều* dựa trên hệ thống mật mã chìa khóa đối xứng truyền thống mà không gặp những khó khăn thường có trong sự phân phối chìa khóa mã cũng như chịu sự mạo hiểm có chìa khóa mã bị bên thứ ba sao chép, nhưng lại có thêm khả năng đổi mới chìa khóa mã một cách thường xuyên, làm giảm thiểu khả năng bị đánh cắp chìa khóa mã hoặc bị giải mã. Các bit chìa khóa riêng sẽ được tạo ra giữa giữa các bên, A và B, theo kênh lượng tử công khai (mà điều này chỉ yêu cầu tỷ lệ sai sót thấp hơn một ngưỡng nào đó) và cuối cùng được dùng để thực hiện một hệ thống mật mã chìa khóa riêng cổ điển cho sự truyền thông an toàn.

Ý tưởng cơ bản nằm sau sự an toàn của *mật mã lượng tử*, hay chính xác hơn, của sự tạo ra *chìa khóa bí mật* là ở chỗ sự nghe trộm về cơ bản là các phép đo trên một đối tượng vật lý, trong trường hợp này là vật tải lượng tử của thông tin và các phép đo trên một đối tượng không thực hiện được mà không làm nhiễu động nó cũng như không để lại dấu vết. Trên phương diện này, có liên quan tới hai kết quả lý thuyết: Thứ nhất, bất kỳ ý định nào nhằm phân biệt giữa hai trạng thái không trực giao đều sẽ làm nhiễu động ít nhất là một trong hai trạng thái đó, và thứ hai, các trạng thái lượng tử chưa biết không thể được sao chép một cách chính xác mà không làm nhiễu động những trạng thái gốc (định lý không nhân bản)¹. Do đó, chúng ta có thể thiết kế và thực hiện một giao thức tạo chìa khóa bí mật luôn luôn có thể phát hiện được sự can thiệp của tên gián điệp mà ta sẽ gọi là C.

Nguyên lý phân phối chìa khóa lượng tử có thể được minh họa bởi một giao thức đã được đơn giản hóa sau (C.H. Bennett và G. Brassard, 1984). A và B cùng nhau lấy hai tập các vectơ cơ sở trực chuẩn $\{|0\rangle, |1\rangle\}$ và $\{|+\rangle, |-\rangle\}$ trong không gian các qubit²; bất kỳ một vectơ nào đều trực giao với vectơ thứ hai trong cùng một cơ sở, nhưng không trực giao với các vectơ thuộc cơ sở kia. Họ cũng thỏa thuận gán giá trị 0 với $|0\rangle$ và $|+\rangle$, và giá trị 1 với $|1\rangle$ và $|-\rangle$.

A bắt đầu bằng việc soạn một bức thư $4n$ -qubit, mỗi qubit ở một trong số 4 trạng thái cơ sở được chọn một cách ngẫu nhiên và gửi nó cho B qua một kênh truyền thông lượng tử công cộng. Nếu có gián điệp C chen vào, y sẽ chặn bắt các qubit này, tiến hành đo đạc chúng rồi để cho chúng đi tiếp. Y không hề biết các qubit này được soạn theo cơ sở nào, mà cũng không có cách nào để biết được điều đó do hai định lý mà chúng ta đã nói tới ở trên. Y chỉ có thể phỏng đoán mà thôi. Nếu y đoán đúng được cơ sở mà A đã chọn, mà điều này xảy ra về trung bình là một nửa thời gian, thì sẽ không làm nhiễu động qubit này. Nhưng nếu y đoán sai, thì qubit được gửi đến cho B sẽ bị hư hại.

Khi nhận được bức thư, B sẽ đo từng qubit một trong cơ sở này hay khác một cách ngẫu nhiên. Tiếp theo A và B thông báo cho nhau một cách công khai về cơ sở mà họ đã dùng để soạn hay đo mỗi qubit. Và họ sẽ chỉ giữ lại những qubit mà họ đã dùng cùng một cơ sở cho chúng, số còn lại họ sẽ loại đi. Với một xác suất rất cao là họ sẽ thỏa thuận được hơn $2n$ trường

¹ Điều này giải thích tại sao không thể chế tạo được các máy copy hay máy fax lượng tử.

² Để làm cơ sở thứ hai, ta có thể lấy $|+\rangle = (|0\rangle + |1\rangle)/\sqrt{2}$ và $|-\rangle = (|0\rangle - |1\rangle)/\sqrt{2}$.

hợp (nếu không, họ sẽ vứt bỏ giao thức này), nhưng họ sẽ chỉ giữ lại $2n$ qubit thôi. Sau khi biến chúng thành các số 0 và 1, bây giờ mỗi người sẽ có một bản sao của một xâu ngẫu nhiên gồm $2n$ bit cổ điển.

Để kiểm tra sự can thiệp, nếu có, của C, A và B chọn ngẫu nhiên n bit từ chìa khóa thô chung của họ, rồi thông báo công khai các giá trị mà họ có. Nếu chúng khác nhau nhiều hơn một con số chấp nhận được, họ sẽ vứt bỏ giao thức này. Nếu không, họ áp dụng các phép đo sửa sai cổ điển trên n bit còn chưa bị lộ để “chưng cất” còn $n/2$ bit cùng chia sẻ, và $n/2$ bit này sẽ tạo nên chìa khóa bí mật của họ, mà C có thể chỉ biết một phần rất nhỏ của nó.

Tất nhiên, cũng tồn tại cả những giao thức khác, đặc biệt là giao thức tạo ra chìa khóa từ một quá trình về cơ bản là ngẫu nhiên có liên quan tới sự vướng víu. Trong phương pháp này, A và B chia sẻ một tập các bản sao đồng nhất các cặp qubit EPR vướng víu mà một người trong họ tạo ra và gửi một nửa của mỗi cặp cho đối tác của mình qua một kênh truyền thông công cộng. Tiếp theo họ chọn một tập con của các cặp EPR để kiểm tra (bằng cách dùng các bất đẳng thức Bell) và đảm bảo chắc chắn rằng họ vẫn còn giữ được các trạng thái vướng víu đủ thuần khiết, khi đặt một giới hạn dưới cho độ chính xác các của cặp EPR còn lại. Sau đó họ đo các trạng thái này trong một cơ sở mà họ cùng nhau chọn một cách ngẫu nhiên và nhận được các xâu bit cổ điển có tương quan mà từ đó họ sẽ tạo ra các bit của chìa khóa bí mật như đã mô tả trong giao thức trước.

Việc phân phối chìa khóa lượng tử là khả thi với công nghệ hiện nay thông qua các sợi viễn thông chuẩn và thậm chí đã trở thành một đề xuất có tính thương mại. Các qubit này được mã hóa theo các trạng thái phân cực của ánh sáng laser, đã được làm cho suy giảm để phát ra trung bình ít hơn một photon trên một xung. Mức ánh sáng thấp này là cần thiết để tránh có các xung với các qubit kép, tạo điều kiện cho những kẻ nghe trộm không bị phát hiện. Trong ít năm trở lại đây, ở một vài nơi, người ta đã tiến hành những thí nghiệm trên các khoảng cách lớn và với lưu lượng bit cao. Sự phân phối chìa khóa mã đã bắt đầu đi vào đời sống thực khi nó được kết hợp vào hệ thống bỏ phiếu của tỉnh Geneva trong cuộc tổng tuyển cử ở Thụy Sĩ năm 2007. Hệ thống này đã đảm bảo cho số phiếu bầu là an toàn và không có lá phiếu nào bị thất lạc trong quá trình truyền. Rất gần đây thôi, hai nhóm quốc tế đã phân phối được các photon vướng víu trên khoảng cách 150km và chứng minh được mật mã lượng tử; các mối liên kết đã được xác lập qua không khí bằng cách cho các xung laser một photon nảy từ một

vệ tinh viễn thông quỹ đạo thấp về một trạm thu trên Trái đất.

4. Viễn cảnh lượng tử

Chỉ mới qua ít năm thôi, khoa học thông tin lượng tử đã có được nhiều thành tựu ngoạn mục. Công nghệ đã chứng tỏ được rằng sự truyền thông tin lượng tử từ điểm này đến điểm khác (*point-to-point*) giữa hai bên là hoàn toàn khả thi, nhưng việc đưa hệ thống này trở thành một mạng lưới rộng khắp, có nhiều bên tham gia truyền thông một cách an toàn trên những khoảng cách lớn, sẽ khó khăn hơn nhiều, bởi vì nó liên quan tới nhiều giao thức khác nhau và nhiều cấu trúc mạng khác nhau. Nhưng nhiều chuyên gia vẫn tin rằng những vấn đề khoa học cơ bản đã được giải quyết và những giải pháp cho nhiều chi tiết nhỏ về khoa học và kỹ thuật máy tính còn lại đã ở trong tầm tay.

Sự tiến bộ trong tính toán lượng tử cũng ấn tượng không kém. Các nhà thực nghiệm đã chế tạo được những bộ xử lý lượng tử chức năng nhỏ, bằng cách sử dụng những hệ vật lý khác nhau để mã hóa, lưu trữ và xử lý thông tin. Tuy nhiên, nhiều công trình thực nghiệm và lý thuyết vẫn còn đang tiến hành. Các định luật của cơ học lượng tử làm cho tính toán lượng tử trở nên khả dĩ cũng đã dựng lên những rào cản rất cơ bản: tính ngẫu nhiên của các quá trình đo đã ngăn cản sự hiểu biết đầy đủ các kết quả của những phép tính lượng tử và nhiều lượng tử cũng là một trở ngại không cách nào tránh được, nhưng các nhà khoa học tính toán đã học được cách sống chung với nhiễu này bằng cách sử dụng các mã sửa sai và mã dung sai. Những cách tiếp cận khác nhằm tìm kiếm cách tránh những khó khăn vốn có sẵn này đối với tính toán dựa trên các mạch giờ thay vì thế dựa trên những thuật toán được khơi gợi từ *định lý đoạn nhiệt* của cơ học lượng tử, hay *lý thuyết trường tôpô lượng tử*, hay những tính chất của phép đo. Đặc biệt, các mô hình thuộc loại cuối cùng này khác với các mô hình mạch ở chỗ, thay vì các cổng logic unita, chúng sử dụng chỉ những phép đo phi unita để xử lý thông tin. Khi được thực hiện với các photon, chúng mang lại cho chúng ta một tiềm năng đầy hấp dẫn đối với tính thay đổi được cỡ (*scalability*) bởi vì các qubit không tương tác *trực tiếp* với nhau và điều này sẽ làm giảm thiểu các kênh mất kết hợp. Trong cái gọi là mô hình “một chiều”, các qubit khởi đầu trong một trạng thái “đám” (*cluster*) nhiều hạt với mức độ vướng víu cao. Thông tin khi đó được viết thành đám, được xử lý và đọc kết quả cũng từ đám bởi các phép đo một hạt, mỗi phép đo tương ứng với một bước tính toán. Bởi vì kết cục đo của một hạt riêng rẽ vướng víu bất kỳ là ngẫu nhiên, nên sau mỗi

một bước, các hạt còn lại sẽ được tìm thấy ở trong các trạng thái khác. Để tránh tính ngẫu nhiên đó, những phép đo kế tiếp sẽ được tiến hành theo một trình tự cụ thể được quy định bởi các kết quả trước đó, sao cho các qubit còn lại ở cuối của tất cả các phép đo sẽ cho kết quả tính toán một cách tất định, tức là một cách chắc chắn. Tất cả các mô hình thuộc loại này đều có một tính chất duy nhất là *bất thuận nghịch*. Tuy nhiên, chúng có thể mô phỏng động lực học lượng tử bất kỳ, kể cả động lực học unita, và hơn nữa, chúng tương đương theo kiểu đa thức với mô hình mạch cổ điển về phương diện độ phức tạp tính toán. Những thí nghiệm gần đây liên quan với các trạng thái vướng víu 4 hoặc 6 photon đã chứng tỏ sự hoạt động chức năng của sơ đồ tính toán đầy hứa hẹn này thông qua một tập phổ quát các cổng một và hai qubit và một phép tìm kiếm cơ sở dữ liệu đơn giản.

Chúng tôi đã nhấn mạnh rằng *thông tin là vật lý*, nhưng điều ngược lại cũng đúng, tức *vật lý cũng là thông tin*. Đó là một quan hệ hai chiều. Các nhà vật lý có thể theo gương Kurt Gödel và Alain Turing mà kết hợp ngôn ngữ thông tin vào tư duy của họ và làm hiển thị các trạng thái lượng tử biến đổi qua các cổng logic và tiến triển trong các thuật toán. Chẳng hạn, họ có thể chứng minh định lý không nhân bản qua một cổng lượng tử hoặc xem lời giải của nghịch lý con quỷ của Maxwell như một thuật toán thực hiện quá trình theo trình tự thu thập, xử lý và xoá thông tin.

Những nghiên cứu trong khoa học thông tin cũng mang lại một số lợi ích cho vật lý. Với các trạng thái vướng víu được thực hiện trong nhiều hệ vật lý phức tạp - đặc biệt là các hệ quang học và nguyên tử - chúng ta đã học được rằng thế giới không hề định xứ cũng không phải là thực, bất chấp kinh nghiệm hàng ngày của chúng ta về thực tại cổ điển và trực giác theo lẽ phải thông thường của chúng ta về sự vận hành của thế giới. Trong cách giải thích của trường phái Copenhagen, lý thuyết lượng tử không có nghĩa là phổ quát: có một đường ngăn cách giữa lượng tử và cổ điển. Vậy cái ranh giới này ở đâu? Việc đồng nhất "cái cổ điển" với "cái vĩ mô" là không thỏa đáng: Các phân tử fullerene cacbon-60 và thậm chí các hệ lớn hơn và nặng hơn đã được chứng tỏ là vẫn thể hiện các hiệu ứng giao thoa lượng tử; khả năng làm lạnh các dụng cụ cơ học nano tới những nhiệt độ rất thấp sẽ cho phép ta kiểm tra các hệ chứa tới 10^{20} nguyên tử. Mặt khác, cách giải thích đa vũ trụ (khẳng định rằng *mọi vũ trụ đều có thể được mô tả bởi lý thuyết lượng tử*), về mặt tiên nghiệm mà nói, không có các hệ con cổ điển, đòi hỏi xoá bỏ cái ranh giới nói trên bằng cách đồng nhất vô số những vũ trụ thay thế nhau luôn luôn tiến triển của nó với chồng chất các trạng thái lượng tử.

Nhưng một ranh giới nào đó vẫn tồn tại ở đâu đó cho dù nó được đẩy đến biên giới giữa vũ trụ vật lý và ý thức. Vấn đề phép đo vẫn còn đợi để giải quyết từ các nhà vật lý và các nhà lý thuyết thông tin của thế kỷ XXI.

Một trong những ứng dụng quan trọng nhất của máy tính lượng tử sẽ là mô phỏng một cách vô cùng chính xác hành vi của các hệ lượng tử - các phản ứng hạt nhân hay nguyên tử, hay các cơ chế nằm sau hiện tượng siêu dẫn nhiệt độ cao - một nhiệm vụ mà máy tính cổ điển hoàn toàn bất lực. ở một cấp độ sâu hơn, máy tính lượng tử, về nguyên tắc, có khả năng mô phỏng được toàn bộ vũ trụ vật lý mà nó được nhúng trong đó, khơi gợi trong trí óc chúng ta hình ảnh gây kinh hoàng như các bức tranh của họa sĩ Escher về các hệ được gói trong các hệ, rồi lại được gói trong các hệ.

Tài liệu tham khảo và đọc thêm:

1. M. A. Nielsen and I. L. Chuang, *Quantum Computation and Quantum Information*, (Springer, 2000). Đây là cuốn sách giáo khoa trình bày đầy đủ nhất về chủ đề này tới thời gian đó.
2. Q. Ho-Kim, N. Kumar, and C.S. Lam, *Invitation to Contemporary Physics*, 2nd Edition (World Scientific, 2004). Chương 6 trình bày hơi chi tiết hơn về chủ đề này, nhưng cũng vẫn ở trình độ sơ cấp.
3. <http://www3.sympatico.ca/qghokim/> cung cấp các liên kết tới một số trung tâm nghiên cứu sôi động về chủ đề này.
4. Ph. Kaye, R. Laflamme and M. Mosca, *An Introduction to Quantum Computing* (Oxford U. Press, New York, 2007).
5. N. David Mermin, *Quantum Computer Science, An Introduction* (Cambridge U. Press, New York, 2007).

Ngày 20 tháng 7 năm 2008

PHẠM VĂN THIỀU dịch

PHẠM QUANG HUNG

NĂNG LƯỢNG TỐI

Abstract. The invention of Quantum Theory and the Theory of Relativity at the beginning of the 20th century have led to the most important revolution in physics which is continuing to influence the way we understand the structure of matter at its deepest level and the universe from its infancy to its far-distant future. The startling discovery in 1998 of an expansion of our universe which is accelerating instead slowing down as earlier expected reveals the "presence" of an unknown form of energy, the so-called Dark Energy, which could have a profound impact on our understanding of the physical universe. In this article, we will present the development of crucial ideas from Quantum Theory and the Theory of Relativity to the Standard Model of Elementary Particles which successfully describes the interactions of the building blocks of matter, and finally to the mystery of the Dark Energy and its implications.

I. Mở đầu

Nhìn lên bầu trời đêm, chúng ta không chỉ thấy dải Ngân hà, thiên hà của chúng ta, mà còn thấy một số thiên hà khác nữa. Ngân hà và các thiên hà lân cận tạo thành một cụm thiên hà, và nhóm này được các nhà thiên văn học gọi là "Cụm Thiên hà Địa phương" (Local Group). Qua một kính thiên văn tốt, chúng ta còn có thể thấy thêm nhiều nhóm và cụm thiên hà khác trải rộng trên bầu trời. Các quan sát cho thấy các nhóm và cụm thiên hà càng xa chúng ta thì chuyển động ra xa chúng ta càng nhanh. "Vũ trụ không chỉ bao gồm rất nhiều thiên hà mà vũ trụ còn đang tự dân nở!" - Đó chính là khám phá cực kỳ uyên thâm của Edwin Hubble vào cuối thập kỷ 20 của thế kỷ trước.

Trong một khoảng thời gian dài, mọi người đã cho rằng tốc độ dân nở của vũ trụ sẽ giảm dần do lực hấp dẫn giữa các thiên hà, và nhìn chung, bầu trời đêm sẽ vẫn giống như hiện nay cho tới tận "ngày tận thế". Tuy nhiên, một khám phá quan trọng vào năm 1998 đã xoay chuyển cách nhìn của

chúng ta về vũ trụ và số phận của nó. Khám phá này cho thấy tốc độ tự dân nở của vũ trụ ngày càng tăng - “vũ trụ tăng tốc” - thay vì ngày càng giảm như những dự đoán trước đây. Trong một tương lai xa (vài tỷ năm hoặc nhiều hơn nữa), Ngân hà sẽ trở thành một thiên hà đứng lẻ loi, xung quang là khoảng 30 thiên hà “hàng xóm” cùng thuộc Cụm Địa phương. Tất cả các nhóm và cụm thiên hà khác đang hiện hữu trên bầu trời đêm, về cơ bản, sẽ biến mất khỏi tầm nhìn của chúng ta và sẽ tiến ra xa chúng ta ngày càng nhanh hơn.

Tại sao vũ trụ đang dân nở? Tại sao tốc độ dân nở của vũ trụ đang tăng lên? Để hiểu được sự dân nở của vũ trụ cũng như để cảm nhận được những thách thức phải đối mặt trên con đường tìm kiếm lời giải thích cho sự tăng tốc của vũ trụ, chúng ta cần ngược thời gian trở về những năm đầu thế kỷ 20 khi mà nền móng của cuộc cách mạng trong vật lý bắt đầu được tạo dựng bởi hai nhà khoa học vĩ đại nhất trong lịch sử thế giới hiện đại: Max Planck và Albert Einstein. Hành trình khám phá của chúng ta sẽ đi theo từng hướng phát triển như sau: đi từ giả thuyết gương tử của Planck đến cơ học lượng tử, và đích đến là lý thuyết trường lượng tử - lý thuyết cơ sở để mô tả các quá trình vật lý của các hạt cơ bản; đi từ thuyết Tương đối hẹp đến thuyết Tương đối rộng, và đích là vũ trụ học. Độc giả sẽ thấy sự phát triển theo hai hướng này được hòa quyện vào nhau như thế nào trong việc mô tả quá khứ, hiện tại và số phận cuối cùng của vũ trụ.

II. Từ giả thuyết lượng tử tới lý thuyết trường lượng tử và mô hình chuẩn của các hạt cơ bản

Sự nghiệp của Max Planck và Albert Einstein có quang trùng lên nhau một cách cực kỳ thú vị, và những quang trùng trong sự nghiệp của hai ông đều liên hệ đến hai sự phát triển khoa học cơ bản nhất thời kỳ đó, hai phát minh vẫn vang dội ngay cả trong thế kỷ 21 này. Hai phát minh đó là gì và chúng có liên hệ gì với thuật ngữ đầy huyền bí “Năng lượng tối” (Dark Energy). Trả lời cho hai câu hỏi này sẽ là mục tiêu chính của bài viết. Tuy nhiên, để nắm được những ý tưởng quan trọng liên quan đến hai khám phá này, chúng ta sẽ bắt đầu bằng việc tìm hiểu một chút về khía cạnh lịch sử. (Do tính sơ lược của phần này, việc bỏ qua một số sự kiện quan trọng đã đóng góp cho những phát minh này là điều không thể tránh khỏi).

Một điều không phải bàn cãi rằng thuyết lượng tử chính là một trong hai cuộc cách mạng khoa học lớn nhất của thế kỷ 20. Thuyết lượng tử lần

đầu tiên được Max Planck đề cập đến vào năm 1900. Để giải quyết “tai biến tử ngoại” trong lý thuyết cổ điển về bức xạ của vật đen tuyệt đối, Max Planck đã cho rằng bức xạ gồm những “bó” năng lượng gián đoạn. Giả thuyết này rất phù hợp với phổ bức xạ của vật đen tuyệt đối tại cả vùng sóng dài (vùng nghiệm đúng định luật Rayleigh - Jeans) và vùng sóng ngắn (vùng mà định luật Rayleigh - Jeans không giải thích nổi). Tuy nhiên, ý nghĩa vật lý của giả thuyết này đã không được nhận ra cho tới tận năm 1905, khi Einstein viết một bài báo để giải thích hiệu ứng quang điện (hiệu ứng xảy ra khi ánh sáng chiếu tới một bề mặt làm electron bắn ra khỏi bề mặt đó) - đây chính là một trong bài báo đã cách mạng hóa toàn nền vật lý.

Điều quan trọng là Einstein đã tiến một bước xa hơn Max Planck khi ông cho rằng phép lượng tử hóa năng lượng Planck không đơn thuần là một mô hình giả tưởng toán học mà đó chính là một thực tại vật lý với việc nhìn nhận năng lượng ánh sáng như những lượng tử mang năng lượng gián đoạn hf (h là hằng số Planck và f là tần số của ánh sáng). Mỗi lượng tử ánh sáng này được gọi là photon. Photon là một khái niệm mang tính đột phá cao vì thông thường ánh sáng vẫn được mô tả dưới dạng sóng với đầy đủ các hiện tượng giao thoa và nhiễu xạ ánh sáng quan sát được trong quang học. Với quan niệm mới này, ánh sáng được nhìn nhận như chùm các hạt photon, và hiệu ứng quang điện được giải thích một cách thỏa đáng trên cơ sở cho rằng một photon đã va chạm với một electron trên bề mặt và truyền toàn bộ năng lượng của mình cho electron đó. Khái niệm photon cũng cho phép giải thích hiện tượng năng lượng tia X bị giảm sau khi tán xạ trên các loại bề mặt khác nhau (hiệu ứng Compton).

Cuộc cách mạng về quan niệm tiếp theo được thực hiện bởi Louis de Broglie, người đã đặt ra những câu hỏi: Nếu sóng điện từ có thể nhìn nhận như các hạt (photon), thì liệu các hạt -chẳng hạn như electron- có thể được nhìn nhận như một sóng không? Nếu giả thuyết này được chấp nhận thì mỗi hạt còn có thể được mô tả dưới dạng sóng với bước sóng là bước sóng de Broglie. Nếu electron đôi khi thể hiện tính chất sóng thì việc quan sát được những hiện tượng đặc trưng của sóng electron, chẳng hạn như nhiễu xạ electron, phải là khả thi. Quả thực, lưỡng tính sóng-hạt đã được kiểm nghiệm thành công bằng hai thí nghiệm quan trọng của C. J. Davisson, L. H. Germer và G. P. Thomson.

Ý tưởng về lượng tử năng lượng của Max Planck đã tạo cơ sở cho sự phát triển hàng loạt những quan niệm mới như đã nêu ở trên. Chính sự

phát triển này đã dựng nền tảng cho một trong hai phát minh khoa học cơ bản nhất của thế kỷ 20: Cơ học lượng tử. Những thành công ban đầu của giả thuyết lượng tử trong việc mô tả một số hiện tượng vật lý như hiệu ứng quang điện và hiệu ứng Compton đã mở rộng những cánh cửa cho một cách nhìn hoàn toàn mới về bản chất của vật chất. Trong một thời gian dài, quang phổ nguyên tử chỉ được “giải thích” bằng những công thức đúc kết từ kinh nghiệm (Balmer, Lyman và Paschen). Mãi cho đến năm 1912, những công thức này được xây dựng lại trên cơ sở lý thuyết lượng tử mới đề xuất bởi Niels Bohr. Trong lý thuyết lượng tử mới, nguyên tử hydro được mô tả như một hệ thống bao gồm một electron mang điện tích âm chuyển động xung quanh proton mang điện tích dương. Tuy nhiên, lý thuyết điện động lực học cổ điển đã tiên đoán rằng một hệ thống như vậy là hoàn toàn không bền vì chuyển động có gia tốc của electron xung quanh proton sẽ làm electron mất dần năng lượng và cuối cùng sẽ rơi vào proton. Để tránh được mâu thuẫn này và xây dựng lại được chuỗi Balmer và Paschen, Bohr cho rằng electron chuyển động trên các quỹ đạo tròn bền vững và độ lớn của mô men xung lượng của electron trên các quỹ đạo này không liên tục như trong cơ học cổ điển mà chỉ có những giá trị gián đoạn tỷ lệ với hằng số Planck. Hơn nữa, electron có thể “nhảy” từ quỹ đạo này sang quỹ đạo khác bằng cách hấp thụ hoặc bức xạ một photon có năng lượng hf bằng hiệu số giữa hai mức năng lượng của hai quỹ đạo. Mặc dù hoàn toàn phù hợp cho nguyên tử hydro, mẫu nguyên tử Bohr vẫn tồn tại hai hạn chế lớn: tính khiên cưỡng của việc lượng tử hóa mô men xung lượng và không thể tổng quát hóa mô hình này để áp dụng cho những nguyên tử phức tạp hơn.

Tuy nhiên, nếu cho rằng electron trên quỹ đạo kín có tính chất sóng thì sự lượng tử hóa mô men xung lượng sẽ được giải thích thỏa đáng trong khuôn khổ lưỡng tính sóng hạt của de Broglie. Đây chính là điểm khởi đầu cho một trong những phát triển thành công nhất trong vật lý hiện đại : Cơ học lượng tử (hoặc cơ học sóng). Nếu các lượng tử ánh sáng có thể được xem như sóng điện từ với các tính chất được mô tả bởi phương trình sóng quen thuộc thì liệu electron có thể có “phương trình” sóng riêng của nó không? Erwin Schrödinger đã có câu trả lời vào năm 1925 khi ông đưa ra phương trình Schrödinger - một trong những phương trình nổi tiếng nhất trong vật lý. (Cùng thời gian này, một phương trình tương tự của cơ học lượng tử cũng được trình bày bởi Werner Heisenberg). Phương trình Schrödinger không chỉ dẫn đến sự lượng tử hóa năng lượng như đã gặp

trong thuyết lượng tử trước đây mà còn dự đoán một số hiện tượng thường bị cấm trong lý thuyết cổ điển (chẳng hạn như sự tồn tại của “đường hầm lượng tử” từ trạng thái này tới một trạng thái khác phân cách bằng một hàng rào thế cao). Một điều rất ấn tượng là đã 80 năm qua kể từ khi phương trình Schrödinger xuất hiện lần đầu tiên, nhưng phương trình này hiện vẫn được áp dụng rộng rãi để mô tả nhiều hiện tượng vi mô.

Bên cạnh những thành công nổi bật của mình, phương trình Schrödinger cũng có những hạn chế riêng: phương trình này không thể áp dụng cho những hạt chuyển động với vận tốc gần vận tốc ánh sáng cũng như không thể mô tả hạt có spin. Như chúng ta sẽ thấy dưới đây, để nghiên cứu các hạt chuyển động với vận tốc cao như vậy chúng ta phải áp dụng thuyết tương đối của Albert Einstein. Một câu hỏi có thể đặt ra cho chúng ta lúc này là: lý thuyết tương đối có ảnh hưởng gì đến cơ học lượng tử? Sự thật thì sự kết hợp giữa lý thuyết tương đối và cơ học lượng tử đã cho ra đời một trong những lý thuyết thành công nhất, có thể mô tả vật chất ở mức độ sâu nhất: lý thuyết trường lượng tử.

Nói một cách công bằng, không một ai khác ngoài Paul. A. M. Dirac - một trong những nhà vật lý quan trọng nhất của thế kỷ 20 - đã sáng lập ra lý thuyết trường lượng tử. Bên cạnh những đóng góp to lớn trong lĩnh vực Cơ học lượng tử, những gì Dirac viết ra chính là những viên gạch để dựng thành lý thuyết trường lượng tử. Phương trình Dirac chính là phương trình sóng tương đối tính cho electron, hay nói một cách tổng quát, cho bất cứ hạt nào có spin bằng $\frac{1}{2}$. Ký hiệu spin bằng $\frac{1}{2}$ cho electron đưa ra bởi Pauli vào năm 1924 được suy ra trực tiếp từ phương trình Dirac. Vẻ đẹp của phương trình Dirac là ở chỗ nó thể hiện được các nguyên lý của cả cơ học lượng tử và lý thuyết tương đối hẹp, đồng thời phương trình Dirac đưa đến tiên đoán đầu tiên về sự tồn tại của các phản hạt: electron mang điện âm có phản hạt của mình là positron mang điện dương với khối lượng bằng khối lượng của electron. Positron đã được tìm thấy ngay sau đó (1932) bởi Carl Anderson.

Sự tiên đoán về sự tồn tại của positron cùng với việc tìm thấy positron bằng thực nghiệm đã dẫn tới việc xây dựng lý thuyết trường lượng tử thành một công cụ tương đối tính hoàn hảo để mô tả các hạt sơ cấp và tương tác giữa chúng. Sự phát triển này xuất phát từ thực tế rằng nếu chỉ có riêng phương trình Dirac thì chỉ có thể mô tả được một hạt riêng biệt, giống như trường hợp của phương trình Schrödinger. Hơn nữa, phương trình Dirac còn nghiệm đúng với cả các giá trị năng lượng âm, và thông qua “lý thuyết

lỗ trống” hạt với năng lượng âm được hiểu thành phản hạt với năng lượng dương. Những hiện tượng như sinh cặp hoặc hủy cặp electron - positron là không thể giải thích được nếu phương trình sóng Dirac chỉ đại diện cho một hạt. Việc nâng hàm sóng thành một khái niệm của trường, với trường điện từ là một ví dụ quen thuộc, đã giải quyết được vấn đề này một cách tốt đẹp. Một ví dụ từ điện động lực học cổ điển có thể minh họa cho cách tiếp cận này. Chúng ta biết rằng trường điện từ bên trong một hốc trống có thể được phân tách thành những “mode” chuẩn, và ta có thể xem các “mode” chuẩn này như các dao động điều hòa. Sự lượng tử hóa của dao động điều hòa là kết quả quen thuộc trong cơ học lượng tử. Liệu ta có thể liên hệ hai kết quả này với nhau?

Trong cơ học lượng tử phi tương đối tính với biểu diễn Heisenberg, các quy tắc thông thường của phép nhân không được áp dụng: a nhân b không giống như b nhân a . Trong trường hợp đặc biệt, vị trí nhân với xung lượng (cả hai đều là “toán tử” theo cách gọi của toán học cao cấp) trừ đi phép nhân đảo ngược (còn gọi là giao hoán tử của xung lượng và tọa độ) có kết quả tỷ lệ với hằng số Planck! (Chính mối quan hệ này đã dẫn tới nguyên lý bất định Heisenberg nổi tiếng). Ý tưởng trung tâm trong Lý thuyết Trường Lượng tử là áp đặt mối quan hệ giao hoán giống như trên cho trường (có vai trò như vị trí) và liên hợp phức của nó (có vai trò như xung lượng). Áp dụng cho ví dụ ở trên, điều này dẫn đến việc các dao động điều hòa bị lượng tử hóa. Từ đó ta có thể thấy rằng hạt có thể được sinh ra hoặc bị hủy đi: Trường đã trở thành trường lượng tử! Sự thấu hiểu sâu sắc này là điều cốt yếu trong bước phát triển tiếp theo của lý thuyết hiện đại về vật chất và tương tác của chúng, với khởi đầu là phiên bản lượng tử của điện động lực học cổ điển: Điện động lực học lượng tử (QED). Trong phiên bản đầu tiên của Dirac, QED đã gặp trục trặc nghiêm trọng với một số tính toán khi đưa đến những kết quả vô lý (chẳng hạn như vô hạn). Những trục trặc này đã được giải quyết vào cuối thập kỷ 40 trong công trình đột phá của Richard Feynman, Julian Schwinger và Shin-itiro Tomonaga có tên là *Tái chuẩn hóa*. Nói một cách ngắn gọn, tất cả những vô hạn đã được trao đổi thành một số đại lượng hữu hạn có thể đo được bằng thực nghiệm, chẳng hạn như khối lượng và hằng số liên kết điện từ của electron. Một trường lượng tử có tính chất này được gọi là một trường chuẩn. Những tính toán tiếp theo sẽ được biểu diễn qua những thông số hữu hạn này. Ngay sau sự ra đời của khái niệm *Tái chuẩn hóa*, một vài đại lượng vật lý trong QED đã được tính toán

bằng phương pháp này và cho kết quả rất phù hợp với thực nghiệm.

Những hiểu biết về lý thuyết trường lượng tử, chẳng hạn như QED, đã dẫn đến một thống nhất chung là bất cứ một lý thuyết nào thành công trong việc mô tả các hạt cơ bản và tương tác của chúng đều phải thỏa mãn tiêu chuẩn Tái chuẩn hóa. Vào khoảng giữa thập kỷ 30, Enrico Fermi đã đưa ra một lý thuyết đơn giản để giải thích phân rã phóng xạ beta (β), trong đó ông đã sử dụng những gợi ý của Wolfgang Pauli về sự tồn tại của một loại hạt mới không mang điện: neutrino. Đây chính là sự xuất hiện sớm nhất của một loại tương tác có tên là tương tác yếu. Nói một cách đơn giản, quá trình này mô tả sự phân rã của một neutron thành một proton, một electron và một phản neutrino và sự phân rã này xảy ra ở cùng một điểm trong không-thời gian 4 chiều. Thực ra lý thuyết của Fermi chỉ đúng trong trường hợp đơn giản. Ngay ở phép gần đúng trên phép gần đúng thấp nhất, lý thuyết này đã phải đối mặt với những vô hạn vô lý như đã đề cập đến ở phần trên: lý thuyết Fermi là lý thuyết không chuẩn hóa được.

Một phần trong lý thuyết Fermi làm chúng ta nhớ lại bài học về QED. Tuy nhiên, trong trường lượng tử tồn tại một toán tử có tên là toán tử chẵn lẻ (parity), dưới tác dụng của toán tử này các tọa độ không gian sẽ đổi dấu. Một lý thuyết được gọi là bất biến chẵn lẻ (parity invariant) nếu nó không thay đổi dưới tác dụng của toán tử này. Mặc dù rõ ràng rằng tương tác điện từ bất biến đối với phép nghịch đảo không gian, chúng ta không có lý do gì để cho rằng điều này cũng xảy ra với tương tác yếu. Vào năm 1957, C. N. Yang và T. D. Lee đã đưa ra hàng loạt các phép thử xem tương tác yếu có vi phạm phép nghịch đảo không gian hay không. Ngay sau đó, dưới sự gợi ý của Lee và Yang, Mme C. S. Wu đã khám phá ra rằng tính chẵn lẻ đã bị vi phạm trong tương tác yếu. Tiếp theo, bản chất không thời gian trong tương tác yếu đã được xác định qua những công trình của Richard Feynman, Murray Gell-Mann, Robert Marshak, E. Sudarshan và J. J. Sakurai. Sau đó, lý thuyết tương tác yếu đã trở nên gần như hoàn hảo ngoại trừ việc nó vẫn bị quấy rầy bởi căn bệnh “vô hạn”.

Ngôn ngữ của lý thuyết trường lượng tử đã đưa đến một cách nhìn tượng hình về tương tác giữa các electron với nhau: một electron bức xạ một photon và photon này bị hấp thụ bởi electron kia. Do lực tương tác điện từ giữa hai electron có thể tác động trong một khoảng cách vô hạn (lực tương tác xa) nên photon - hạt mang của lực điện từ - có khối lượng bằng không. Tương tự với điện từ trường, Lee và Yang cho rằng vì tương tác yếu là lực

tương tác gần nên tương tác yếu có trung gian là các hạt nặng và tương tự như photon, những hạt này được gọi là bozon vectơ trung gian W . Giả thuyết này đã làm giảm bớt phần nào vấn đề "vô hạn" của lý thuyết Fermi, nhưng như thế vẫn chưa đủ thỏa đáng. Chúng ta cần một ý tưởng mới.

Ý tưởng mới đó chính là khái niệm về lý thuyết trường gauge được đưa ra vào năm 1918 bởi Herman Weyl. Herman Weyl đã cho rằng việc các trường điện từ liên kết với điện tử chẳng hạn được sinh ra một cách tự phát từ điều kiện rằng ta có thể gán pha cho hàm sóng của điện tử một cách độc lập tại mỗi điểm trong không-thời gian. Đây là một ví dụ đầu tiên của lý thuyết gauge mà trong đó trường gauge là photon. Khái niệm trường gauge sau đó được tổng quát hóa bởi C. N. Yang và R. Mills vào năm 1954 thành một đối xứng chi phối các tương tác mạnh giữa proton và neutron. Một cách tổng quát, sự bất biến của lý thuyết dưới tác dụng của đối xứng ngẫu nhiên một cách độc lập ở mỗi điểm không-thời gian đòi hỏi sự tồn tại một tập hợp các "trường gauge" được gọi là các trường Yang-Mills, tương tự như trường hợp của photon trong trường điện từ. Trong thực tế, J. J. Sakurai đã áp dụng quan điểm này để "tiên đoán" sự tồn tại của các meson.

Vào năm 1962, Sheldon Glashow đã xây dựng một mô hình quan trọng lần đầu tiên thống nhất được trường điện từ với các tương tác yếu dựa trên lý thuyết trường gauge. Mô hình này đã tiên đoán một điều rất mới mẻ tại thời điểm đó: một tương tác yếu không làm thay đổi điện tích của hạt tương tác sẽ không giống như quá trình vật lý trong phân rã hạt beta. Tương tác "dòng trung hòa" này được trung gian bởi một hạt có khối lượng tương tự như W nhưng không có điện tích, đó chính là boson Z . Cho tới tận năm 1973, dòng trung hòa này mới được phát hiện ra bằng thực nghiệm.

Một lý thuyết gauge của tương tác điện từ và tương tác yếu áp dụng cho cả các hạt có khối lượng W và Z (và tất nhiên photon không có khối lượng) được xem như không phù hợp. Sự xuất hiện của khối lượng phá vỡ tính bất biến gauge của lý thuyết. Hơn nữa, một lý thuyết như vậy sẽ không thể tái chuẩn hóa và do đó không thể đưa vào tính toán. Ý tưởng sau đây có lẽ một trong những phát minh lý thuyết lớn lao nhất trong vật lý hạt cơ bản: ý tưởng về sự phá vỡ tự phát đối xứng (SSB), phát minh đã đưa về cho Yoichiro Nambu giải thưởng Nobel Vật lý 2008. Về cơ bản, ý tưởng này đi đôi với việc cho rằng mặc dù lý thuyết đầy đủ chứa một đối xứng nào đó, nó có thể bị "che lấp" bởi trạng thái cơ bản - trạng thái có năng lượng thấp nhất. Khi điều này được mở rộng ra cho lý thuyết gauge, cơ chế phá vỡ tự

phát đối xứng này làm xuất hiện các boson trường gauge có khối lượng theo như cách diễn giải trong các nghiên cứu của Robert Brout, Francois Englert, Peter Higgs, Gerald Guralnik, C. R. Hagen và Tom Kibble. Điều này ngày nay được biết đến như *cơ chế Higgs*. Ý tưởng mới mẻ này đã đưa đến những hệ quả sâu sắc và khó giải quyết trong vũ trụ học như chúng ta sẽ thấy.

Steven Weinberg và Abdus Salam sử dụng ý tưởng về phá vỡ tự phát đối xứng của lý thuyết trường gauge cho các tương tác yếu và đã đưa ra một kết quả đáng kinh ngạc rằng lý thuyết trường gauge có thể áp dụng cho các hạt có khối lượng W and Z trong khi vẫn bảo toàn được tính chất bất biến cần thiết. Hiện nay, mô hình của Glashow, Weinberg và Salam được biết tới như Mô hình chuẩn. Mô hình này mô tả các tương tác của các khối cơ bản cấu tạo nên vật chất, các hạt quark và các lepton, với các boson yếu và photon. Dòng trung hòa được tìm thấy là có cấu trúc như được tiên đoán bởi Mô hình chuẩn. Các boson W và Z cũng được phát hiện bằng thực nghiệm tại các năng lượng tiên đoán. Một miếng ghép cực kỳ quan trọng vẫn bị thiếu khuyết trong bức tranh Mô hình chuẩn chính là hạt boson Higgs, nguyên do của phá vỡ tự phát đối xứng. Người ta đang rất kỳ vọng rằng hệ thống va chạm hadron lớn ở Geneva (Thụy Sĩ) sẽ nhanh chóng phát hiện ra các boson Higgs khi hệ thống này được đưa vào hoạt động.

Điều quan trọng đáng lưu ý nhất rút ra từ những bàn luận trên đây chính là khái niệm về phá vỡ tự phát đối xứng, được cho là tối quan trọng cho sự thành công của Mô hình chuẩn của các tương tác yếu và điện từ. SSB còn xuất hiện trong lý thuyết của các tương tác mạnh mô tả sự kết hợp của các quark (nhưng không phải các lepton) để tạo thành các neutron và proton (và những hạt khác gọi là "hadron"). Người ta tin rằng các tương tác mạnh của quark có thể được mô tả bởi một lý thuyết trường gauge gọi là sắc động học lượng tử (QCD), hay còn gọi là lý thuyết màu lượng tử của quark. Hiện trạng của lý thuyết QCD như chúng ta biết đến ngày nay được viết bởi David Gross, Frank Wilczek, và David Politzer, những người đã được trao giải Nobel Vật lý năm 2004. Do sự hạn chế về độ dài của bài viết, chúng ta sẽ không đi vào những chi tiết của lịch sử phát triển của các tương tác mạnh. Thay vào đó, chúng ta sẽ tập trung lên các tính chất động học thú vị xuất hiện trong lý thuyết QCD, đặc biệt là những tính chất thích hợp với vấn đề năng lượng tối. Bên cạnh đối xứng gauge, QCD còn có một đối xứng tổng quát khác được gọi là đối xứng "chiral", nó bị phá vỡ một cách tự phát bởi sự ngưng tụ của các quark. Sự ngưng tụ này đóng vai trò tương tự như việc

"ngưng tụ Higgs" phá vỡ tự phát đối xứng gauge của mô hình chuẩn. Mức năng lượng liên quan đến việc phá vỡ đối xứng mô hình chuẩn khoảng một ngàn lần lớn hơn năng lượng phá vỡ đối xứng chiral trong QCD. Các ngưng tụ này đóng góp vào mật độ năng lượng của chân không (trong thế giới lượng tử, chân không không hề trống rỗng như chúng ta từng biết). Theo đúng nghĩa của nó, Mô hình chuẩn của các tương tác yếu và điện từ và QCD cấu thành nên một lý thuyết thành công nhất (cho đến nay) trong việc mô tả các nền tảng cơ bản tạo nên vật chất và các tương tác giữa chúng. Do đó, thuật ngữ Mô hình chuẩn cũng đồng nghĩa với việc mô tả tất cả các tương tác đó.

Tóm lại, ý tưởng mang tính cách mạng về các năng lượng lượng tử của Max Planck đã dẫn đến một số đột phá trong vật lý của thế kỷ 20, đạt tới đỉnh cao trong một mô hình mô tả một cách hữu hiệu các hiện tượng vật lý quan sát được ở mức độ vi mô, đó là Mô hình chuẩn. Nhìn chung, mặc dù Mô hình chuẩn được coi là cực kỳ thành công, nó vẫn chưa thực sự hoàn thiện do còn khá nhiều bí ẩn chưa được khám phá. Có lẽ cần có một cuộc cách mạng khoa học mới tương đương với sự ra đời của lý thuyết lượng tử để tạo ra sự phát triển xa hơn? Trong lúc đó, một khía cạnh vô cùng quan trọng của Mô hình chuẩn chính là ý tưởng về sự phá vỡ tự phát đối xứng trong mô hình tương tác yếu và điện từ và trong QCD. Như chúng ta đã thảo luận ở trên, cơ chế này làm xuất hiện các mật độ năng lượng chân không. Trong lý thuyết trường lượng tử trong *không gian phẳng*, năng lượng chân không này không liên quan tới các tính toán số cho các đại lượng vật lý có thể quan sát được. Tuy nhiên, khi chúng ta xem xét vũ trụ một cách tổng thể, trường hấp dẫn được thấy là rất nhạy với năng lượng chân không và điều này dẫn đến một trong những điều bí ẩn nhất trong vũ trụ học: tại sao năng lượng chân không lại quá bé mặc dù đúng ra nó phải là rất lớn theo như quy tắc của Mô hình chuẩn? Điều bí ẩn này cũng như một số vấn đề khác đều có liên hệ một cách nội tại với sự bí ẩn của hiện tượng giãn nở ngày càng nhanh của vũ trụ.

Mô hình chuẩn, dù rất thành công, vẫn được cho là chưa hoàn toàn đầy đủ bởi vì vẫn còn tồn tại nhiều bí ẩn cần phải được giải thích. Có lẽ cần phải có một cuộc cách mạng khoa học mới, tương tự như lý thuyết lượng tử, để tiến xa hơn. Trong khi đó, một khía cạnh rất quan trọng mang ý nghĩa sống còn của Mô hình chuẩn là ý tưởng phá vỡ tự phát đối xứng trong Điện từ - Yếu (Electro-Weak) và Sắc Động lực học Lượng tử (QCD). Như đã nói trước

đây, cơ chế này gây nên các mật độ năng lượng chân không. Trong lý thuyết trường lượng tử trong không gian phẳng, năng lượng chân không này không có liên quan gì đến việc tính toán các đại lượng vật lý có thể quan sát được. Tuy vậy, khi xét đến cả toàn bộ vũ trụ, người ta thấy rằng lực hấp dẫn rất nhạy cảm với năng lượng chân không. Điều này dẫn đến một trong những bí ẩn nhất của vũ trụ học: tại sao năng lượng chân không này lại rất bé thay vì phải thật lớn như Mô hình chuẩn đã tiên đoán? Vấn đề năng lượng chân không cũng như một số vấn đề khác có liên hệ nội tại đến điều bí ẩn là tại sao vũ trụ hiện tại đang tăng tốc.

III. Từ Lý thuyết Tương đối đến Vũ trụ Tăng tốc

Để hiểu được vũ trụ từ buổi ban đầu, cái gọi là Vụ Nổ Lớn, cho đến điểm tận cùng của nó, cần phải có một quan niệm mới về không gian và thời gian. Đây là nơi Einstein đã có những cống hiến vô cùng quan trọng và sâu sắc không những cho vật lý của thế kỷ thứ 20 mà còn cho toàn bộ nền vật lý nói chung. Điều đó bắt đầu khi Einstein công bố bài báo về Lý thuyết Tương đối Hẹp vào năm 1905. Thật đáng kinh ngạc rằng, chỉ với *hai tiên đề*: 1) Các định luật vật lý đều giống nhau trong tất cả các hệ quy chiếu quán tính (hệ quy chiếu chuyển động với vận tốc không đổi); 2) Vận tốc của ánh sáng trong chân không là không đổi trong mọi hệ quy chiếu quán tính, toàn thể khái niệm của Newton về không gian và thời gian đều bị đảo lộn. Đặc biệt là, thời gian không còn là tuyệt đối như Cơ học Newton đã quan niệm! Lý thuyết Tương đối Hẹp đã mang đến các khái niệm “khác thường” chẳng hạn như sự giãn nở của thời gian và sự thu nhỏ của kích thước. Điều này có thể được hiểu như là kết quả của phép biến đổi giữa các hệ tọa độ, phép biến đổi Lorentz, thế nào để không gian và thời gian hòa lẫn với nhau. Mặc dù trông có vẻ kỳ dị, các khái niệm này được kiểm chứng thành công về mặt thực nghiệm. Việc mô tả Lý thuyết Tương đối Hẹp một cách chi tiết sẽ vượt ra khỏi phạm vi của bài báo này. Tuy vậy, sẽ đầy đủ khi nói rằng một trong những tiêu chuẩn quan trọng khi xây dựng mô hình trong vật lý hạt cơ bản là tính bất biến Lorentz. Mô hình chuẩn được đưa ra dưới dạng bất biến Lorentz một cách tường minh.

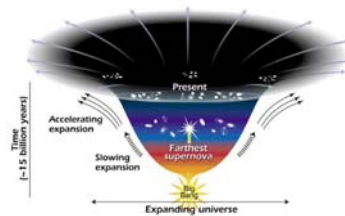
Khi xây dựng các lý thuyết vật lý tương tự như Mô hình chuẩn, lực hấp dẫn thường bị bỏ qua một phần bởi vì nó rất nhỏ so với các tương tác khác đã biết và cũng vì nó không có liên quan gì mấy đến các tính toán thiết thực của nhiều quá trình khác nhau. Vậy thì lực hấp dẫn từ đâu đến? Với định luật vạn vật hấp dẫn nổi tiếng của Newton, từ lâu chúng ta đã biết rằng

nguồn gốc của sự hút hấp dẫn là khối lượng của vật thể. Điều này đã được kiểm chứng trong nhiều quá trình vật lý. Tuy vậy, định luật của Newton không chứa đựng lý thuyết tương đối và chỉ có thể được xem như là giới hạn phi tương đối tính của một lý thuyết nào đó sâu sắc hơn.

Một khía cạnh quan trọng của Lý thuyết Tương đối Hẹp là khái niệm về sự không đối trong mọi hệ quy chiếu của yếu tố đường tách biệt hai sự kiện trong không-thời gian. Ở đây, đại lượng đóng vai trò chủ yếu là một đối tượng hình học gọi là “metric tensor”. Trong không gian phẳng (hay không gian Minkowski), dạng của metric tensor này rất đơn giản. Nếu chúng ta tổng quát hóa khái niệm này cho không gian cong, dạng của metric tensor có thể trở nên rất phức tạp. Dạng của metric tensor, về cơ bản, đặc trưng hóa loại không gian cong mà chúng ta gặp phải. Sự đóng góp sâu sắc của Einstein là ở chỗ ông phát hiện ra sự hấp dẫn là biểu hiện độ cong của không-thời gian. Hơn thế nữa, nguồn gốc của độ cong của không-thời gian chính là vật chất. Minh họa hình ảnh của phát biểu này là tưởng tượng kéo căng một tấm cao su và đặt một trái banh vào giữa tấm cao su, nơi có trái banh sẽ bị lõm xuống trong khi ở nơi xa trái banh, tấm cao su vẫn phẳng. Một vật thể nào đó được thả về phía trái banh sẽ bị rơi vào chỗ lõm. Điều này minh họa lực hút hấp dẫn gây nên bởi độ cong của không-thời gian. Phương trình Einstein thể hiện một khía cạnh rất hình học. Phía bên trái của phương trình là một “tensor” (mang tên Einstein) được tạo nên bởi “metric tensor” và dùng để mô tả độ cong của không-thời gian. Phía bên phải của phương trình là một tensor (“tensor năng-xung lượng”) mô tả sự đóng góp của vật chất và để biểu hiện nguồn gốc của độ cong của không-thời gian. Phương trình này được xem như là Lý thuyết Tương đối Tổng quát. Một điểm quan trọng là phương trình Einstein có giới hạn Newton một cách chính xác. Nó còn đi xa hơn định luật vạn vật hấp dẫn của Newton khi tiên đoán một số hiện tượng kinh ngạc chẳng hạn như sự uốn cong của ánh sáng khi đến gần thiên thể có khối lượng rất lớn, sự tiến động của điểm cận nhật của sao Thủy, v. v.. Sự thành công của Lý thuyết Tương đối Tổng quát trong việc mô tả các hiện tượng mới trong vật lý thiên văn đảm bảo nó là ứng cử viên lỗi lạc nhất, nếu không phải là duy nhất, cho lý thuyết hấp dẫn từ khoảng cách rất lớn cho đến khoảng cách chỉ cỡ một phần của một milimet.

Do sự hấp dẫn chi phối vũ trụ ở quy mô lớn và ảnh hưởng không chỉ giới hạn trong chuyển động của hành tinh, việc ứng dụng phương trình

Einstein để nghiên cứu cả toàn bộ vũ trụ là một bước đi hợp lý. Tuy vậy, khoa học không đơn thuần chỉ là ý tưởng mà còn phải phù hợp với quan sát thực nghiệm. Khi Lý thuyết Tương đối Tổng quát được phát minh, định kiến về vũ trụ vào thời điểm đó cho rằng vũ trụ chỉ là dải Ngân Hà và không dịch chuyển. Quan niệm như thế phần lớn cũng bởi vì thời ấy không có kính thiên văn hiện đại. Sự thiết lập đầu tiên của phương trình Einstein không chấp nhận lời giải tĩnh. Điều này buộc Einstein phải thêm vào về bên trái của phương trình một hằng số, hằng số vũ trụ học nổi tiếng, để phương trình có nghiệm tĩnh, dùng để mô tả vũ trụ vào thời bấy giờ. Đến năm 1929, khi Hubble và Humason khám phá rằng các thiên hà rời xa nhau càng nhanh khi chúng càng xa nhau, cái gọi là định luật Hubble (kết quả quan sát này phù hợp với sự giãn nở của vũ trụ), Einstein đã loại bỏ hằng số vũ trụ học và gọi nó là sai lầm lớn nhất trong cuộc đời của ông. Thật đáng kinh ngạc khi biết rằng cái “sai lầm” này sẽ lại xuất hiện sau gần 70 năm trong một vấn đề hóc búa nhất.



(Courtesy of NSAS-A. Riess)

Trong gần 70 năm, một mô hình chuẩn của vũ trụ học dựa trên phương trình Einstein không chứa hằng số vũ trụ, là mô hình trong đó vũ trụ ở quy mô lớn là đồng nhất và đẳng hướng. Đồng nhất có nghĩa là vũ trụ giống nhau ở mọi nơi, không có người quan sát nào là ưu tiên. Đẳng hướng có nghĩa là vũ trụ giống nhau ở mọi hướng, tức không có hướng nào là ưu tiên. Tính chất này gọi là “Nguyên lý Vũ trụ học”. Mô hình Vũ trụ học Chuẩn thỏa mãn tính chất đó được phát triển bởi một số nhà vũ trụ học: Le Maitre, Friedman, Robertson, Walker, và nhiều người khác, thường được gọi là vũ trụ Friedman-Robertson-Walker (FRW). Mô hình vũ trụ này đã và đang rất thành công trong việc truy lai lịch sử của vũ trụ từ lúc bắt đầu cho đến ngày hôm nay. Lời giải của phương trình Einstein trong mô hình vũ trụ FRW là thể nào đó để thang độ giữa hai điểm tọa độ tăng theo thời gian (Hãy tưởng

tượng khoảng cách giữa hai điểm trên một cái bong bóng. Hai điểm này sẽ cách xa nhau hơn khi cái bong bóng được thổi lớn lên). Điều này cũng có nghĩa là vũ trụ bắt đầu từ một điểm và vì lý do nào đó vũ trụ nở lên đến kích thước chúng ta quan sát ngày nay: đây là cái gọi là lý thuyết Vụ Nổ Lớn.

Trong bức tranh nói trên, vũ trụ ở buổi sơ khai được tẩm trong một “nồi cháo” các hạt cơ bản. Năng lượng của các hạt này, về thứ tự độ lớn, là từ mười bảy bậc hay hơn thế nữa cao hơn mức năng lượng của máy gia tốc hiện nay. Bởi vậy, vũ trụ buổi sơ khai được xem như là một phòng thí nghiệm lý tưởng để kiểm nghiệm các mô hình vật lý của các hạt cơ bản ở năng lượng cao chưa từng thấy ở trên quả đất. Sự ảnh hưởng lẫn nhau giữa thế giới lượng tử của các hạt cơ bản và vũ trụ học là một trong những khía cạnh tuyệt vời của khoa học hiện đại. Quá khứ và tương lai vũ trụ của chúng ta có thể hoàn toàn phụ thuộc vào lý thuyết sau cùng của vật lý hạt cơ bản. Việc thảo luận quá sâu vào các thành tựu của Mô hình chuẩn và xa hơn nhằm giúp hiểu biết nhiều phương diện của vũ trụ học sẽ đi quá phạm vi của bài này.

Vũ trụ “nguội đi” khi dân nở. Trong vật lý, các hệ thống có thể trải qua một sự chuyển dời từ một trạng thái này sang một trạng thái khác, sự dịch chuyển pha, khi nhiệt độ của hệ thống đạt đến một giá trị tới hạn nào đó để cho điều đó xảy ra. Ở vũ trụ buổi sơ khai, có ít nhất hai sự chuyển pha xảy ra khi vũ trụ đang nguội dần đi: một chuyển pha ở nhiệt độ vào khoảng 10^{11} eV (hay 100 GeV) - mức thang phá vỡ đối xứng điện từ-yếu và một chuyển pha khác ở nhiệt độ vào khoảng 10^8 eV (hay 100 MeV) - mức thang phá vỡ đối xứng QCD chiral (cũng có thể xảy ra các chuyển pha khác ở nhiệt độ cao hơn gần với nhiệt độ của Vụ Nổ Lớn). Kết quả của điều này là các mức năng lượng chân không với các giá trị chẳng hạn như 10^{44} (eV)⁴, 10^{32} (eV)⁴, ... (đơn vị dùng bởi các nhà vật lý hạt cơ bản). Cần phải chú ý là sự thăng giáng lượng tử trong lý thuyết trường lượng tử tự nó cảm ứng một năng lượng chân không vào khoảng 10^{112} (eV)⁴ nếu chúng ta sử dụng năng lượng Planck (10^{28} eV) như là mức giới hạn của lý thuyết trường lượng tử. Đối với lý thuyết trường lượng tử trong không gian phẳng, ta chỉ cần bỏ đi các mức năng lượng chân không này vì chúng không liên quan gì đến động học của hạt cơ bản. Tuy vậy, khi xét đến toàn bộ vũ trụ với không gian cong, do hấp dẫn liên kết với loại năng lượng nào đó, ta không thể bỏ qua các năng lượng chân không này được nữa. Sự ràng buộc của vũ trụ lên

các năng lượng chân không này có thể là gì? Điều đặc biệt là đáng diệu lờ giải của phương trình Einstein phụ thuộc vào sự so sánh giữa mật độ năng lượng của vật chất và mật độ năng lượng của năng lượng chân không.

Chúng ta hãy nhảy đến năm 1998, năm có một khám phá rất quan trọng trong thiên văn học: vũ trụ đang tăng tốc! Khám phá này được thực hiện bởi hai nhóm, Đề án Vũ trụ học Vụ Nổ Sao và Sự tìm kiếm Vụ Nổ Sao với Z lớn. Hai nhóm này đã nghiên cứu vũ trụ dân nở như thế nào qua việc tìm kiếm Vụ Nổ Sao Loại I được xem như là những cây “nến chuẩn” để xác định các khoảng cách vũ trụ bởi vì “độ sáng” của chúng đã được biết. Người ta phát hiện ra rằng các vụ nổ sao này lại mờ hơn độ sáng thông thường chúng phải có. Điều này chứng tỏ rằng vũ trụ đang tăng tốc. Nếu vũ trụ bị giảm tốc, các vụ nổ sao này sẽ sáng hơn độ sáng phải có thông thường của chúng. Khi các số liệu được sử dụng để mô tả vũ trụ tăng tốc này, người ta tìm thấy rằng mô hình tốt nhất là mô hình trong đó vào khoảng 73% mật độ năng lượng của vũ trụ thuộc về một dạng chưa biết đến gọi là “Năng lượng Tối”. Chừng khoảng 23% năng lượng thuộc về một loại vật chất chưa biết đến gọi là “Vật chất Tối”. Trong khi đó, loại ‘vật chất thông thường’ (loại vật chất tạo nên chúng ta) chỉ đóng góp cỡ 4%. Sự thống trị của dạng năng lượng tối là nguyên nhân tạo nên sự tăng tốc của vũ trụ ngày nay như có thể thấy từ phương trình Einstein.

Trong khoa học, đôi khi chỉ một mẫu bằng chứng sẽ không đủ sức thuyết phục chúng ta rằng hiện tượng mà chúng ta quan sát là có thực hay không. Trong số các kiểm tra chéo khoa học đáng kể nhất, sự nghiên cứu hoàn toàn độc lập về bức xạ nền vũ trụ (bức xạ còn lại kể từ Vụ Nổ Lớn) về cơ bản xác nhận sự khám phá liên quan đến số năng lượng tối của các nhóm nghiên cứu về vụ nổ sao. Sự việc diễn tiến như sau. Trong vũ trụ học, người ta thường so sánh mật độ năng lượng của mỗi thành phần tạo nên toàn bộ vũ trụ với cái gọi là mật độ năng lượng tới hạn dẫn xuất từ giá trị đo được của hằng số Hubble. Từ vật chất phát sáng, các nhà vũ trụ học đã suy ra rằng tỷ số của mật độ năng lượng của nó với mật độ năng lượng tới hạn vào khoảng 4%. Hơn nữa, sự quan sát chuyển động của sao trong một dải ngân hà và sự chuyển động của các ngân hà trong một chùm các ngân hà cho thấy rằng có một dạng chưa biết đến của vật chất - Vật chất Tối - chỉ tương tác qua lực hấp dẫn với các vật chất thông thường. Tỷ số mật độ năng lượng của vật chất tối với mật độ tới hạn vào khoảng 23%. Các tiến bộ kỹ thuật với công cụ tinh tế gắn trên một vệ tinh đã và đang cho phép các nhà thiên văn

học thăm dò các chi tiết của bức xạ nền vũ trụ. Kết quả gần đây của đề án WMAP đã xác nhận rằng tỷ số mật độ năng lượng toàn phần của vũ trụ với mật độ tới hạn bằng một, tức là 100% với độ chính xác cao. Kết quả đáng kinh ngạc này có hai hệ quả quan trọng. Thứ nhất, trong cấu trúc của vũ trụ FRW ở các quy mô lớn, vũ trụ có dạng phẳng (Nếu tỷ số nói trên nhỏ hơn một, hình học của vũ trụ sẽ là hình cầu; còn nếu tỷ số lớn hơn một, hình học của vũ trụ sẽ là hyperbole). Thứ hai, vũ trụ được lấp đầy bởi dạng năng lượng chưa biết nào đó, Năng lượng Tối, chiếm tới 73% năng lượng của vũ trụ. Đây cũng là loại năng lượng tối đang làm vũ trụ hiện tại tăng tốc. Hơn thế nữa, điều này có nghĩa là vũ trụ hiện nay đang bị thống trị bởi năng lượng tối. Người ta biết rằng mật độ vật chất (cả sáng lẫn tối) sẽ giảm đi khi vũ trụ giãn nở. Nếu mật độ năng lượng tối vẫn không đổi trong tương lai, vũ trụ sẽ giãn nở càng lúc càng nhanh hơn và vũ trụ của chúng ta sẽ giống như cái vũ trụ được mô tả ở phần đầu của bài này. Cả hai loại đo đạc này hiện tại phù hợp với mô hình của vũ trụ có hằng số vũ trụ học được Einstein phát minh và sau đó bỏ đi. Dưới đây, người viết sẽ bình luận về ý nghĩa của khả năng này.

IV. Kết luận

Sự khám phá kinh ngạc về vũ trụ tăng tốc có ý nghĩa vô cùng sâu sắc đối với sự phát triển của một lý thuyết vật lý nền tảng và hoàn thiện hơn trong thế kỷ thứ 21. Khi chúng ta đề cập đến 73% giá trị của năng lượng tối nói ở trên, điều đó hàm ý rằng mật độ năng lượng tối có giá trị vào khoảng 10^{-12} (eV)⁴. Chúng ta có thể đặt câu hỏi có tính căn bản nhất: Điều gì đã xảy ra đến cho các loại năng lượng chân không khác xuất phát từ lý thuyết trường lượng tử. Và từ Mô hình chuẩn và xa hơn? Như chúng ta đã thấy ở trên, các loại năng lượng chân không này là khoảng 10^{112} (eV)⁴ (thăng giáng lượng tử), 10^{44} (eV)⁴ (phá vỡ đối xứng điện từ-yếu), và 10^{32} (eV)⁴ (có thể nhiều hơn). Các năng lượng chân không này có thể được cảm thấy bởi lực hấp dẫn trong quá trình giãn nở của vũ trụ. Các giá trị này nếu tồn tại sẽ ảnh hưởng ngược đến sự tiến triển của vũ trụ xuất phát từ Vụ Nổ Lớn và, nếu quả như vậy thì chúng ta sẽ không có mặt tại đây để thảo luận về nó. Bởi vậy, trong một thời gian dài, người ta đã tin rằng một cơ chế chưa được biết đến nào đó sẽ làm chúng đồng thời biến mất. Vấn đề này đã được gọi là bài toán “hằng số vũ trụ học”. Với sự khám phá của vũ trụ tăng tốc, vấn đề này càng trở nên trầm trọng không chỉ bởi vì hằng số vũ trụ học không bị mất đi mà còn vì giá trị của nó rất nhỏ và không biến mất như ám chỉ bởi “quan sát

thực nghiệm"! Vì lý do này, hiện nay người ta nhắc đến nó như là bài toán hằng số vũ trụ học mới, đối nghịch với cũ như đã nói trước đây.

Vấn đề nêu trên tạo nên sự thách thức khắc nghiệt cho việc tìm kiếm một lý thuyết nền tảng của thế giới vật lý. Cái gọi là trung tâm đối với một lý thuyết nền tảng của thế giới vi mô chính là sự hiểu biết về chân không, một tính chất của lý thuyết lượng tử. Chỉ cho đến khi chúng ta biết chân không thực sự là gì, bức tranh của chúng ta về thế giới vật lý vẫn còn chưa hoàn thiện, mặc dù sự thật là chúng ta đã có một lý thuyết thành công nhất cho đến nay, Mô hình chuẩn. Vẫn có người cố cho rằng vũ trụ tăng tốc không phải là do một dạng chưa biết đến của năng lượng tối mà có lẽ là do sự biến đổi của hấp dẫn ở những quy mô vô cùng lớn. Dù lập luận này không thể bị loại bỏ vào thời điểm hiện nay, tồn tại các điều kiện ràng buộc hết sức chặt chẽ cần phải được thỏa mãn để có thể bỏ đi Lý thuyết Tương đối Tổng quát đã và đang giải thích thành công nhiều hiện tượng trong một miền khoảng cách vô cùng rộng lớn. Hoặc phải chăng vũ trụ tăng tốc được gây nên bởi một năng lượng tối không phải là hằng số vũ trụ căn bản mà chỉ hơi giống nó? Và phải chăng giá trị năng lượng chân không 10^{-12} (eV)⁴ là biểu hiện của một thang năng lượng mới, thực trong vật lý giống như thang phá vỡ đối xứng điện từ-yếu hoặc là thang QCD? Có thể lý do khiến vũ trụ hiện nay bị thống trị bởi một hằng số vũ trụ học là bởi vì chúng ta bị kẹt trong một chân không *sai* mà mật độ năng lượng của nó được xác định như ở trên và trong tương lai mật độ năng lượng của vũ trụ sẽ hoàn toàn bị ngự trị bởi cái năng lượng chân không *sai* này. Chúng tôi đã đề xuất một mô hình thuộc loại này trong đó một khu vực hạt (hoàn toàn khác với khu vực hạt của Mô hình chuẩn) có tương tác phát triển mạnh ở thang năng lượng xấp xỉ 10^{-3} eV và tạo nên mật độ năng lượng đã nói. Như một mô hình vật lý hạt cơ bản, cái "khu vực bóng tối" này về nguyên tắc hoàn toàn có thể được kiểm tra về mặt thực nghiệm ở máy gia tốc LHC. Trong mô hình do chúng tôi đề xuất, vũ trụ của chúng ta bị kẹt trong một chân không *sai* trong một thời gian rất dài cho đến khi nó chuyển dời đến một chân không thật. Tuy vậy, cần phải chờ đợi xem mô hình này cũng như nhiều đề xuất khác về năng lượng tối có thể tồn tại với thử thách của thời gian. Dù kết quả thế nào đi nữa, chúng ta đừng quên biết ơn sự liên hệ sâu sắc giữa thế giới vi mô lượng tử và vũ trụ ở quy mô vô cùng lớn.

ĐÀO VỌNG ĐỨC*

ĐỐI NGẪU LƯỢNG TỬ
- NGUYÊN LÝ KHỞI ĐẦU CỦA ĐẠI THỐNG NHẤT
Duality in Quantum Physics.
A Primary Principle of Grand Unification

Tìm hiểu cấu trúc của thế giới vi mô - thế giới các hạt nhân nguyên tử, các hạt cơ bản... cùng với những quy luật tác động trong đó để tạo nên thế giới quanh ta ra sao là những vấn đề cốt lõi của Vật lý học hiện đại.

Nếu như đầu thế kỷ 20, Vật lý học đã hân hoan chào đón những sự kiện trọng đại qua sự khám phá ra điện tử, proton và neutron trong lòng các nguyên tử cùng với hàng loạt các hiện tượng kỳ thú khác, và tiếp đó là sự ra đời của Thuyết tương đối, Thuyết lượng tử, thì trong những thập kỷ gần đây vật lý học đã thực hiện tiếp những bước nhảy vọt đầy ngoạn mục trên con đường tiến sâu vào thế giới vi mô, kích thước 10^{-12} cm và bé hơn, vào trong lòng các proton, neutron và các hạt cơ bản khác.

Chúng ta đang chứng kiến thời đại phát triển rực rỡ của khoa học và công nghệ đánh dấu bởi vô số những phát minh kỳ diệu về các quy luật cấu trúc và tiến hóa của vật chất cùng với những thành tựu to lớn trong nhiều lĩnh vực, từ những lý thuyết trừu tượng nhất đến các ứng dụng rộng rãi nhất trong thực tế sản xuất và đời sống mà những phát minh đó đã mang lại. Những kết quả đó khởi nguồn từ sự ra đời của Thuyết lượng tử và Thuyết tương đối, những thành tựu vĩ đại nhất của vật lý học thế kỷ 20.

Thuyết lượng tử

Tiên đề xuyên suốt của Thuyết lượng tử là tiên đề về tính đối ngẫu của vật chất, khẳng định rằng mọi vật thể vi mô cùng một lúc thể hiện với hai tính chất tương phản nhau - tính chất hạt và tính chất sóng. Ý tưởng có tính

* Viện Vật lý, Viện KH&CN Việt Nam.

cách mạng đột phá này về thực chất đã được hàm chứa trong giả thuyết của M. Planck đề xướng năm 1900 về tính chất rời rạc của sự bức xạ và hấp thụ ánh sáng, thể hiện trong hệ thức Planck liên hệ năng lượng với tần số của lượng tử ánh sáng, được De Broglie tổng quát hóa năm 1924 cho mọi vật thể vi mô, và được N. Bohr phát triển thông qua “Nguyên lý bổ sung” khẳng định rằng Sóng và Hạt là hai mặt bổ sung lẫn nhau của thực tại. Thuyết lượng tử nhìn nhận một cách sâu sắc rằng bản chất của mọi vật thể là sóng, thế giới hiện tượng là các con sóng uốn lượn lan toả trên mặt một đại dương năng lượng mênh mông, có lúc cô đọng lại thành các khối (hạt), và rồi cũng lại tan biến thành sóng trên mặt đại dương đó.

Nguyên lý bổ sung dẫn đến một hệ quả cực kỳ quan trọng: khái niệm quỹ đạo (như vẫn thường quan niệm trong cơ học cổ điển) mất hết ý nghĩa. Vật thể vi mô chuyển động không theo bất cứ một quỹ đạo xác định nào, có nghĩa là chuyển từ vị trí này qua vị trí khác theo vô số con đường cùng một lúc. Suy rộng ra là vật thể vi mô có thể cùng một lúc có mặt tại vô số vị trí khác nhau, cùng một lúc có thể ở vô số trạng thái khác nhau, cùng một lúc có thể làm vô số việc khác nhau. Đó chính là nội dung của nguyên lý chồng chập trạng thái trong Thuyết lượng tử.

Cũng chính xuất phát từ nguyên lý chồng chập trạng thái mà R. Feynman đã nảy ra ý tưởng về máy tính lượng tử, một trong những hướng nghiên cứu rất sôi nổi hiện nay. Nhiều ý kiến nhận định rằng đó sẽ là một thành tựu ngoạn mục nhất của khoa học và công nghệ thế kỷ 21 này, sẽ tạo nên những bước nhảy vọt vĩ đại trong rất nhiều lĩnh vực của đời sống xã hội.

Sử dụng các trạng thái lượng tử rất đặc biệt là một yếu tố quan trọng tạo cho máy tính lượng tử khả năng giải được nhiều vấn đề mà các máy tính cổ điển không cách gì giải nổi. Đó là các trạng thái “đan chằng nhau” với một tính chất rất kỳ lạ là một khi hai vật thể đã ở trong trạng thái này thì chúng mãi mãi vướng vắn nhau cho dù sau đó tách xa nhau bao nhiêu, và nếu một trong chúng chịu một tác động nào đó thì ngay lập tức vật thể kia sẽ chịu ảnh hưởng theo. Điều này dẫn đến một nghịch lý kỳ bí và rối rắm về logic. Đến ngay cả Einstein cũng không thể nào hình dung nổi và cho là “tác động ma quái phi không gian”. Sự tồn tại các trạng thái này gần đây đã được rất nhiều thí nghiệm khẳng định.

Các trạng thái “đan chằng nhau” được Schrödinger chú ý tới lần đầu tiên năm 1935 với tên gọi tiếng Đức là Verschränkung - có nghĩa là tương

giao với nhau, đan xen vào nhau. Theo ngôn ngữ toán học thì đó là các trạng thái không thể biểu diễn được dưới dạng tích trực tiếp của các trạng thái đơn hạt.

Lý thuyết đã chứng tỏ được rằng bằng cách vận dụng các trạng thái “đan chằng nhau” một cách thích hợp ta có thể tạo ra được cơ chế để truyền tải một trạng thái bất kỳ từ một vị trí này đến một vị trí khác, và từ đó tái tạo một vật thể từ một nơi này tới một nơi khác xa bao nhiêu tùy ý trong chớp nhoáng. Hiệu ứng này có thể gọi là “thần thông chuyển vị lượng tử” làm ta liên tưởng đến những câu chuyện thần thoại về thần thông biến hóa. Hiệu ứng này mở ra một viễn cảnh thật huy hoàng, hứa hẹn sẽ mang lại những thành tựu kỳ diệu cả về phương diện khoa học lẫn đời sống xã hội.

Liên quan đến các vấn đề trình bày ở trên, một hướng nghiên cứu đang được phát triển mạnh là thông tin lượng tử. Cũng chính bằng cách vận dụng các trạng thái “đan chằng nhau” ta có thể chuyển tức khắc và an toàn tuyệt đối các thông tin mật được mã hóa dưới dạng các trạng thái lượng tử. Người ta chờ đợi rằng thông tin lượng tử sẽ là một cuộc đại cách mạng trong công nghệ thông tin mà ảnh hưởng to lớn của nó chưa lường tính hết được.

Cũng cần nói thêm rằng từ khi hình thành Thuyết lượng tử hiện đại cách đây vài thập kỷ người ta cũng đã nghĩ được, tuy chưa ý thức thật đầy đủ, rằng các quá trình cơ sở nhất của thiên nhiên thực chất là các quá trình xử lý thông tin lượng tử diễn ra khắp quanh ta, và lượng thông tin xử lý trong một đơn vị vật chất và thời gian cực bé cũng lớn hơn rất nhiều lần lượng thông tin mà toàn bộ công nghệ thông tin cổ điển đã thực hiện.

Thống nhất tương tác

Đến nay số hạt cơ bản ghi nhận được đã lên đến hàng trăm. Đã khẳng định được rằng chúng tác động lẫn nhau qua bốn loại tương tác: tương tác mạnh, tương tác yếu, tương tác điện từ và tương tác hấp dẫn. Đó là các loại tương tác cơ bản nhất, tạo nên bức tranh của cả vũ trụ chúng ta. Bất kỳ một thể loại tương tác nào, một hiện tượng nào dù phức tạp đến mấy, từ vi mô đến vĩ mô cũng đều bắt nguồn từ các loại tương tác đó.

Nhờ có tương tác mạnh mà các proton và neutron mới gắn bó được với nhau trong các hạt nhân nguyên tử. Không có tương tác mạnh thì ngay các tế bào tạo nên cơ thể chúng ta cũng không thể tồn tại được, và lúc đó chúng ta sẽ tức khắc rã thành những đám proton và neutron bay loạn xạ khắp nơi.

Tương tác điện từ giữ cho điện từ chuyển động quanh hạt nhân nguyên tử, nhờ có tương tác điện từ các cơ bắp của chúng ta mới cử động được. Không có nó cơ thể chúng ta đã trở nên bất cử động tro tro như gỗ đá.

Tương tác yếu tạo nên hàng loạt các phản ứng trong lòng mặt trời và từ đó những nguồn năng lượng khổng lồ được thoát ra rồi chuyển tới sưởi ấm hành tinh chúng ta để cho nảy mầm và duy trì sự sống. Không có tương tác yếu cả hành tinh chúng ta hẳn đã trở nên mịt mù băng giá.

Tương tác hấp dẫn gần gũi với chúng ta nhất nhưng lại chứa đựng nhiều bí ẩn nhất. Chính nhờ có tương tác hấp dẫn chúng ta mới có thể bám dính được cái nôi của loài người - Trái đất. Nếu không, chúng ta mỗi người sẽ bay lơ lửng ly tán trong vũ trụ bao la, và những dịp gặp lại nhau hẳn là sẽ vô cùng hiếm hoi.

Qua đây ta thấy rằng bốn loại tương tác mạnh, yếu, điện từ, hấp dẫn quả là cơ bản, tất cả đều là cần thiết và cũng là đủ để có thể vận hành và cảm nhận cuộc sống như thể hiện. Tạo hóa đã ban cho vũ trụ chúng ta các dạng tương tác một cách tối ưu.

Tuy biểu hiện rất khác nhau, bốn loại tương tác trên vẫn có một số nét cơ bản rất giống nhau, đặc biệt là sự truyền tương tác được dẫn xuất qua các hạt trung gian - các hạt gauge. Xây dựng được một lý thuyết thống nhất tương tác - có nghĩa là tìm được một cơ cấu thiết kế chung gắn kết các thể loại tương tác lại với nhau trên cùng một nền tảng - là một ước mơ ấp ủ từ lâu đời của các nhà vật lý. Từ lý thuyết thống nhất có thể hiểu sâu sắc hơn về bản chất của các hiện tượng, các mối quan hệ động lực học, và cũng từ đó tiên đoán được hàng loạt các hiệu ứng cùng với các ứng dụng hoàn toàn mới.

Chính Einstein đã nghĩ đến việc thống nhất tương tác điện từ với tương tác hấp dẫn, và đã dành trọn mười năm cuối đời cho việc xây dựng lý thuyết đó, nhưng không thu được kết quả.

Những cố gắng đầu tiên trong việc thống nhất tương tác điện từ và tương tác hấp dẫn được thực hiện bởi Kaluza và Klein vào những năm 1924 - 1927 trong khuôn khổ lý thuyết tương đối rộng 5 chiều. Tuy nhiên, kết quả lý thuyết còn rất xa với thực tế.

Đến nay có rất nhiều cơ sở để khẳng định rằng bốn loại tương tác cơ bản tưởng chừng như khác nhau đó, chẳng qua chỉ là những hình thái thể hiện biến hóa của cùng một bản chất. Tất cả chúng có thể gộp lại trong

khuôn khổ một lý thuyết thống nhất dựa trên nguyên lý gauge siêu đối xứng mà người ta vẫn thường gọi một cách lạc quan là thuyết Đại Thống nhất (Grand Unification Theory) và hy vọng rằng đó sẽ là “Lý thuyết của tất cả” (Theory of Everything).

Bất cứ mô hình lý thuyết Đại thống nhất nào cũng phải xây dựng trên cơ sở tổng hợp được Thuyết lượng tử và Thuyết tương đối. Thuyết tương đối khẳng định rằng các quá trình vật lý diễn ra như nhau trong mọi hệ quy chiếu liên hệ với nhau bởi các phép biến đổi tương thích, và do đó các phương trình vật lý phải bất biến khi chuyển từ hệ này qua hệ kia.

Einstein công bố về Thuyết tương đối hẹp năm 1905 và Thuyết tương đối rộng mười năm sau đó. Thuyết tương đối hẹp thống nhất thời gian với không gian và thừa nhận tiên đề rằng tốc độ ánh sáng như nhau trong mọi hệ quy chiếu, dùng hình học phẳng để mô tả không-thời gian phẳng. Thuyết tương đối rộng dùng hình học cong Riemann để mô tả không-thời gian cong, gắn tương tác hấp dẫn với độ cong đó.

Một phương hướng được xem là có nhiều triển vọng nhất để xây dựng lý thuyết Đại thống nhất là lý thuyết Dây - lý thuyết M. Sự ra đời của lý thuyết Dây (1968 - 1973) gắn liền với một loạt những phát hiện quan trọng trong Vật lý các hạt cơ bản, trước hết là quan hệ đối ngẫu giữa các quá trình tương tác chéo nhau - tán xạ và hủy cặp. Trong lý thuyết này các hạt cơ bản không được xem như là các hạt điểm, mà như là những sợi dây chuyển động trong không-thời gian 10 hoặc 11 chiều. Khi chuyển động Dây quét nên một mặt gọi là “lá thế”. Nền tảng của lý thuyết Dây chính là lý thuyết trường lượng tử mô tả động lực học của Dây trên lá thế. Như vậy, ở đây ngoài 4 chiều không-thời gian thông thường còn có thêm 6 hoặc 7 chiều không gian phụ trội. Không gian phụ trội này được giả thiết là co gọn lại thành một miền kích thước bé vào cỡ 10^{-33}cm , và các thí nghiệm với năng lượng cỡ như hiện nay chưa đủ để phát hiện.

Xuất phát từ những ý tưởng chủ đạo rất hấp dẫn và có sức thuyết phục, trong thập kỷ qua lý thuyết Dây đã có những bước phát triển quan trọng do kết quả của hai cuộc “cách mạng Dây” diễn ra vào những năm 1984-1985 và 1994-1995. Qua những công trình nghiên cứu trong thời gian này người ta đã xác lập và phân loại được 5 mô hình lý thuyết Dây thích hợp, và đặc biệt là phát hiện được các tính chất “đối xứng đối ngẫu Dây” (String duality symmetry), chính nhờ đó mà ta có thể liên hệ với nhau các mô hình lý thuyết Dây khác nhau này thông qua phép ánh xạ tương đương. Chẳng

hạn, tính đối ngẫu S liên hệ miền liên kết yếu của mô hình này với miền liên kết mạnh của mô hình kia, tính đối ngẫu T liên kết không gian phụ trội bé của mô hình này với không gian phụ trội lớn của mô hình kia.

Trên cơ sở đó một ý tưởng đã được hình thành dự đoán rằng có một lý thuyết thống nhất căn bản hơn bao trùm lên, được gọi là lý thuyết M, và 5 loại lý thuyết Dây này tương ứng 5 trường hợp giới hạn của lý thuyết M.

Đó sẽ là lý thuyết Đại thống nhất lượng tử trong không - thời gian 11 chiều bao gồm cả 4 loại tương tác nói trên, đặc biệt tại miền năng lượng thấp sẽ cho lý thuyết tương tác hấp dẫn siêu đối xứng.

Tuy đang bước đầu hình thành, lý thuyết M cũng đã cho những kết quả rất có ý nghĩa, gắn kết lại những cách tiếp cận tưởng chừng như trái ngược nhau trước đây, và đặc biệt là phát hiện những mối liên hệ giữa các quy luật của thế giới vi mô - thế giới các hạt nhân nguyên tử và các hạt cơ bản với các quy luật của vũ trụ học liên quan đến quá trình hình thành và tiến hóa của vũ trụ.

Lý thuyết M đã có được những áp dụng rất hiệu quả, chẳng hạn trong việc nghiên cứu các lý thuyết gauge siêu đối xứng, các tính chất lượng tử của các lỗ đen trong vũ trụ. Đặc biệt lần đầu tiên đã thu được kết quả phù hợp chính xác với công thức nổi tiếng Bekenstein-Hawking về entropy cho một loại lỗ đen. Điều đó đã kích thích thêm sự tin tưởng và sự hứng thú trong việc nghiên cứu lý thuyết M.

Lời kết

Chắc chắn rằng trong quá trình xây dựng một lý thuyết Đại thống nhất hoàn chỉnh còn rất nhiều vấn đề cần phải giải quyết, rất nhiều câu hỏi cần phải được lý giải. Chẳng hạn, các chiều không gian phụ trội (ngoài không-thời gian 4 chiều thông thường như ta vẫn cảm nhận) thể hiện ở đâu? Bản chất là gì? Cái gì tồn tại trong đó? v.v... hoặc cũng có thể nảy sinh một câu hỏi rất tự nhiên như sau: Ngoài 4 loại tương tác cơ bản đã nêu ở trên còn tồn tại chăng các dạng tương tác khác chưa được phát hiện? Cũng không loại trừ rằng có thể còn có các dạng siêu tương tác ứng với các dạng siêu năng lượng khác, liên quan đến các hiện tượng siêu tự nhiên mà các giác quan bình thường của con người chưa thể cảm nhận được, cũng như khoa học và kỹ thuật hiện nay chưa đủ trình độ để phát hiện.

Dấu sao chân trời cũng đã hé mở để có thể hướng tới ngày Đại thống nhất. Ngày đó hẳn sẽ là khởi đầu của một Mùa Xuân Vĩnh Cửu ở thế giới vi

mô. Chúng ta có cơ sở để hy vọng rằng, tuy sống trong thế giới hiện thực vĩ mô vẫn sẽ có đủ phương tiện kỹ thuật tiên tiến để lắng nghe những nhạc điệu “Thì thầm mùa xuân” vọng ra từ trong thế giới sâu thẳm đó.

TỒN TẠI CHẴNG MỘT LÝ THUYẾT CỦA TẤT CẢ?

Abstract. A brief review of different tendencies in the building of a TOE (Theory of Everything) and of different conceptions in the understanding of the universe seems to indicate that TOE doesn't exist. If TOE must be approached from a larger point of view (holographic), TOE should need a mathematical tool non available in the present and its existence becomes more suspicious.

Tóm tắt: Nếu sơ lược tổng quan các khuynh hướng xây dựng một lý thuyết của tất cả (TOE-Theory of Everything) và các quan điểm hiểu vũ trụ thì dường như một lý thuyết TOE không tồn tại. Nếu TOE phải được tiếp cận từ một quan điểm rộng rãi hơn (toàn ảnh) thì TOE cần đến một công cụ toán học hiện chưa có cho nên sự tồn tại của nó càng thêm nghi hoặc.

Các vấn đề bắt nguồn từ hằng số Planck. Như chúng ta biết ở những vùng không gian nhỏ hơn độ dài Planck $= (\hbar G / c^3)^{1/2} \sim 10^{-33}$ cm những hiệu ứng lượng tử xuất hiện. Cần thống nhất hai lý thuyết lớn: lượng tử (gồm các tương tác yếu, mạnh, điện từ) và hấp dẫn từ đó những lý thuyết TOE ra đời vì người ta cho rằng hai lý thuyết đó mô tả toàn bộ vũ trụ. Bài báo nhằm điểm qua các lý thuyết hướng về TOE & nêu lên một số vấn đề chung quanh TOE.

1. Lý thuyết dây

Lý thuyết dây (String theory - viết tắt là LTD) đang chiếm ngôi vị số một trên các trang báo khoa học về thuyết lượng tử. Theo LTD, thực thể cơ bản nhất không phải là hạt mà là dây. Đây là đối tượng một chiều, kín hay hở, có kích thước vô cùng nhỏ 10^{-33} cm (độ dài Planck). Khi dây dao động thì các loại hạt được tạo ra. Đã 30 năm các nhà vật lý ưu tú nhất góp phần phát triển LTD

* Gs, Viện Năng lượng Nguyên tử Việt nam.

với hy vọng xây dựng một lý thuyết thống nhất, một lý thuyết của tất cả (Theory of Everything - viết tắt là TOE). Song dường như người ta đang đi vào bế tắc: không tìm được phương thức thực nghiệm để kiểm chứng! Tuy nhiên nhiều nhà vật lý cho rằng cần tiếp tục phát triển LTD, mở phương hướng mới cho LTD vì LTD chứa nhiều kết quả quan trọng liên kết (coherent) về mặt lý thuyết.

Những điểm yếu của LTD

Ý tưởng về LTD được hình thành vào những năm 60 thế kỷ trước: Gabriele Veneziano, Viện Weizman, Israel và Yoichiro Nambu, Đại học Osaka phát hiện rằng tương tác mạnh giữa các hạt có thể được mô tả nhờ những sợi dây nối chúng với nhau và độ căng của dây ứng với cường độ tương tác [1.1]..

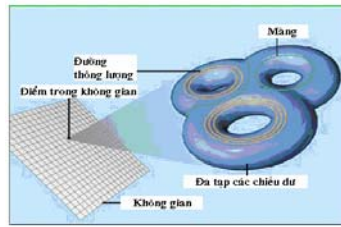
Trong LTD, ngoài dây một chiều, có thể xét đến các đối tượng với số chiều lớn hơn $d = 2, 3, \dots$. Các hạt như electron, proton, neutron... là những dao động của những dây hở, đầu mút các dây này bị dán vào một màng 3 chiều mà chúng ta ký hiệu là $D3$ [1.1] vốn là chỗ cư trú của thế giới chúng ta, trong khi đó graviton, lượng tử của hấp dẫn lại là dao động của những dây kín, không có đầu mút, cho nên graviton có khả năng thoát khỏi màng $D3$ và truyền lan sang các chiều dư (extra dimensions) khác.

Đến thời điểm này LTD không đưa ra được bất kỳ một tiên dự đoán nào có thể kiểm nghiệm được trong thực nghiệm hiện nay và thậm chí trong một tương lai đến. Trước năm 1994 (thời kỳ trước đó được gọi là cuộc cách mạng thứ nhất của LTD) người ta đã đưa siêu đối xứng vào LTD và tìm ra được 5 loại LTD, khác nhau chủ yếu vì các nhóm đối xứng toán học: loại I, loại II A, loại II B, loại hỗn hợp HO & loại hỗn hợp HE.

Để có sự liên kết về mặt toán học, số chiều không thời gian trong LTD phải lên đến 10.

Như vậy thế giới của chúng ta có thêm 6 chiều dư (extra dimensions). Mỗi điểm của không gian vĩ mô ẩn chứa một đa tạp các chiều dư (hình 1.1). Các quy luật vật lý quan sát được trong không gian vĩ mô phụ thuộc vào kích thước và cấu trúc của đa tạp các chiều dư.

Như vậy ngoài 4 chiều không thời gian những chiều dư ($10 - 4 = 6$ chiều) đã cuộn lại (compact hóa) thành một đa tạp 6d có cấu trúc nhất định mang tên đa tạp Calabi-Yau do đòi hỏi bởi một số điều kiện vật lý [1.2].



Hình 1.1. Mỗi điểm của không gian vĩ mô ẩn chứa một đa tạp các chiều dư. Các quy luật vật lý quan sát được trong không gian vĩ mô phụ thuộc vào kích thước và cấu trúc của đa tạp các chiều dư: có bao nhiêu tay quai (handles), độ dài và vòng tiết diện của mỗi tay quai, số lượng và vị trí các màng, số đường sức thông lượng quấn quanh...

Không gian các chiều dư (extra dimensions) có thể có nhiều dạng (nhiều tôpô): hình cầu, hình xuyên, hai hình xuyên giao nhau tạo nên những tay quai (handles), và v.v... Ngoài ra phải kể đến những thông số như độ dài tay quai, tiết diện tay quai, vị trí các màng, số thông lượng quấn quanh các vòng... [1.3].

Mỗi cấu hình ứng với một thể năng xác định bởi các thông lượng, các màng, các độ cong của các chiều dư... Năng lượng này chính là năng lượng chân không vì đó là năng lượng khi trong bốn chiều vĩ mô không có vật chất.

Các kiểu compact hóa dẫn đến 10^{500} phương án, số phương án này còn lớn hơn cả số nguyên tử trong toàn vũ trụ! Điều này dẫn đến một *phong cảnh* [1.3] (danh từ của Leonard Susskin) có đồi núi với 10^{500} thung lũng ứng với chân không.

Vậy khó lòng tìm được một thí nghiệm mà kết quả lại không giải thích được bởi một trong các phương án đó, như thế thì không phủ nhận được LTD. Và ngược lại cũng vì vậy mà LTD không nói lên được điều gì, như thế cũng khó lòng chấp nhận nó.

Năm 1995 (bắt đầu thời kỳ được gọi là cuộc *cách mạng thứ hai* của LTD) Edward Witten, Viện Nghiên cứu Các vấn đề hiện đại Princeton, giải Fields 1990, giải Crafoord 2008, chứng minh rằng 5 loại LTD thực ra chỉ là năm biểu diễn của một *lý thuyết M* trong 11 chiều. Năm loại LTD bây giờ được nối liền với nhau trong lý thuyết M. Mỗi liên kết thực hiện nhờ những phép gọi là đối ngẫu (duality) tựa như đối ngẫu giữa hạt và sóng.

Một điểm yếu nữa của LTD là đã chọn *a priori* một hình học không thời gian mà đáng lý ra đối với một TOE như LTD thì hình học không thời gian phải được suy diễn từ bản thân lý thuyết [1.4].

Con đường hoàng gia đầy vẻ đẹp kỳ ảo do LTD xây đã cuốn hút nhiều

nhà vật lý trẻ. Mặt trái là con đường hoàng gia này là đã hạn chế nhiều ý tưởng mới lạ khác ngoài LTD.

Nhiều tác giả đặt vấn đề về một cuộc *cách mạng thứ ba* của LTD. Đường như một điều gì rất cơ bản đã thoát khỏi tư duy của chúng ta? Phải lật lại các nguyên lý của lượng tử và xét lại bản chất không thời gian?

Các kết quả lớn của LTD [1.4]

LTD đã cung cấp một cách mô tả hấp dẫn lượng tử

LTD chứng minh sự tồn tại của hạt graviton, lượng tử truyền dẫn tương tác hấp dẫn, như thế đưa được hấp dẫn vào phạm trù lượng tử (Joel Scherk, John Schwarz, Tamiaki Yoneya).

Một điều quan trọng là LTD tránh được những phân kỳ tồn tại trong các lý thuyết vốn chọn thực thể cơ bản là điểm có số chiều $d = 0$, trong LTD thực thể cơ bản lại là dây có số chiều $d = 1$ với kích thước tuy vô vùng nhỏ nhưng hữu hạn (*extended nature of strings*). LTD cũng là lý thuyết đầu tiên tìm được số chiều của không thời gian, số chiều đó bằng 10 hay 11.

LTD cho phép thống nhất bốn tương tác: mạnh, yếu, điện từ, hấp dẫn

Các tác giả LTD có thể chứng minh rằng cường độ của bốn loại tương tác sẽ quy về một điểm ở năng lượng rất cao: năng lượng tồn tại ở thời sơ sinh của vũ trụ. Điều này có nghĩa là bốn loại tương tác có cùng một nguồn gốc thống nhất và bắt nguồn từ một thực thể cơ bản là dây. Sau Bigbang một thời gian bốn tương tác này đã rẽ nhánh trong quá trình tiến triển của vũ trụ.

LTD tạo cơ sở để hiểu nhiều vấn đề vũ trụ học

a / LTD có khả năng mô tả nhiều hiện tượng từ vi mô đến vĩ mô. Một kết quả quan trọng là LTD cho phép nghiên cứu lỗ đen về mặt lượng tử. Nhờ LTD người ta đã tìm được các trạng thái vi mô của lỗ đen và xây dựng được nhiệt động học lỗ đen. Trước LTD người ta chưa thiết lập được mối liên quan giữa các trạng thái vi mô lượng tử và entropi của lỗ đen.

b / Từ LTD có thể suy ra được lời giải de Sitter (tức lời giải với hằng số vũ trụ rất nhỏ song lớn hơn số không, $\lambda > 0$) mô tả đúng vũ trụ đang giãn nở của chúng ta.

Năm 2003 bốn tác giả KKLt (Shamit Kachru, Renata Kallosh, Andrei Linde¹ và Sandip P. Trivedi) đã xây dựng được chân không dS (chân không

de Sitter) tương đối ổn định trong LTD [1.3]. Đây là một công trình quan trọng đối với LTD. Đa tạp Calabi-Yau cho phép tồn tại những thông lượng (fluxes) tương tự điện thông và từ thông. Cơ chế KKLТ cuộn các thông lượng này quanh đa tạp Calabi-Yau và dẫn đến một năng lượng chân không (liên quan đến hằng số vũ trụ của Einstein), *mở đường cho việc ứng dụng LTD vào vũ trụ học.*

Có thể tóm tắt: LTD đã đặt cơ sở cho nhiều hướng nghiên cứu. LTD góp phần phát triển toán học: tô pô, hình học đại số. LTD đã làm nên cả một cuộc cách mạng trong vật lý lý thuyết. LTD là một lý thuyết tiên tiến nhất, liên kết nhất.

2. Lý thuyết hấp dẫn lượng tử vòng (Loop Quantum Gravity - LQG)

Lý thuyết *hấp dẫn lượng tử vòng* (LQG) là một lý thuyết nhiều triển vọng nhằm thống nhất lượng tử và hấp dẫn. Trong LQG không thời gian không còn là liên tục, mà được cấu tạo bằng những “nguyên tử” [2.1], đây là những phần tử thể tích không thời gian không phân chia được nữa. Như vậy vũ trụ không biến thiên một cách liên tục mà tiến triển từng bước như trong một máy tính.

LQG dựa trên hai nguyên tắc:

- Hình học của vũ trụ không là một điều tiên quyết (khác với LTD được xây dựng trên một hình học định trước).

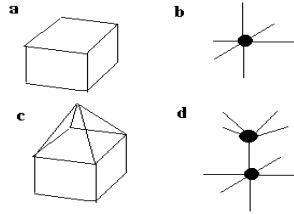
- Lý thuyết phải bất biến đồng cấu (diffeomorphism), điều đó có nghĩa là chúng ta có quyền lựa chọn bất kỳ một hệ tọa độ nào để ánh xạ không thời gian và các phương trình (nói cách khác không có hệ tọa độ nào là đặc biệt cả).

Danh từ “vòng” (loop) phát sinh từ việc một số tính toán trong LQG gắn liền với những vòng vẽ nên trong không thời gian (khi sử dụng liên thông đồng điều-holonomy connection) [2.2].

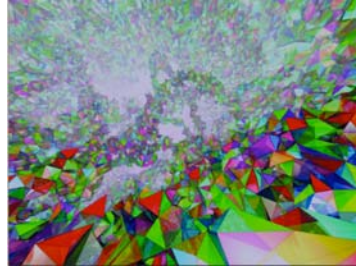
Trong LQG các tác giả sử dụng mạng spin (spin network) để biểu diễn các trạng thái lượng tử ở vùng vi mô. Ví dụ một hình lập phương gồm một thể tích bao bọc bởi 6 mặt hình vuông (hình 2.1a) sẽ ứng với mạng spin (hình 2.1b) có một đỉnh (biểu diễn thể tích) và sáu đường (biểu diễn sáu mặt bao quanh). Một hình chóp đáy vuông đặt chồng lên một hình lập phương (hình 2.1c) sẽ ứng với mạng spin (hình 2.1d) có 2 đỉnh (biểu diễn thể tích của hình chóp và hình lập phương) và 10 đường (biểu diễn 9 mặt của hình

tổng hợp), trong đó có một đường nối hai đỉnh ứng với mặt chung của hình chóp và hình vuông.

Nói chung, trên mạng spin một lượng tử của diện tích được biểu diễn bởi một đường, còn một lượng tử của thể tích sẽ được biểu diễn bởi một đỉnh điểm.



Hình 2.1. Diện tích, thể tích và biểu diễn trên mạng spin



Hình 2.2. Một tranh nghệ thuật minh họa không thời gian trong LQG.

Mạng sơ dĩ có tên là *mạng spin* vì các đường trong (nối liền hai đỉnh) của mạng được gắn liền với một biểu diễn bất khả quy của một nhóm Lie compact (ứng với spin). Mạng các đường nối liền các đỉnh làm thành một đồ thị (graph) như đồ thị Feynman song đồ thị ở đây biểu diễn một trạng thái của không thời gian trong khi đồ thị Feynman biểu diễn một quá trình tương tác. Nếu mô tả trạng thái lượng tử của vũ trụ - hình học của vũ trụ - thì sẽ có một mạng spin khổng lồ với khoảng 10^{184} đỉnh.

Những kết quả quan trọng của LQG:

- Toán tử thể tích có các trị riêng (eigenvalue) làm thành một phổ gián đoạn và trị cực tiểu của thể tích bằng 10^{-99} cm^3 (lập phương của độ dài Planck);
- Các trị riêng của toán tử diện tích cũng làm thành một phổ gián đoạn với trị cực tiểu bằng 10^{-66} cm^2 (bình phương của độ dài Planck);
- Thu lại công thức entropy lỗ đen của Bekenstein và lý thuyết bức xạ Hawking;
- Chứng minh rằng vận tốc ánh sáng không phải là hằng số mà phụ thuộc vào năng lượng của photon (kết quả này vi phạm lý thuyết tương đối

của Einstein). Đây là một kết quả quan trọng suy ra từ cấu trúc gián đoạn của không gian, kết quả này cho phép kiểm tra thực nghiệm lý thuyết LQG, (có thể nhờ trạm thăm dò GLAST - *Gamma-ray Large Area Space Telescope* - *Kính Viễn vọng tia Gamma Vũ trụ Thị trường rộng*).

LQG có nhiều điểm tương đồng với lý thuyết CDT (Causal Dynamical Triangulation) dệt không thời gian bằng những đơn hình (simplex) thỏa mãn điều kiện nhân quả [2.3].

3. Hình học không giao hoán (noncommutative geometry-NCG):

Một quan điểm cách mạng về không thời gian

Alain Connes, nhà toán học Pháp, sáng tạo ra Hình Học Không giao hoán (Non-Commutative Geometry, viết tắt là NCG). Hình học không giao hoán đã làm thay đổi quan niệm về không thời gian và có những ứng dụng vật lý cơ bản, trong đó có TOE nhằm thống nhất lý thuyết hấp dẫn và lý thuyết lượng tử.

Hạt Higgs là một hạt hiện nay còn là bí hiểm nhưng lại quyết định sự đúng đắn của Mô hình chuẩn, một mô hình đã cho nhiều kết quả kiểm chứng được bằng thực nghiệm. Hạt Higgs cần thiết cho việc tạo nên khối lượng các hạt trong SM.

Ý tưởng chủ đạo của Alain Connes: tìm một hình học tinh tế trong đó các hạt như hạt Higgs (và các hạt khác) phải xuất hiện như một hệ quả đương nhiên, chứ không phải được đưa từ ngoài vào lý thuyết như trong Mô hình chuẩn. Hình học tinh tế Alain Connes đề cập ở đây là hình học không giao hoán [3.1].

Thế nào là hình học không giao hoán (NCG)?

Chúng ta đều biết $3.4 = 4.3$ nói cách khác hai số 3 và 4 giao hoán với nhau. Trong NCG, các tọa độ x và y không giao hoán với nhau, nghĩa là $x.y \neq y.x$, đây là điểm mới. Chúng ta chỉ gặp những tình huống như vậy trong không gian pha của cơ học lượng tử, ví dụ các toán tử tọa độ x và xung lượng p_x không giao hoán với nhau mà thỏa mãn giao hoán tử $\{x, p_x\} = x.p_x - p_x.x = i\hbar$.

Trong NCG người ta thay các tọa độ bằng một đại số A tác động lên không gian Hilbert H , và đưa thêm toán tử Dirac D để định nghĩa vi phân. Vậy một hình học không giao hoán được xác định bởi bộ tam (A, H, D) . Như thế các tọa độ bây giờ trở thành những toán tử. Tương tự như trong hình học cổ điển, để sử dụng NCG chúng ta phải biết cách tính vi phân, tích

phân, độ dài...

a/ Vì phân của một $x \in A$ là $df(x) = [D, f(x)]$, b/ Khoảng cách $d(M, N)$ giữa hai điểm M & N được thay bằng $d(M, N) = \sup \{|f(M) - f(N)| ; f \in A, \|[D, f]\| \leq 1\}$ c/. Sử dụng vết của Dixmier ta có thể tính được $\int f ds$ trong đó $f \in A$ và $ds = (1/D)$.

Khi đã có những công cụ này thì chúng ta có thể giải những bài toán cụ thể trong NCG.

NCG là một sản phẩm toán học thuần túy, tuy bắt nguồn từ việc nghiên cứu không thời gian trong vật lý, và Alain Connes đã ứng dụng NCG vào vật lý có hiệu quả. Như thế Alain Connes đã mở ra một phương hướng nghiên cứu mới lạ đầy triển vọng khác hoàn toàn với các phương hướng mà các nhà vật lý đang đeo đuổi. Với hình học không giao hoán Alain Connes đã đưa ra một quan niệm có tính *cách mạng* về không thời gian. Nhiều người so sánh sự đột biến quan niệm không thời gian gây nên bởi NCG với sự đột biến tư tưởng gây nên bởi lý thuyết nhật tâm (heliocentric) của Copernic và Galilée.

Ý tưởng chính của Alain Connes trong các ứng dụng vào vật lý.

Trong vật lý các hạt cơ bản nhiều lúc người ta cần thiết phải đưa vào lý thuyết nhiều hạt để thỏa mãn những quá trình nào đó, ví dụ trong SM phải đưa vào hạt Higgs (hạt bí hiểm chưa tìm ra) để tạo nên khối lượng cho các hạt khác qua tương tác Yukawa. Nếu sử dụng NCG thì những hạt tương tự hạt Higgs sẽ xuất hiện như những hệ quả tự nhiên của cấu trúc hình học mới [3.2].

Đây là một tiếp cận mới đối với không thời gian vượt khỏi phạm vi lý thuyết của Einstein.

Một không gian không giao hoán có thể hình dung cấu thành bởi hai lớp không gian liên tục ví như hai mặt của một tờ giấy và giữa hai lớp đó là một không gian gián đoạn không giao hoán.

Khi ứng dụng NCG vào mô hình chuẩn, phần không gian gián đoạn sẽ gây ra hạt Higgs (và không những chỉ hạt Higgs mà cả các hạt trong mô hình chuẩn) trong khi phần liên tục sẽ gây nên các hạt boson chuẩn (gauge boson) như W và Z (là những hạt chuyển tải tương tác yếu).

Alain Connes nhận thấy rằng trong vật lý, một mặt chúng ta có không thời gian 4 chiều Einstein với đối xứng cơ bản là nguyên lý tương đương Einstein, mặt khác chúng ta có những hạt được nhúng vào không gian đó và lại có những tính chất đối xứng nội tại độc lập với đối xứng của không thời gian. Alain Connes muốn xây dựng một không gian bao gồm tất cả đối

xúng đó một cách hữu cơ.

Sự phát triển hình học không giao hoán bởi Alain Connes cho phép mở rộng lý thuyết các trường chuẩn nhờ kết hợp các đa tạp khả vi (không thời gian Minkowski, Euclide, Riemann) với các đa tạp gián đoạn. Sơ đồ cấu trúc đơn giản hóa ứng với hình học không giao hoán sẽ là: các đa tạp liên tục (Euclide, Minkowski, Riemann) $\oplus$ các đa tạp gián đoạn (NCG) còn các toán tử sẽ là hỗn hợp của các toán tử vi phân thông thường $\oplus$ các ma trận.

Trong phần không gian gián đoạn những phép tính vi phân thông thường không còn áp dụng được nữa mà phải sử dụng những công cụ mà chúng ta đã đề cập ở trên. Alain Connes đã xây dựng các công cụ tính toán (lấy tích phân, giải những phương trình vi phân, tính khoảng cách, tính độ cong, ...) cho các không gian gián đoạn này.

Sau đây chúng ta sẽ thấy hạt Higgs, vốn là hạt mà các nhà vật lý phải đưa từ ngoài vào lý thuyết thì nay nhờ NCG hạt Higgs xuất hiện *một cách tự nhiên* từ cấu trúc của đa tạp.

Để hiểu vấn đề, cần khái niệm đạo hàm hiệp biến từ hình học vi phân. Chúng ta có một đa tạp liên tục là đa tạp Riemann 4 chiều và một đa tạp gián đoạn. Sử dụng các công cụ của NCG người ta tìm thấy rằng đạo hàm hiệp biến gián đoạn ∇ biểu diễn qua một hàm $\Phi(x)$ mà theo cấu trúc chúng ta có thể đồng nhất với hạt Higgs.

Để thấy sự xuất hiện của hạt Higgs, theo Connes chúng ta xét một trường hợp đơn giản khi đa tạp liên tục là đa tạp Riemann 4 chiều còn đa tạp gián đoạn gồm chỉ 2 điểm. Liên thông (connection) trong trường hợp này có dạng [3.3]

$$V(x) = \begin{pmatrix} 0 & v(x) \\ v^* & 0 \end{pmatrix}$$

Vì vậy ta có ngay đạo hàm hiệp biến gián đoạn bằng

$$\nabla = d + eV(x) = \begin{pmatrix} 0 & k + ev(x) \\ k + ev^*(x) & 0 \end{pmatrix} = e \begin{pmatrix} 0 & \Phi(x) \\ \Phi^* & 0 \end{pmatrix}$$

Trong đó d là các đạo hàm ngoài còn $\Phi(x)$ là hạt Higgs (hãy so sánh ∇ với đạo hàm hiệp biến trong lý thuyết trường chuẩn $\nabla_\mu = \partial_\mu - i\tau_c B_\mu$).

Như vậy ở đây hạt Higgs $\Phi(x)$ xuất hiện từ cấu trúc gián đoạn của đa tạp, từ hình học không giao hoán của đa tạp.

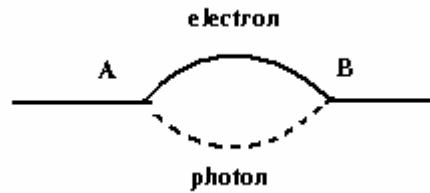
Có thể nói đây là một kết quả kỳ diệu của hình học không giao hoán.

Tái chuẩn hóa

Một trong những triết lý của Alain Connes là tìm ra các ý nghĩa toán học sau những ý tưởng vật lý. Một vấn đề quan trọng trong vật lý lượng tử

là vấn đề tái chuẩn hóa (renormalization) tức vấn đề khử các phân kỳ trong lý thuyết lượng tử.

Như chúng ta biết ví dụ trong QED (Quantum Electrodynamics-Điện động lực học lượng tử) có nhiều sơ đồ dẫn đến phân kỳ. Sơ đồ Feymann mô tả *năng lượng riêng* của electron sau đây là một sơ đồ như thế (hình 3.1).



Hình 3.1. Sơ đồ Feynman năng lượng riêng

Muốn khử phần phân kỳ cần phải bóc tách phần khối lượng δm , vốn có trị số vô cùng ra khỏi khối lượng của electron, đại lượng này phát sinh do tương tác với chân không của trường điện từ [3.4]. Nhiều người cho rằng quá trình tái chuẩn hóa này mang ít nhiều tính chất giả tạo không hữu cơ với một lý thuyết hoàn chỉnh.

Song Alain Connes cho rằng sau những dãy tính toán phức tạp của quá trình tái chuẩn hóa trong lý thuyết trường lượng tử là những thực tại vật lý, và những thực tại đó là những *viên ngọc toán học*. Cần phải có một kính hiển vi siêu mạnh để thấy được điều đó và kính hiển vi này chính là “hình học không giao hoán”. Những phân kỳ này không phải là những khuyết tật trong lý thuyết, mà là những vùng đất vô cùng hấp dẫn cho toán học.

Năm 2004, cùng với Matilde Marcolli, Alain Connes đã giải quyết được một vấn đề đã ám ảnh ông suốt những năm 70 thế kỷ vừa qua: đó là sự tồn tại mối liên quan giữa tái chuẩn hóa trong vật lý lượng tử với lý thuyết Galois. Sự phát hiện này là nội dung công trình thứ 155 của Alain Connes.

Tiếp cận TOE bằng NCG

Chúng ta có hai thực tại cần được thống nhất: hấp dẫn tuân theo đối xứng xác định bởi nguyên lý tương đương của Einstein, và vật chất gồm các hạt tuân theo đối xứng nội tại. Liệu có thể tìm một không gian X tuân theo một đối xứng U bao cả hai đối xứng trên. Alain Connes chứng tỏ rằng một không gian X như thế phải là một không gian có hình học không giao hoán.

Ý tưởng rất sâu sắc của Alain Connes là muốn thống nhất hấp dẫn với lượng tử cần phải thay đổi cấu trúc của không thời gian và để làm điều đó ông đã sử dụng hình học không giao hoán [3.5].

Theo Connes sự thống nhất hấp dẫn và lượng tử đòi hỏi một không gian gồm 2 phần: một phần liên tục và một phần gián đoạn không giao hoán.

Hình học không giao hoán của Alain Connes đã đưa vào vật lý một quan niệm hoàn toàn mới về có tính cách mạng về không thời gian. Alain Connes đã đề cập đến một tính chất lạ lùng của không thời gian là tính không giao hoán. Tính không giao hoán của không thời gian có thể là cơ sở cho việc xây dựng một lý thuyết thống nhất hấp dẫn và lượng tử, trong đó mọi hạt đều xuất hiện một cách đương nhiên như là hệ quả của không thời gian không giao hoán và vấn đề tái chuẩn hóa, một vấn đề quan trọng của lý thuyết lượng tử được giải thích một cách chặt chẽ về mặt toán học trong khuôn khổ của NCG.

4. Một loại hình khoa học mới (New Kind of Science - NKS):

256 quy tắc để hiểu toàn bộ thế giới thực tại? Một TOE?

Một hiện tượng không ngừng gây sự chú ý và nhiều tranh cãi trong giới khoa học đến nay là sự xuất hiện cuốn sách: Một loại hình khoa học mới (A New Kind of Science - viết tắt là NKS) của Stephen Wolfram vào năm 2002. Tác giả Wolfram cho rằng mọi hiện tượng trong vạn vật từ vũ trụ đến thị trường chứng khoán đều có thể quy về những chương trình tin học đơn giản và mọi hiện tượng phức tạp đều là kết quả phát triển của những tế bào ban đầu gọi là các tế bào tự động (viết tắt là CA-cellular automaton), nói cách khác Wolfram đã tìm ra một loại hình TOE mới.

Stephen Wolfram nghiên cứu nhiều lĩnh vực (vật lý các hạt cơ bản, vũ trụ, toán học, tin học,...), tác giả của *Mathematica*, một phần mềm nổi tiếng được sử dụng trên toàn thế giới.

Wolfram nhiều năm suy nghĩ về câu hỏi: *mọi cấu trúc phức tạp và đa dạng trong thế giới thực tại đã hình thành như thế nào?* Liệu thiên nhiên có sử dụng một số quy tắc nào trong khi sáng tạo ra mọi vật, liệu có một khoa học lý thuyết nào để mô tả những quy tắc này?

Wolfram tin rằng tồn tại một chương trình rất đơn giản, nếu chạy trong một thời gian rất dài sẽ dẫn đến mọi *phức hợp* (complexity) trong vũ trụ: các sao, mặt trời, khí hậu, các sinh vật, các dòng chảy của chất lỏng, thị trường chứng khoán,... Và chương trình đó chính là *lý thuyết tối hậu của vật lý - một loại hình TOE mới* [4.1].

Wolfram hy vọng xuất phát từ những dữ kiện và điều kiện ban đầu đơn giản có thể tái tạo *sự phức hợp* của vũ trụ. Tham vọng của Wolfram rất lớn:

giải thích toàn thể vũ trụ kể cả thế giới sinh vật, các dòng chảy,... thị trường chứng khoán. Và Wolfram đã tìm ra nhiều quy tắc cho sự phát triển của CA để thực hiện tham vọng của mình.

Theo Wolfram (và nhiều nhà khoa học khác) thì vũ trụ là không liên tục mà gián đoạn - giống như những bit trong thông tin cho nên ý tưởng về CA tức tế bào tự động là cơ bản. Họ muốn thiết lập mối quan hệ giữa *vật lý và tin học*.

Trong lý thuyết CA của mình, Wolfram muốn chứng minh rằng với những quy tắc đơn giản chúng ta có thể thu được những hình thái rất phức tạp.

Gregory Chaitin đã phát biểu: *Stephen Wolfram muốn phát hiện những viên gạch đầu tiên mà Chúa đã đặt xuống để xây dựng vũ trụ.*

Tế bào tự động (CA) cơ bản

Tế bào tự động là đơn vị nằm trong một ô mạng gián đoạn sử dụng cho tính toán. CA cơ bản có một chiều (dimension), mỗi tế bào có 2 trạng thái: 1 & 0 hay đen & trắng, mỗi tế bào có 2 tế bào lân cận nằm hai bên. Sở dĩ các tế bào này được gọi là tự động vì chúng tự động phát triển trong thời gian theo những quy tắc nhất định.

Như vậy với các CA cơ bản ta có một tập gồm 3 tế bào vậy có $2^3 = 8$ cấu hình cho một tập như thế. Sau đây là 8 cấu hình của các tập 3 tế bào (ở hàng trên ta dùng số 1 & 0 để chỉ trạng thái, ở hàng dưới ta dùng màu đen & trắng để chỉ trạng thái):



Sự phát triển của CA theo thời gian

Lấy một tế bào đen ở hàng thứ nhất (xem hình 4.1).

Trên hàng thứ hai (ứng với thời điểm tiếp theo, như thế không gian và thời gian quện với nhau) ta lấy thêm một tế bào bên trái, vậy ta có hai tế bào, chúng có màu đen hay màu trắng? *Trạng thái mới của tế bào phụ thuộc vào trạng thái trước của nó và của hai tế bào lân cận*. Ta phải lấy một **quy tắc** nào đó để gán màu cho chúng. Sau đây ta dùng quy tắc gọi là quy tắc 110 biểu diễn ở bảng 1.

Tại sao quy tắc này có tên là quy tắc 110?

Hãy nhìn dãy số ứng với trạng thái của tế bào nằm giữa trên hàng dưới (bảng 1):

01101110 = trong hệ *nhị phân* dãy số này bằng =
 $0.2^7 + 1.2^6 + 1.2^5 + 0.2^4 + 1.2^3 + 1.2^2 + 1.2^1 + 0.2^0 = 64 + 32 + 8 + 4 + 2$
 = 110

Vì thế quy tắc này gọi là quy tắc **110**.

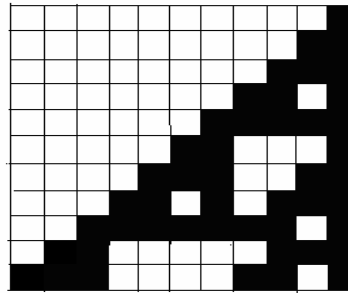
Nếu dãy số ứng với trạng thái của tế bào nằm giữa trên hàng dưới của bảng 1 lại là: 00011110 thì chúng ta có quy tắc 30.

Cấu hình trước	
Trạng thái mới của tế bào nằm giữa	

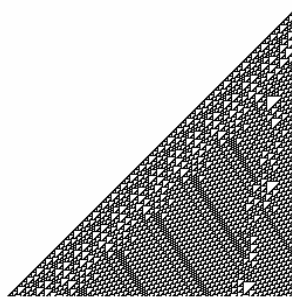
Bảng 1: quy tắc 110, trạng thái biểu diễn bằng màu: đen (ứng với số 1) & trắng (ứng với số 0)

Màu của tế bào nằm ở hàng tiếp theo tùy thuộc vào các màu của 3 tế bào nằm đúng trên nó một hàng (tế bào nằm dưới ở ngay vị trí giữa của 3 tế bào nằm trên). Theo quy tắc nêu ở bảng 1: ví dụ 3 tế bào nằm trên có cấu hình 111 thì tế bào nằm dưới sẽ là tế bào 0 tức là tế bào trắng, nếu trên có cấu hình 110 thì tế bào dưới sẽ là tế bào đen và v.v....

Sau 10 lần lặp (lấy liên tiếp 10 hàng) ta có hình 4.1, sau 700 lần lặp ta có hình 4.2.



Hình 4.1. Kết quả áp dụng 110 sau 10 lần lặp



Hình 4.2. Kết quả áp dụng quy tắc 110 sau 700 lần lặp

Có bao nhiêu quy tắc như quy tắc 110 mà chúng ta vừa áp dụng? Vì mỗi tế bào có hai trạng thái cho nên đối với một tập 8 tế bào (xem hàng thứ hai ở **Bảng 1**) số cấu hình khác nhau sẽ cho ta số quy tắc bằng: $2^8 = 256$ quy tắc.

Wolfram cho rằng sử dụng 256 quy tắc cho sự phát triển của CA, chúng ta có thể tái tạo mọi sự phức hợp (complexity) trong vạn vật. Trong 256 quy tắc đó, quy tắc 110 (và quy tắc 30) là lý thú nhất.

Stephen Wolfram nếu không phải là người duy nhất có tư tưởng về các tế bào tự động thì cũng là người làm hồi sinh ý tưởng này trên một bình diện mới mẻ và phổ quát.

Theo Wolfram sự phức hợp (complexity) nảy sinh từ những điều đơn giản. Từ bản chất là những đối tượng tin học, những tế bào tự động có khả năng tiếp cận đến vật lý, sinh học,...

Một số ví dụ minh họa

Sự sống

Trong khi áp dụng lý thuyết tế bào tự động vào sự sống Wolfram cho rằng sự phức tạp trong thế giới sinh học ít liên quan đến thuyết chọn lọc tự nhiên (sélection naturelle) mà là kết quả của dãy biến thiên của các tế bào tự động.

Jean-Philippe Rennard, nhà tin học, tác giả cuốn sách *Sự sống nhân tạo* [4.2] đã phát biểu: “Đóng góp lớn của lý thuyết các tế bào tự động Wolfram là phát hiện hiện tượng đột sinh (émergence). Đột sinh trong lý thuyết tiến hóa là sự xuất hiện những hệ thống không thể đoán trước hoặc giải thích trên cơ sở những điều kiện trước đó.”

Thị trường chứng khoán

Từ đâu phát sinh những biến động ngẫu nhiên trên thị trường chứng khoán. Lẽ dĩ nhiên một nguyên nhân là tác động của môi trường song một nguyên nhân khác là ngẫu nhiên đã phát sinh một cách nội tại. Wolfram trong lý thuyết CA của mình đã minh họa được sự phát sinh những ngẫu nhiên nội tại (intrinsic randomness) nhờ quy tắc 30.

Vũ trụ

Theo Wolfram vũ trụ tuân theo một quy tắc thống nhất, đơn giản, tiềm ẩn. Từ trước nhà vật lý lý thuyết nổi tiếng Richard Feynman, giải Nobel năm 1965 đã đưa ra ý tưởng về một vũ trụ-máy tính [4.3]. Trong thời gian hiện nay các nhà vật lý đã xây dựng nhiều lý thuyết phức tạp thống nhất lượng tử và hấp dẫn như lý thuyết dây.

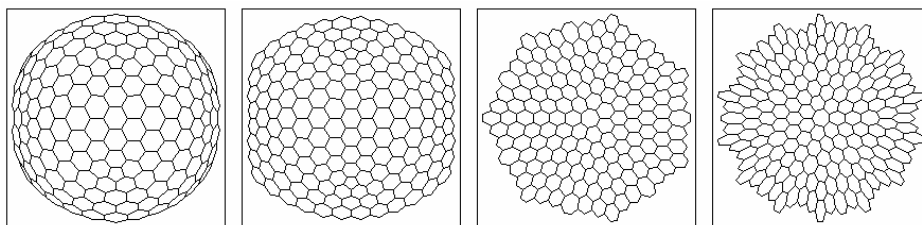
Trong khuôn khổ lý thuyết tế bào tự động Wolfram không cần đến những định luật phức tạp. Vũ trụ đã chạy chương trình các tế bào tự động

từ thuở nguyên sinh. Một nhà vật lý muốn thử nghiệm điều này phải cần một thời gian tương tự và một không gian lớn như vậy. Ngoài ra cần một lý thuyết tế bào automat nhiều chiều với một cấu trúc không thời gian phức tạp.

Wolfram cho rằng các định luật vật lý tìm ra đến nay đều không là cơ bản mà chỉ là những tính chất đột sinh từ các quy tắc tiềm ẩn trong lý thuyết các tế bào automat.

Hấp dẫn

Chúng ta có thể mô tả không gian phẳng bằng một mạng CA có hình lục giác. Nếu ta đưa vào mạng của các ô lục giác những ô ngũ giác và thất giác (5 & 7 cạnh), ta sẽ thu được không gian cong (xem hình 4.3) trong lý thuyết hấp dẫn.

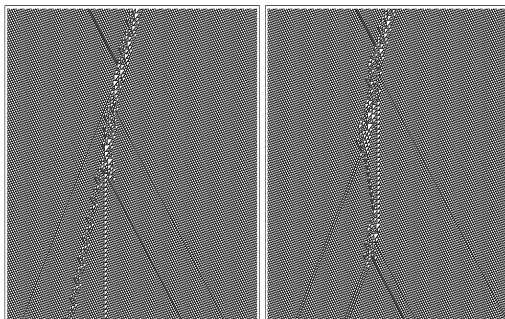


Hình 4.3. Mạng CA có chèn những hình 5 & 7 cạnh vào mạng gốc chứa các hình lục giác mô tả không gian có độ cong.

Vật lý hạt cơ bản

Xem hình 4.2 ta thấy rằng ngoài những cấu trúc mang tính đều (xem mép trái của hình 4.2) chúng ta còn thấy xuất hiện những cấu trúc mới đột sinh (xem mép phải của hình 4.2).

Trong lý thuyết CA, Wolfram có thể thu nhận được những cá thể như ở hình 4.4 nhờ quy tắc 110. Trên hình này có thể đoán nhận sự tương tác của các hạt theo sơ đồ Feynman.



Hình 4.4. CA mô tả tương tác của các hạt cơ bản

Tác giả Ray Kurzweil [4.4] cho rằng một điểm yếu của lý thuyết CA của

Wolfram là thiếu khả năng tiên đoán, qua một số lặp người ta không thể biết trước điều gì sẽ xảy ra.

Thứ hai, các cấu trúc đã xuất hiện sẽ tái xuất nhưng *mức phức hợp* (order of complexity) không tăng lên, vậy khó lòng tạo nên sinh vật, con người hoặc bản đạo khúc của Chopin.

Ngoài ra một vấn đề quan trọng khác là mối liên hệ giữa *liên tục* (mô tả bởi toán học cổ điển cùng với các phương trình vi phân) và *gián đoạn* mô tả trong lý thuyết CA. Đường như thiên nhiên dao động giữa *tương tự* (analog) và *số hóa* (digital). Nhiều đối xứng trong thiên nhiên như đối xứng quay, đối xứng tịnh tiến, đối xứng Lorentz, đối xứng điện yếu và nhiều đối xứng khác là *liên tục* và khó lòng được mô tả trong khuôn khổ của *vật lý số hóa*. Đây là một vấn đề lớn về vật lý và triết học: liệu có thể quy mọi quá trình về các quá trình *số hóa*?

Số người phản đối NKS không phải là ít. Tuy thế ý tưởng táo bạo của Stephen Wolfram vẫn là hấp dẫn đối với nhiều nhà khoa học ít nhất vì lý thuyết CA của Wolfram đã đề cập đến câu hỏi sâu kín nhất của khoa học và triết học: *mọi hình thái của thực tại từ đâu đến?* NKS có thể là cái phôi nào đó của một chân lý lớn.

Nhiều nhà khoa học cho rằng Wolfram đang đi đúng đường và lý thuyết CA của Wolfram xứng đáng được gọi là một loại hình khoa học mới, một NKS. Thời gian từ lúc công bố NKS còn quá ít để có thể đánh giá đúng đắn giá trị của nó.

5. Chaitin và Lý thuyết tin học (Có thể hiểu được Vũ trụ chẳng?)

Sau khi Kurt Gödel chứng minh rằng mọi toán học đều có những hạn chế (Định lý Không đầy đủ - Theorem of Incompleteness), rồi Alan Turing chứng minh rằng không tồn tại một chương trình kiểm nghiệm (test) có thời gian hữu hạn để chứng tỏ rằng bất kỳ một chương trình máy tính nào cho trước sẽ dừng lại (Bài toán dừng - Halting Problem), Gregory Chaitin đã phát triển một lý thuyết thông tin mới, tìm ra số Omega (Ω) và đi đến khẳng định không thể tồn tại TOE cho toán học và cho vật lý, điều này có nghĩa là sự hiểu biết về vũ trụ chứa đầy những lỗ trống bất khả tri. Cho rằng vũ trụ có thể hiểu được gần như là tuyên ngôn tận thế của triết học.

Gregory Chaitin và lý thuyết tin học

Gregory Chaitin đã gắn liền vấn đề hiểu vũ trụ với lý thuyết tin học [5.1].

Trải qua cả nghìn năm nhiều nhà toán học hy vọng rằng toán học một ngày nào đó sẽ tạo ra được TOE (Theory of Everything-Lý thuyết của tất cả): tồn tại một tập hữu hạn các định đề (axiom) và quy tắc từ đó có thể suy ra mọi chân lý toán học. Song vào năm 1930 hy vọng trên đã bị dập tắt vì *Định lý Không đầy đủ* (Incompleteness Theorem) nổi tiếng của Kurt Gödel: ***Trong mọi lý thuyết toán học luôn tồn tại những khẳng định không chứng minh được là đúng hay sai.***

Chaitin đã chứng tỏ rằng sự ngẫu nhiên vốn ngự trị trong cơ học lượng tử cũng tồn tại trong lòng của toán học.

Gregory Chaitin đã lấy những ý tưởng về phức hợp (complexity) và ngẫu nhiên (randomness) do Gottfried W. Leibniz đề ra năm 1686 và tích hợp với lý thuyết thông tin hiện đại để chứng minh rằng không tồn tại một TOE cho mọi toán học. Định lý Không đầy đủ của Gödel đã gây ấn tượng mạnh đến Gregory Chaitin. Gödel phủ nhận quan điểm của David Hilbert, nhà toán học gần một thế kỷ trước đã đưa ra tuyên ngôn có một TOE cho toán học, một tập nguyên lý từ đó có thể suy ra mọi chân lý toán học. Gödel đã chứng minh rằng các toán học chứa những khẳng định mà chúng ta không thể chứng minh được theo cách của Hilbert.

Thế nào gọi là phức hợp (complexity)?

W. Leibniz trong chương VI của *Discourse on Metaphysics* cho rằng một lý thuyết phải đơn giản hơn tổng dữ liệu mà nó giải thích, nếu không nó không giải thích được điều gì cả.

Điều này dẫn đến các khái niệm *phức hợp* và *đơn giản*. Hiện nay tính phức hợp (complexity) và tính đơn giản (simplicity) đã được lượng hóa.

Năm 1965, Gregory Chaitin đưa ra *lý thuyết thông tin thuật toán* (algorithmic information theory) để giải bài toán đo độ phức hợp. Sau đây là ý tưởng chính của lý thuyết đó: *mọi định luật khoa học giải thích hoặc mô tả những đối tượng toán học hoặc một tập dữ liệu đều có thể biểu diễn bằng một chương trình máy tính.*

Kích thước của một chương trình máy tính là số bit chứa trong chương trình đó. Như chúng ta biết máy tính lưu trữ thông tin dưới dạng dãy các số 0 và 1. Mỗi số 0 và 1 đó gọi là bit. Một chương trình máy tính càng phức tạp thì kích thước càng lớn và số bit càng nhiều. Nếu một hiện tượng chịu sự điều khiển của một định luật thì định luật này có thể mã hóa thành một chương trình máy tính. Định luật càng đơn giản thì chúng ta hiểu hiện

tượng càng sâu sắc và càng dễ sử dụng. Tính đơn giản hay không đơn giản được phản ánh trong kích thước của chương trình [5.2]. Như thế

1 / Thứ nhất chúng ta đo độ phức hợp bằng các bit thông tin nghĩa là bằng các số 0 và 1.

2 / Thứ hai thay vì các phương trình toán học chúng ta dùng những chương trình máy tính trong hệ nhị phân (binary).

Theo ý tưởng của Leibniz thì nếu có một lý thuyết thực sự thì phải có một sự nén (compression) nghĩa là chương trình máy tính tương ứng phải có kích thước nhỏ hơn dữ liệu output, cả hai đều đo bằng các bit 0 và 1. Trong trường hợp không tồn tại một lý thuyết thực sự nào thì dãy bit đó được gọi là *ngẫu nhiên về thuật toán* (algorithmically random) hoặc là *bất khả quy, là không tối giản được* (irreducible).

Bài toán dừng của Turing

Khi sử dụng máy tính chúng ta đứng trước một bài toán cơ bản: cho một chương trình nào đó liệu có một thuật toán (algorithm) để thấy được chương trình sẽ dừng hay không, hay nó chạy đến muôn đời?

Ví dụ xét bài toán “lấy một số nằm giữa 1 và 10, thêm 2 vào số đó và tính kết quả”, chương trình này sẽ dừng sau 10 bước, song nếu lấy bài toán “lấy một số không âm nhân nó với 2 đến lúc có được một số lớn hơn 1”, chương trình này sẽ dừng nếu số $x \neq 0$, nếu $x=0$ chương trình sẽ chạy mãi.

Đối với những bài toán phức tạp hơn liệu chúng ta có đủ thời gian để chờ xem chương trình có dừng hay không? Đợi 1 tuần, 1 tháng, 1 năm, 1 tỷ năm? Tồn tại chẳng một chương trình kiểm nghiệm (test) có thời gian hữu hạn để chứng tỏ rằng bất kỳ một chương trình máy tính nào cho trước sẽ dừng.

Turing chứng minh rằng không tồn tại một chương trình như thế!

Số omega (Ω)

Xuất phát từ các công trình của Gödel, Leibniz và Turing, *Gregory Chaitin* đã đi đến số Omega. *Omega là một số rất phức hợp vì định nghĩa của nó dựa trên một bài toán không giải được - đó là bài toán dừng của Turing (Turing's halting problem).*

Hãy xét ví dụ sau đây: giả sử rằng trên toàn thế giới chỉ có 2 chương trình dừng và dãy bit của hai chương trình đó là 11001 & 101. Chọn ngẫu nhiên một chương trình có nghĩa là chọn ngẫu nhiên các dãy bit trên. Ta có

thể thực hiện việc chọn bằng cách tung một đồng xu và lấy 1 nếu có mặt phải và lấy 0 nếu có mặt trái, như thế xác suất để thu được một bit nào đó là bằng $1/2$. Vậy xác suất để thu được các chương trình 1101 & 101 là

$1/2 \times 1/2 \times 1/2 \times 1/2 \times 1/2 = 1/2^5$ và $1/2 \times 1/2 \times 1/2 = 1/2^3$. Cho nên xác suất để chọn ngẫu nhiên một chương trình là $1/2^3 + 1/2^5 = 0.15625$.

Trong thực tế sẽ có nhiều chương trình dừng và số omega sẽ là tổng của những số hạng có dạng $1/2^N$. Số Ω là một số được định nghĩa chặt chẽ về mặt toán học ($\Omega = \sum_p 2^{-p}$, cộng theo p là số bit của chương trình dừng).

Vậy số Omega chính là xác suất để máy tính sẽ dừng sau một thời gian khi dãy các bit được chọn một cách ngẫu nhiên.

Vì sao số omega lại bất khả quy?

Đây là tính chất đáng ngạc nhiên của số Omega, số này là bất khả quy hay nói cách khác là ngẫu nhiên về mặt thuật toán và số này là phức hợp vô cùng (infinitely complex). Vì sao như vậy: giống như mọi con số, ta có thể viết omega dưới dạng dãy các số 0 và 1 (trong hệ binary). Số omega sẽ là một dãy vô cùng trong hệ binary giống như căn số bậc hai của số 2 trong hệ thập phân:

$$\sqrt{2} = 1.4142135623730950488....$$

Song chúng ta có một thuật toán để thu được số đó theo phép lặp của Newton (*Newton's iteration*). Nếu có đủ thời gian thì chương trình tính $\sqrt{2}$ sẽ thu được bất kỳ con số nào trong dãy thập phân trên và chương trình dừng lại.

Có điều gì tương tự như vậy đối với số omega chẳng? Có một chương trình hữu hạn nào có thể tính được các bit trong dãy binary của số omega?

Nếu thế khi biết được N bit đầu trong dãy nhị phân của Omega chúng ta đã có thể giải bài toán dừng đối với mọi chương trình có kích thước đến N bit. Như thế vì chúng ta có một chương trình hữu hạn cho mọi bit của Omega, chúng ta cũng có một chương trình để giải bài toán dừng cho mọi chương trình bất kể kích thước của chúng. Nhưng điều này như chúng ta biết là không thể được, như vậy một chương trình như thế là không tồn tại.

Theo định nghĩa ở trên, Omega là bất khả quy hay nói cách khác là một số ngẫu nhiên về thuật toán (algorithmically random). Omega không thể nén (compressed) trong một lý thuyết hữu hạn. Mặc dù Omega có một định nghĩa toán học chính xác, song dãy bit vô cùng của nó không thể tính được bởi một chương trình hữu hạn, đó là một dãy bit vô cùng và ngẫu nhiên.

Vì sao toán học không có TOE?

Một lý thuyết toán học gồm một tập định đề và quy tắc. Có thể nói thêm định đề chính là những nguyên lý bất khả quy. Như thế TOE sẽ là một tập như thế từ đó ta có thể suy ra mọi chân lý toán học. TOE bắt buộc phải có một độ phức hợp hữu hạn vì nếu không thì TOE đã không còn là một lý thuyết nữa! Và TOE phải cho phép tính được số Omega. Song điều này không thể xảy ra vì như chúng ta biết Omega là một số có độ phức hợp vô cùng (infinite complexity).

Những tin buồn cho TOE của vật lý

Gregory Chaitin phát hiện thấy trong lòng toán học có nhiều lỗ trống. Đây cũng là một tín hiệu xấu cho vật lý học. Vật lý học có tham vọng mô tả Vũ trụ hoàn chỉnh và chính xác. Toán học lại là ngôn ngữ của vật lý, như thế những phát hiện của Chaitin buộc rằng một “Lý thuyết của tất cả” (TOE) là không thể có được. Như vậy, những lý thuyết đầy triển vọng như lý thuyết siêu dây cũng thuộc phạm trù này.

Kỳ vọng của những nhà vật lý lý thuyết về một phương trình tối hậu phải chịu áp lực nặng nề này.

Vật lý và toán học đều là những khoa học thuần túy thực nghiệm (truly empirical) và gần thực nghiệm (quasi-empirical)!

Thoạt nhìn, người ta nghĩ rằng vật lý và toán học rất khác nhau. Song, Gregory Chaitin đã đưa ra sơ đồ sau đây nói lên mối tương đồng giữa vật lý, toán học và các khoa học tính toán:

Vật lý: *Lý thuyết* $\Rightarrow$ các tính toán $\Rightarrow$ các tiên đoán cho những quan sát

Toán học: *Định đề* $\Rightarrow$ các suy luận logic $\Rightarrow$ các định lý

Hình 5.2 Vật lý và toán học đều tương tự việc chạy một chương trình trên máy tính.

Chaitin cho rằng giữa vật lý và toán học không có sự khác biệt về nguyên tắc: cả hai đều là những khoa học thực nghiệm (Chaitin dùng chữ thuần túy thực nghiệm cho vật lý và chữ gần thực nghiệm cho toán học song thực sự hai chữ đó không khác nhau về mặt nguyên tắc).

6. Nguyên lý đột sinh với vật lý hiện đại và TOE

Theo, Robert Laughlin, giải Nobel vật lý năm 1998: đột sinh (emergence) là

nguyên lý cấu trúc vật lý theo đó xuất hiện những định luật mà ta không thể suy diễn từ những nguyên lý vật lý cơ bản hơn. Quan điểm đột sinh của Robert Laughlin được nhiều nhà khoa học chia sẻ, tạo nên một nguyên lý khoa học mới có khả năng làm lung lay cơ sở vật lý hiện đại, và đặt ra những câu hỏi lớn đối với quá trình xây dựng TOE.

Nguyên lý đột sinh

Các nhà khoa học theo quan điểm *đột sinh* (tiêu biểu là Robert Betts Laughlin) muốn phủ nhận *quy giản luận* (*reductionism*) là luận thuyết quy mọi hành xử của thế giới về một số định luật cơ bản (đây cũng là cơ sở triết học của nhiều lý thuyết TOE). Danh từ đột sinh do George Henry Lewes đưa ra năm 1875. Theo quan điểm đột sinh thì vật lý giống như một con búp bê Nga nhiều lớp (tiếng Nga là *матрешка*), ứng với mỗi lớp tổ chức chúng ta có những định luật riêng.

Một khoa học dựa trên nguyên lý đột sinh sẽ đặt trọng tâm vào những hiện tượng thuộc phạm vi khả năng lý thuyết và thực nghiệm của chúng ta.[6.1]

Thiên nhiên là một cái giếng không đáy?

Theo nguyên lý đột sinh thì không có một lý thuyết vật lý nào là cơ bản cả. Cấu trúc của thiên nhiên không có lớp đầu tiên và cũng không có những thực thể cơ bản ban đầu.

Năm 2005, Robert Laughlin, giải Nobel 1998, công bố cuốn sách “*Một vũ trụ khác*” (*Un Univers different*) gây nên một làn sóng tranh luận sôi nổi trong giới khoa học. Trong cuốn sách nói trên, tác giả đưa ra quan điểm mọi định luật về thiên nhiên đều là “đột sinh”. Các định luật ở một lớp trên là hệ quả của một hành xử tập thể ở lớp ấy và thực chất không phụ thuộc vào các định luật điều khiển thiên nhiên ở lớp dưới. Nếu không quan niệm rằng số lớp là vô cùng thì phải mặc nhận tồn tại một lớp đầu tiên mà các định luật của nó không thể *đột sinh* từ một lớp dưới nữa! Như thế theo nguyên lý đột sinh ta có thể hình dung *thiên nhiên như một cái giếng không đáy, như vậy gián tiếp phủ nhận TOE*.

Lý thuyết của Robert Laughlin có thể xem là đối cực của quy giản luận. Tồn tại một khoảng cách lớn giữa quy giản luận dựa trên lý thuyết nguyên tử và sự hình thành thế giới của sự sống. Sự sống có những định luật riêng của nó không suy được từ lý thuyết nguyên tử (một trong những luận thuyết theo quan điểm đó là luận thuyết về *sức sống-vitalism*- cho rằng sự sống tuân theo những quy luật riêng *không thể chỉ quy về các quá trình hóa*

học và vật lý được - Paul Joseph Barthez, 1806).

Người ta chỉ giữ lại được từ quy giản luận quan điểm cho rằng trong thế giới tồn tại những vật thể vi mô tuân theo những định luật nhất định.

Theo quan điểm đột sinh, khi nói rằng thiên nhiên là một cái gì đó không đầy sâu đến vô cùng, người ta cũng muốn hàm ẩn thêm hai ý tưởng sau:

- a. Những nghiên cứu vật lý không có điểm dừng xác định trước được.
- b. Mọi nghiên cứu ở một lớp không thể tách rời với trình độ, khả năng tính toán và thực nghiệm của chúng ta.

Các định luật đột sinh

Hai khả năng có thể xảy ra:

a / Các định luật đột sinh không thể suy từ các định luật của lớp cơ bản. Như thế các định luật đột sinh ở một lớp trên là độc lập với các định luật ở lớp dưới và có một tính tự trị (autonomie) nào đó.

b / Nếu chỉ vì *sự hạn chế của toán học* mà chúng ta không thể suy các định luật đột sinh từ những định luật cơ bản (kể cả sử dụng máy tính) thì các định luật mà chúng ta gọi là đột sinh chẳng qua chỉ thuộc một tập con của các định luật cơ bản.

Sau đây chúng ta sẽ thấy dường như khả năng thứ nhất là gần với sự thật của vật lý học.

Vật lý thống kê

Vật lý thống kê chứng tỏ rằng các định luật *nhiệt động học* mô tả cách hành xử không trật tự của tập lớn các phân tử. Cuối năm 1920, thuyết lượng tử cho phép người ta tin rằng không những các định luật nhiệt động học mà cả cơ học cổ điển cũng đột sinh từ cơ sở các định luật lượng tử vốn là một lý thuyết không tất định (indéterminisme) vi mô. Từ đó một kết luận: các định luật đột sinh cũng dựa trên cơ sở của một số định luật cơ bản, song thể hiện ra dưới nhiều hình thức rất khác nhau. Điều này làm thành một hố ngăn cách giữa các lớp vì sự hiểu biết các định luật đột sinh không cho phép tái lập các định luật cơ bản. Một ví dụ là Stephen Wolfram đã chứng minh rằng các định luật vi mô về nhiệt hoặc thủy động học mà người ta nghĩ rằng có nguồn gốc từ các định luật vi mô của cơ học cổ điển hoặc lượng tử đều có thể suy ra từ một mô hình rất đơn giản của mạng lưới các tế bào tự động.

Các định luật ở lớp đột sinh và ở lớp dưới có thể có sự tương tự hình

thức (analogie formelle). Một số định luật của môi trường đồng đặc (mà chúng ta xem là đột sinh) tương tự với các định luật của vật chất cơ bản (mà chúng ta xem là cơ sở). Ví dụ phonon (trong môi trường đồng đặc) tương tự như photon (trong chân không, môi trường cơ bản), các lỗ trống trong các giải phổ bán dẫn tương tự với các positron trong lý thuyết Dirac. Vậy có chăng một sự “đồng dạng” các định luật ở các lớp? hay nói cách khác có chăng một nguyên tắc thống nhất để thiết lập các định luật ở các lớp khác nhau?

Lý thuyết trường lượng tử

Lý thuyết trường lượng tử (LTTTL) là lý thuyết kết hợp lý thuyết lượng tử và lý thuyết tương đối (hẹp). LTTTL xây dựng trên tương tác vi mô của các hạt cơ bản và cho những kết quả quan sát được với độ chính xác cao đáng ngạc nhiên (ví dụ dịch chuyển Lamb [6.2] quan sát được năm 1947-48).

Vậy đây có phải là một lý thuyết thuộc *quy giản luận* và là một *ví dụ chống lại* quan điểm đột sinh? Không phải hoàn toàn như vậy.

Đi sâu vào LTTTL người ta thấy một lỗ hổng lớn: đó là sự tồn tại những *đại lượng lớn vô cùng* phát sinh trong quá trình tính toán. Muốn thu được những kết quả so sánh được với thực nghiệm người ta phải tìm cách loại bỏ những đại lượng vô cùng đó. Thuật toán này được gọi là “*tái chuẩn hóa*”. Nội dung thực chất là cần phải cắt ngưỡng năng lượng tại một trị số nào đó. Như vậy dưới ngưỡng năng lượng đó thì LTTTL đúng còn trên ngưỡng năng lượng đó thì chưa có lý thuyết để mô tả hiện tượng.

Vậy vùng năng lượng thấp dưới ngưỡng thuộc về một lớp cấu trúc đột sinh. Dưới lớp này là vùng năng lượng cao hơn ngưỡng nói trên.

Như vậy LTTTL với thuật tái chuẩn hóa phải xem là một lý thuyết đột sinh. Hiện tại lý thuyết siêu dây có tham vọng tìm một lý thuyết cho tất cả xuất phát từ một thực thể cơ bản là một dây vi mô theo tinh thần quy giản luận. Song tiếc rằng hiện nay chưa có một cơ sở thực nghiệm để kiểm chứng được lý thuyết dây.

Nhiều tác giả khác ngả theo lý thuyết đột sinh: không có định luật nào là cơ bản, chỉ có những định luật đột sinh. *Lý thuyết này là một thách thức quan trọng đối với vật lý học hiện đại, với quan điểm về TOE và đối với triết học.*

Lý thuyết đột sinh trong những lĩnh vực khác

Robert Laughlin quan niệm rằng thiên nhiên chứa đầy những vật thể

có thể so sánh với những bức tranh phái ấn tượng chủ nghĩa (impressionisme). Robert Laughlin nêu một ví dụ: bức tranh *Khu vườn của Monet ở Giverny* (hình 6.1). Trong tranh này không có nét vẽ chỉ có những vết màu chấm phá, các vết màu này không thể hiểu là hoàn chỉnh theo một ý nghĩa nào đó được, song khu vườn đã xuất hiện hoàn chỉnh, đã đột sinh từ những vết màu chấm phá đó. Đây là một đặc trưng của đột sinh: *sự hoàn chỉnh đột sinh từ sự không hoàn chỉnh* (la perfection émerge de l'imperfection) tương tự như *trật tự đột sinh từ bất trật tự*.



Hình 6.1. Claude Monet: *Khu vườn của Monet ở Giverny* (ấn tượng chủ nghĩa)

Robert Laughlin đoạt giải Nobel năm 1998 về hiệu ứng *Hall phân số lượng tử* (các electron trong vật liệu có thể có điện tích phân số, không nguyên) đã phát biểu rằng *chính nguyên lý đột sinh đã giúp ông đi đúng hướng khi sử dụng ý tưởng về chất lỏng lượng tử, một ý tưởng có tính đột sinh và nhờ đó tìm ra hiệu ứng Hall nói trên*.

Đặc biệt trong sinh học người ta sử dụng rộng rãi tiếp cận đột sinh.

Lý thuyết Bigbang thực chất là một ý tưởng mang tính đột sinh. Người ta không thể suy Bigbang từ những phương trình. Bigbang có thể đã tạo ra nhiều vũ trụ song song, ở đây các hằng số vật lý có thể khác nhau dẫn đến những định luật khác nhau, cho nên vũ trụ không phải là hệ quả của một quy trình tất định mà là hệ quả của nhiều yếu tố mang tính ngẫu hợp (contingent) liên quan đến quá trình tự tổ chức (auto-organisation) của vật chất.

Nhiều hiện tượng có bản chất xa nhau có thể có cùng một cơ chế. Hãy lấy hiện tượng *từ hóa* (aimantation) và hiện tượng *dịch bệnh*. Trong hiện tượng từ hóa các nguyên tử gần nhau tương tác với nhau và dẫn đến một *trật tự từ hóa* trong một khoảng cách nào đó. Song, đến một lúc quá trình chuyển pha (loại hai) phát sinh hay nói cách khác đột sinh, tại đó *hàm liên kết trở nên rất lớn và hệ "mất ký ức" về cấu trúc vi mô của mình để biểu hiện một liên kết vi mô ở khoảng cách lớn* (the system near the second order phase transition "loses memory")

of its microscopic structure and begins to display new long-range macroscopic correlations) [6.3]. Trong dịch bệnh một số người tiếp xúc gần với con bệnh sẽ bị lây nhiễm sau đó truyền bệnh cho một số người khác trong một phạm vi nhất định và đến một lúc *thật sự dịch bệnh mới bùng phát* tương ứng với quá trình chuyển pha (loại hai) trong *từ hóa* của vật lý.

Như vậy có những tính chất *phổ quát* trong sự phát sinh những định luật đột sinh ở nhiều hiện tượng khác nhau không cùng một bản chất.

Nguyên lý *đột sinh* tỏ ra có nhiều ưu thế logic trong vật lý khi người ta bắt đầu nhận thức được *cấu trúc nhiều lớp* của vật lý. Song liệu có phải vì *toán học không bao giờ đủ mạnh* mà chúng ta không thể suy các định luật đột sinh từ những định luật cơ bản (kể cả sử dụng máy tính) hay chính đây là *bản chất sâu xa của nguyên lý đột sinh*?

7. Nguyên lý Toàn ảnh (Holographic principle) trong vật lý lượng tử

Như chúng ta biết trong quang học có phương pháp ghi một vật thể 3 chiều bằng một ảnh 2 chiều (hologram). Kỹ thuật này gọi là holography (phương pháp toàn ảnh). Đây là một phương pháp chụp ảnh hiện đại. Holography được sáng chế năm 1948 bởi nhà vật lý người Hung Dennis Gabor (1900-1079), nhờ thành tích này ông được nhận giải Nobel năm 1971.

Vì sao mà nguyên lý toàn ảnh trở nên quan trọng cho vật lý lượng tử?

Vì bài toán lớn nhất hiện nay của vật lý lượng tử là thống nhất được hai lý thuyết lớn nhất của thời đại: lý thuyết lượng tử và lý thuyết tương đối rộng. Nguyên lý toàn ảnh có hy vọng là một phương án để làm được điều đó!

Nguyên lý này trước tiên do Gerard't Hooft đưa ra vào năm 1993 [7.1], sau đó được thiết lập trong một trường hợp cụ thể bởi Maldacena (Đại học Harvard) vào năm 1997 [7.2]. Công trình của Maldacena gây một tiếng vang lớn trong giới vật lý lý thuyết, trong vòng 5 năm công trình của Maldacena được trích dẫn trên 5.000 lần và được xem như một bước đột phá về quan niệm, tạo nên một cách nhìn mới đối với hấp dẫn và lý thuyết trường lượng tử.

Hologram là một ảnh 2 chiều (2d), song khi được nhìn dưới những điều kiện chiếu sáng nhất định thì tạo nên một hình ảnh 3 chiều (3d) trọn vẹn. Mọi thông tin mô tả vật thể 3d đều được mã hóa trong mặt biên 2d. Như vậy chúng ta có hai thực tại 2 chiều và 3 chiều tương đương với nhau về mặt thông tin.

Nguyên lý holographic mà chúng ta sẽ đề cập ở đây sẽ góp phần mở đường cho việc xây dựng một lý thuyết hấp dẫn lượng tử.

Vậy ý tưởng chính của nguyên lý này là gì? Có thể tóm tắt như sau: *thông tin của một vùng không gian có hấp dẫn có thể mã hóa không có hấp dẫn trên mặt biên của vùng không gian đó, nói cách khác có thể thiết lập một mối tương quan giữa các đại lượng trên mặt biên với các đại lượng trong vùng.*

Yếu tố quan trọng ở đây là thông tin. Từ kỹ thuật đến sinh học, vật lý, thông tin đóng vai trò quan trọng. Các protein không thể nào tổng hợp được nếu không có thông tin từ DNA. John A. Wheeler, Đại học Princeton cho rằng thế giới vật lý được làm bằng thông tin, với năng lượng và vật chất là những *yếu tố dẫn!*

Và đối tượng xuất phát ở đây là các lỗ đen.

Hai loại entropy (thống kê & thông tin) [7.1] & [7.2]

Khi nghiên cứu những tính chất kỳ lạ của lỗ đen, các nhà vật lý đã suy ra giới hạn giam giữ thông tin của một vùng không gian hoặc của một lượng vật chất và năng lượng. Những kết quả thu được chứng tỏ rằng các mô tả không gian 3 chiều có thể thực hiện trên một mặt 2 chiều, giống như một bức tranh toàn ảnh (hologram) trong không gian 2 chiều có thể chứa tất cả thông tin của một vật thể 3 chiều. Nhận thức của chúng ta về thế giới 3 chiều có thể chỉ là một ảo ảnh sâu đậm, hoặc đây chỉ là một trong hai cách nhận thức thế giới khách quan.

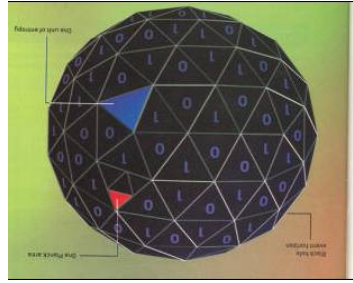
Năm 1948 nhà toán học người Mỹ Claude E. Shannon đã đưa vào thông tin khái niệm entropy. Entropy thông tin trong một thông điệp là số bit cần thiết để mã hóa thông điệp đó. Khái niệm entropy của Shannon làm vật lý thống kê xích gần với thông tin.

Một đối tượng quan trọng trong việc nghiên cứu entropy là lỗ đen. Như chúng ta biết entropy không giảm (định luật 2 nhiệt động học).

Jacob Bekenstein chứng minh rằng khi một lượng vật chất rơi vào lỗ đen thì entropy của lỗ đen tăng lên để bù trừ vào entropy do lượng vật chất mất đi. Nói cách khác entropy của lỗ đen và vật chất chung quanh không giảm, đó là định luật 2 nhiệt động học tổng quát

(GSL - generalized second law). Năm 1970 Hawking & Demetrious Christodoulou (Đại học Princeton) độc lập với nhau chứng minh rằng A - diện tích lỗ đen không giảm theo thời gian: $t_2 > t_1 \rightarrow A(t_2) \geq A(t_1)$, từ đó Jacob Bekenstein có cơ sở để đồng nhất entropy với A (với một hệ số là $1/4$),

xem hình 7.1.



Hình 7.1 Entropy của một lỗ đen tỷ lệ với diện tích bề mặt của chân trời sự cố (tức ranh giới có vào mà không có ra đối với mọi vật, kể cả ánh sáng khi rơi vào lỗ đen). Một lỗ đen với diện tích chân trời là A (trong đơn vị diện tích Planck $= 10^{-66} \text{ cm}^2$) sẽ có $A/4$ đơn vị entropy. Xét từ quan điểm thông tin diện tích chân trời được phủ bởi các bit 1 và 0, mỗi bit chiếm 4 đơn vị diện tích Planck.

Song lỗ đen có bức xạ Hawking, vậy khối lượng giảm do đó A giảm, vậy entropy giảm? Thực tế entropy của bức xạ sẽ bù trừ sự giảm của entropy của lỗ đen, vậy GSL vẫn đúng!

Susskind xét một hệ không phải là lỗ đen và có diện tích mặt ngoài là A' , nếu hệ này co thành lỗ đen thì sẽ có $A' \Rightarrow A < A'$, song theo GSL thì entropy không giảm vậy entropy của hệ (nếu không là lỗ đen) với mặt biên A' nhất thiết phải nhỏ hơn $A'/4$.

Ta thu được một kết quả đáng kinh ngạc: *thông tin của hệ chỉ phụ thuộc vào diện tích mặt biên (mà không phụ thuộc vào thể tích của hệ)!*

Năm 1993 Gerard't Hooft đề ra nguyên lý toàn ảnh (holographic principle): *theo nguyên lý này tồn tại một vật lý nd trên mặt biên (không gian n chiều) mô tả được hoàn toàn vật lý $(n+1)d$ của hệ nằm trong mặt biên (không gian $n+1$ chiều).*

Theo nguyên lý holographic các quy luật vật lý trên *mặt biên* (xem là hologram) mô tả tương tác giữa các hạt như quark, gluon trong khi các quy luật vật lý của *không gian nằm trong mặt biên* được mô tả bởi lý thuyết siêu dây như thế có chứa cả hấp dẫn!

Năm 1997, tác giả Maldacena (Đại học Harvard) đã thực hiện nguyên lý holography nhờ thiết lập mối quan hệ sau:

*Một vũ trụ mô tả bởi lý thuyết siêu dây (như vậy có hấp dẫn) trong một không-thời gian **anti-de Sitter 5 chiều** tương đương với một lý thuyết trường lượng tử (không chứa hấp dẫn) trên mặt biên 4 chiều của không-thời gian đó [7.4].*

Một bài toán khó giải trong 5 chiều lại có thể trở nên dễ giải trong 4 chiều và ngược lại.

Không gian anti-de Sitter là gì?

Đó là lời giải có đối xứng cao của phương trình Einstein và với hằng số vũ trụ âm. Không gian anti-de Sitter là một không gian hyperbolic và có độ cong âm. Mặt cầu là một không gian có độ cong dương, mặt có hình yên ngựa là ví dụ của một không gian có độ cong âm.

Giả thuyết về nguyên lý holographic bây giờ được phát biểu như sau: *Lý thuyết lượng tử hấp dẫn ở vùng trong của không gian anti-de Sitter là hoàn toàn tương đương với lý thuyết lượng tử của các hạt nằm trên vùng mặt biên. Như vậy từ mặt biên đi vào vùng trong của không gian anti-de Sitter ta thấy số chiều tăng lên ứng với sự xuất hiện của những tương tác khác như hấp dẫn, ...* [7.3]

Không gian đơn giản với độ cong âm là không gian anti-de Sitter. Khác với vũ trụ của chúng ta vốn đang giãn nở, không gian anti-de Sitter ứng với một vũ trụ *không co không nở*. Song, không gian anti-de Sitter lại rất hữu ích cho việc xây dựng một lý thuyết lượng tử cho hấp dẫn.

“Nguyên lý toàn ảnh là một hệ mẫu (paradigm) mới, một con đường tư duy mới”, nhà vật lý Willy Fischler (Đại học Texas) đã phát biểu như vậy.

Leonard Susskind (Đại học Stanford) cho rằng nguyên lý toàn ảnh có liên quan mật thiết đến lý thuyết siêu dây, một lý thuyết ứng viên cho TOE (Theory Of Everything-lý thuyết của tất cả).

Như chúng ta biết, bài toán nghịch lý về thông tin trong lỗ đen có thể xem như được sáng tỏ phần nào. Nguyên lý toàn ảnh khẳng định rằng mọi thông tin trong lỗ đen giờ đây được mã hóa trên diện tích chân trời.

Một vũ trụ đang nở như vũ trụ của chúng ta không có được một đa tạp biên xác định như trong không gian anti-de Sitter, nhưng nhiều tác giả đã đưa ra các giả thuyết để có thể áp dụng được nguyên lý toàn ảnh (Bousso, Susskind, Fischler cho rằng có thể hiểu nguyên lý toàn ảnh như điều kiện hạn chế thông tin chứa trong một vùng không gian không lớn hơn thông tin mã hóa trên mặt biên) [7.3].

Nguyên lý holographic đã vén mở một góc khác của bức màn để lộ một con đường xây dựng lý thuyết hấp dẫn lượng tử nhằm thống nhất lý thuyết lượng tử và lý thuyết hấp dẫn. Nguyên lý toàn ảnh đã giúp chúng ta hiểu thêm các tính chất của không-thời gian, của bản chất hấp dẫn trong vật lý hiện đại (chúng có thể liên quan đến vấn đề triết học).

David Bohm và nguyên lý toàn ảnh

Quả vậy nguyên lý toàn ảnh có thể dẫn đến một vấn đề triết học đáng

quan tâm. David Bohm [7.4] quan niệm rằng thực tại mà chúng ta tiếp xúc hằng ngày chỉ là một loại ảo tượng giống như một bức tranh toàn ảnh (holographic). Dường như thực tại có hai mức: một mức ở sâu hơn gọi là mức *tiềm ẩn* (*cuộn lại*) /implicate (enfolded) /và một mức gọi là mức / *tường minh* (*mở ra*) /explicate (unfolded)

Một film toàn ảnh (holographic) và hình ảnh nó tạo ra là ví dụ của hai mức *tiềm ẩn* và *tường minh*. Cuộn film thuộc mức tiềm ẩn vì hình ảnh được mã hóa trong các dạng giao thoa chứa trong film còn hình ảnh chiếu ra thuộc mức tường minh vì các giao thoa mã hóa được mở ra (unfolded).

Theo David Bohm sóng và hạt đều bị cuộn lại trong một thực thể lượng tử, chỉ có quá trình tương tác mới bộc lộ tường minh một khía cạnh nào đó còn khía cạnh kia vẫn nằm tiềm ẩn. Vì từ *toàn ảnh* (holographic) có tính tĩnh tại (static) nên để mô tả những quá trình động (dynamic) cuộn lại và mở ra liên tục của thực tại nên David Bohm đưa ra danh từ *toàn ảnh động* (holomovement)

Bohm quan niệm rằng mọi vật trong vũ trụ đều những phần tử của một continuum. Bohm cho rằng phân biệt thể giới sống (living) và không sống (nonliving) là điều vô nghĩa.

Vì mỗi phần của một bức toàn ảnh (hologram) đều chứa thông tin của toàn ảnh cho nên mỗi bộ phận của vũ trụ đều chứa thông tin của toàn vũ trụ. Điều đó có nghĩa là nếu biết cách tiếp cận thì chúng ta có thể tìm thấy thiên hà Tiên nữ (Andromeda) trong móng ngón tay bàn tay trái.

Sau đây là bài thơ của William Blake (thi sĩ Anh 1757-1827) diễn tả cùng một ý [7.4]:

*To see a World in a Grain of Sand
And a Heaven in a Wild Flower,
Hold Infinity in the palm of your hand
And Eternity in an hour.*

Dịch nghĩa:

*Nhìn thấy Vũ trụ trong một Hạt cát
Và Bầu trời trong một Đóa hoa Rừng,
Giữ Vô cùng trong lòng bàn tay bạn
Và Thiên thu trong một khắc đồng hồ.*

Việc xây dựng TOE được nhiều nhà khoa học thực hiện từ nhiều quan điểm khác nhau, sử dụng nhiều công cụ khác nhau. TOE mở ra nhiều vấn

đề, nhiều lĩnh vực liên quan đến vật lý nói riêng và triết học nói chung.

Trong quá trình xây dựng TOE nhiều công cụ toán học đã được phát triển và ứng dụng vào TOE: tô pô, hình học vi phân, hình học đại số (Edward Witten nhận giải Fields năm 1990 nhờ những công trình toán học gắn liền với sự phát triển của LTD)..., nhóm đồng đều (holonomy) liên thông trong LQG, hình học không giao hoán do Alain Connes dẫn đến những quan điểm cách mạng về không thời gian (các tọa độ không gian không còn giao hoán với nhau nữa).

Một hướng xây dựng TOE rất khác biệt là sử dụng CA (Cellular automaton) do Stephen Wolfram phát triển, đặt ra câu hỏi về mối tương quan giữa liên tục và gián đoạn trong các định luật của vũ trụ.

Nhiều định lý cơ bản nhất trong toán học đã được Gregory Chaitin ứng dụng: *định lý Kurt Gödel (Định lý Không đầy đủ - Theorem of Incompleteness), định lý về bài toán dừng (halting Problem) của Alan Turing*. Gregory Chaitin đã gắn liền vấn đề hiểu vũ trụ với *lý thuyết tin học và thiết lập mối quan hệ giữa vật lý và tin học cùng sự tương đồng giữa toán học và vật lý học và chỉ ra những lỗ trống bất khả tri trong nhận thức luận. Vật lý và toán học đều là những khoa học thuần túy thực nghiệm (truly empirical) và gần thực nghiệm (quasi-empirical)!*

Công cụ máy tính trở thành một công cụ không thể thiếu được để tìm TOE (NKS, CDT,...).

TOE phát hiện ra nhiều tính chất của không thời gian như số chiều dư (extra dimensions), đa tạp Calabi - Yau, tính *toàn ảnh* (holomorphic) của vũ trụ.

TOE lại tiếp diện mặt thiết đến hiện tượng *đột sinh* (emergence) phủ nhận quy giản luận, có thể làm lung lay các cơ sở của vật lý hiện đại, đến hiện tượng *phức hợp* (complexity) do đó đòi hỏi sự ứng dụng nhiều lý thuyết như *lý thuyết tai biến* của René Thom, *lý thuyết fractal* của Mandrelbrok (fractal là một hình hình học mà mỗi phần của nó lại đồng dạng với toàn hình đó, fractal có số chiều không nguyên, theo định nghĩa số chiều của Felix Hausdorff), *lý thuyết hỗn độn*,... Quá trình xây dựng TOE dẫn một cách tự nhiên đến các vấn đề như sự sống, các hoạt động xã hội, thị trường chứng khoán,... (không kể thi ca, hội họa) những vấn đề này đòi hỏi việc mở rộng nội dung cơ bản của bản thân TOE (như thống nhất cả thế giới sống và không sống-theo David Bohm sự tách rời hai thế giới này là vô nghĩa).

TOE đối diện với những vấn đề lớn như tính bất khả tri của vũ trụ.

TOE trông như một viên kim cương có nhiều mặt. Nếu xét TOE trên một bình diện rộng lớn như vậy thì ý kiến của nhiều nhà khoa học phân hóa thành nhiều hướng.

Nhìn chung TOE đã đẩy vật lý lên một tầm cao mới và cũng đặt ra nhiều quan điểm gây tranh luận, đòi hỏi xét lại những vấn đề cơ bản như không thời gian và nhiều vấn đề khác chưa có lời giải.

Không ít nhà khoa học cho rằng TOE không tồn tại. Nếu xét TOE từ một quan điểm rộng hơn (như bao gồm cả thế giới sống) thì TOE cần một công cụ toán học hiện nay chưa có cho nên TOE lại càng khó tồn tại hơn nữa.

Tài liệu tham khảo và chú thích:

1. Lý thuyết dây

[1.1] Michael B.Green, John H.Schwarz, Edward Witten. *Superstring theory*. 1990.

[1.2] Matthew Chalmers, Stringscape, physicsworld.com, tháng 9/2007.

[1.3] Raphael Bousso, Joseph Polchinski, The string theory landscape, *Scientific American*, tháng 9/2004.

[1.4] Hélène Le Meur, Costas Bachas, Franck Daninos, Peter Galison *La Recherche*, N° 411, tháng 9/2007.

2. Hấp dẫn lượng tử vòng (LQG)

[2.1] Lee Smolin. Atoms of space and time, *Scientific American*, tháng 1/2004.

[2.2] Carlo Rovelli, Loop Quantum Gravity, <http://www.livingreviews.org/lrr-1998>.

[2.3] Renate Loll, Discrete Approaches to Quantum Gravity in Four Dimensions, *LivingReviews*, 13/1998.

3. Hình học không giao hoán

[3.1] Alain Connes, Non commutative geometry, *Academic Press*, 1994.

[3.2] Alain Connes, Non commutative geometry and Physics, <ftp://ftp.alainconnes.org/>

[3.3] Alexander Hellems, *Scientific American*, tháng 8 năm 2006.

[3.4] L.O'Raifeartaigh & N.Straumann, *Rev.Mod.Phys.*, Vol 72, No 1, January 2000.

[3.5] Thomas **Kraewski**, *Géométrie non commutative et interactions*

fondamentales.

4. Một loại hình khoa học mới (NKS)

[4.1] Stephen Wolfram, A new kind of Science: NKS | ON LINE, 2007.

[4.2] David Larousse, Le nouveau jeu de la vie, *Science et Avenir*, tháng 1 năm 2003.

[4.3] Olivier Postel - Vinay &. L'Univers est-il un calculateur? *La Recherche*, tháng 1 năm 2003.

[4.4] Ray Kurzweil, Reflections on S.Wolfram's NKS.

<http://www.kurzweilai.net/articles/art0464.html?printable=1>

5. Lý thuyết tin học của Gregory Chaitin (Có thể hiểu được Vũ trụ chăng?)

[5.1] Gregory Chaitin, L'Univers est-il intelligible?, *La Recherche*, tháng 12 năm 2003.

[5.2] Gregory Chaitin, The Limits of Reason, *Scientific American*, tháng 3 năm 2006.

6. Nguyên lý đột sinh

[6.1] Michel Bitbol, Robert Laughlin, Cécile Michaut, *La Recherche*, số 405, tháng 2 năm 2007.

[6.2] Dịch chuyển Lamb là sự khác nhau giữa hai mức năng lượng đặc biệt do electron tương tác với chân không chỉ tính được nhờ LTTLT.

[6.3] Rajesh R. Parwani, usprp@nus.edu.sg

7. Nguyên lý toàn ảnh (holographic)

[7.1] Jacob Bekenstein, *Scientific American*, tháng 8 năm 2003.

[7.2] Juan Maldacena, *Scientific American*, tháng 11 năm 2005.

[1.7] Ta có đối ngẫu: AdS / CFT = Anti de Sitter (hấp dẫn)/ conformal field theory (lý thuyết trường conform).

[7.4] Michael Talbot, The holographic Universe.

PHẦN III
KHOA HỌC ỨNG DỤNG

TRƯƠNG VĂN TÂN*

CƠ HỌC LƯỢNG TỬ VÀ VẬT LIỆU NANO

If you think you understand quantum mechanics,
then you don't understand quantum mechanics.

Richard P. Feynman (Nobel Vật lý 1965)

Abstract. This article has been written in the style of popular science to expose the exploitation of quantum mechanics in nano-structured materials and the synergism of these two fields. A brief history of quantum mechanics starting from Planck's law of black body radiation has been described. The progress of nanotechnology in recent years has provided opportunities to fabricate and control the structure and composition of materials at nanoscale level optimizing their properties for products with higher degree of sophistication and performances. One of the most striking effects of reducing materials to nanoscale is dependence on size of their electronic, optical, optoelectronic, magnetic, physical, mechanical properties. In the areas of electronics, optoelectronics and photonics, the dependence on size is dominantly controlled by quantum laws in materials with nanoscale features or structures. Interactions between electromagnetic waves, in particular, from far infrared (IR) to visible light and ultraviolet, and materials are used as an example to compare the band gap properties of bulk materials and nano-structured materials. Quantization of electronic energy, which occurs in quantum dots (nanoparticles) and quantum wells as a function of size according to Schrödinger's wave equation, is attributed to fluorescence in nanoparticles and quantum well IR detection.

Tóm tắt: $E = h\nu$ - Trước hai ngã đường: cơ học cổ điển và lượng tử - Ảnh hưởng của sự thu nhỏ - Dải năng lượng điện tử và sự phát quang - Chấm lượng tử và giếng lượng tử - Hạt nano bán dẫn: sự phát huỳnh quang - Hạt nano kim

* PhD, Nghiên cứu viên cao cấp, Viện Khoa học và Kỹ thuật Quốc phòng (DSTO). Melbourne, Victoria Australia.

loại vàng: plasmon và sự phát huỳnh quang - Giếng lượng tử và tia hồng ngoại
- Tiềm năng ứng dụng - Thượng đế chơi trò đồ xí ngẫu!

1. $E = h\nu$

Vào những đêm đông không gì thú vị bằng ngồi bên cạnh cái lò sưởi nghe tiếng lửa reo tí tách, nhìn ngọn lửa lung linh cùng với vài người bạn nhấm nháp ly rượu vang đỏ Penfolds bàn về triết lý cuộc đời, nói chuyện thiên văn địa lý, đông tây kim cổ. Những đêm đông sẽ vô cùng lạnh lẽo và vô vị nếu không có cái lò sưởi với những thỏi than hồng thoang thoảng mùi khói của những khúc gỗ còn xanh, quyến theo luồng không khí được hâm nóng bằng những tia hồng ngoại. Đắm chìm trong một không gian ấm áp, ngà ngà men rượu, thỉnh thoảng ánh mắt của ta bị lôi cuốn vào những ngọn lửa đang hùng hực nhảy nhót, ở những khoảnh khắc ấy có khi nào ta nghĩ đến ý nghĩa... vật lý của cái lò sưởi khiêm tốn? Có khi nào ta nghĩ rằng cái lò sưởi kia cũng có quan hệ "bà con xa" đến cái CD player đặt ở một góc phòng và đang phát ra những âm thanh tuyệt vời của dòng nhạc giao hưởng cổ điển Schubert, Mozart hay những bài tình ca Ngô Thụy Miên, Trịnh Công Sơn đau xót cho mối tình gầy mong manh hay tán tụng một tình yêu đang được lên ngôi?! Khi đặt ra những câu hỏi này người đời sẽ cho rằng ta đang bị "méo mó nghề nghiệp", thích nghĩ ngợi mông lung, nhưng thực sự nếu bảo cái lò sưởi là mở đầu và cái CD player là hệ quả của cơ học lượng tử, thiển nghĩ cũng không phải là quá lời.

Xuất phát từ giả thuyết lượng tử của Planck, hơn một thế kỷ trôi qua thuyết lượng tử như một con sông đã vượt qua nhiều khúc quanh, ghềnh thác, tập hợp những phát hiện vĩ đại theo dòng chảy để ngày hôm nay trở thành một dòng sông to lớn đổ vào biển cả khoa học, duy trì sự phồn vinh và hạnh phúc của nhân loại. Vào năm 1900, qua sự quan sát về bức xạ sóng điện từ của vật đen (black body), Planck đưa ra định luật bức xạ diễn tả sự liên hệ giữa nhiệt độ và bước sóng của bức xạ. Nói một cách dễ hiểu, khi làm nóng một thanh sắt, sắt biến thành màu đỏ, nóng hơn thành màu vàng và nóng hơn nữa màu xanh trắng như ta thường thấy khi sắt ở thể lỏng. Càng nóng bước sóng của bức xạ càng ngắn (từ màu đỏ tiến đến màu xanh trong trường hợp thanh sắt). Dù không phải là vật đen lý tưởng theo đúng định nghĩa trong vật lý, vật đen trong thực tế có thể là điện trở của bóng đèn, thanh sắt, khúc gỗ trong lò sưởi, mặt trời, không nền vũ trụ (cosmos background). Từ định luật bức xạ Planck, dựa theo quang phổ hay màu sắc phát quang ta có thể dự đoán nhiệt độ của bề mặt mặt trời trong

khoảng 5.000 - 6.000°C, than hồng trong lò sưởi trên dưới 1.000°C, điện trở bóng đèn trên 1.000°C. Vi ba (microwave) phát đi từ khoảng không gian vô tận cho ta biết nhiệt độ của vũ trụ là -270°C. Ngược lại, từ nhiệt độ của một vật ta có thể biết bước sóng phát ra từ vật đó. Nhiệt độ con người ở 37°C cho biết cơ thể ta phát tia hồng ngoại.

Để chứng minh định luật bức xạ của mình, Planck đã táo bạo đưa ra "giả thuyết lượng tử" là năng lượng bức xạ của sóng điện từ được phát ra không liên tục theo từng "gói năng lượng" $E = h\nu$ rời rạc, gọi là lượng tử, trong đó h là hằng số Planck, ν là tần số của sóng điện từ. Nhưng Planck tin đó chỉ mới là "cái mẹo toán" để suy ra công thức phân bố năng lượng bức xạ của ông vừa tìm thấy sao cho hoàn toàn phù hợp với kết quả thí nghiệm. Vài năm sau (1905), dựa vào ý tưởng bức xạ nhiệt theo gói năng lượng của Planck, Einstein đi thêm một bước quan trọng khi đưa ra quan niệm rằng ánh sáng được cấu tạo bởi các hạt gọi là photon (hay quang tử, light quantum), mỗi hạt mang năng lượng $E = h\nu$, và tương tác với các điện tử của vật chất khi chạm vào. Bằng cách đó ông nhanh chóng hoàn toàn giải thích được hiệu ứng quang điện mà giới vật lý đương thời phải bó tay, và phát hiện này đã đem lại cho ông giải Nobel năm 1921. Tức là, trái với quan niệm sóng phổ biến lúc bấy giờ, Einstein cho rằng ánh sáng còn một sự *tồn tại thứ hai*, đó là hạt. Ánh sáng vừa là sóng vừa là hạt: khái niệm nhị nguyên sóng/hạt ra đời.

Người Nhật Bản đã dùng tiếng Hán dịch thuật ngữ "quantum" là *ryoshi*, đọc ra âm Hán Việt là "lượng tử" (lượng: năng lượng, tử: con, phần nhỏ), biểu hiện đúng ý nghĩa của quantum. Công thức vĩ đại, $E = h\nu$, hàm chứa tính hạt của sóng, cũng là khởi điểm của bộ môn cơ học lượng tử. Trị số của h rất nhỏ ($6,626 \times 10^{-34}$ J.s) nhưng đằng sau các cột trụ quan trọng của cơ học lượng tử, hằng số Planck không bao giờ vắng bóng. Nó hiện hữu trong mọi công thức quan trọng liên quan đến cơ học lượng tử và chi phối việc "đi đứng" của các vật chất cực nhỏ của thế giới vi mô. Cho đến ngày hôm nay, cơ học lượng tử càng ngày càng phục vụ nhân loại một cách đắc lực từ chiếc radio, TV bình thường đến chiếc máy tính, CD player, iPod, điện thoại cầm tay và những thiết bị khoa học, y học, viễn thông, cải thiện đời sống và sức khỏe con người.

2. Trước hai ngã đường: cơ học cổ điển và lượng tử

Khi gặp phải một vấn đề không rõ rệt, người Nam Bộ có một câu nói dí

dỏm nhưng mộc mạc, chân thành: "coi dzậy mà hồng phải dzậy". Trong vật lý, nó diễn tả một cách bình dân những cơ bản của cơ học lượng tử như tính xác suất, tính bất định và bản chất nhị nguyên sóng/hạt của vật chất trong thế giới vi mô của phân tử, nguyên tử, điện tử và các hạt sơ cấp hạ nguyên tử (subatomic particle). Kể từ đầu thế kỷ 20, khi hằng số Planck xuất hiện trong định luật bức xạ và tiếp theo đó một loạt lý thuyết như hiệu ứng quang điện Einstein, phương trình sóng Schrödinger, định luật de Broglie, nguyên lý bất định Heisenberg, những điều hiểu biết dựa theo "thường thức" (common sense) của thế giới đời thường được lý giải qua cơ học cổ điển Newton hoàn toàn bị đảo lộn. Trước những phát hiện vĩ đại này, đã có một thời gian dài các nhà khoa học đã từng hoang mang, thậm chí chế giễu trước những khám phá mang tính triệt để và dứt khoát của một cuộc cách mạng khoa học.

Trong thế giới bất định của cơ học lượng tử, để hiểu được sự hiện hữu, di động và tương tác của vật chất cực nhỏ ta cần đến một tư duy khác phá tan những xiềng xích trói buộc của cơ học cổ điển. Khi một chiếc xe hơi chạy với vận tốc 100 km/h, thì ta có thể tiên liệu rằng sau 1 tiếng đồng hồ chiếc xe xuất phát từ điểm A sẽ đến điểm B cách đó 100 km. Đây là kết quả tất định của chiếc xe. Nhưng trong thế giới của các hạt nhỏ, ta không thể xác định vị trí của hạt chính xác 100 %. Khác với chiếc xe hơi, vận tốc và vị trí của vi hạt không thể đo đạc một cách chính xác cùng một lúc vì sự nhòe lượng tử. Nguyên lý bất định Heisenberg đã định lượng hóa độ nhòe này bằng một công thức đơn giản chứa hằng số Planck.

Cái mù mịt về vị trí hay tính chất phi định xứ (non-locality) của vi hạt là một đặc điểm khác của cơ học lượng tử. Ở cùng một thời điểm chúng như bóng ma có thể ở nhiều nơi khác nhau với những xác suất định vị khác nhau. Đây là việc kỳ lạ theo trực giác đời thường nhưng xảy ra trong thế giới vi mô. Xác suất này có thể tính được từ phương trình sóng nổi tiếng của Schrödinger. Phương trình được diễn tả dưới một dạng đơn giản, $H\psi = E\psi$, ψ là hàm số sóng. Bình phương của ψ là xác suất hiện hữu của hạt ở một vị trí nào đó. Tính ngẫu nhiên từ xác suất của phương trình Schrödinger và sự nhòe mờ trong nguyên lý bất định Heisenberg ngự trị thế giới vi mô của cơ học lượng tử. Cái "có có không không" này đã cho con người một vũ khí suy luận về đặc tính vật lý của những cái nhỏ nhất nơi mà những định luật của cơ học cổ điển phải lùi bước. Có lẽ khi khám phá ra phương trình này Schrödinger còn cao hứng hơn cả Archimede khi phát hiện được sức đẩy

của nước lúc ngâm trong bồn tắm; Archimede nhảy ào ra khỏi bồn chạy ra ngoài đường trần truồng như nhộng la lớn "Eureka!" (tìm ra rồi!). Erwin Schrödinger người Áo, đã viết ra phương trình này trong những ngày đắm say của một cuộc hẹn hò lãng mạn với người bạn gái trong vùng rừng núi Alps... Ông quả là một nhà khoa học lãng tử hào hoa, cùng một lúc phụng sự cho cả khoa học và tình yêu!

Công thức Planck, $E = h\nu$, biểu hiện tính hạt của sóng; năng lượng quang tử, E , được biểu thị bởi tần số sóng ν . Gần 20 năm sau định luật bức xạ Planck, nhà vật lý người Pháp, Louis de Broglie, táo bạo đưa ra một đề xuất ngược lại cho rằng hạt cũng có thể là sóng. Từ công thức $E = h\nu$, ông cho thấy vi hạt (điện tử và các hạt sơ cấp) khi di chuyển ở vận tốc v sẽ tương ứng với sóng với bước sóng $\lambda = h/mv$ (h là hằng số Planck, m là khối lượng hạt và v là vận tốc). Một lần nữa, ta thấy lưỡng tính sóng/hạt xuất hiện trong công thức de Broglie; bước sóng λ tùy thuộc vào khối lượng hạt m . Thí nghiệm đã chứng minh sự di động của điện tử, vốn là hạt, sinh ra hiện tượng giao thoa, nhiễu xạ của sóng. Thí dụ, khi điện tử di chuyển trong một điện trường có điện áp 1 volt, điện tử có bước sóng là $1,2 \times 10^{-9}$ m (vùng của tia X) [1]. Như vậy, trái banh golf khi chuyển động có trở thành sóng không? Theo de Broglie, trái banh golf (hay những vật di động như chim bay, cò bay, xe chạy, người đi....) cũng có dạng sóng. Ta hãy dùng con tính cho dễ hiểu. Dùng công thức de Broglie, ta tính được "bước sóng" của banh ở độ dài khoảng 10^{-34} m [2], nhưng trị số này quá nhỏ để có những hiện tượng mang tính chất sóng như nhiễu xạ và giao thoa xảy ra. Vì vậy, theo những trải nghiệm thường ngày, một cú vót banh trên sân golf dù nhìn thế nào đi nữa thì banh vẫn là banh!

Sau cú vót, trái banh golf bay lạc hướng va vào một gốc cây, theo định luật tác lực và phản lực Newton trái banh golf sẽ bị dội trở lại. Chuyện bình thường không gì phải ngạc nhiên. Nhưng cái ngạc nhiên là khi trái banh được thu nhỏ đến kích cỡ của điện tử thì trái banh có thể đi "xuyên" qua vật chắn vì "banh" bây giờ có tác dụng như sóng. Lại thêm một hiện tượng "ma quái" khác của cơ học lượng tử được gọi là hiệu ứng đường hầm (tunnelling effect). Nhìn lại công thức bước sóng của de Broglie, ta nhận ra ngay chỉ có những vật cực nhỏ với khối lượng cực nhỏ mới cho bước sóng có một con số đủ lớn để hiệu ứng này xảy ra.

Tính nhị nguyên sóng/hạt là một đặc tính tiêu biểu của cơ học lượng tử. Schrödinger khi đề cập đến bản chất của những hạt sơ cấp từng nói "Không

nên nhìn một hạt như là một thực thể cố định mà hãy xem nó như là sự kiện nhất thời. Đôi khi những sự kiện này liên kết với nhau cho ra một ảo giác của những thực thể cố định" (It is better not to view a particle as a permanent entity, but rather as an instantaneous event. Sometimes these events link together to create the illusion of permanent entities) [3]. Khó hiểu? Có lẽ. Nhưng ta đừng đánh giá thấp khả năng tư duy của mình vì ta đang bẻ cong hay phải đi ngược với trực giác đã được thành hình qua những trải nghiệm của cuộc sống đời thường. Chính vì vậy khi bàn về lượng tử, Giáo sư Richard Feynman từng nói *"Nếu bạn nghĩ rằng bạn đã hiểu cơ học lượng tử, thì bạn thật ra chưa hiểu gì về nó cả"*. Tuy nhiên, cái mù mịt lượng tử sẽ sáng tỏ hơn khi ta đặt cái ảo giác của Schrödinger trong cái nhìn triết học Phật giáo, khi mà bản chất vô ngã, vô thường của vật chất - lúc sóng lúc hạt, "vậy mà không vậy" - thật ra chỉ là kết quả của cõi ta bà phản ánh điều kiện thí nghiệm và sự đo đạc của người quan sát.

Như vậy, đâu là lần ranh giữa vật chất vĩ mô tuân theo cơ học cổ điển và vật chất vi mô của thế giới lượng tử. Các bậc tiền bối như Bohr, Heisenberg và von Neumann vẫn nhấn mạnh sự phân chia giữa hai phạm trù cổ điển và lượng tử, mặc dù các ông cũng thừa nhận rằng chưa có quy luật vật lý nào có thể định vị rõ rệt lần ranh "đổi đời" này. Gần đây (năm 2005), một nhóm nghiên cứu tại Áo và Đức [4] dùng giao thoa kế phân tử (molecular interferometry) tìm kiếm lần ranh này qua sự kiểm nhận vạch giao thoa của các loại phân tử trong chân không bằng cách tăng dần độ lớn phân tử cho đến khi các vạch này biến mất. Các phân tử lớn như quả bóng C_{70} (70 nguyên tử carbon, đường kính 1 nm), phân tử sinh học $C_{44}H_{30}N_4$ (đường kính 2 nm) và phân tử nặng ký $C_{60}F_{48}$ (phân tử lượng = 1632, đường kính 1 nm), đã cho thấy vạch giao thoa. Tính nhị nguyên sóng/hạt được xác lập. Phân tử $C_{60}F_{48}$ là phân tử có phân tử lượng cao nhất từ trước đến giờ được ghi nhận mang tính nhị nguyên sóng/hạt. Tuy nhiên, khi có sự tác động của phân tử khí của môi trường xung quanh. Các vạch giao thoa bị nhòe đi nhanh chóng. Tính chất sóng của hạt bị suy giảm rồi tan biến. Thí nghiệm này cho thấy một kết quả quan trọng là ngoài kích thước, sự tương tác va chạm với vật chất trong môi trường ảnh hưởng đến tính nhị nguyên sóng/hạt trong thế giới vi mô.

Lần ranh giữa cơ học cổ điển và lượng tử, tất định và bất định không phải là một đường biên rõ rệt mà tùy thuộc vào điều kiện thí nghiệm và môi trường xung quanh. Ta lại thấy bản chất vô ngã của sự vật. Thuyết duyên

sinh trong Phật giáo nói đến sự liên hệ hỗ tương của vạn vật; "cái này sinh cái kia sinh, cái này diệt cái kia diệt". Vì duyên sinh nên vô ngã. Lằn ranh mờ ảo giữa cơ học cổ điển và cơ học lượng tử lúc ẩn lúc hiện tùy vào sự tương tác của vật được quan sát và môi trường xung quanh, chẳng qua cũng không ngoài sự chi phối của duyên sinh bao trùm vũ trụ.

Vào thập niên 70 của thế kỷ trước, những thiết bị thực nghiệm tinh vi ra đời. Những định luật lượng tử đầu thế kỷ 20 vừa mang tính triết học vừa mang tính khoa học ẩn tàng một chút ma quái giờ đây được kiểm chứng với những thành công vượt bậc. Những phát hiện bất ngờ từ các kết quả của thực nghiệm lượng tử không những giải tỏa được nhiều băn khoăn cũ xung quanh những cuộc tranh luận giữa Einstein và Bohr, mà còn cho các nhà vật lý một khung trời mới trong việc tạo lập cơ sở cho môn tin học lượng tử (quantum information) mà đỉnh cao sẽ là máy tính lượng tử và các phương tiện viễn thông lượng tử.

Mặt khác, sự xuất hiện của nền công nghệ nano vào thập niên 90 đã trở thành một mục tiêu cho các ứng dụng tuân theo cơ học lượng tử. Các vật liệu nano trong phạm vi từ 1 đến 10 nm (nanomét) nằm giữa kích cỡ của các loại phân tử nhỏ và vật liệu khối. Để cho thấy độ nhỏ cũng như "độ lớn" của vật liệu nano, 2 gram hạt nano có đường kính 100 nm có thể phân phát cho toàn thể 6 tỷ người trên trái đất này mỗi người 300.000 hạt; 1 gram ống than nano có diện tích bề mặt là 1.600 m² rộng tương đương với 8 sân tennis. Tính chất của vật liệu nano không phải như vật liệu khối mà cũng không giống các hợp chất phân tử, vừa nằm trong vòng chi phối của các quy luật vật lý cổ điển vừa tùy thuộc vào thuyết lượng tử. Những tính chất này bao gồm cơ tính, lý tính, quang tính, từ tính, hóa tính, biến đổi tùy vào độ lớn của hạt (dây, sợi) nano, khoảng cách các hạt (dây, sợi) và hình dạng của nó. Như ta sẽ thấy ở phần kế tiếp, ảnh hưởng của cơ học lượng tử trên vật liệu nano cho ta những hiện tượng thú vị và những ứng dụng vô cùng to lớn.

3. Ảnh hưởng của sự thu nhỏ

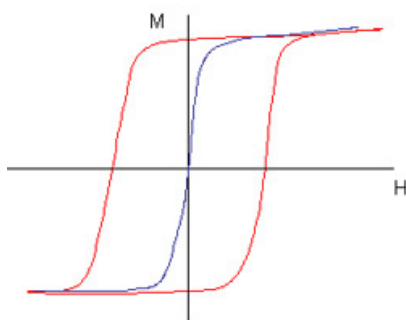
Hơn 15 năm qua, việc chế tạo các loại tinh thể nano, hạt nano kim loại, kim loại từ tính và bán dẫn có kích thước từ vài nm đến vài chục nm có sự tiến bộ vượt bậc. Phương pháp tổng hợp hạt nano có kích thước vài nm và đơn phân bố (monodispersion) được trình bày tỉ mỉ trong một bài báo cáo tổng quan đặc sắc gần đây [5]. Trước khi khảo sát ảnh hưởng của các quy luật lượng tử đến vật liệu nano, ta hãy xem sự thu nhỏ tự bản thân đã mang

lại những thay đổi nào đến các đặc tính của vật liệu.

Sự gia tăng bề mặt ở cấp độ triệu lần đến tỷ lần khi vật chất thu nhỏ từ mức vĩ mô, trung mô (m, cm, mm, μm) đến cấp nanomet làm thay đổi lý tính, quang tính, từ tính và các đặc tính nhiệt động học của vật chất đó. Những "hằng số tự nhiên" của vật liệu khối mà ta ngỡ là bất biến, khi ở mức nm trở thành khả biến theo độ lớn hạt. Thật ra, các đặc tính của vật liệu tùy vào sự nối kết, cấu trúc của nguyên tử gồm nguyên tử bên trong (bulk) và nguyên tử bề mặt. Ở kích thước đời thường, số nguyên tử bề mặt gần như không đáng kể so với số nguyên tử bên trong. Khi bị thu nhỏ đến nanomet, bề mặt gia tăng và số nguyên tử bề mặt cũng gia tăng. Ta hãy xem vài thí dụ đơn giản về độ nóng chảy, từ tính và cơ tính của một số vật liệu.

Độ nóng chảy của vàng khối là 1.064°C . Khi vàng ở độ lớn cm, mm, thậm chí μm , các tỉ lệ nguyên tử vàng ở bề mặt so với nguyên tử bên trong vật chất có thể xem như là không đáng kể. Độ nóng chảy còn duy trì ở khoảng 1.000°C khi hạt vàng có độ lớn 50 nm vì nguyên tử ở bề mặt chỉ chiếm 6%. Tuy nhiên, khi hạt nhỏ hơn 5 nm (chứa 3600 nguyên tử vàng) nguyên tử bề mặt chiếm 20%, độ nóng chảy giảm đến 900°C và đến 350°C khi hạt ở kích thước 2 nm (200 nguyên tử vàng, nguyên tử bề mặt 50%). Sự chênh lệch vài trăm $^{\circ}\text{C}$ do sự khác biệt chỉ vài nanomet giữa 2-5 nm cho thấy tầm quan trọng của ảnh hưởng độ lớn ở thứ nguyên nano. Khi ngoại suy đến kích thước 1 nm (30 nguyên tử, nguyên tử bề mặt 80%) thì độ nóng chảy chỉ còn 200°C [6].

Một thí dụ khác quan trọng hơn là từ tính. Những kim loại từ như sắt, nickel, cobalt cho thấy vòng từ trễ "có hữu" giữa từ trường, H, và độ từ hóa M (Hình 1). Tuy nhiên, ở dạng hạt nano vòng từ trễ khép lại trở thành một đường cong độc nhất cho thấy đặc tính siêu thuận từ (superparamagnetic) [7]. Nhôm không phải kim loại từ nhưng khi hạt nano nhôm chứa 18 nguyên tử có kích thước 0,8 nm thì từ tính xuất hiện [8]. Lý do rất phức tạp và có liên quan đến sự sắp xếp điện tử (electronic configuration) ở thứ nguyên nano. Tuy rằng ở thời điểm hiện tại từ tính hạt nano vẫn còn nhiều uẩn khuất chưa được nghiên cứu triệt để và toàn diện, nhưng có tiềm năng rất lớn cho việc trị liệu y học hạch nhân, tải thuốc đến tế bào, bộ cảm ứng với hiệu ứng từ trở khổng lồ (giant magnetic resistive, GMR), tin học lượng tử, tích trữ dữ liệu.



Hình 1: Ảnh hưởng của sự thu nhỏ trên từ tính của sắt, (a) vòng từ trễ của sắt khối và (b) của hạt nano sắt (Nguồn: Wikipedia).

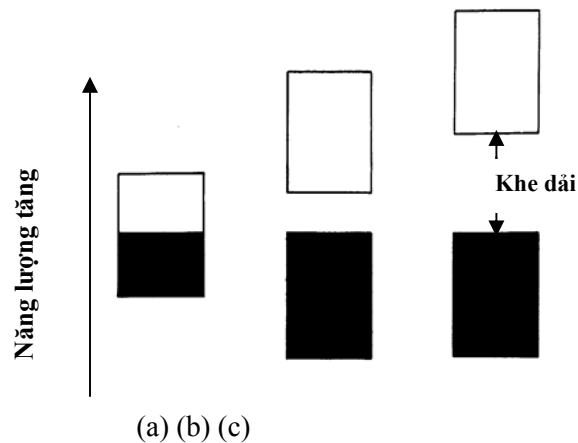
Cơ tính và lý tính cũng bị ảnh hưởng của sự thu nhỏ. Đã có nhiều công trình phát hiện sự gia tăng cơ tính về độ bền (strength) và độ dai (toughness) của các hạt nano kim loại và ceramic. Hạt nano đồng với kích thước 10 nm gia tăng độ cứng (hardness) 8 lần cao hơn đồng khối. Ngoài ra, những cấu trúc bề mặt nano còn đem lại những hiệu quả như gia tăng lực bám do lực van der Waals mô phỏng bàn chân thạch sùng hay tạo ra bề mặt cực ghét nước (superhydrophobic) hay cực thích nước (superhydrophilic) của một số vật liệu.

Ảnh hưởng của các quy luật lượng tử trên sự thu nhỏ của vật liệu ở cấp độ nanomet là một hiện tượng nổi bật có thể quan sát qua sự tác động của sóng điện từ trong vùng hồng ngoại, ánh sáng thấy được và tử ngoại trên các loại hạt và cấu trúc nano. Các vật liệu ứng đáp trở lại bằng cách phát sinh ra ánh sáng, dòng điện, chuyển hoá năng lượng tùy vào đặc tính của khe dải năng lượng (energy bandgap) cho ta những ứng dụng như sự phát quang, pin mặt trời, bộ cảm ứng sóng điện từ, máy ảnh hồng ngoại và các dụng cụ quang học, quang điện tử hữu dụng khác. Sự thành hình của khe dải năng lượng, sự biến hóa của khe dải khi vật liệu được thu nhỏ và các ứng dụng sẽ được khảo sát ở phần sau.

4. Dải năng lượng điện tử và sự phát quang

Dải năng lượng điện tử (electronic energy band) và khe dải là những đặc tính khối rất quan trọng của chất rắn. Trong chất rắn, sự thành hình của dải năng lượng điện tử quyết định đặc tính dẫn điện, bán dẫn hay cách điện của chất rắn đó. Ở thể rắn, các vân đạo nguyên tử liên kết, chồng chập lên nhau ở mọi phương hướng để tạo nên vân đạo phân tử. Người ta phỏng tính 1 cm^3 chất rắn được 10^{22} (10 ngàn tỷ tỷ) nguyên tử tạo thành. Trong quá trình này, theo cơ học lượng tử, những mức năng lượng điện tử sẽ được

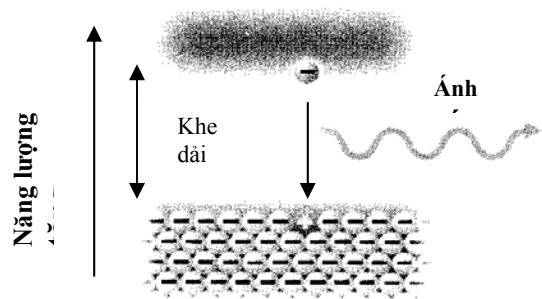
thành hình và các điện tử sẽ chiếm cứ các mức năng lượng này. Như vậy, ta có 10^{22} vân đạo phân tử và 10^{22} mức năng lượng tương ứng được tạo thành. Các mức năng lượng này chồng chập lên nhau theo thứ tự trị số của chúng, trở thành dải được gọi là "dải năng lượng điện tử". Dải ở năng lượng thấp gọi là dải hóa trị (valence band) và dải ở năng lượng cao hơn gọi là dải dẫn điện (conduction band) (Hình 2). Vì con số 10^{22} là một con số rất lớn những mức năng lượng chồng chập nhau trông giống như một dải liên tục (continuum). Như bề dày của một quyển tự điển, từ xa nhìn thì trông như một khối liên tục, nhìn gần thì mới thấy những trang giấy rời rạc. Sự thành hình dải năng lượng của chất rắn có thể không liên tục, khi đó sẽ có một "khoảng trống" xuất hiện, giống như cái mương chia ra hai vùng năng lượng. Khoảng trống đó gọi là khe dải năng lượng (Hình 2).



Hình 2: Dải năng lượng điện tử: (a) kim loại (khe dải = 0 eV), (b) chất bán dẫn (khe dải = 1 - 1,5 eV), (c) chất cách điện (khe dải > 3 eV). Dải đen tượng trưng cho dải hóa trị và dải trắng cho dải dẫn điện.

Trị số của khe dải năng lượng không những cho biết đặc tính dẫn điện, bán dẫn và cách điện của vật liệu mà còn quyết định quang tính cho những ứng dụng như sự phát quang (đèn LED, light emitting diode), sự hiển thị màu sắc, pin mặt trời của các chất bán dẫn và polymer dẫn điện. Nguyên tắc phát quang của đèn LED là khi cho một dòng điện chạy qua, sự kết hợp giữa điện tử và lỗ trống mang điện dương xảy ra. Trong quá trình kết hợp điện tử "nhảy" từ dải dẫn điện (năng lượng cao) xuyên qua khe dải xuống dải hóa trị (năng lượng thấp) (Hình 3). Năng lượng dư thừa sẽ biến thành ánh sáng có bước sóng định bởi năng lượng khe dải E_{gap} [9]. Thí dụ, nếu ta

muốn LED phát ánh sáng đỏ (bước sóng = 720 nm, năng lượng $E_{gap} = h\nu = 1,7$ eV) thì ta cần một vật liệu có khe dải năng lượng khoảng 1,7 eV. Hàng loạt hợp chất bán dẫn như GaAs, GaAsP, AlGaP, GaP, InGaP đã được chế tạo có trị số khe dải từ 1 eV đến 3,5 eV phát ra nhiều màu sắc khác nhau bao phủ toàn thể phổ ánh sáng thấy được (Bảng 1). Tương tự, đèn PLED (polymer light emitting diode) dùng polymer dẫn điện cũng phát ra nhiều màu sắc tùy vào các loại polymer có E_{gap} khác nhau [9].



Hình 3: Sự phát quang điện học (electroluminescence) của đèn LED. Năng lượng dư thừa do sự phối hợp điện tử ở năng lượng cao với lỗ trống (+) được biến thành ánh sáng. Màu (bước sóng) của ánh sáng được quyết định bởi trị số của khe dải.

Bảng 1: Bước sóng và năng lượng sóng.

Ánh sáng	Bước sóng λ (nm)	Năng lượng sóng E (eV) ¹
Tia tử ngoại	ngắn hơn 380	lớn hơn 3,3
Tím	380	3,3
Xanh	450	2,8
Xanh lá cây	530	2,3
Vàng	580	2,1
Đỏ	720	1,7
Tia hồng ngoại	dài hơn 720	nhỏ hơn 1,7

Khe dải năng lượng của trạng thái khối biến đổi khi kích cỡ tiến đến nanomet. Người ta thường bảo "cái bó ló cái khôn", khi vật liệu bị "bó" trong không gian nano ta hãy thử xem chúng sẽ ló cái "khôn" lượng tử như thế nào.

¹ Tính từ công thức $E = h\nu = hc/\lambda$, c : vận tốc ánh sáng 300.000 km/s, λ : bước sóng; 1 eV = $1,602 \times 10^{-19}$ J.

5. Chấm lượng tử và giếng lượng tử

Những hạt vật chất chẳng hạn như hạt kim loại có thể nhìn thấy được bằng mắt (kích thước $\sim 1 \text{ mm}^3$) vẫn còn có những dải năng lượng điện tử gần như liên tục vì số nguyên tử cấu thành còn rất lớn. Thậm chí, một hạt có thể tích $1 \mu\text{m}^3$ chỉ có thể nhìn thấy qua kính hiển vi cũng chứa 10^{10} (10 tỷ) nguyên tử. Con số to lớn này cho biết dải năng lượng vẫn không khác gì hạt ở kích cỡ mm^3, cm^3 . Vì vậy, các đặc tính của hạt $1 \mu\text{m}^3$ vẫn là đặc tính khối (bulk properties). Nếu tiếp tục thu nhỏ, mọi việc sẽ khác đi ở thứ nguyên nanomet. Giả dụ, nếu ta có một hạt kim loại hình lập phương có cạnh dài 5 nm (nanomet) có thể tích 125 nm^3 , hạt kim loại sẽ chứa trên dưới 1.000 nguyên tử. Ở thứ nguyên cực nhỏ này và con số 1.000 đủ nhỏ để làm gia tăng khoảng cách giữa các bậc năng lượng điện tử. Nói một cách khác, dải năng lượng không còn như một quyển sách dày mà trở thành những trang giấy rời rạc. Sự "liên tục" của dải năng lượng biểu hiện đặc tính khối tiêu biểu biến mất và được thay thế bởi những bậc năng lượng riêng biệt khi vật chất tiến về thứ nguyên nanomet. Ta gọi đây là sự "kìm tỏa lượng tử" (quantum confinement) hay là sự lượng tử hóa năng lượng trong một không gian cực nhỏ. Từ thế giới đời thường của cơ học Newton ta bước vào thế giới sa mù của cơ học lượng tử. Và trong cái thế giới sa mù này vật liệu trở nên "thiên biến vạn hóa" ở kích cỡ nano và cho ta biết bao ứng dụng cực kỳ thú vị.

Để hiểu rõ sự lượng tử hóa năng lượng trong một không gian cực nhỏ ta hãy xem đáp án ở phần Phụ lục của bài toán "giếng lượng tử" (quantum well) của phương trình sóng Schrödinger. Trong bài toán này, khi kích thước tiến đến một trị số cực nhỏ năng lượng của điện tử không còn là một dải liên tục mà những mức rời rạc từ thấp đến cao. "Cái giếng" thật ra là hình ảnh của nguyên tử nơi mà điện tử bị kìm giữ trong vòng cương tỏa của nguyên tử. Đường kính "cái giếng" cũng là đường kính của nguyên tử. Phải nói đây là bài toán đơn giản nhưng cho ra một kết quả cực kỳ quan trọng được tóm thu bởi công thức sau (Phụ lục),

$$E = n^2 h^2 / 8ma^2 \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

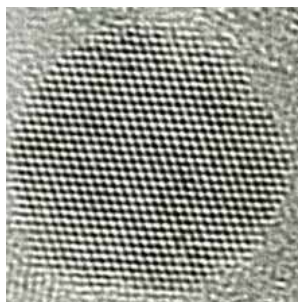
với E là năng lượng ở bậc n , h là hằng số Planck, m là khối lượng điện tử và a là đường kính giếng hay chấm lượng tử.

Từ phương trình sóng Schrödinger và với lời giải của bài toán "giếng lượng tử", các nhà khoa học đã nghĩ ra cái giếng lượng tử thực sự bằng cách tạo ra những "nguyên tử" nhân tạo. "Nguyên tử" này tức là chấm lượng tử

(quantum dot). Thuật ngữ nghe hơi lạ tai nhưng nó rất cô đọng và chính xác trong việc diễn tả hình dạng và chức năng của nó. "Chấm lượng tử" biểu hiện một vật cực nhỏ chịu ảnh hưởng của các quy luật lượng tử. Trên thực tế, chấm lượng tử là các hạt nano chứa vài nguyên tử đến vài ngàn nguyên tử có thể được thành hình từ dung dịch colloid. Chấm lượng tử cũng có thể được kích hoạt để phát quang. Cũng như vật liệu khối, sự phát quang của chấm lượng tử cũng tùy thuộc vào trị số khe dải. Nhưng khác với vật liệu khối, chấm lượng tử phát ra nhiều màu sắc khác nhau bằng cách thay đổi kích thước của nó. Những phần kế tiếp sẽ giải thích cơ chế khác biệt trong sự phát quang giữa vật liệu khối và hạt nano (chấm lượng tử).

6. Hạt nano bán dẫn: sự phát huỳnh quang

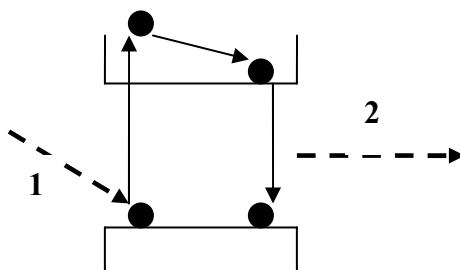
Nghiên cứu về chấm lượng tử ở dạng tinh thể (Hình 4) hay trong dung dịch huyền phù thoát đầu xuất phát từ việc chế tạo pin mặt trời trong việc gia tăng hiệu suất biến hoán từ năng lượng mặt trời sang điện năng. Kể từ năm 1986, nghiên cứu về chấm lượng tử gia tăng mãnh liệt và cho đến năm 2005 đã có gần 2.000 đăng ký phát minh (patent) cho các ứng dụng của chấm lượng tử. Vào thập niên 90 của thế kỷ trước, các nhà khoa học tại Mỹ và Nga phát hiện các tinh thể nano bán dẫn phát ra những màu ánh sáng khác nhau tùy vào kích cỡ của nó. Ảnh hưởng của kích cỡ vào sự phát quang của vật liệu nano lại càng làm gia tăng cái kỳ bí của thế giới nano.



Hình 4: Tập hợp chấm lượng tử (tinh thể nano) silicon. Mỗi chấm có đường kính 7 nm và chứa 50-70 nguyên tử silicon (Nguồn: Dr. Arthur Nozik, National Renewable Energy Laboratory, Bộ Năng lượng, Mỹ).

Sự phát huỳnh quang (fluorescence) là hiện tượng xảy ra khi ta dùng sóng điện từ (quang tử) kích hoạt một vật liệu, đẩy điện tử của vật liệu này từ dải hóa trị đi xuyên qua khe dải lên dải dẫn điện ở năng lượng cao hơn (Hình 5). Sóng kích hoạt thường là sóng mang năng lượng cao như tia tử ngoại hay ánh sáng màu xanh. Điện tử ở năng lượng cao vốn không ổn

định lúc nào cũng muốn trở lại chốn cũ có năng lượng thấp. Khi điện tử trở lại dải hóa trị, sự phát quang xảy ra (Hình 5). Cũng giống như sự phát quang điện học (Hình 3), ánh sáng phát quang có năng lượng tương đương với trị số khe dải. Trị số khác nhau sẽ cho màu sắc khác nhau.



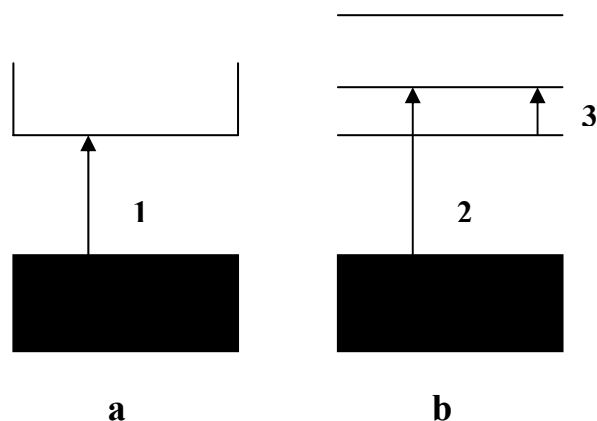
Hình 5: Cơ chế của sự phát huỳnh quang.

(1): Sóng kích hoạt; (2): Sóng phát ra; (●): Điện tử

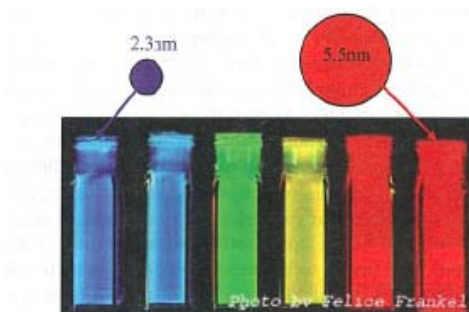
Sự phát huỳnh quang của dung dịch colloid hạt nano bán dẫn CdSe (cadmium selenide) là một thí dụ về ảnh hưởng của sự lượng tử hóa năng lượng trên cơ chế phát quang. Dung dịch colloid của hạt nano CdSe được khảo sát với những hạt có đường kính khác nhau. Sự thay đổi khe dải năng lượng của hạt nano CdSe do sự biến đổi của đường kính hạt có thể khảo sát qua công thức sau,

$$\Delta E = E_{gap} + E_{quantum}$$

ΔE là khe dải của hạt nano, E_{gap} là khe dải của trạng thái khối (= 1,74 eV) và $E_{quantum}$ là năng lượng do hiệu ứng lượng tử (Hình 6). Hình 7 cho thấy sự đổi màu của dung dịch colloid CdSe từ màu xanh sang màu đỏ khi đường kính hạt gia tăng từ 2,3 đến 5,5 nm. Màu phát quang cực kỳ nhạy với đường kính hạt, chỉ cần khác nhau vài nanomet là màu ánh sáng thay đổi. Lời giải của phương trình sóng Schrödinger cho ta thấy rõ điều này. Khi đường kính hạt tăng gấp đôi, $E_{quantum}$ tăng gấp bốn (công thức 4, Phụ lục). Vì độ nhạy khá cao, quá trình tổng hợp hạt nano đòi hỏi độ đồng nhất về kích cỡ phải thật chính xác cho một màu sắc phát quang nhất định.



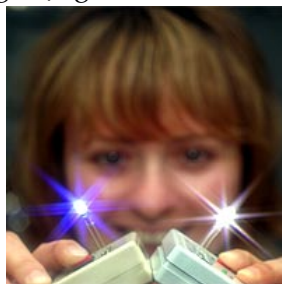
Hình 6: Khe dải năng lượng của (a) trạng thái khối và (b) hạt nano; (1): E_{gap} ; (2): ΔE và (3): E_{quantum} . ΔE có thể gia giảm tùy vào E_{quantum} do sự chi phối của kích thước hạt (xem chi tiết trong bài).



Hình 7: Kích thước hạt CdSe giảm từ 5,5 nm đến 2,3 nm (từ phải sang trái) khiến sự phát huỳnh quang của dung dịch nước thay đổi từ màu đỏ đến màu xanh bao phủ toàn bộ phổ ánh sáng thấy được [10].

Để có một sản phẩm thực dụng, hạt nano được hòa lẫn vào một loại polymer trong suốt. Tương tự như trong dung dịch, hạt nano trong polymer sẽ phát các loại ánh sáng khác nhau và cho ta đèn phát huỳnh quang. Cũng giống như đèn neon thủy ngân gia dụng, nguồn tia tử ngoại được dùng trong đèn huỳnh quang hạt nano để kích hoạt các điện tử của hạt. Loại đèn này giải quyết được những khuyết điểm đèn LED bị vướng mắc. Để có những màu phát quang khác nhau, đèn LED cần những vật liệu có khe dải năng lượng khác nhau. Về điểm này, hạt nano dùng độc nhất một vật liệu và chỉ cần thay đổi kích thước. Đèn LED rất khó phát ra ánh sáng xanh và nhất là ánh sáng trắng. Đèn phát huỳnh quang hạt nano cũng vượt qua trở ngại này. Các nhà khoa học tại Sandia National Laboratories thuộc Bộ

Năng lượng Mỹ (Department of Energy) đã chế tạo thành công đèn huỳnh quang phát ánh sáng trắng bằng cách trộn hạt nano có đường kính khác nhau phát ra ánh sáng đỏ, xanh lá cây, xanh. Tổng hợp ba loại màu này sẽ cho ra ánh sáng trắng (Hình 8). Kỹ thuật quan trọng trong quá trình chế tạo đèn huỳnh quang hạt nano là cần phải tránh sự kết tập của hạt nano, vì khi có sự kết tập xảy ra, đường kính gia tăng làm đặc tính nano biến mất và việc điều chỉnh màu sẽ mất hiệu quả. Một thông tin gần đây [11] cho biết ống than nano - một vật liệu thần kỳ và đa năng - khi được cắt thành những ống rất ngắn sẽ trở nên chấm lượng tử phát quang khi được kích hoạt bởi tia tử ngoại do hiệu ứng giếng lượng tử.



Hình 8: Đèn phát huỳnh quang màu xanh (trái) và màu trắng (phải) được chế tạo tại Sandia National Laboratories (Mỹ).

(Nguồn: <http://www.physlink.com/News/071403QuantumDotLED.cfm>)

Đèn huỳnh quang hạt nano phát ánh sáng trắng hiện nay vẫn là một đề tài nghiên cứu quan trọng nhằm tạo ra loại đèn có tuổi thọ cao và ít hao năng lượng [12]. Mặc dù có những ưu điểm vượt trội hơn các loại LED trên thương trường, việc thương mại hóa đèn huỳnh quang hạt nano để tạo ra một sản phẩm đại trà hay chế tạo màn hình TV vẫn còn nhiều khó khăn và tùy thuộc vào cách tổng hợp các hạt nano có kích thước giống nhau và cách hòa lẫn đồng đều vào các vật liệu nền không có sự kết tập ngoài ý muốn.

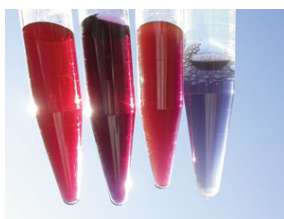
7. Hạt nano kim loại vàng: plasmon và sự phát huỳnh quang

Từ buổi bình minh của lịch sử loài người, vàng có thể nói là bề nổi của một nền văn minh. Hơn 3.000 năm trước, tại Ai Cập và Trung Quốc con người đã ý thức vàng là kim loại quý, đã biết khai thác, gia công vàng tạo ra các đồ trang sức quý giá và được xem như một thể chấp cụ thể dự trữ cho sự phồn thịnh của một triều đại. Giá trị về mỹ thuật hay kinh tế của vàng cho đến ngày hôm nay vẫn không có nhiều thay đổi, nhưng trong nền công nghệ nano hiện đại với những tiềm năng ứng dụng quan trọng của hạt nano vàng trong quang học, quang điện tử và y học, vàng nano có lẽ còn quý giá hơn vàng khối trên quan điểm thực dụng nhằm phụng sự cho

cuộc sống và hạnh phúc con người.

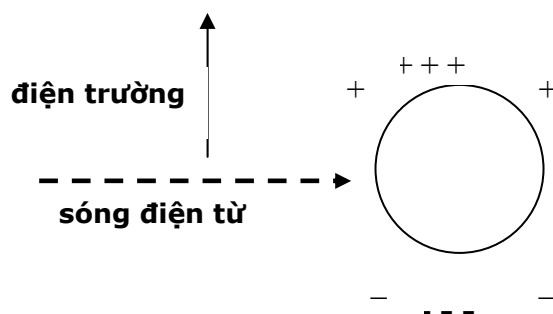
Ở trạng thái khối, trong các áp dụng quang học hay quang điện tử, vàng hữu dụng cho lắm thì chỉ dùng làm gương phản chiếu, kỳ dư xem như là "bỏ đi". Tuy nhiên, vàng nano cho con người một lĩnh vực nghiên cứu và ứng dụng hoàn toàn mới lạ. Khi sóng điện từ tác dụng lên hạt nano vàng, tùy vào kích cỡ của hạt sóng điện từ sẽ (1) có tác dụng sóng tuân theo hiệu ứng "cộng hưởng plasmon" của các điện tử tự do bề mặt và (2) có tác dụng hạt khi kích cỡ của vàng nhỏ hơn 2 nm và sự phát huỳnh quang xảy ra tuân theo quy luật lượng tử như hạt bán dẫn CdSe. Chúng ta hãy tuần tự khảo sát hai trường hợp thú vị này.

Đặc điểm của kim loại là sự hiện hữu dày đặc của những điện tử tự do. Đây cũng là nguyên nhân của sự bóng loáng bề mặt, truyền điện và truyền nhiệt ưu việt của kim loại. Khi kim loại như vàng và bạc ở dạng hạt nano, hạt không còn màu vàng hay bạc "cổ hủ" ở trạng thái khối mà phát ra nhiều màu sắc khác nhau tùy vào kích cỡ và hình dạng (Hình 9). Điều này đi ngược lại những hiểu biết thường thức trong cuộc sống hằng ngày. Hai chiếc nhẫn vàng được nấu chảy và gia công thành một chiếc nhẫn to gấp đôi thì vẫn là chiếc nhẫn màu vàng. Thật ra, màu sắc của hạt nano vàng và bạc từ dung dịch huyền phù đã được người La Mã áp dụng vào thế kỷ 4. Người ta còn pha chế hạt nano vàng với thủy tinh để làm kính màu đỏ "ruby" trang trí cho cửa sổ thánh đường. Mặc dù hạt nano vàng đã được áp dụng hơn 1.700 năm, sự đổi màu của hạt chỉ được làm sáng tỏ vào năm 1908 bởi nhà khoa học Đức, Gustav Mie, qua lời giải dựa trên phương trình sóng điện từ Maxwell cho bài toán về sự hấp thụ và tán xạ của sóng trên bề mặt của các hạt hình cầu. Vì vậy, sự hiển thị màu sắc của hạt nano vàng có đường kính từ vài chục đến vài trăm nanomet không trực tiếp liên quan đến sự lượng tử hóa năng lượng vì sóng điện từ tác động lên những điện tử tự do bề mặt hạt mang đặc tính sóng có cơ bản lý thuyết dựa trên phương trình Maxwell.



Hình 9: Sự thay đổi màu sắc của hạt nano vàng ở các kích thước khác nhau
(Nguồn: Dr. Michael Cortie, University of Technology, Sydney, Australia)

Màu vàng quen thuộc của vàng là sự hấp thụ ánh sáng màu xanh của phổ mặt trời và phát ra màu vàng. Nhưng khi vàng được thu nhỏ cho đến kích cỡ nhỏ hơn bước sóng của vùng ánh sáng thấy được (400 - 700 nm), theo Mie hiện tượng "cộng hưởng plasmon bề mặt" (surface plasmon resonance, SPR) xảy ra. Đây là do tác động của điện trường của sóng điện từ (ánh sáng) vào các điện tử tự do trên bề mặt của hạt nano. Điện trường làm phân cực hạt, dồn điện tử về một phía tạo ra hai vùng, vùng mang điện tích âm và vùng mang điện tích dương (Hình 10). Vì bản chất sóng nên điện trường dao động làm cho sự phân cực bề mặt dao động theo. Sự dao động này được gọi là "plasmon". Đám mây điện tích trên bề mặt hạt cũng sẽ dao động lúc âm lúc dương theo nhịp điệu và cường độ của điện trường. Ở một kích thước và hình dáng thích hợp của hạt nano, độ dao động (tần số) của đám mây điện tích sẽ trùng hợp với độ dao động của một vùng ánh sáng nào đó. Sự cộng hưởng xảy ra và vùng ánh sáng này sẽ bị các hạt nano hấp thụ. Đây là một hiện tượng đặc biệt cho vàng và bạc nhưng không thấy ở các kim loại khác như sắt, bạch kim hay palladium.



Hình 10: Sự phân cực điện tử bề mặt của hạt hình cầu do điện trường của sóng điện từ.

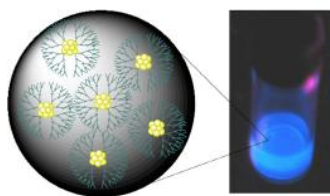
SPR có bước sóng hấp thụ trong khoảng 520 nm (sóng màu xanh) và ít bị ảnh hưởng của kích thước hạt trong phạm vi từ 9 đến 22 nm (Bảng 2). Các hạt nano hấp thụ ánh sáng xanh sẽ hiển thị màu đỏ. Khi nhìn lại kính "ruby" đỏ mà cổ nhân đã chế tạo từ mấy trăm năm trước, ta nhận ra ngay những hạt nano vàng được chế tạo theo phương thức cổ truyền có kích thước 9 - 22 nm. Khi hạt càng lớn thì bước sóng hấp thụ có bước sóng dài hơn và khi đến kích thước 99 nm, hạt hấp thụ sóng màu vàng (bước sóng 575 nm) và hiển thị màu xanh.

Bảng 2: Sự phân cực của điện tử bề mặt do điện trường của sóng điện từ [13].

<i>Đường kính hạt (nm)</i>	<i>Bước sóng hấp thụ (nm)</i>
9	517
15	520
22	521
48	533
99	575

Với một sáng kiến độc đáo, một nhóm nghiên cứu tại Rice University (Mỹ) [14] đã phủ vàng lên hạt nano silica (thủy tinh) tạo nên vỏ nano vàng (nanoshell). Điều chỉnh đường kính hạt silica đến 210 nm và độ dày của vàng làm di chuyển sự hấp thụ sóng điện từ bởi SPR đến vùng tia cận hồng ngoại (bước sóng 800 - 2.200 nm). Phương pháp phủ vàng lên hạt thủy tinh silica tạo ra một vật liệu lai với khả năng hấp thụ sóng bởi SPR về phía vùng phổ của những bước sóng dài hơn vùng hồng ngoại, tiến về sóng terahertz, vi ba, những dải sóng rất quan trọng trong công nghệ truyền thông. Trong dải sóng này, tiềm năng ứng dụng của loại hạt nano lai trong các dụng cụ quang điện tử gần như vô hạn.

Hiệu ứng SPR sẽ biến mất khi vật liệu trở lại trạng thái khối. Khi các hạt **nano vàng tập tích** đến độ lớn micromét, cái màu vàng quyền rũ nguyên thủy của kim loại vàng sẽ xuất hiện trở lại. Ngược lại, hiệu ứng SPR cũng sẽ biến mất khi hạt nano nhỏ hơn 2 nm. Ở thứ nguyên này, ta đi vào thế giới lượng tử. Giống như chấm lượng tử bán dẫn được đề cập bên trên, năng lượng được lượng tử hóa thành các mức rời rạc. Sóng điện từ giờ đây có tác dụng hạt (quang tử). Nhóm của giáo sư Robert Dickson (Georgia Institute of Technology, Mỹ) đã tạo ra những hạt nano (chấm lượng tử) vàng với kích thước thật chính xác chứa 5, 8, 13, 23 và 31 nguyên tử [15]. Đây là những hạt phát huỳnh quang trong đó chùm 31 nguyên tử có đường kính lớn nhất khoảng 1 nm. Những hạt này được xử lý bề mặt để hòa tan được trong nước. Trong dung dịch nước, theo thứ tự kích thước từ nhỏ đến lớn khi được kích hoạt những hạt này có khả năng phát ra tia tử ngoại, ánh sáng xanh, xanh lá cây, đỏ và tia hồng ngoại (Hình 11). So với chấm lượng tử bán dẫn CdSe chứa vài trăm đến hơn 1.000 nguyên tử, chấm lượng tử vàng nhỏ hơn với vài chục nguyên tử và không có độc tính như Cd. Vì vậy, tiềm năng áp dụng trong y học rất lớn.



Hình 11: Sự phát huỳnh quang ánh sáng xanh của hạt nano vàng chứa 8 nguyên tử vàng [15]

8. Giếng lượng tử và tia hồng ngoại

Tia hồng ngoại (hồng: đỏ, ngoại: ngoài) là vùng sóng phía ngoài ánh sáng đỏ, có bước sóng dài hơn ánh sáng đỏ trải dài từ 700 nm đến 14.000 nm ($14\text{ }\mu\text{m}$). Tia hồng ngoại là vùng sóng điện từ vô cùng quan trọng trong các ứng dụng viễn thông, không gian, quốc phòng và dân dụng. Những gì ta gọi là "nhiệt" theo ý nghĩa thông thường phát từ lò sưởi, ly nước nóng, cơ thể con người đều nằm trong vùng sóng hồng ngoại. Mặc dù tia hồng ngoại có băng tần dải rộng (broadband), nhưng phần lớn bị bầu không khí hấp thụ chỉ chứa lại những "cửa sổ", tức là những vùng sóng tia hồng ngoại không bị hấp thụ, đặc biệt là vùng sóng 3 - $5\text{ }\mu\text{m}$ và 8 - $14\text{ }\mu\text{m}$. Hai vùng này theo định luật bức xạ Planck tương đương một vật phát nhiệt có nhiệt độ 300 - 600°C (3 - $5\text{ }\mu\text{m}$) và 30 - 40°C (8 - $14\text{ }\mu\text{m}$). Một cách ngẫu nhiên, đây cũng là vùng nhiệt độ của động cơ nổ hay động cơ phản lực và nhiệt độ con người. Vì vậy, trong những dụng cụ cảm biến với tia hồng ngoại (infrared detector/sensor) người ta thiết kế vật liệu có thể hấp thụ hai vùng sóng này.

Công nghệ tia hồng ngoại đã đạt đến mức độ trưởng thành và đã sản xuất những dụng cụ và thiết bị quan trọng. Bộ cảm biến hồng ngoại là một bộ phận trung tâm của tên lửa tìm nhiệt dùng để truy lùng những nguồn nhiệt từ máy bay và tàu chiến đối phương, điều khiển tên lửa phá tung mục tiêu. Bộ cảm biến viễn hồng ngoại (bước sóng 8 - $12\text{ }\mu\text{m}$) là một trong những thiết bị quan trọng trong các vệ tinh dùng để quan sát mặt đất cho mục đích quân sự và dân sự. Một trong những dụng cụ quan trọng khác là máy ảnh hồng ngoại chọc thủng màn đêm, xuyên qua bụi rậm chụp những bức ảnh do sự khác biệt nhiệt độ giữa mục tiêu chụp và môi trường xung quanh (Hình 12). Thiết bị này được gắn vào ống nhòm hoặc kính cá nhân (goggle) xé toạc bóng tối phát hiện dễ dàng những kẻ đi ngang về tắt, thích chui vào bụi làm những chuyện mờ ám linh tinh!



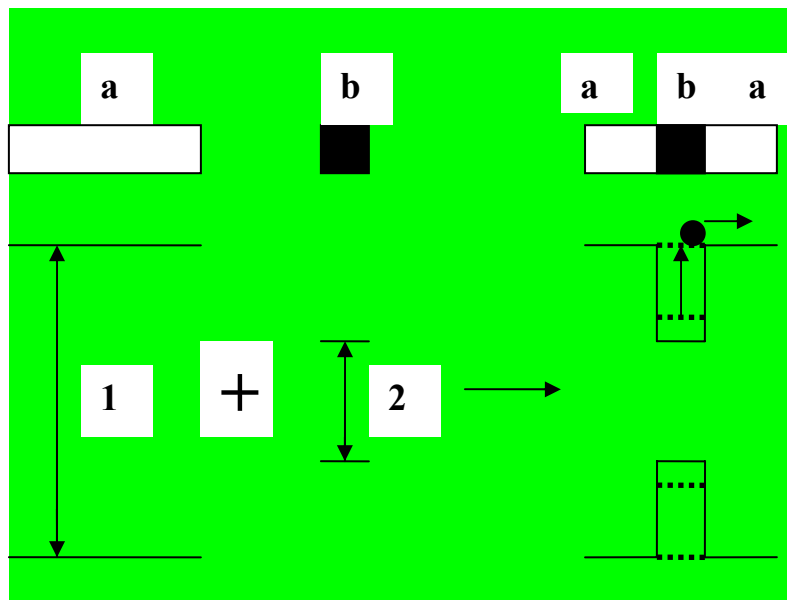
Hình 12: Hai người lính trong bụi rậm với màn đêm dày đặc hiện ra trong máy ảnh hồng ngoại (Nguồn: Wikipedia)

Mặc dù nền công nghệ hồng ngoại đã trưởng thành, nhưng chế tạo những vật liệu cảm ứng hồng ngoại ở những bước sóng nhất định với độ nhạy cao vẫn là những thử thách lớn trong vật liệu học. Những vật liệu cảm thụ tia hồng ngoại thường là silicon hay là các hợp chất bán dẫn như PtSi, InSb, InGaAs, HgCdTe. Gần đây, vật liệu hữu cơ như ống than nano và polymer dẫn điện được khảo sát cũng cho thấy sự cảm ứng đối với tia hồng ngoại. Khi quang tử hồng ngoại kích hoạt điện tử của vật liệu, dòng điện xuất hiện và qua cường độ dòng điện sự khác biệt nhiệt độ của mục tiêu được ghi nhận thành hình ảnh. Nguyên tắc này cũng giống như máy ảnh kỹ thuật số thông thường trong đó sự xuất hiện dòng điện là do cảm ứng với ánh sáng thấy được.

Từ thập niên 80 của thế kỷ trước, các nhà khoa học đã ghi nhận khả năng hấp thụ tia hồng ngoại xảy ra tại các bậc năng lượng của giếng lượng tử. Cơ quan NASA và Jet Propulsion Laboratories (California Institute of Technology, Mỹ) từ hai thập niên qua đã đầu tư vào chương trình nghiên cứu "bộ cảm ứng hồng ngoại giếng lượng tử" (quantum well infrared photodetector, QWIP) và chế tạo máy ảnh QWIP cho vệ tinh và cho những trang bị theo dõi tên lửa đạn đạo [16]. QWIP là chương trình nghiên cứu cơ mật quốc gia của Mỹ và chỉ mới được giải mật vào năm 1997. Nhu cầu chế tạo những "thiên lý nhãn" dùng trong các vệ tinh ngoài không gian để quan sát quả địa cầu cho việc tiên đoán thời tiết, tìm kiếm quặng mỏ, trinh sát quân sự đòi hỏi những vật liệu có thể cảm ứng tia viễn hồng ngoại với bước sóng rất dài ($> 12 \mu\text{m}$). Ở những bước sóng dài năng lượng càng nhỏ ($E = h\nu = hc/\lambda$) và cái giếng lượng tử của phương trình sóng Schrödinger trở thành một nền tảng cơ bản trong việc thiết kế vật liệu để đáp ứng nhu cầu này.

Vật liệu tiêu biểu của QWIP là hợp chất bán dẫn GaAs và AlGaAs. GaAs là một lớp mỏng nanomet được kẹp giữa hai lớp AlGaAs. AlGaAs có khe dải năng lượng to hơn GaAs, nên khi kết hợp lại với nhau giếng lượng tử GaAs

với đường kính vài nanomet sẽ được thành hình (Hình 13). Kích thước của giếng GaAs được thiết kế sao cho điện tử trong giếng được quang tử hồng ngoại kích hoạt lên bậc năng lượng cao hơn nhảy thoát ra khỏi miệng giếng trở thành dòng điện (Hình 13). Chiều cao giếng được điều chỉnh bởi nồng độ nhôm trong hợp chất AlGaAs và khoảng cách giữa các bậc năng lượng bởi đường kính giếng (công thức 5, Phụ lục). Giống như trường hợp sự phát huỳnh quang của chấm lượng tử, ta dùng một vật liệu giống nhau chỉ cần điều chỉnh đường kính và chiều cao nano của giếng, QWIP có thể bao trùm toàn thể vùng hồng ngoại, cảm ứng những vùng sóng từ cận hồng ngoại ($1 - 3 \mu\text{m}$) đến viễn hồng ngoại ($8 - 12 \mu\text{m}$), cực viễn hồng ngoại ($> 12 \mu\text{m}$). Các nhà vật liệu học đi xa hơn, thiết kế các loại giếng lượng tử có thể cảm nhận quang tử ở vùng sóng có bước sóng dài hơn nữa tiến đến vùng sóng terahertz (bước sóng $30 - 3000 \mu\text{m}$, năng lượng mili eV) có nhiều áp dụng trong y học và việc chống khủng bố, rà soát vũ khí hay bom mìn trong người.



Hình 13: Cơ chế của QWIP. Điện tử (●) được kích hoạt trong giếng lượng tử nhảy ra ngoài trở thành dòng điện. (a): AlGaAs; (b): GaAs; (1) (2): Khe dải năng lượng; (...): Bậc năng lượng trong giếng do sự lượng tử hóa.

Những tiến bộ trong cách tạo hình chấm lượng tử bán dẫn trong công nghệ nano đưa đến việc áp dụng chấm lượng tử trong bộ cảm ứng hồng ngoại (quantum dot infrared detector, QDIP). Những năm gần đây, rất nhiều kết quả của các công trình QDIP đã được công bố trên các tạp chí

chuyên ngành [17]. Theo lý thuyết QDIP có độ nhạy cao hơn QWIP và các hợp chất bán dẫn cảm ứng ở vùng viễn hồng ngoại, nhưng chúng cần thời gian cho sự nghiên cứu để trở thành các sản phẩm điện tử và quang điện tử hữu dụng.

Chỉ trong vòng 20 năm QWIP đã có những bứt phá kỹ thuật và trở thành một bộ môn quan trọng trong công nghệ bán dẫn. Lý thuyết về QWIP đã được viết thành sách [18-19], và những phương thức trong công nghệ nano tạo ra vật liệu nano với độ chính xác cấp nanomet sẽ cho ta những dụng cụ hồng ngoại, terahertz thỏa mãn độ nhạy và chức năng cao trong một tương lai không xa.

9. Tiềm năng ứng dụng

Ngoài sự phát quang, việc chuyển hoá năng lượng mặt trời thành điện năng là một ứng dụng quan trọng khác của chấm lượng tử với hiệu suất kinh ngạc 300%, vượt trội hơn tất cả vật liệu được biết từ trước đến nay (hiệu suất của pin mặt trời silicon trên thương trường chỉ có 15%) [20]. Vật liệu nano còn có một ứng dụng nổi bật là trị liệu, chẩn đoán bệnh, tải thuốc đến tế bào bệnh và các áp dụng khác trong nghiên cứu y sinh học. Sự phát sáng huỳnh quang không ngừng ở việc tạo các loại bóng đèn nhiều màu sắc. Chấm lượng tử (hạt nano) được "gắn" vào các phân tử sinh học trong tế bào. Dưới sự kích hoạt của tia tử ngoại, chấm lượng tử phát quang giống như cây thông Christmas trong tế bào, giúp ta phân biệt phân tử ta muốn quan sát với các phân tử xung quanh. Các nhà khoa học tận dụng hiệu ứng cộng hưởng plasmon của hạt nano vàng tạo ra bộ cảm ứng sinh học và sự phát huỳnh quang trong việc trị liệu ung thư. "Thiên lý nhân" QWIP bao trùm cả vùng hồng ngoại và sóng terahertz là một loại thiết bị cảm ứng đa năng, khi áp dụng cho thiên văn có khả năng "nhìn" thấy những hành tinh lạnh chơi vơi trong vũ trụ, hay gần gũi hơn nhìn địa cầu từ vệ tinh, và khi hướng vào cơ thể con người QWIP giúp y sĩ định vị khối u ung thư, gia tăng sự chính xác cho quá trình phẫu thuật.

Tất cả những tiềm năng ứng dụng nhiều hứa hẹn này nằm ngoài khuôn khổ bài viết và sẽ được đề cập ở một cơ hội khác.

10. Thượng đế chơi trò đổ xí ngầu

Mặc dù Einstein là người "đã thấy rõ hơn ai hết trước ông nền tảng xác suất của các định luật vật lý, và ông là người tiên phong trong cuộc chiến đấu chinh phục sự hoang dã của các hiện tượng lượng tử" (Max Born) [21], nhưng cuối cùng Einstein không tin vào tính xác suất như nền tảng của thế giới vi mô. Cho

đến ngày ông qua đời, Einstein không tin cơ học lượng tử là một lý thuyết hoàn chỉnh. Ông đã hoài nghi nguyên lý bất định Heisenberg rồi sau đó phải công nhận nó, nhưng vẫn bất đồng ý kiến với Bohr về thế giới quan lượng tử, được diễn tả qua câu nói "*Thượng đế không chơi trò đồ xí ngầu*" (God does not play dice). Câu nói đã là một ám ảnh lớn của các nhà khoa học nhiều thập niên liền, làm cho nhiều trí tuệ lớn trong vật lý phải ngập ngừng, bối rối. Nhưng định lý Bell (1964) và các kiểm tra thực nghiệm nối tiếp sau đó đã chứng minh rằng Thượng đế quả thật đã chơi trò đồ xí ngầu [21]. Và Thượng đế chơi trò này rất giỏi vì ngày hôm nay biết bao ứng dụng điện tử, quang điện tử hữu ích cho con người đã xuất hiện nhờ vào tính chất xác suất của thế giới lượng tử.

Bước vào thế kỷ 21, cơ học lượng tử không còn mang màu sắc huyền bí của triết học hay chỉ là một cuộc chơi toán học cao cấp chỉ thỏa mãn tính hiếu kỳ hàn lâm, mà nó đã được khoác lên chiếc áo thực dụng với những áp dụng quan trọng trong tin học lượng tử (quantum information) và công nghệ nano. Như trong bài viết này đã trình bày, sự thu nhỏ của vật liệu đến cấp nanomet đã cho thấy rõ sự chi phối lượng tử, tạo ra những bậc năng lượng rời rạc. Chỉ cần những quy luật cơ bản nhất trong cơ học lượng tử cũng đủ để cho ra những ứng dụng cực kỳ mới lạ qua sự tác động của sóng điện từ trên các vật liệu nano trải rộng từ sóng terahertz, viễn hồng ngoại cho đến vùng ánh sáng thấy được, tia tử ngoại, bao trùm một vùng to lớn của sóng điện từ với bước sóng kéo dài từ vài ngàn micromet đến vài trăm nanomet. Điều này phản ánh sự thành công lớn của cảm ứng hồng ngoại trong nền công nghiệp bán dẫn hiện đại.

Vật liệu nano trở thành một sân chơi để cơ học lượng tử thao túng và khẳng định tiềm năng áp dụng của mình. Cơ học lượng tử cũng là ánh đuốc dẫn đường định hướng việc chế tạo những vật liệu nano mới cho các ứng dụng tương lai trong điện tử, quang điện tử và quang tử học. Tinh thể nano, hạt nano, ống nano, que nano của các chất hữu cơ, oxide kim loại hay bán dẫn vô cơ với nhiều hình dạng và kích thước khác nhau, lần lượt xuất hiện trong các phòng thí nghiệm trên thế giới. Đèn LED, đèn huỳnh quang hạt nano cho những tiềm năng ứng dụng vô cùng phong phú của công nghệ "xanh" theo tiêu chuẩn ít tiêu hao năng lượng, giảm thiểu ô nhiễm và gìn giữ môi sinh. Lượng tử và nano cũng là bàn tay êm dịu của người hiền mẫu. Chúng là cột sống của những áp dụng y khoa hiện đại càng lúc càng đem đến nhiều thành quả bất ngờ trong việc định vị, kết hợp, cảm ứng với phân

tử sinh học, tải thuốc, phát hiện tế bào ung thư cho việc trị liệu và phẫu thuật.

Khi những công trình nghiên cứu thuần lý của cơ học lượng tử được kết hợp với cấu trúc thực dụng của nền công nghệ nano, nhiều ý tưởng mới sẽ nảy sinh, nâng cao lý luận vật lý vượt ra ngoài phạm vi hiện có, cũng như tạo ra nhiều cơ hội cho các nghiên cứu đa ngành để hình thành các loại vật liệu mới với những ứng dụng siêu việt cho cuộc sống đời thường. Có thể khẳng định rằng những điều này sẽ không xảy ra nếu không có hằng số Planck; một hằng số khiêm tốn có một trị số rất nhỏ nhưng ảnh hưởng thật là vĩ đại. Nó mang tính phổ quát bao trùm vũ trụ, ngự trị thế giới của vật chất cực nhỏ đến thế giới của vô số các thiên hà bao la, làm thay đổi sự hiểu biết về vũ trụ, và tiếp tục phong phú hóa cuộc sống con người trên quả địa cầu nhỏ bé này.

Tháng 8, 2008

Cuối Đông Nam bán cầu

Phụ lục: Bài toán chấm lượng tử và giếng lượng tử của phương trình sóng Schrödinger:

Chi tiết về phương trình sóng Schrödinger có thể tìm thấy ở các sách giáo khoa hóa lý của năm thứ nhất đại học. Ở đây, lời giải về các bậc năng lượng của giếng lượng tử sẽ được trình bày. Phương trình sóng Schrödinger là một phương trình vi phân, cho trường hợp một thứ nguyên x , được viết như sau,

$$(-\hbar^2/8\pi^2m)(d^2\psi/dx^2) = E\psi \quad (1)$$

$\hbar$ là hằng số Planck ($6,626 \times 10^{-34}$ J.s), m là khối lượng điện tử, E là các bậc năng lượng điện tử, ψ là hàm số sóng. Lời giải của phương trình (1) cho giếng hay chấm lượng tử có đường kính a là,

$$\psi = A \sin(n\pi x/a) \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

A là một hằng số, n là số thứ tự của các bậc năng lượng (Hình P1)

Thay công thức (2) vào (1), ta có

$$E = n^2\hbar^2/8ma^2 \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

Khi $n=1$ ta có

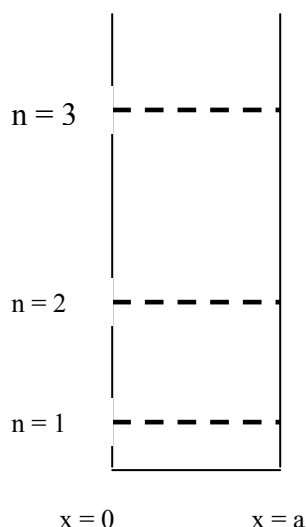
$$E_1 = E_{\text{quantum}} = \hbar^2/8ma^2 \quad (4)$$

Độ sai biệt năng lượng giữa bậc $n=1$ và $n=2$ là

$$E_2 - E_1 = 3\hbar^2/8ma^2 \quad (5)$$

Kết quả trên cho ta thấy hằng số Planck, $\hbar$, chi phối trị số năng lượng và

sai biệt giữa các mức năng lượng (công thức 4 và 5). Vì hằng số Planck rất nhỏ, theo công thức trên đối với những vật có ở kích thước vĩ mô, trung mô (m, cm, mm, μm), các trị số này gần như zero. Vì vậy, dải năng lượng cho ta cảm giác gần như liên tục. Tuy nhiên, khi a ở thứ nguyên nanomet như trong trường hợp giếng lượng tử hay chấm lượng tử độ sai biệt giữa các bậc năng lượng tăng lên đáng kể và không thể xem như là zero nữa. Các bậc năng lượng trở nên rời rạc, ta gọi đây là sự lượng tử hóa năng lượng.



Hình P1: Các bậc năng lượng điện tử của chấm lượng tử hay giếng lượng tử có đường kính a

Tài liệu tham khảo và chú thích:

1. Để một điện tử di chuyển trong điện áp 1 volt, ta cần năng lượng 1 electron-volt (eV) ($E = 1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$). Vận tốc v được tính từ $E = 1/2 (mv^2)$, $v = 5,93 \times 10^5 \text{ m/s}$. Khối lượng m của electron là $9,1 \times 10^{-28} \text{ g}$. Từ công thức de Broglie, $\lambda = h/mv$, $\lambda = 1,2 \times 10^{-9} \text{ m}$.
2. Một cú vót sẽ làm trái banh golf (khối lượng $m = 45 \text{ g}$) bay với vận tốc 30 m/s. Dùng công thức de Broglie, bước sóng của trái banh golf là $4,9 \times 10^{-34} \text{ m}$. Đây là con số cực kỳ nhỏ và vô nghĩa.
3. Matthieu Ricards and Trinh Xuan Thuan, "The quantum and the lotus", *Three Rivers Press*, New York, 2001.
4. M. Arndt, K. Hornberger and A. Zeilinger, *Physics World*, March 2005, pp.35.
5. J. Park, J. Joo, S.G. Kwon, Y. Jang and T. Hyeon, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **46** (2007) 4630.

6. M.B. Cortie, *Gold Bulletin*, **37** (2004) 1.
7. K.S. Suslick, M. Fang, T. Hyeon, *J. Am. Chem. Soc.*, **118** (1996) 11960.
8. W. Eberhart, *Surface Science*, **500** (2002) 242.
9. Trương Văn Tân, *Vật liệu tiên tiến: từ polymer dẫn điện đến ống than nano*, Nxb Trẻ, TP HCM, 2008.
10. B.O. Dabbousi, J. Rodriguez - Viejo, F.V. Mikulec, J.R. Heine, H. Mattoussi, R. Ober, K.F. Jensen and M.G. Bawendi, *J. Phys. Chem. B*, **101** (1997) 9463.
11. *Photonics Spectra*, June 2008, pp.98.
12. H.S. Jang, H. Yang, S.W. Kim, J.Y. Han, S.G. Lee and D.Y. Jeon, *Adv. Mater*, **20** (2008) 2696.
13. M.-C. Daniel and D. Astruc, *Chem. Rev.*, **104** (2004) 293.
14. S.J. Odenburg, J.B. Jacson, S.L. Westcott and N.J. Halas, *Appl. Phys. Lett.*, **75** (1999) 2897.
15. J. Zheng, C. Zhang, R.M. Dickson, *Phys. Rev. Lett.*, **93** (2004) 077402-1.
16. S.D. Gunapala et al, *Infrared Phys. & Tech.*, **42** (2001) 267.
17. J. Jiang et al, *Appl. Phys.Lett.*, **84** (2004) 2166.
18. K.K. Choi, *The physics of quantum well infrared photodetectors*, World Scientific, London, 1997.
19. H. Schneider and H.C. Liu, *Quantum well infrared photodetectors*, Springer, Berlin New York, 2007.
20. R.J. Ellingson, M.C. Beard, J.C. Johnson, P. Yu, O.I. Micic, A.J. Nozik, A. Shabaev and A.L. Efros, *Nano Lett.*, **5** (2005) 865.
21. Nguyễn Xuân Xanh, *Einstein*, Chương 7, Nxb Tổng hợp TP HCM, 2007.

NGUYỄN TRỌNG ANH*

HÓA HỌC HỮU CƠ VÀ CƠ HỌC LƯỢNG TỬ: PHƯƠNG PHÁP ORBITAL BIÊN

Abstract. This paper relates how experimental organic chemists were forced, in the second half of the 20th century, to take quantum theory into account in their everyday thinking. It also introduces the *frontier orbital approximation* - probably the most useful qualitative approach for obtaining general predictions - and succinctly discusses its scope and limitations.

Một nhà hóa học hữu cơ phải luôn giải quyết ba vấn đề chính:

1. Xác định cấu trúc của hợp chất mới.
2. Hiểu được cơ chế phản ứng: chuyện gì xảy ra khi tác nhân A và B tương tác với nhau dưới một điều kiện thực nghiệm cụ thể (dung môi, nồng độ, nhiệt độ, xúc tác,...)?
3. Tổng hợp một hợp chất cụ thể. Khi lập kế hoạch tổng hợp một hợp chất phức tạp, ta cần phải hiểu rõ cơ chế của phản ứng. Trong quá trình tổng hợp, cấu trúc của tất cả các hợp chất chuyển tiếp phải được xác định. Nếu việc xác định cấu trúc và cơ chế phản ứng phụ thuộc lý thuyết lượng tử thì tổng hợp hữu cơ cũng vậy.

Về vấn đề thứ nhất, có thể nói rằng vào khoảng 1950-1960, xác định được cấu trúc của một chất sesquiterpene (15 nguyên tử cacbon) là đủ thành một luận án tiến sĩ. Như thế không phải là quá đáng bởi vì xác định cấu trúc thời đó chỉ dùng phương pháp hóa học thuần túy. Làm như vậy phải đến 4 - 5 năm mới xong, và tiêu thụ hết khoảng 100g hợp chất. Cuối thế kỉ 20, chỉ cần tốn vài milligram hợp chất chưa biết là ta có thể xác định được cấu trúc hóa học của nó một cách dễ dàng trong một buổi chiều bằng các phương

* Research Director at Centre National de la Recherche Scientifique (ret.) and Professor at the École Polytechnique, France (ret.) n.t.anh@orange.fr.

pháp vật lý, điển hình như phổ khối, phổ cộng hưởng từ hạt nhân và phổ hồng ngoại... Hơn nữa những phép phân tích vật lý này (ngoại trừ phổ khối) đều không phá hủy hợp chất nên chất phân tích có thể lấy lại được. Trong bài viết này, do hạn chế về độ dài, chúng tôi không bàn thêm về vấn đề thứ nhất và chỉ cần nói rằng không có vật lý lượng tử thì không thể hiểu được các phương pháp phổ.

Bây giờ chúng ta hãy nói đến vấn đề cơ chế phản ứng. Nhớ lại rằng hóa học nghiên cứu nguyên tử và phân tử, đó là những hạt vi mô. Tính chất và hoạt động của chúng đều theo luật của cơ học lượng tử. Ví dụ, vật lý cổ điển không thể giải thích được liên kết cộng hóa trị.¹ Cặp electron, một khái niệm rất quan trọng để hiểu được hóa học (bản chất liên kết hóa học), là hệ quả của nguyên lý loại trừ Pauli.

Những thí dụ trước tỏ rõ là muốn hiểu được hóa học một cách sâu sắc cần phải dùng vật lý lượng tử. Tuy nhiên, đến tận những năm 1960-65, các nhà hóa học vẫn giải thích phản ứng hữu cơ bằng vật lý cổ điển, cộng thêm một vài khái niệm của vật lý lượng tử. Bởi vì phương trình Schrödinger không thể giải bằng phương pháp giải tích, các tính toán hóa học lượng tử khá phức tạp và tốn thời gian.² Vì thế các nhà hóa học thực nghiệm không thể tự thực hiện các tính toán hóa học lượng tử trước khi xuất hiện máy tính mạnh và nhanh, và các phần mềm để sử dụng (~1970). Hơn nữa, nửa đầu thế kỉ 20, hóa học gốc tự do tương đối kém phát triển, mà nghiên cứu về phản ứng của ion thường được giải thích bằng hai yếu tố:

1. Tương tác tĩnh điện: điện tích trái dấu thì hút nhau, và cùng dấu thì

¹ Nếu hai nguyên tử liên kết với nhau thì phải có một lực hút giữ hai nguyên tử đó duy trì ở một khoảng cách xác định. Lực hút Newton thì quá nhỏ, không thể giải thích cho độ bền của các liên kết hóa học. Lực Coulomb đòi hỏi các nguyên tử phải có điện tích trái dấu nên không thể giải thích sự tồn tại liên kết giữa các nguyên tử cùng loại (như H-H, C-C, ...).

² Có hai phương pháp gần đúng được đưa ra vào khoảng 1930 để thực hiện những phép tính hóa học lượng tử: phương pháp liên kết hóa trị (Valence Bond - VB) và phương pháp orbital phân tử (Molecular Orbital - MO). Phương pháp VB đã lập tức được hoan nghênh, và người ta thường dùng VB dưới dạng đơn giản hóa là thuyết cộng hưởng (xem phần trong ô). Thuyết cộng hưởng có lợi là vẫn giữ cấu trúc Lewis. Phương pháp VB coi phân tử như một tập hợp các nguyên tử kết hợp với nhau bằng các liên kết cục bộ. Electron chiếm các *orbital nguyên tử* và sự xen phủ của chúng tạo thành các liên kết cục bộ. Ngược lại, trong thuyết MO, electron không thuộc một liên kết hay nguyên tử cụ thể nào. Chúng chiếm orbital phân tử, là những orbital chứa đựng toàn bộ khung phân tử. Hiện nay, phương pháp này được các nhà lý thuyết cũng như thực nghiệm sử dụng phổ biến nhất.

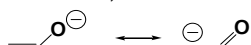
đẩy nhau;

2. Tương tác không gian: hai khối cứng không thể chiếm cùng một không gian tại cùng một thời điểm. Hay nói cách khác, phản ứng thường xảy ra ở vị trí ít bị che khuất không gian hơn.

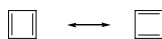
Hai tương tác này đều là vật lý cổ điển. Vì dùng nó không đủ để giải thích tất cả các kết quả hóa học thực nghiệm, người ta phải cộng thêm vào đó một vài khái niệm nguồn gốc ở lượng tử như: cộng hóa trị, tính thơm, lai hóa, cộng hưởng,...

Phương pháp cộng hưởng

Phương pháp này là một phiên bản định lượng (không hoàn toàn đúng!) của thuyết Liên kết hóa trị. Thường thường, mỗi hợp chất hóa học chỉ có *một* công thức Lewis. Tuy nhiên, có những hợp chất hóa học đặc biệt như benzene có nhiều công thức Lewis, nhưng trong đó không có công thức nào biểu diễn được một cách thỏa đáng cấu trúc của nó. Vì thế cấu trúc của hợp chất đó phải mô tả là “sự cộng hưởng” (nghĩa là kết hợp) của tất cả các công thức Lewis có thể viết được. Phương pháp này khá phổ biến đối với các nhà hóa học hữu cơ thực nghiệm vì nó dễ sử dụng và cho ta dự đoán đúng trong khá nhiều trường hợp. Ví dụ, một enolate $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{O}^-$ có thể được viết là “cộng hưởng” (kí hiệu bằng mũi tên hai chiều) của hai cấu trúc sau:

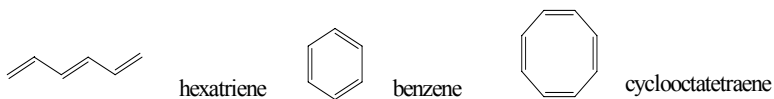


Viết như thế có nghĩa rằng điện tích âm không chỉ tập trung trên nguyên tử oxygen mà phân bố trên cả oxygen và carbon. Chứng tỏ là nhận định đó đúng: nhiều tác nhân ái electron ưu tiên tấn công vào enolate ở vị trí nguyên tử carbon. Tuy nhiên, khác với phương pháp Orbital biên, phương pháp cộng hưởng không thể giải thích được tác nhân nào sẽ tấn công vào C, tác nhân nào tấn công vào O. Một nhược điểm khác của phương pháp cộng hưởng là nó cho rằng bất cứ một cộng hưởng nào cũng tăng hệ bền. Ví dụ, cyclobutadiene là sự cộng hưởng của 2 cấu trúc:



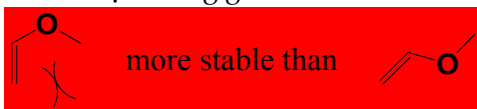
Vì thế, theo phương pháp cộng hưởng phân tử này bền. Nhưng chỉ cần tính theo phương pháp MO đơn giản nhất cũng có thể dự đoán rằng nó không bền. Về phương diện lịch sử, khi cấu trúc vòng Kekule của benzene được chấp nhận (~1870), các nhà hóa học vẫn phân vân không hiểu tính chất đặc biệt của benzene có phải do sự cộng hưởng vòng của 3

liên kết đôi hay không. Thực vậy, hexatriene, một hợp chất mở có 3 liên kết đôi liên hợp, có phản ứng cộng nhưng không có phản ứng thế. Ngược lại, benzene có phản ứng thế nhưng không có phản ứng cộng. Để kiểm tra giả thuyết “liên hợp vòng”, các nhà hóa học cố gắng tổng hợp các “đồng đẳng” của benzene để xem liệu chúng có tính chất đặc biệt như thế hay không. Một đồng đẳng cao hơn, cyclooctatetraene, được tổng hợp năm 1908 và có khả năng phản ứng tương tự hexatriene. Đồng đẳng thấp hơn, cyclobutadiene, kém bền đến mức không thể tổng hợp được, mặc dù đã trải qua rất nhiều cố gắng từ những năm 1870 đến 1959. Cho đến năm 1930, những kết quả đó mới được E. Hückel giải thích. Hückel chứng minh rằng hệ liên hợp vòng có $4n+2$ electron (như benzene) có tính thơm, nghĩa là chúng có một độ bền đặc biệt và thực hiện phản ứng thế thay vì phản ứng cộng. Mặt khác, hệ liên hợp vòng có $4n$ electron, như cyclobutadiene và cyclooctatetraene, không thơm và phản ứng như các hợp chất mở vòng, butadiene và octatetraene.

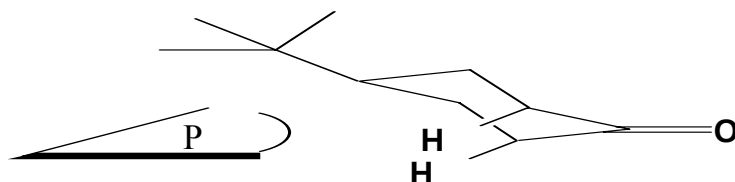


Năm 1956, hai nhà lý thuyết, H. C. Longuet-Higgins và L. E. Orgel, dự đoán rằng cyclobutadiene có thể được làm bền bởi kim loại chuyển tiếp, và ba năm sau phức đầu tiên của cyclobutadiene với kim loại chuyển tiếp được tổng hợp.

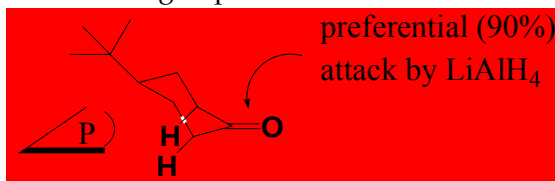
Thuyết này có thể giải thích khá thỏa đáng nhiều phản ứng ion, và vì thế đã được chấp nhận mặc dù thiếu tính thống nhất. Tuy vậy, khi áp dụng thuyết này vẫn còn gặp nhiều ngoại lệ. Ví dụ, *cis*-methylvinylether, mặc dù bị chặn về mặt không gian vẫn bền hơn *trans*-methylvinylether:



Một ví dụ nổi bật hơn là *t*-butylcyclohexanone. Nếu vẽ phân tử này với nhóm chức ketone trong mặt phẳng nằm ngang như sau:



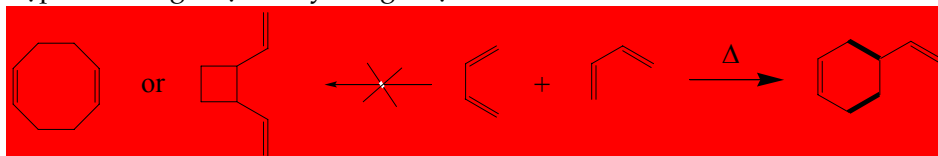
Mặt phẳng P định nghĩa hai nửa không gian. Chỉ có 2 nguyên tử H nằm ở không gian bên dưới. Tất cả các nguyên tử còn lại hoặc nằm trên mặt phẳng P hoặc trong không gian phía trên, sự tiếp cận của tác nhân từ phía này vì thế bị chắn không gian. Nhưng khi chất này bị khử bởi LiAlH_4 , 90% tác nhân tấn công từ phía trên!



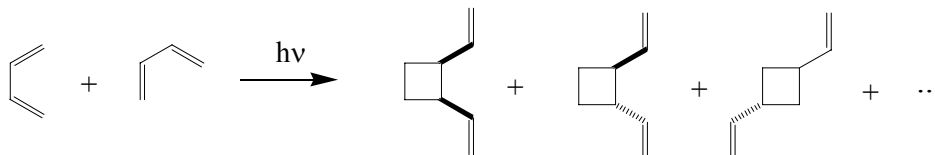
Cũng không thiếu thí dụ chứng tỏ sự bất đồng với nguyên tắc tương tác tĩnh điện. Ví dụ, acrolein khi đun nóng sẽ dimer-hóa thành một hợp chất vòng 6 cạnh trong đó có các liên kết mới (vạch in đậm trên hình vẽ) nối các nguyên tử mang điện tích cùng dấu:



Tệ hơn nữa là trường hợp butadiene. Khi đun nóng, chất này dimer-hóa thành một hợp chất vòng 6 cạnh, vinylcyclohexene. Không tìm thấy hợp chất vòng 4 cạnh hay vòng 8 cạnh:



Tuy nhiên, khi butadiene bị bức xạ bởi tia cực tím sẽ tạo thành các hợp chất vòng 4 cạnh. Không có hợp chất vòng 6 cạnh nào được tìm thấy:



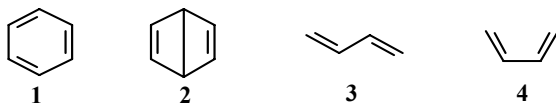
Người ta cũng có thể đặt câu hỏi tại sao butadiene có thể dimer-hóa được: đó là một phân tử trung hòa về điện và không có lý do rõ ràng nào để

tiến tới và phản ứng với một phân tử giống nó. Các nhà hóa học hữu cơ đã công nhận là bối rối đến mức họ gọi đùa những phản ứng cộng vòng này và một số phản ứng khó hiểu khác là những “phản ứng không cơ chế”!

*

* *

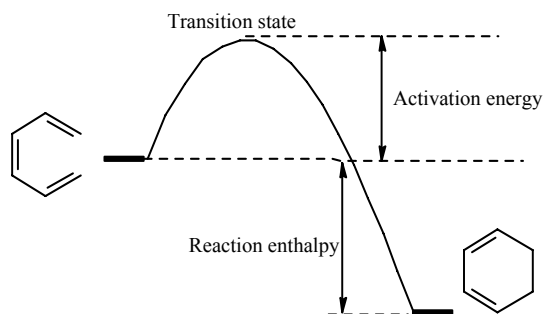
Những hiện tượng không thể giải thích được này đã chứng tỏ rõ ràng sự thất bại của vật lý cổ điển trong hóa học. Nhưng các nhà hóa học vẫn không sẵn sàng bắt tay vào các tính toán hóa học lượng tử vì quá khó khăn. Tuy nhiên, vào những năm 1940 và đầu 1950, vài nhà nghiên cứu lý thuyết, như C. A. Coulson, H. C. Longuet-Higgins và M. J. S. Dewar, đã chỉ ra rằng không cần tính năng lượng tuyệt đối của các hợp chất hóa học. Lý do cơ bản là chỉ có hai vấn đề chính trong hóa học: cấu trúc và khả năng phản ứng của một phản ứng hóa học. Về vấn đề cấu trúc, chúng ta thường chỉ so sánh *năng lượng tương đối* của hai đồng phân (**1** và **2**) hay hai cấu dạng (**3** và **4**). Sự khác nhau về năng lượng của chúng cỡ một vài phần trăm của năng lượng tuyệt đối của hệ. Ví dụ, benzene **1** bền hơn benzene Dewar **2** khoảng 60 kcal.mol⁻¹, tức là ~5% năng lượng phân tử của nó (~1230 kcal.mol⁻¹).¹ Tương tự, *trans*-butadiene **3** bền hơn *cis*-butadiene **4** khoảng 2.7 kcal mol⁻¹, hay ~3% nhiệt hình thành của chúng.



Khả năng phản ứng được quyết định bởi hai đại lượng cơ bản: (1) *năng lượng hoạt hóa* $\Delta E^\ddagger$, là khoảng chênh lệch năng lượng giữa các chất ban đầu và trạng thái chuyển tiếp, và (2) enthalpy phản ứng ΔH , là khoảng chênh lệch năng lượng giữa chất ban đầu và sản phẩm.² Những chênh lệch năng lượng này đều nhỏ. Ví dụ, trong phản ứng đóng vòng hexatriene thành cyclohexadiene, năng lượng của cả hệ là 1300 kcal mol⁻¹, năng lượng hoạt hóa là ~30 kcal mol⁻¹ (2.5%) và enthalpy phản ứng là ~ -50 kcal mol⁻¹ (4%).

¹ Độ bền liên kết σ điển hình là ~ 90 kcal mol⁻¹; và liên kết π là ~ 50 kcal mol⁻¹.

² Hiện tại, chúng ta sẽ bỏ qua sự khác biệt giữa E, H and G.



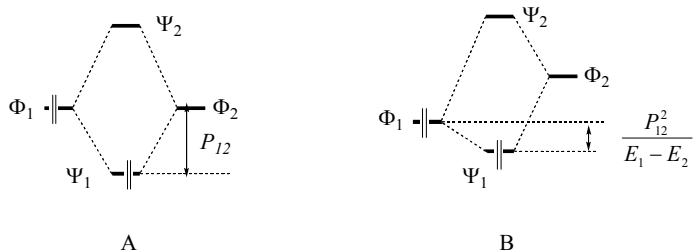
Như vậy, chúng tôi là nhà hóa học thường quan tâm đến khoảng chênh lệch *nhỏ* giữa các năng lượng *lớn*, nên phương pháp vi nhiễu rất hữu ích. Giả sử chúng ta muốn tính năng lượng hoạt hóa của phản ứng đóng vòng hexatriene với mức độ chính xác $\pm 10 \text{ kcal mol}^{-1}$. Nếu tính $\Delta E^\ddagger$ bằng phép trừ (năng lượng tác nhân *trừ* năng lượng trạng thái chuyển tiếp) thì phải tính năng lượng của tác nhân và trạng thái chuyển tiếp ($\sim 1300 \text{ kcal mol}^{-1}$) với độ chính xác $\pm 5 \text{ kcal mol}^{-1}$. Nghĩa là độ chính xác phải là $\pm 0.33\%$, một độ chính xác quá cao, chỉ có thể đạt được với những kỹ thuật tính toán rất phức tạp. Nếu bây giờ ta coi trạng thái chuyển tiếp là một dạng vi nhiễu của hệ ban đầu, ta có thể dùng phương pháp vi nhiễu để tính trực tiếp $\Delta E^\ddagger$. Tính $\Delta E^\ddagger$ (giá trị $= 30 \pm 10 \text{ kcal mol}^{-1}$) với mức độ chính xác $\pm 10 \text{ kcal mol}^{-1}$ nghĩa là nhu cầu độ chính xác bằng phương pháp vi nhiễu khoảng $\pm 33\%$, kém 100 lần nhu cầu độ chính xác tính bằng phép trừ. Phương pháp vi nhiễu có 3 thuận lợi:

1. Không cần nhiều nỗ lực cũng đạt được kết quả có ý nghĩa về mặt hóa học. Phần lớn các vấn đề có thể giải quyết bằng những tính Hückel.
2. Khi xem trạng thái chuyển tiếp như là vi nhiễu của hệ ban đầu, chúng ta có thể khỏi phải tính trạng thái chuyển tiếp, rất khó tính, như tất cả các chất trung gian không bền.
3. Nó chỉ cần rất ít trang thiết bị (như người ta thường nói: một cái bút chì và sau-lưng-một-phong-bì là đủ rồi!) và một ít kiến thức lý thuyết.

Thực tế, chúng ta chỉ cần học hai sơ đồ vi nhiễu sau:

Khi hai phân tử tiến gần nhau thì các orbital phân tử (MO) của chúng tương tác với nhau và chuyển thành MO của các chất sản phẩm. Mỗi cặp MO Φ_1 and Φ_2 của chất phản ứng sẽ tạo thành hai MO, Ψ_1 có năng lượng thấp hơn, và Ψ_2 có năng lượng cao hơn các orbital ban đầu Φ_1 và Φ_2 . Hai orbital Φ_1 and Φ_2 có năng lượng càng gần nhau thì Ψ_1 càng bền. Do vậy độ bền cực đại đạt được khi Φ_1 và Φ_2 suy biến (tức là chúng có cùng năng lượng). Giá trị độ bền lúc đó là: $\langle \Phi_1 | P | \Phi_2 \rangle = P_{12}$, trong đó P là toán tử vi

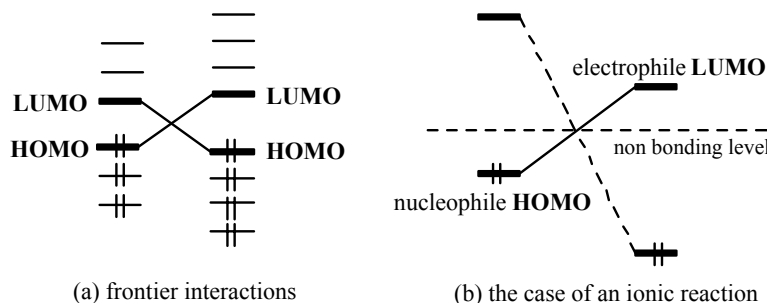
nhiều (xem sơ đồ A ở dưới). Nếu giá trị năng lượng E_1 của Φ_1 khác giá trị năng lượng E_2 của Φ_2 , thì độ bền gần đúng của Ψ_1 là: $\frac{P_{12}^2}{E_1 - E_2}$ (sơ đồ B).



Chú ý rằng mức độ giảm bền của orbital Ψ_2 luôn lớn hơn mức độ tăng bền của orbital Ψ_1 . Tương tác giữa Φ_1 and Φ_2 sẽ càng tạo được độ bền nếu và chỉ nếu orbital Φ_1 đầy và Φ_2 trống. Sau khi tương tác, theo *nguyên lý Aufbau*, hai electron sẽ chiếm orbital có năng lượng thấp nhất, ở đây là Ψ_1 . Năng lượng của chúng sẽ được giảm một lượng là P_{12} hoặc $\frac{P_{12}^2}{E_1 - E_2}$, tùy thuộc vào các orbital ban đầu Φ_1 and Φ_2 có suy biến hay không. Nếu cả hai orbital Φ_1 and Φ_2 đều đầy thì theo nguyên lý Pauli trong hệ sản phẩm, hai electron sẽ chiếm orbital Ψ_1 và hai electron còn lại chiếm orbital Ψ_2 . Vì sự giảm độ bền của Ψ_2 lớn hơn sự tăng độ bền của Ψ_1 , nên cuối cùng hệ sản phẩm kém bền hơn hệ chất ban đầu. Tóm lại, tương tác hai electron giữa một orbital bị chiếm (hay đầy) và một orbital trống thì tạo thành hệ sản phẩm bền, còn tương tác bốn electron giữa hai orbital bị chiếm sẽ tạo thành hệ sản phẩm kém bền.

Mặc dù phép tính vi nhiều đơn giản, nhưng có thể mất khá nhiều thì giờ. Ví dụ, một phản ứng giữa hai phân tử M_1 và M_2 có n_1 và n_2 MO tương ứng. Trong sự gần đúng thứ nhất, cho rằng mỗi MO của M_1 (hoặc M_2) tương tác với tất cả các orbital của M_2 (hoặc M_1), và tất cả các tương tác này độc lập với nhau. Như thế phải giải $n_1 n_2$ bài toán 2-orbital, rất tốn thời gian. Năm 1952, K. Fukui đã dùng một sự gần đúng táo bạo: trong số $n_1 n_2$ tương tác, chỉ có tương tác giữa các MO không bị chiếm (trống) thấp nhất (LUMOs) và MO bị chiếm (đầy) cao nhất (HOMOs) mới có ảnh hưởng đáng kể đến phản ứng. Những MO này được gọi là *orbital biên*, vì chúng đánh dấu vùng biên giới giữa orbital bị chiếm và không bị chiếm. Theo thuyết gần đúng orbital biên (Frontier Orbital - FO), chúng ta chỉ cần xét hai tương tác cho phản ứng giữa các phân tử trung hòa, bất kể kích thước và độ phức tạp của M_1 và M_2 . Phản ứng ion còn đơn giản hơn: chỉ có HOMO của chất ái nhân và LUMO của chất ái electron là quan trọng. Bởi vì một chất ái nhân

(hay bất kì một hợp chất giàu electron nào) sẵn sàng nhường electron nên nó sẽ phản ứng qua HOMO - orbital có năng lượng cao nhất. Ngược lại, một chất ái electron (hay bất kì một chất thiếu electron) dễ dàng nhận electron. Những electron chỉ có thể được đưa vào các orbital trống. Và orbital trống có năng lượng càng thấp thì càng dễ nhận electron. Nên các chất ái electron sẽ phản ứng qua LUMO.



Mặc dù vậy, đến cuối những năm 1960, hóa học hữu cơ lượng tử vẫn còn tương đối kém phát triển. Có lẽ do các nhà thực nghiệm hiểu biết rất ít (hay không biết gì) về hóa học lượng tử. Ngược lại, các nhà lý thuyết lại không tin có thể nghiên cứu các phản ứng phức tạp bằng thuyết vi nhiễu và/hoặc những phương pháp tính lượng tử khá thô sơ có lúc bấy giờ (như phương pháp Hückel, CNDO...). Và họ đặc biệt nghi ngờ cách đơn giản hóa FO của Fukui, một cách đơn giản hóa không có vẻ đúng lý về mặt toán học. Xét ra, tương tác HOMO-LUMO là bậc hai trong P_{12} và những tương tác giữa orbital bị chiếm và không bị chiếm bị bỏ qua cũng có cùng bậc hai. Mỗi tương tác bỏ qua đều nhỏ hơn tương tác biên,¹ nhưng chắc đâu tổng số của chúng không lớn hơn tương tác biên?

Năm 1965, trong một loạt các bài báo lịch sử, R. B. Woodward và R. Hoffmann đã chứng minh rằng tất cả những phản ứng “không cơ chế” đều có thể giải thích được bằng hóa học lượng tử. Họ đã dùng tính Hückel, giản đồ tương quan² và phương pháp FO để tìm ra các quy tắc chọn lọc. Những

¹ Khi hai orbital có hai electron tương tác với nhau, năng lượng các orbital tương tác càng gần, càng được làm bền. Vậy tương tác HOMO-LUMO, xảy ra giữa các orbital gần nhất, sẽ lớn nhất.

² Nếu chúng ta cho rằng một phản ứng hóa học xảy ra dưới ảnh hưởng của các vi nhiễu nhỏ và chậm, thì có thể đi theo sự biến dạng và chuyển dạng liên tục của mỗi MO của tác nhân đến MO của sản phẩm. Những tương quan này có thể tính được và kết quả thu được gọi là *giản đồ tương quan*. Tuy nhiên, nếu phản ứng mà hệ chất luôn luôn đối xứng trong suốt quá trình chuyển dạng thì có thể vẽ được giản đồ tương quan mà không cần

quy tắc này được xác nhận là đúng trong rất nhiều trường hợp. Mặc dù đơn giản hóa của Fukui không có căn cứ, thực nghiệm trong rất nhiều trường hợp từ năm 1965 đều chứng tỏ phương pháp FO gần như bao giờ cũng đúng! Nghịch lý này được Fukui giải thích: *Phương pháp FO chỉ áp dụng cho trạng thái chuyển tiếp, không áp dụng cho chất phản ứng ban đầu*. Thực vậy, khi phản ứng đạt tới trạng thái chuyển tiếp, chỉ có bốn orbital biên trở nên giả suy biến (tương tác orbital biên lúc này là bậc nhất trong P_{12}) và nguyên lượng tất cả các orbital khác đều xa cách nhau (tương tác các orbital này vẫn là bậc hai trong P_{12}). Khi đó bỏ qua các tương tác bậc hai và chỉ giữ lại tương tác biên (bậc nhất) là hợp lý.

Phương pháp FO rất dễ sử dụng: chúng ta chỉ cần tính các orbital biên (điều này dễ dàng thực hiện với rất nhiều phần mềm có sẵn), và chỉ cần cực

đại hóa tương tác HOMO-LUMO theo công thức: $\frac{P_{HO,LU}^2}{E_{HO} - E_{LU}}$. Chẳng hạn, một phản ứng sẽ dễ thực hiện khi các orbital biên của hai tác nhân có năng lượng gần nhau (làm giảm mẫu số) và/hoặc khi độ phủ giữa chúng lớn¹ (làm tăng tử số). Quy tắc đơn giản này và những biến thể của nó cho phép chúng ta giải quyết hầu hết các vấn đề trong hóa học hữu cơ: khả năng phản ứng tuyệt đối (một phản ứng bị cấm nếu sự xen phủ orbital biên giữa các tác nhân là 0), khả năng phản ứng tương đối (một chất sẽ ưu tiên phản ứng với một phân tử có năng lượng orbital biên gần nhất với năng lượng orbital biên của nó), độ chọn lọc vùng (phản ứng sẽ ưu tiên ở vị trí mà có hệ số đóng góp lớn nhất của orbital biên), độ chọn lọc không gian (tác nhân ưu tiên tấn công vào phía có sự xen phủ orbital biên tốt nhất).

Thật ra, thuyết orbital biên chỉ áp dụng cho các quá trình hai phân tử. Để mở rộng áp dụng cho phản ứng đơn phân tử và vấn đề cấu trúc, phải dùng một kĩ xảo: đầu tiên tách phân tử ra hai phần, sau đó coi sự tái hợp của chúng như một phản ứng hai phân tử. Các phản ứng như sắp xếp lại đơn phân tử, phân tích cấu dạng,... có thể phân tích bằng cách này.

Vì thế phạm vi áp dụng của lý thuyết FO rất rộng. Dự đoán dùng lý thuyết này chỉ đúng khoảng 80%, nên không phải không gặp sai lầm.

tính toán, bằng cách dùng 2 quy tắc: 1) chỉ hai orbital có cùng tính đối xứng tương quan với nhau; 2) khi các orbital được sắp xếp theo thứ tự tăng dần năng lượng, hai đường tương quan của một loại đối xứng không thể cắt nhau. Phương pháp giản đồ tương quan giải được rất nhiều vấn đề nhưng khó áp dụng đúng: đối xứng của hệ đôi khi phải được tăng lên một cách giả tạo, và đôi khi phải được giảm xuống một cách giả tạo.

¹ $P_{HO,LU}$ tỉ lệ một cách tương đối với sự xen phủ giữa HOMO và LUMO.

Nhưng người ta đã biết tính đơn giản trong thuyết này nên có thể dự đoán được những trường hợp mà thuyết FO có khả năng thất bại. Tóm lại, thuyết FO dựa trên năm giả định chính:

1. Trong vấn đề khả năng phản ứng, tất cả các tương tác giữa hai orbital bị chiếm có thể được bỏ qua. Điều này nghĩa là chúng ta chỉ xem xét những tương tác làm bền hệ phân tử. Nhưng chúng lại nhỏ hơn lực đẩy, bằng chứng là năng lượng hoạt hóa giá trị *dương*. Nên giả định này chỉ được xác nhận khi thuyết FO dùng để so sánh *các chất ban đầu tương tự trong cùng một phản ứng*. Chỉ khi đó chúng ta mới có thể coi lực đẩy là không đổi và chỉ cần chú ý tới tương tác HOMO-LUMO. Nhưng phải nhớ là trong phân tích cấu dạng, tương tác HOMO-HOMO lại là quyết định.

2. Chỉ cần xem xét tương tác giữa orbital biên bị chiếm (đầy) và orbital biên trống là đủ. Như đã thảo luận ở trên, đây là một phương pháp gần đúng tốt, vì trong *trạng thái chuyển tiếp*, chỉ tương tác giữa các orbital biên là vi nhiều bậc nhất. Còn tất cả các tương tác bị bỏ qua đều là vi nhiều bậc hai.

3. Thuyết FO chỉ dùng được dễ dàng khi mỗi tác nhân có thể mô tả được một cách chính xác bằng *một* cấu hình thôi. Vì thế nên phải rất thận trọng khi áp dụng thuyết FO để nghiên cứu phản ứng gốc tự do hay phản ứng quang hóa, là những phản ứng mà mỗi tác nhân cần phải mô tả bằng nhiều cấu hình electron. Đối với phức kim loại chuyển tiếp, các orbital biên, ngoài những HOMO và LUMO, còn gồm thêm cả một số orbital lân cận.

4. Khi áp dụng thuyết FO, đúng ra phải dùng các orbital biên của trạng thái chuyển tiếp. Nhưng trạng thái này rất khó tính. Vì vậy người ta thường dùng orbital biên của các chất phản ứng thay thế cho orbital biên của trạng thái chuyển tiếp. Nhiều nhà khảo cứu đã công bố thấy thuyết FO sai lầm. Nhưng xét ra thì trong hầu hết những phản ứng họ nghiên cứu, orbital biên của chất đầu và của trạng thái chuyển tiếp khác nhau rất nhiều. Như vậy không phải thuyết FO sai mà là họ áp dụng thuyết FO ngoài trường hợp được dùng.

5. Về nguyên tắc, thuyết FO chỉ có thể áp dụng cho phản ứng hai phân tử.

Cuối cùng, phương pháp FO chỉ nên coi là một bước thăm dò đầu. Một nghiên cứu orbital biên cần phải được xác nhận bằng thực nghiệm hoặc bằng những khảo sát lý thuyết ở mức cao hơn. Mặt khác, chúng ta không nên quên rằng phương trình Schrödinger không thể giải được bằng phương pháp giải tích, mà phải giải bằng tính toán số. Rút cục kết quả của những

"khảo sát lý thuyết mức cao" là một con số chứ không phải là một công thức. Nghĩa là những khảo sát đó chỉ có thể giải quyết vấn đề từng bước một, tuy kết quả định lượng của nó đáng tin cậy. Trái lại, các phương pháp định tính, dù kết quả không thể hoàn toàn tin cậy, vẫn có thể đưa đến những quy tắc chung. Ta có thể kết luận là những phương pháp định tính và phương pháp định lượng không những không loại trừ lẫn nhau mà chúng còn bổ sung cho nhau.

NGUYỄN TIẾN TRUNG
và NGUYỄN MINH THỌ dịch

HÓA HỌC LƯỢNG TỬ TÍNH TOÁN: NGÀNH KHOA HỌC CỦA THẾ KỶ 21

Abstract. “Computational Quantum Chemistry: What Now and Where Next?”: in this article, we give a brief survey of the current status of computational quantum chemistry. Following a short overview of the available methods in both molecular orbital theory (MO) and density functional theory (DFT), the development of the field in a foreseeable future is succinctly discussed.

Hóa học lượng tử được sinh ra từ sự toán hóa ngành hóa học bằng cơ học lượng tử (CHLT). Việc áp dụng các phương pháp tính toán vào các vấn đề hóa học dựa trên cơ sở những tiên đề chính của CHLT, mà nội dung chính của chúng có thể được tóm tắt như sau:

(i) hàm sóng $\Psi(x)$ của một hạt cơ bản (hay một hệ các hạt cơ bản) chứa đựng mọi thông tin cần biết liên quan đến hệ đó (trong không gian một chiều). Ý nghĩa vật lý của hàm số sóng được diễn tả thông qua bình phương của hàm số sóng, $|\Psi(x)|^2 \cdot dx$, đại lượng này cho biết xác suất tìm thấy hệ lượng tử trong khoảng không gian $(x, x+dx)$ được xác định bởi hàm sóng đó;

(ii) mọi tính chất quan sát được, hay đại lượng vật lý đo được, của hệ đều có thể xác định được từ Ψ thông qua một toán tử tương ứng;

(iii) cho một tính chất hay đại lượng g , một toán tử $\hat{G}$ tương ứng được định nghĩa; áp dụng toán tử $\hat{G}$ trên Ψ dẫn đến phương trình trị số riêng $\hat{G} \cdot \Psi = g \cdot \Psi$, và khi giải phương trình này, các trị số riêng g được xác định. Sau khi được chuẩn hóa, ta nhận được giá trị trung bình cho trị số riêng g trên.

Vào năm 1926, Schrödinger triển khai toán tử cho năng lượng E , được

* Giáo sư Hóa học, Đại Học Leuven, Bỉ. Email: minh.nguyen@chem.kuleuven.be.

gọi là Hamiltonian $\hat{H}$, và thành lập phương trình riêng mang tên ông:¹

$$\hat{H}\Psi = E\Psi \quad (1)$$

Trong hóa học, đại lượng quan trọng nhất là năng lượng E của một nguyên tử, phân tử hay siêu phân tử (gồm những nhân nguyên tử và electron), và sự thay đổi năng lượng dọc theo tọa độ của phản ứng hóa học. Người làm hóa học cần có các thông tin này để hiểu diễn biến và cơ chế của phản ứng hóa học dựa trên những nguyên lý của nhiệt động lực học và động học, và để có thể kiểm soát hay thay đổi được chúng. Cung cấp thông tin về năng lượng của một hệ phân tử ở mọi trạng thái electron hay thể loại là một mục đích chính của việc áp dụng những nguyên lý CHLT vào hóa học. Từ đó đến nay, khởi đi từ những năm đầu của thập niên 1930, lịch sử của HLT là một chuỗi dài và liên tục những cố gắng lớn của nhiều nhà khoa học trong nhiều ngành khoa học (hóa, toán, vật lý, tin học) nhằm tìm cách giải phương trình (1) để xây dựng hàm số sóng Ψ cho các hệ phân tử. Phải nói là những “cố gắng lớn” bởi vì toán tử $\hat{H}$ cho một phân tử bao gồm động năng và thế năng của các nhân và electron, cộng với năng lượng tương tác giữa chúng dẫn đến những tích phân đa tâm phức tạp. Những tích phân này, nhất là các tích phân trong thế năng tương tác đẩy giữa các electron, dẫn đến việc không thể giải được chính xác phương trình (1) bằng các phương pháp toán giải tích cho những hệ đa điện tử.

Song, việc áp dụng phương trình Schrödinger đã không bị dừng lại mà đã từng bước phát triển, đặt nền móng cho ngành HLT và góp phần mở rộng cơ sở lý thuyết cho hóa học hiện đại. Những thành tựu của HLT trong 60 năm qua luôn dựa vào những bước đi trên hai chân. Ngay từ những ngày đầu cho đến nay, hướng đi chính là phát triển các phương pháp tính thích hợp để xây dựng nên những hàm số sóng (mà về tính chất là những hàm số sóng gần đúng), so sánh kết quả với thực nghiệm và tìm cách phát triển lý thuyết để cải thiện. Một mặt, với mỗi phương pháp mới được đề nghị, năng lượng và những tính chất hóa học khác tính được từ hàm sóng đã được áp dụng vào các phân tử cụ thể để hiểu những thông tin và giải

¹ Năm 1925, Werner Heisenberg triển khai các phương trình của cơ lượng tử dưới dạng ma trận (matrix formulation). Cũng trong năm này, Louis De Broglie xác định tính chất sóng của các hạt cơ bản. Năm 1926, Erwin Schrödinger công bố phương trình sóng của ông. Danh từ “cơ học sóng” (wave mechanics) cũng thường được dùng để gọi cho những phát triển này. Cùng một lúc, Carl H. Eckart và Erwin Schrödinger (vào năm 1926), và sau này Paul Dirac, chứng minh rằng, hai cách triển khai là tương đương về mặt toán học.

thích các hiện tượng hóa học cơ bản nhận được từ thực nghiệm. Mục đích cuối cùng là vượt qua kết quả từ các con tính trên các phân tử riêng lẻ để tìm những mô hình và khái niệm chung. Mặt khác, việc cải thiện chất lượng của Ψ và E luôn được tiếp tục bằng các phương pháp tính toán hoàn thiện hơn (thường được gọi là “phương pháp cao hơn”) với những con tính luôn phức tạp hơn nhiều lần, để đạt được những trị số có độ chính xác cao hơn so với thực nghiệm.

Trên con đường dài này, ngoài kiến thức về chuyên ngành cũng như về các kỹ thuật tính toán, những chiếc máy tính điện tử (MTĐT) luôn có mặt bên cạnh những người làm HLT; MTĐT vừa là công cụ làm việc thân thuộc hằng ngày, vừa là những người đồng hành tin cậy... Mỗi bước tiến bộ của HLT, về phương pháp cũng như độ chính xác, đều gắn liền với một giai đoạn phát triển mới của khoa học và công nghệ thông tin, hay cụ thể hơn, với một thế hệ MTĐT.

Trong khuôn khổ của Kỷ yếu này (với nhiều độc giả không ở trong ngành hóa học), chúng tôi không có ý định đi vào chi tiết về phương pháp tính toán phức tạp của HLT, mà muốn ghi lại vài nét chấm phá về lịch sử của nó để nêu ra những đóng góp của các khái niệm lượng tử trong phát triển của hóa học hiện đại.

Áp dụng đầu tiên của phương trình Schrödinger trên nguyên tử hydrogen (H, nguyên tử nhỏ nhất) dẫn đến khái niệm “orbital nguyên tử” (atomic orbital, viết tắt là AO), và tiếp theo, việc giải phương trình này cho H_2^+ (phân tử nhỏ nhất) đưa đến khái niệm “orbital phân tử” (molecular orbital; mỗi MO là một tổ hợp tuyến tính của các AO trong phân tử đó). Nhìn lại lịch sử hóa học, orbital là một khái niệm tuyệt đẹp! Thật đơn giản và thật cơ bản, vừa định tính, vừa định lượng.

Định tính, vì người làm hóa học có thể xem hình dạng, vị trí, phép đối xứng của orbital để hiểu tính chất vật lý, hóa học và diễn biến của một phản ứng. Có thể hình dung orbital là một vùng không gian trên phân tử có chứa một cặp electron (vàng, electron thường kết cặp với trạng thái spin khác nhau; cũng có những chất có electron tự do). Năng lượng và hình dạng đặc biệt của orbital cho phép tiên đoán được phản ứng của electron khi bị tấn công. Từ đó thật là đơn giản, người làm tổng hợp hữu cơ dùng bút vẽ nguệch ngoạc trên giấy những orbital của các phân tử ban đầu mà mình đang sử dụng để hiểu được tại sao sau tổng hợp chỉ nhận được chất này mà không có chất kia. Cùng cùng động tác ấy, người làm hóa lý có thể hiểu

được kết quả của một phổ cực tím vừa ghi được; và dĩ nhiên là các động tác này đều phải tuân theo những quy luật riêng của chúng (quá nhiều để trình bày chi tiết ở đây).

Trong giai đoạn phôi thai (1930's), Linus Pauling đã dùng khái niệm orbital để giải thích một cách có hệ thống cấu trúc electron của các loại chất hóa học khác nhau, và từ đó hiểu bản chất của liên kết hóa học (nature of chemical bonding). Giải thích của Pauling đã thay đổi bộ mặt của hóa học trong nửa sau thế kỷ 20.¹ Charles Coulson dùng thuyết MO để phát triển thêm khái niệm liên kết hóa học và nhất là khái niệm hóa trị (valence) trong các hợp chất hữu cơ. Robert Mulliken dùng MO để khảo sát và đưa ra lý thuyết mới về các hợp chất phức phân tử (molecular complexes) không bền.² Khái niệm "1 orbital - 2 electron - 3 nguyên tử" trên nhóm B-H-B do William Lipscomb đề nghị đã cho phép giải thích cấu trúc hình học của chất boran và đã tạo cơ sở lý thuyết cho lĩnh vực này.³

Trong giai đoạn đầu (khi chưa có máy tính), Erich Hückel dựa trên các thông tin từ thực nghiệm đã đưa ra những phép tính lượng tử đơn giản nhằm thay thế cho những con tính quá phức tạp (không thể tính bằng tay) để xây dựng orbital của các chất có nối đôi hay các vòng thơm (vì vậy, phương pháp Hückel hay tương tự thường được gọi là các phương pháp dựa trên kinh nghiệm, empirical methods).

Thế nhưng, những con tính HMO (mà sau này dùng làm bài tập cho sinh viên trong lớp học) đã cho phép giải thích hàng loạt phản ứng hữu cơ, và các phổ cực tím - ánh sáng thường. Quan trọng hơn, việc có được những orbital Hückel (HMO) cho những phân tử hữu cơ tương đối lớn đã góp phần cho phép Kenichi Fukui đề nghị khái niệm "orbital biên" (frontier orbital) vào đầu thập niên 1950's để giải thích cơ chế phản ứng hữu cơ, và sau này Roald Hoffmann phát triển thành phương pháp "Hückel mở rộng" (EHT) để xác định hình dạng và phép đối xứng của những MO cho các chất tham gia trong một phản ứng tạo vòng. Các kết quả tính toán này của Hoffmann đưa đến việc hình thành các "quy luật Woodward-Hoffmann" (WH rules) được công bố vào những năm 1965-1968, và đã tạo nên một dấu ấn lý thuyết sâu rộng trong sự phát triển của ngành hóa học hữu cơ. Fukui đề nghị rằng: chỉ cần nhìn vào hình dạng và năng lượng của các orbital biên

¹ Linus Pauling nhận giải Nobel Hóa học năm 1954.

² Robert Mulliken nhận giải Nobel Hóa học năm 1966.

³ William Lipscomb nhận giải Nobel Hóa học năm 1976.

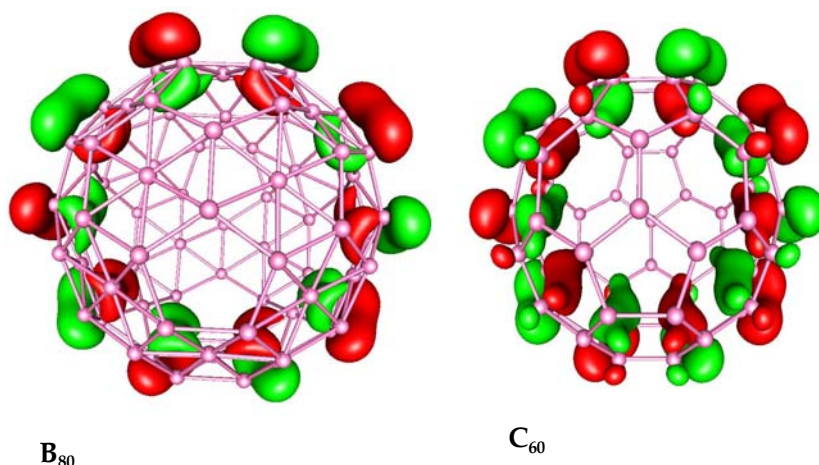
(HOMO và LUMO) của một phân tử thì đã có thể hiểu được tính chất và hướng phản ứng của chất đó. Trong lĩnh vực phổ, một chất hóa học hấp thụ ánh sáng thường hay cực tím là do một (hay nhiều) electron di chuyển từ một orbital biên này (HOMO) lên orbital khác có năng lượng cao hơn (LUMO). Quy luật WH cũng dựa trên khái niệm này; song tiên đoán thêm rằng một phản ứng hóa học sẽ dễ xảy ra hơn so với các phản ứng hóa học khác (xảy ra đồng thời) khi phép đối xứng của các orbital biên của nó được giữ nguyên khi đi từ chất ban đầu đến chất cuối.¹

Ví dụ đưa ra ở Hình 1 cho thấy orbital biên HOMO của chất B₈₀. Với 240 electron hóa trị, chất này được xem là tương đương với hợp chất nổi tiếng C₆₀ (carbon buckyball). Thật vậy các orbital biên của chất B₈₀ và C₆₀ cũng rất giống nhau (Hình 1). Hiện nay chất B₈₀ chưa được tổng hợp, song sự tương đương của orbital biên cho phép tiên đoán chất B₈₀ cũng có những đặc tính của một fullerene (boron buckyball).²

Tóm lại, khái niệm MO và quan điểm cho rằng phản ứng hóa học xảy ra chủ yếu là do mối tương tác giữa orbital của hai chất tham gia phản ứng ban đầu đã thấm vào tư duy của những người làm hóa học một cách sâu và rộng. Trong nửa sau của thế kỷ 20, hàng loạt những nguyên lý hóa học mới được ra đời, không những cho các phân tử hữu cơ, chất khí mà còn cho các phân tử vô cơ, phức kim loại và chất rắn, và hiện nay là những nanoclusters; và tất cả đều dựa vào thuyết orbital phân tử (MO). Những khái niệm như các kiểu liên kết hóa học, orbital biên, quy luật WH, siêu liên hợp (hyperconjugation), hay tính thơm (aromaticity)... đã dần dần làm đầy các chương đầu sách hóa đại cương cho bậc đại học và trung học phổ thông.

¹ Principles of conservation of orbital symmetry. Kenichi Fukui và Roald Hoffmann cùng nhận giải Nobel Hóa học năm 1981. Xem bài của Nguyễn Trọng Anh về phương pháp Orbital Biên trong kỷ yếu này.

² (a) G. Gopakumar, M. T. Nguyen, A. Ceulemans, *Chemical Physics Letters*, 450, 175 (2008).
(b) A. Ceulemans, J. Tshishimbi Muya, G. Gopakumar, M. T. Nguyen, *Chemical Physics Letters*, 461, 226 (2008).



Hình 1. Hình dạng của HOMO của B₈₀ (boron buckyball) và C₆₀ (carbon buckyball).

Orbital cũng còn là định lượng vì trong phương pháp để giải phương trình (1) thường được gọi là phương pháp tổ hợp tuyến tính các orbital nguyên tử (linear combination of atomic orbitals - self consistent field - molecular orbital (LCAO-SCF-MO)), orbital là viên gạch. Theo đó, mỗi AO X_i là một hàm số sóng đơn electron của một nguyên tử. Mỗi MO Φ_i là một tập hợp tuyến tính của các hàm AO, $\Phi_i = \sum_j C_{ij} X_j$, và hàm số sóng của phân tử Ψ là một tập hợp tuyến tính của những hàm Φ_i :

$$\Psi_{\text{HF}} = \sum_i C_i \sum_j C_{ij} X_j \quad \text{với } i, j \dots \text{ từ } 1 \text{ đến } \infty \quad (2)$$

Với hàm số sóng Ψ như thế (2), việc giải (1) dẫn đến phương trình mang tên Hartree-Fock. Từ năm 1951, Clemens Roothaan thiết lập cách giải SCF của phương trình này trong khuôn khổ của hàm sóng LCAO-MO.¹ Sau Chiến tranh thế giới II, máy tính điện tử bắt đầu được sử dụng trong các đại học lớn ở Mỹ, nhất là những chiếc máy IBM to lớn, và việc dùng MTĐT để

¹ Trong thời gian này, Clemens C. J. Roothaan làm việc ở Đại học Chicago, cùng với Robert Mulliken, sau này là Shigeru Huzinaga, Enrico Clementi... Nhóm này tập trung vào việc giải phương trình sóng và có ảnh hưởng lớn trong việc phát triển HLT trong hai thập niên 1950-1960, sau này thường được nhắc đến như "trường phái Chicago".

giải phương trình sóng được bắt đầu thực hiện một cách có hệ thống. Những chương trình tính toán cơ bản được viết cho các máy tính (viết bằng ngôn ngữ Fortran, hiện nay vẫn còn dùng) trong khoảng thời gian này. Thật ra, hàm sóng Ψ_{HF} chỉ là cơ sở khởi đầu cho những tổ hợp tuyến tính phức tạp hơn nhằm cải thiện độ chính xác của hàm sóng phân tử. Các tổ hợp tuyến tính này, như phương pháp tương tác cấu hình (configuration interaction), đều dựa trên các cấu hình điện tử kích thích tạo ra được từ Ψ_{HF} .

Dựa theo những phương pháp tính để giải phương trình Roothaan, HLT có thể chia thành các giai đoạn sau:

A) Giai đoạn MO bán nghiệm trong những thập niên 1960-1990. Cách tiếp cận này dựa trên quan điểm thuần kinh nghiệm của Hückel, nhưng nhiều thông số thực nghiệm được thay thế bằng tính toán. Các tích phân đa tâm phức tạp vẫn được thay thế bằng những đại lượng lấy từ thí nghiệm như các thế ion hóa, các ái lực electron, năng lượng kích thích,... Các phương pháp được sử dụng nhiều như CNDO (complete neglect of differential overlap), INDO (intermediate neglect of differential overlap) của nhóm John Pople, hay sau đó MINDO, MNDO, AM1, PM3,... do nhóm Michael Dewar vẫn tiếp tục được sử dụng. Điểm chung là mỗi phương pháp chỉ được dùng cho một số khá giới hạn các đại lượng và tính chất hóa học. Độ chính xác đạt được không cao, nhưng vì phương trình tính đơn giản nên có thể áp dụng để tính cho hệ chứa nhiều phân tử và khi máy tính không đủ mạnh. Vì vậy, các phương pháp này được áp dụng đại trà trong ngành hóa hữu cơ và nhất là hóa dược... (các hãng dược phẩm dùng các phương pháp này trong các nghiên cứu tương quan giữa hoạt tính và cấu trúc (QSAR) khi đi tìm các chất thuốc mới). Tuy nhiên, các phương pháp bán nghiệm không còn lý do tồn tại trong thế kỷ 21 vì sự ra đời của những hệ thống máy tính lớn với tốc độ xử lý dữ liệu rất nhanh và giá thành rẻ.

B) Giai đoạn MO tiên nghiệm, thường được gọi là các phương pháp *ab initio* (hay non-empirical), có nghĩa là hoàn toàn dùng phép toán để giải phương trình (1) mà không dùng một thông tin thực nghiệm nào cả (trừ điện tích và khối lượng nguyên tử của nguyên tố). Được bắt đầu từ những năm 1950, song lúc đầu giá trị thông tin không cao, và như đã nói ở trên, chỉ vài nhóm nghiên cứu lớn có thể thực hiện được. Vào khoảng năm 1965, Enrico Clementi, khi đó đang làm cho IBM, lần đầu tiên tính được năng lượng (dùng hàm số sóng tiên nghiệm Hartree-Fock) cho hai cấu trúc hình

tháp và phẳng của NH_3 để xác định đại lượng “inversion barrier”. Sau mấy tháng tính toán, tốn kém nửa triệu đôla, kết quả tính là ~ 5.5 kcal/mol, so với kết quả thực nghiệm ~ 6.0 kcal/mol. Quá hứng khởi, Clementi viết “We can calculate every thing!”. Thật sự ông đã quá lạc quan vì thực tế khó khăn hơn nhiều lần điều ông nghĩ, song có thể nói là ngành hóa học lượng tử tính toán (computational quantum chemistry) hình thành từ đạo đó. Khi đó giới nghiên cứu hóa học bắt đầu ý thức được rằng có thể dùng phương pháp HLT cộng với thuật toán và máy tính để tính, tức là có thể tiên đoán được các thông số hóa học với độ chính xác cao, đạt được, ít nhất không kém hơn, độ “chính xác hóa học” (± 2 kcal/mol).

Vào đầu thập kỷ 1970, nhóm John Pople ở Đại học Carnegie-Mellon công bố và phát hành chương trình tính toán “Gaussian 70” đã làm cho việc tính toán hóa học lượng tử trở nên phổ thông hóa. Nhóm nào có kiến thức, có giờ máy tính đều có thể cài đặt chương trình này vào máy tính của mình để chạy và dùng kết quả để nghiên cứu. Lại hứng khởi, Alberte Pullman ở CNRS Paris tuyên bố kỷ nguyên “ab initio cho mọi người” (ab initio pour tout). Song song với những phát triển vượt bậc của ngành công nghệ máy tính trong gần 40 năm qua, các phương pháp tính lượng tử phức tạp hơn ngày càng được triển khai và đạt độ chính xác ngày càng cao. Trở ngại chính trong tính toán là việc tính năng lượng tương quan (correlation energy) sinh ra từ các đôi electron. Việc tính chính xác đại lượng vô cùng nhỏ này ($\leq 0.1\%$ năng lượng toàn phần của phân tử) vẫn còn là một thách thức lớn của ngành HLT.

Trong một hệ phân tử có N orbital phân tử (MO), việc xây dựng hàm số sóng cơ bản Hartree-Fock có đến $\Theta(N^4)$ con tính tích phân. Các phương pháp nhiễu loạn (perturbation theory) có đến N^5 , các phương pháp tương tác cấu hình (configuration interaction) có đến N^6 và những phương pháp chính xác hiện nay như “coupled-cluster theory” phải có đến N^7 con tính. Về mặt nguyên tắc, trong hàm số sóng loại (2) $j = N$ phải tiến đến ∞ để đạt được một hàm số chính xác. Dễ dàng nhận thấy rằng khi N tăng nhanh thì số phép tính và thời gian tính... cũng tăng rất nhanh về vô cực!. Trên thực tế, sức tính (computing power) của MTĐT vẫn còn là trở ngại trong việc áp dụng các phương pháp HLT cho các phân tử lớn (> 100 nguyên tử). Song, những tính toán lượng tử được áp dụng rộng rãi để xác định cấu trúc hình học, cấu trúc electron, các đại lượng nhiệt động (năng lượng tạo thành, EA, PA, IE...), động học (năng lượng hoạt hóa, năng lượng phản ứng, hằng số

vận tốc, ...) và nhiều đại lượng phổ (IR, UV, NMR, ESR, NQR, MS,...). Số lượng lớn các công trình được công bố trên các tạp chí quốc tế, số tạp chí cũng như số hội nghị chuyên ngành cho ngành hóa học lượng tử tính toán cho phép hình dung được vị trí ngày càng quan trọng của phương pháp MO trong việc giải quyết những vấn đề cơ bản của hóa học.

C) Giai đoạn Density Function Theory. Trước những khó khăn thực tế của phương pháp hàm sóng, trong thập niên 1990, phương pháp density functional theory (viết tắt là DFT, tạm dịch là lý thuyết phiếm hàm mật độ) đã được phát triển nhanh chóng và áp dụng rộng rãi. Phương pháp DFT được Kohn-Sham-Hohenberg đề nghị vào năm 1965 và phương pháp này dùng mật độ điện tử $\rho(r) = |\Psi(r)|^2$ thay vì hàm sóng $\Psi(r)$ để tính năng lượng E của hệ. Các con tính DFT được thực hiện nhanh hơn nhiều ($>10^2 - 10^5$ lần) so với các con tính theo MO cho cùng một hệ phân tử. Tuy vậy, độ chính xác về năng lượng cũng không thua kém và cũng có đủ tính chất các loại phổ khác nhau. Nhờ tính nhanh, nên DFT được áp dụng ngày càng rộng rãi và chủ yếu cho các phân tử có số lượng nguyên tử lớn (phương pháp MO không thể thực hiện được). Vì vậy, có thể gọi thập niên vừa qua là thập niên của DFT. Việc John Pople và Walter Kohn cùng được nhận giải Nobel hóa học năm 1998 thể hiện đánh giá chung của ngành về vị trí và vai trò của cả hai phương pháp tính.

Song, với áp dụng đại trà DFT đã xuất hiện nhiều nhược điểm về mặt cơ sở lý thuyết. Nhược điểm chính của DFT là khi gặp vấn đề với độ chính xác thấp không có hướng cải thiện rõ ràng. Có thể coi đây là những khó khăn không tránh khỏi trong hướng đi lên của việc cải thiện thời gian tính toán cho một hệ nghiên cứu cụ thể. Điều có thể chờ đợi là cả hai hướng tính toán MO và DFT vẫn luôn phát triển và được áp dụng rộng rãi tùy thuộc vào vấn đề cụ thể mà người làm nghiên cứu quan tâm.

Một cái nhìn về tương lai: Sức tính của một MTĐT có thể đo được qua độ lớn của bộ nhớ, vận tốc tính (đo bằng flops) và đĩa cứng (để chứa số liệu trung gian, đo bằng gigabytes) cũng như cấu trúc của hệ điều hành (như liên tục, vector, song song...). Với những thành tựu vượt bậc của ngành công nghệ thông tin, sức tính của máy ngày càng tăng và giá thành ngày càng giảm. Theo quy luật Moore thì sức máy tăng khoảng 2 lần sau một năm. Song, có thể nói là chưa có một MTĐT nào là quá "lớn", quá "mạnh"... đối với những con tính lượng tử! Thật vậy, khi sức máy càng lớn thì độ chính xác của kết quả tính, độ lớn các phân tử được khảo sát và độ phức tạp

của các hiện tượng hóa học cũng không ngừng tăng theo. Về mặt phương pháp, từ lâu những người làm HLT biết mình cần phải làm gì. Tuy nhiên, trên thực tế mỗi người có thể tính được gì là hoàn toàn tùy thuộc vào sức MTĐT mà mình sử dụng được. Vì vậy, trong nhiều thập niên qua khi MTĐT được bán ra với giá thật cao và thường chỉ tập trung những trung tâm máy tính của các đại học lớn hay các phòng thí nghiệm quốc gia của những nước tiên tiến thì HLT được xem là “khoa học của nhà giàu”. Cho đến cuối thế kỷ 20, một số bài tính toán lớn chỉ có thể được thực hiện trong vài nhóm nghiên cứu. Ngày nay, khi nhiều nhóm nghiên cứu ở khắp nơi có thể nổi song song hàng trăm, hàng nghìn chiếc máy tính cá nhân (PC cluster, với giá thật rẻ so với các dụng cụ thiết bị nghiên cứu khoa học khác) để đạt đến một sức tính lớn thì ngành HLT đã và đang dần dần được dân chủ hóa. Trong mấy năm qua, các trung tâm máy tính hiệu năng cao (high performance computers) đã xuất hiện trở lại ở nhiều nơi và không phải chỉ ở những nước tiên tiến. Vì vậy, sự chênh lệch về sức máy tính của các nhóm nghiên cứu ở các nước khác nhau không còn quá lớn như trong thập kỷ trước. Do đó, vấn đề còn lại trên diễn đàn khoa học thế giới là kiến thức, ý tưởng mới và sự sáng tạo - những vấn đề cốt lõi của mọi ngành khoa học.

Vào thời điểm này, với phương pháp đạt độ chính xác cao như “coupled-cluster theory”, phép tính hóa học lượng tử đã đạt độ chính xác ± 1.0 kcal/mol đối với nhiệt tạo thành (heat of formation) cho những phân tử nhỏ và ± 2.0 kcal/mol cho những phân tử trung bình.¹ So với “độ chính xác hóa học” (± 2.0 kcal/mol) của đo đạc thực nghiệm, kết quả của HLT thật sự lý thú!. Lý thú vì trong nhiều trường hợp tính chính xác hơn đo, nhanh hơn và hiệu quả kinh tế cao hơn. Hơn thế nữa, đối với những phân tử không bền, khó tổng hợp hay tổng hợp trong điều kiện quá khắc nghiệt thì chỉ có thể tính chứ không thể đo - đây có thể coi là điểm thuận lợi của hóa học lượng tử tính toán.

Mặc dù với những phương pháp đơn giản trong thập kỷ 1950 - 1970, việc sử dụng CHLT đã dần thay đổi cách suy nghĩ của những người làm việc trong ngành hóa, từ chỗ thuần túy thực nghiệm đến diễn tả những khái niệm ngày càng trừu tượng và có hệ thống hơn. Nói như vậy không có nghĩa là vai trò của thực nghiệm hóa học bị giảm đi mà nó vẫn giữ vị trí cần

¹ (a) M. T. Nguyen, V. T. Ngan, T. L. Nguyen, H. M. T. Nguyen, *Chemical Physics Letters*, 448, 183 (2007) (b) M. T. Nguyen, M. H. Matus, V. T. Ngan, D. A. Dixon, *Journal of Physical Chemistry A*, 112, 1298 (2008).

thiết và tối hậu; song với những khái niệm mới từ HLT đưa đến những hiểu biết cơ bản hơn về tính chất cũng như sự biến đổi của các hợp chất hóa học.

Cách đây không lâu, một khảo sát lý thuyết trong nhiều lĩnh vực gần như chỉ có thể bắt đầu khi đã đạt được một số kết quả thực nghiệm và như vậy việc khảo sát lý thuyết chỉ nhằm để xác nhận (hay đặt nghi vấn) các điều đã biết. Tuy nhiên, muốn đo các thông số quan trọng của một phân tử thì phải tổng hợp được phân tử đó trước khi chuyển vào các máy phổ. Đây là việc không thật sự dễ dàng và có khi rất khó thực hiện. Trong khi đó hàm sóng có thể xây dựng cho bất cứ phân tử, bất kì trạng thái electron cho dù phân tử đó không tồn tại hoặc chưa biết đến, và có thể là trạng thái trung gian hoặc trạng thái chuyển tiếp với tuổi thọ cực kỳ ngắn (từ femtosecond 10^{-15} s đến attosecond 10^{-18} s). Như vậy, khi những khảo sát lý thuyết cho phép xác định trước tính chất của một chất hoàn toàn mới với độ chính xác cao (không thua hay cao hơn thí nghiệm) thì khả năng sáng tạo của nhà hóa học được nhân lên rất nhiều. Hóa học lượng tử đang thực hiện vai trò tối hậu của mình: kết quả tính toán cho phép tiên đoán những hiện tượng mới, gợi ý những hợp chất mới, phản ứng mới cho người làm thực nghiệm.

Như vậy, với khả năng cung cấp thông tin chính xác, khả năng tiên đoán hiện tượng hóa học, HLT trở thành phương pháp, công cụ không thể thiếu được trong nghiên cứu hóa học hiện đại. Máy tính điện tử đang tiến vào thế hệ có sức tính ở vận tốc petaflops (10^{15} floating operations per second). Một dàn máy thật mạnh trên đó cài đặt các chương trình tính toán HLT sẽ là một máy phổ đa chức năng (multi-purpose spectrometer) giúp người nghiên cứu đi tìm mọi thông tin hóa học cần thiết. Nói nôm na, ngày trước, đo trước tính sau, và đo chính xác hơn tính; ngày nay, vừa đo và vừa tính, có độ chính xác gần bằng nhau. Trong tương lai, tính trước đo sau, và đến một lúc nào đó sẽ chỉ tính cho những đại lượng vật lý và hóa học phổ biến và sẽ không cần đo nữa!¹ Điều này sẽ có ảnh hưởng lớn trong việc khảo sát những hiện tượng hóa học quá phức tạp, mà việc thực hiện các thí nghiệm đòi hỏi đầu tư thiết bị, thời gian và nhân lực lớn...

¹ Trong bài này, chúng tôi chỉ đề cập đến hóa lượng tử tính toán (computational quantum chemistry). Việc áp dụng các phương pháp toán vào hóa học không chỉ dựa vào cơ học lượng tử. Ngành “hóa tính toán” (computational chemistry) bao gồm nhiều phương pháp khác như cơ học phân tử (molecular mechanics), động học phân tử (molecular dynamics), các phương pháp mô phỏng (molecular simulations hay materials modelings)... Nhìn chung, độ chính xác của các phương pháp này cũng ngày càng tăng vọt nhờ sức tính của máy tính điện tử.

Hãy xem việc khảo sát phản ứng ô nhiễm trong môi trường. Các gốc tự do tạo ra từ ống khói xe Honda, hay các nhà máy,... gây phản ứng với các chất khác trong không gian chúng ta đang sống, gây ra ô nhiễm. Hàng trăm, hàng ngàn... phản ứng luôn xảy ra trong bầu khí quyển, với vô số các chất trung gian không bền. Các chất này có đời sống rất ngắn, và có thể là những chất mới, chưa được biết và khó có thể tổng hợp được để có thể đo đạc xác định cấu trúc và tính chất của chúng. Các phòng thí nghiệm không đủ nhân lực và máy móc để tổng hợp tất cả các chất trung gian không bền. Trong lĩnh vực này, cách giải quyết hiệu quả là dùng tính toán lượng tử để xác định cơ chế phản ứng, hằng số vận tốc... và sau đó là dùng các phương pháp tính toán mô phỏng để tiếp cận thực tế.

Tóm lại, hóa học lượng tử tính toán đang sống ở độ tuổi thứ ba (third age) tràn đầy sức sống và triển vọng là với phương pháp lượng tử, thuật toán và máy tính điện tử, sẽ làm tròn được vai trò của mình: đoán trước các hiện tượng hóa học với độ chính xác cao!

Leuven, Bỉ, cuối tháng 9 năm 2008.

TRẦN TRỌNG GIỄN*

MỘT VÀI KHÁI NIỆM VỀ TÍNH TOÁN LƯỢNG TỬ VÀ TRUYỀN TIN LƯỢNG TỬ

Abstract: This article describes some basic concepts on quantum computation and quantum information. It is written with an intention for young junior students and/or readers of the general public, on the occasion of the 150th birthday of Max Planck, discoverer of quantum theory. The article briefly goes over some well-known topics of this subject, such as problem of factorization of integers into prime numbers and the Shor quantum algorithm, problem of searching for an object in a large quantum database and the Grover algorithm, teleportation, and superdense coding. Some basic knowledge about quantum theory might be required to understand some topics described in this article better.

Như chúng ta đã biết, cơ học lượng tử và lý thuyết tương đối chi phối hầu hết tất cả các hiện tượng vật lý hiện đại. Một mặt khác, bắt đầu từ phần cuối của thế kỷ trước, sự khám phá và phát triển của máy tính điện tử đã giữ một vai trò quan trọng then chốt trong cuộc sống hằng ngày của nhân loại. Thật thế, có thể nói là bất kỳ một dụng cụ điện tử có kỹ thuật cao nào mà chúng ta dùng cho cuộc sống hằng ngày, thí dụ như máy giặt, máy sấy, tủ lạnh, lò điện viba v.v., đều được điều khiển tự động bằng một máy tính điện tử loại sơ đẳng. Trong một lĩnh vực cao siêu hơn, máy tính điện tử đã giúp ta rất nhiều trong việc tân tiến hóa đời sống kỹ thuật và hệ thống truyền tin của con người. Ta có thể kể như sự thiết kế hệ thống mạng, việc sử dụng máy tính điện tử cho điện thoại di động, ipod, blackberry, điện thoại trên mạng, chụp hình nhị phân (digital photography), máy chữ dùng

* Professor Emeritus và University Research Professor. Memorial University Department of Physics and Physical Oceanography. St John's, NL, Canada A1B 3X7.

máy tính (thí dụ như Word, Adobe), xuất bản bằng máy tính, các hệ thống TV toàn cầu, TV trên mạng, ngân hàng trên mạng và nhiều áp dụng tân kỳ khác. Một tiến bộ cách mạng đã hoàn toàn làm đảo lộn cuộc sống của con người từ cuối thế kỷ trước là việc dùng máy tính điện tử để truyền tin trên mạng. Thế giới ngày nay nhờ vậy đã thu hẹp lại rất gần gũi. Tất cả các thông tin ngày nay có thể nói là có thể truyền đi khắp thế giới trong khoảnh khắc với giá tiêu thụ thật rẻ. Tất cả các tin tức cần thiết cho đời sống hằng ngày của con người hay tất cả những thông tin cần thiết về khoa học, y học, xã hội học, thuốc men v.v... đều có sẵn trên mạng mà chúng ta ai cũng có thể vào để tìm kiếm những kiến thức này trong khoảnh khắc. Chính vì vậy mà các thư viện của các trường đại học hay các thư viện bách khoa lớn hiện nay lần lượt được thay thế bằng các thư viện điện tử trên mạng và tất cả các công bố khoa học hay các báo khoa học đều được đăng hay giao dịch trên mạng. Điều này đã rút ngắn đi rất nhiều thời giờ cần thiết để đăng tải một bài khảo cứu khoa học hay bất kỳ một công bố nào khác quan trọng cần truyền tin gấp cho mọi người trên toàn thế giới được biết.

Riêng cho những người làm khoa học, các siêu máy tính điện tử (supercomputer) hay các máy tính điện tử song hành với vận tốc cực kỳ nhanh đã giúp các khảo cứu gia rất nhiều trong việc làm tiến triển dễ dàng các công việc khảo cứu khoa học của họ, khi người ta cần thực hiện các bài toán khoa học cực kỳ phức tạp, hay giải đáp các phương trình vật lý, toán học thật khó khăn để kiểm các kết quả bằng phương pháp dùng số (numerical method). Người ta cũng dùng máy tính điện tử trong các công tác mô hình để mô phỏng các hiện tượng khoa học nói chung và các hiện tượng vật lý nói riêng, khỏi cần phải khảo sát các hiện tượng khoa học đó bằng những thí nghiệm cụ thể (experiments). Thật thế, ngành khảo cứu khoa học bằng mô hình hóa (modeling) và mô phỏng (simulation) đã tiến bộ rất nhiều và đã giải quyết được rất nhiều hiện tượng khoa học thú vị nhờ ở các siêu máy tính điện tử sẵn có để sử dụng trong những việc làm khoa học này. Có liên hệ tới chuyện mô hình và mô phỏng, ta cũng nên đề cập tới việc sử dụng các siêu máy tính để phỏng đoán thời tiết và khí tượng. Mô phỏng và mô hình cũng giữ một vai trò quan trọng tuyệt đối trong việc thử nghiệm và sáng chế các kỹ thuật máy tính về vận tải hàng không, không gian và vũ trụ, vũ khí, hỏa tiễn, tàu vũ trụ v.v... và trong nhiều lĩnh vực khác.

Trong những thập niên gần đây, những người trong giới khoa học có

nói nhiều về máy tính lượng tử và truyền tin lượng tử. Như chúng ta đã biết, cơ học lượng tử (thoạt kỳ thủy từ lý thuyết lượng tử của Max Planck) là một lý thuyết hiện đại mà những người làm việc khoa học thừa nhận là đã giải quyết được hầu hết các hiện tượng vật lý ngày nay, cho một hệ thống vật lý (physical system) nhỏ bé như một nguyên tử, một phân tử, một hạt nhân v.v..., nghĩa là khi nguyên lý “không chắc chắn” (uncertainty principle) của Heisenberg cần phải áp dụng. Người ta đã và đang làm khảo cứu rất nhiều về chuyện kiến trúc một máy tính lượng tử để thực hiện các tính toán và truyền tin lượng tử, sau khi nhà vật lý lừng danh của Mỹ, Richard Feynman, đề xướng rằng một máy tính lượng tử có thể dùng để mô phỏng tất cả các hiện tượng vật lý trong lĩnh vực vật lý lượng tử, và vì thế máy tính lượng tử có thể giúp ta khám phá ra những hiện tượng vật lý mới.

Vậy ta tự hỏi tính toán lượng tử và truyền tin lượng tử là gì? Và tính toán lượng tử và truyền tin lượng tử khác tính toán và truyền tin cổ điển ra sao? Có lợi gì hơn? Là một người làm khoa học trong ngành vật lý nguyên tử lý thuyết đã dùng máy tính điện tử nhiều để giải quyết các vấn đề va chạm nguyên tử, tôi rất vui mừng chọn đóng góp một bài viết không chuyên, trình bày qua một vài khái niệm cơ bản về tính toán lượng tử và truyền tin lượng tử cho Kỷ yếu Max Planck theo lời yêu cầu của các bạn khoa học. Cũng theo lời yêu cầu của các bạn, đối tượng của bài viết cho kỷ yếu này là đại chúng hay các em sinh viên trẻ. Tôi xin cáo lỗi là đã xa Việt Nam quá lâu, thành thử vừa dở tiếng Việt lẫn tiếng Anh, nên viết bài này bằng tiếng Việt lần đầu tiên cũng cảm thấy không được trồn lăm và nhiều khi các danh từ khoa học tiếng Việt dùng cũng không được chính. Nhất là người viết bài này lại không quen viết bài cho đại chúng mà vấn đề này thì lại có liên hệ đến cơ học lượng tử mà thường ra đại chúng ít người để ý tới, nên nếu trình bày không được rõ ràng lăm, tôi cũng xin bạn đọc thông cảm. Nếu cần, bạn đọc có thể bỏ qua các phần bàn luận chi tiết có liên quan đến cơ học lượng tử.

Máy tính điện tử dù tân kỳ đến mấy (từ siêu máy tính (supercomputer) tới các máy tính cá nhân (PC) laptop nhỏ bé chạy với bộ xử lý (processor) cao-tốc “core 2-duo”) vẫn dùng cùng một nguyên tắc tính toán như cái máy tính hồi mới phát minh đầu thế kỷ trước, nặng tới 30 tấn, gồm có 18.000 đèn chân không (vacuum tubes) và 800 km dây điện. Có nghĩa là đơn vị cơ bản của một máy tính điện tử vẫn là các “mẫu tin tức” (information bits) nhị phân (binary) gọi tắt là “bít”. Một bít trong phép tính nhị-phân chỉ chứa có

một trong 2 trị số, hoặc là số không (0) hoặc số một (1). Mỗi mẫu tin tức này được cấu tạo bằng một hệ thống vật thể vĩ mô (macroscopic physical system), thí dụ như độ từ hóa (magnetization) trên một “đĩa cứng” (hard disk) hoặc điện tích (charge) trên một cái tụ điện (capacitor). Trong một máy tính điện tử cổ điển, các bit này được chứa vào một “đầu não” (memory) của máy tính và sẽ được điều khiển bởi các “cửa logic nhị-phân Boolean” (binary Boolean logic gates). Các cửa logic (logic gates) này được cấu tạo bằng những mạch điện tử (electronic circuits) và sẽ được sắp đặt kế tiếp nhau sao cho có thể thực hiện các kết quả tính toán mà mình mong muốn. Tương đương, người ta cũng có thể dùng một loại “máy tính lý thuyết” gọi là máy tính Turing để thực hiện các kết quả tính toán này.

Trong một máy tính điện tử lượng tử, các phép tính toán dùng để tính sẽ không còn là các phép tính toán thông thường dùng trong máy tính cổ điển nữa mà sẽ là các phép tính toán của cơ học lượng tử. Vì thế, đơn vị cơ bản để chứa tin tức sẽ là các “mẫu tin tức lượng tử” (quantum bits) gọi tắt là Q-bit hay “mẫu lượng tử”. Một mẫu lượng tử có thể ở một trạng thái (state) chứa trị số 0 hoặc ở trạng thái chứa trị số 1 hay cũng có thể ở một trạng thái vừa chứa trị số 1 với một tỷ số xác suất (probability) nào đó và trị số 0 với một tỷ số xác suất còn lại. Đây là một cá tính quen thuộc của cơ học lượng tử. Trong cơ học lượng tử người ta nói rằng một Q-bit có thể ở một trạng thái (ϕ chẳng hạn) nó là một sự chồng chập dính kết (coherent superposition) của hai trạng thái 0 và 1. Dùng ký ước “bra và ket” (bra and ket) của cơ học lượng tử người ta diễn tả sự chồng chập dính kết của hai trạng thái 0 và 1 bằng phương trình

$$|\phi\rangle = a|0\rangle + b|1\rangle$$

Trong đó, a và b là hai số phức-tạp (complex numbers) và $|a|^2$ hay $|b|^2$ lần lượt đại-diện cho tỷ số xác suất mà Q-bit sẽ ở trạng thái có trị số 0 hay 1. Một thí dụ cụ thể là spin $\frac{1}{2}$ (của một nguyên-tử chẳng hạn) có thể dùng làm một Q-bit. Q-bit này có thể ở trạng thái “spin hướng lên” (spin up) dùng để chỉ định trường hợp Q-bit có trạng thái ghi chứa trị số 0 chẳng hạn hay ở trạng thái “spin hướng xuống” (spin down) dùng để chỉ định trường hợp Q-bit có trạng thái chứa trị số 1. Một thí dụ nữa là một Q-bit cũng có thể cấu tạo bởi một hệ thống lượng tử có hai trạng thái năng lượng (energy states) khác biệt, như một ion hay một nguyên tử. Một trong hai trạng thái năng lượng này sẽ dùng để chỉ định trạng thái có trị số 1 và trạng thái năng lượng còn lại chỉ định trạng thái có trị số 0 của một Q-bit.

Tương tự như máy tính điện tử cổ điển, máy tính điện tử lượng tử sẽ điều-khiển một bộ (set) các Q-bít chứa trong não của máy tính bằng cách tác động trên các Q-bít này với một loạt các “cửa logic lượng tử” (quantum logic gates). Các cửa logic lượng tử này thường là để thực hiện một phép tính toán cơ bản trong cơ học lượng tử gọi là biến đổi nhất-thể (unitary transformation). Các biến đổi nhất-thể này sẽ tác động trên trạng thái của các Q-bít có trong não của máy tính để có thể thực hiện một biến đổi nhất-thể phức tạp đạt mục đích biến đổi bộ Q-bít đó thành một bộ Q-bít mới mà mình mong muốn có được. Song, cái bộ Q-bít mới này sẽ được đo, và với sự đo lường này người ta sẽ biết được kết quả tính toán bằng máy tính lượng tử mà người ta đã đạt được. Người ta sẽ lập đi lập lại sự tính toán và đo lường này nhiều lượt và nhờ vậy sẽ có được trị số “đúng” của kết quả của bài toán. Đó là trị số đo được xuất-hiện nhiều lần nhất trong một số “tính toán rồi đo lường” lập đi lập lại. Như vậy tính toán lượng tử là một loại tính toán xác suất. Nhờ vậy mà tổng số các tính toán cần thiết để đạt được kết quả sẽ giảm đi rất nhiều so với tính toán điện tử cổ điển, chính vì thế mà tính toán lượng tử có thể thực hiện được kết quả rất nhanh chóng cho nhiều bài toán máy tính (an-gô-rít) mà phương pháp tính toán của các máy tính cổ điển có thể chịu đầu hàng, như trong một vài thí dụ cụ thể tượng trưng nhất mà chúng ta sẽ bàn dưới đây.

Thừa-số-hóa một số nguyên thành tích số của vài số nguyên tố: Thừa số hóa (factorization) một số nguyên (integer) thành tích số (product) của một vài số nguyên tố (prime numbers), thí dụ như $21 = 3 \times 7$, là một chuyện dễ dàng nếu số nguyên đó là một số nhỏ bé như 21. Nhưng thừa-số-hóa một số nguyên vĩ đại, với độ lớn vào khoảng 300 hàng số (digits) ($\sim 10^{300}$) chẳng hạn, để trở thành tích số của một vài số nguyên tố lớn là một điều cực kỳ khó khăn và người ta ước lượng hầu như không thể nào làm được với máy tính điện tử cổ điển dùng các an-gô-rít cổ điển hiện có. Sở dĩ như vậy là vì theo nguyên tắc, nói một cách nôm na ra, người ta sẽ phải lần lượt thử (hay đoán để thử) chuyện thừa số hóa này với một tổng số khá lớn của tất cả các số nguyên tố lớn, và như vậy công việc này đòi hỏi rất nhiều thời giờ và khả năng của máy tính, làm cho các máy tính cổ điển với các an-gô-rít cổ điển sẵn có hiện tại không thể nào có đủ thời giờ để hoàn tất được chuyện thừa số hóa này. Trong khi đó, với máy tính lượng tử dùng một an-gô-rít lượng tử như an-gô-rít của Shor, người ta chứng minh rằng vấn đề thừa số hóa này có thể thực hiện một cách có hiệu lực vì thời giờ cần dùng để thừa số

hóa sẽ rút ngắn đi rất nhiều. Nói theo ngôn ngữ của khoa học tính toán điện tử (computer science), thời giờ cần thiết để thừa-số-hóa một số nguyên bằng an-gô-rít lượng tử của Shor là một “thời giờ đa-thức” (polynomial time), chứ không phải là “thời giờ dưới số mũ” (sub-exponential time) nếu dùng một an-gô-rít cổ điển tính trên một máy tính cổ điển. Như vậy, với máy tính lượng tử, người ta có thể giải đáp bài toán thừa-số-hóa này một cách thật dễ dàng và nhanh chóng. Người ta phỏng ước rằng trong nhiều trường hợp thời giờ máy tính cần dùng có thể giảm đi từ hàng năm thành có một vài giây mà thôi.

Vì hầu hết tất cả các khóa công cộng (public keys) dùng để khóa các trang web trên mạng, hay các thư điện tử viết bằng mật mã (encrypted mails), hay các loại data bí mật khác, kể cả an-gô-rít RSA dùng để viết mật mã với khóa công cộng đều dựa trên sự khó khăn trong việc thừa số hóa các số nguyên lớn thành số nguyên tố, máy tính lượng tử, theo nguyên tắc, đều có thể bẻ được tất cả các khóa này. Như vậy, máy tính lượng tử nếu kiến trúc được sẽ có ảnh hưởng rất quan trọng tới việc bảo vệ riêng tư của cá nhân cũng như bảo vệ an ninh của quốc gia. Chính vì thế mà các cơ quan có thẩm quyền bảo vệ an ninh của quốc gia hay riêng tư của cá nhân rất để ý đến việc dùng máy tính lượng tử trong việc bẻ khóa này. Một phần có lẽ cũng là để rút ra kinh nghiệm tìm các phương tiện mới có thể ngăn cản được chuyện bẻ khóa. Thật thế, bằng cách tăng kích thước (size) của khóa, người ta hy vọng vẫn có thể bảo vệ được những bí mật cá nhân hay an ninh quốc gia vì tin tưởng rằng với các khóa lớn này, những người định bẻ khóa để xâm nhập phi pháp các data bí mật sẽ không có đủ tài nguyên để bẻ được khóa một cách dễ dàng, dù là có dùng máy tính lượng tử đi chăng nữa. Người ta cũng nghiên cứu việc dùng phương pháp viết mật mã lượng tử (quantum cryptography) để tăng cường an ninh của khóa. Người ta cũng nghiên cứu việc dùng trong khóa các chữ ký bằng số (digital signatures), như chữ-ký Lamport (Lamport's signature) mà người ta tin tưởng rằng ngay cả máy tính lượng tử cũng sẽ không thể bẻ được loại khóa này.

Kiểm vật trong một kho dữ liệu lượng tử lớn: Có một vấn đề khác, dùng máy tính lượng tử cũng có ưu thế hơn là dùng máy tính cổ điển, tuy không được đến mức độ như trong việc thừa-số-hóa các số nguyên thành số nguyên tố nói trên, tưởng cũng nên đề-cập ở đây. Đó là sự tìm kiếm một vật nào đó trong một kho dữ liệu lớn (database) với an-gô-rít lượng tử (quantum algorithm) của Grover. Như thế ta định kiểm số điện thoại của

anh Trần Văn Bách ở Việt Nam trong một số thật lớn các quyển Niên giám điện thoại dày cộp của cả nước mà lại chưa sắp tên theo vần! Ưu thế của máy tính lượng tử trong trường hợp này đã được chứng minh rất rõ ràng và cụ thể. Người ta ước lượng được rằng ít ra là thời giờ cần để tìm kiếm nếu dùng máy tính lượng tử cũng có thể nhanh lên được đến mức bình-phương so với máy tính cổ điển. Có nghĩa là nếu một kho dữ liệu lượng tử (quantum database) cần dùng N Q-bit để chứa, thì dùng máy tính lượng tử để kiểm một vật nào đó trong kho dữ liệu này chỉ mất có một thời giờ máy tính tỷ lệ với $\sqrt{N}$, so với máy tính cổ điển phải mất một thời giờ tỷ lệ với $(N+1)/2$ mới kiểm ra được vật đó trong kho dữ liệu với phỏng đoán. Cụ thể ra, giả thử như thời giờ cần thiết trong công việc tìm kiếm ra một vật nào đó trong một kho dữ liệu bằng máy tính cổ điển mất 10 tiếng = 36.000 giây, thì thời giờ dùng máy tính điện tử lượng tử với an-gô-rít Grover chỉ mất chừng 268 giây có nghĩa là chưa đầy 5 phút. Sự tiết kiệm được thời giờ với máy tính lượng tử trong việc tìm kiếm này quả thực cũng không phải là ít.

Ở trên, tôi đã bàn qua ưu thế về vận tốc của tính toán lượng tử so với tính toán cổ điển. Tôi đã thảo luận ưu thế này qua một vài thí dụ điển hình quen thuộc. Thiết tưởng ta cũng nên bàn luận một vấn đề cơ bản khá thú vị khác dựa trên tính toán lượng tử. Đó là vấn đề truyền tin lượng tử. Trước hết ta cần khảo sát sơ qua lại một vài đặc tính quan trọng của cơ học lượng tử để có thể đề cập đến vấn đề truyền tin lượng tử một cách rõ ràng hơn.

Một lý thuyết cơ bản của cơ học lượng tử dựa theo đó người ta đã đề xướng ra sự truyền tin lượng tử là “lý thuyết vướng mắc” (entanglement theory) lượng tử. Vướng mắc các trạng thái lượng tử là một lý thuyết quen biết và đầy tranh luận trong cơ học lượng tử. Thí dụ như ta có một Q-bit đại diện bởi một spin $\frac{1}{2}$. Theo như cơ học lượng tử, Q-bit này có thể ở trạng thái có trị số 0 (spin hướng lên) hay ở một trạng thái có trị số 1 (spin hướng xuống). Khi người ta thực hiện một đo lường lượng tử, người ta có thể biết được spin $\frac{1}{2}$ ở trạng thái “spin hướng lên” (0) hay ở trạng thái “spin hướng xuống” (1). Lẽ cố nhiên là nếu người ta không thực hiện sự đo lường lượng tử này thì Q-bit đó sẽ ở trạng thái là một chồng chập dính-kết (coherent superposition) của hai trạng thái (hướng lên hay hướng xuống) nói trên. Giả thử bây giờ ta có một hệ thống vật lý (physical system) gồm có hai spin $\frac{1}{2}$ (hai Q-bit, Q-bit A và Q-bit B). Hệ thống hai Q-bit này có thể ở một trong bốn trạng thái cơ bản như sau $|00\rangle, |01\rangle, |10\rangle$ và $|11\rangle$. Nên nhớ là trị số 0 hay 1 ghi thứ nhất trong các trạng thái này, theo quy ước của ta, là của Q-bit A

và các trị số 0 và 1 ghi thứ nhì là của Q-bít B. Nhưng cơ học lượng tử cho biết rằng một trạng thái của hệ thống hai Q-bit A và B có thể là một chồng chập dính kết (coherent superposition) của 4 trạng thái kể trên. Giả thử hệ thống hai Q-bít của chúng ta ở trạng thái,

$$|\Psi_{00}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$$

$|\Psi_{00}\rangle$ là sự chồng chập dính-kết của hai Q-bít A và B với tỷ số xác suất ở trạng thái $|00\rangle$ và $|11\rangle$ bằng nhau (và bằng 1/2). Với trạng thái $|\Psi_{00}\rangle$ này của hệ thống hai Q-bít, nếu ta đo Q-bít A mà thấy được trị số 0, thì theo lý thuyết đo lường lượng tử (quantum measurement) trạng thái $|\Psi_{00}\rangle$ của hai Q-bít sẽ “sụp đổ” (collapse) vào trạng thái $|00\rangle$, còn nếu ta thấy được trị số 1 thì $|\Psi_{00}\rangle$ sẽ sụp đổ vào trạng thái $|11\rangle$. Như vậy giả thử rằng sau khi ta đã đo Q-bít A và thấy được trị số 0, và sau đó anh Bách đo Q-bít B thì chắc chắn là anh đó sẽ thấy Q-bít B có trị số 0 và chỉ có thể có trị số 0 thôi. Còn nếu ta thấy trị số 1 cho Q-bít A, thì anh Bách cũng chỉ thấy trị số 1 cho Q-bít B. Như vậy trạng thái của hai Q-bít A và B vướng mắc với nhau. Sự vướng mắc này không phải chỉ có khi hai Q-bít A và B ở một không gian gần nhau mà vẫn còn tồn tại dù là hai Q-bít A và B này ở một không gian cực kỳ xa cách. Như thế, hai trạng thái của Q-bít A và B trong trường hợp vướng mắc này không thể nào độc lập với nhau được. Đúng ra thì trạng thái $|\Psi_{00}\rangle$ mà ta lấy làm thí dụ ở trên là một trong 4 trạng thái vướng mắc của Bell (Bell's entangled states),

$$|\Psi_{00}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$$

$$|\Psi_{10}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle - |11\rangle)$$

$$|\Psi_{11}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle - |10\rangle)$$

$$|\Psi_{01}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle + |10\rangle)$$

Bốn trạng thái của Bell sẽ hợp thành một cơ sở trực chuẩn (orthonormal basis) gọi là cơ sở (basis) của Bell. Nên chú ý rằng các trạng thái của Bell này đều có thể biến đổi bằng cùng một mạch điện tử lần lượt từ các trạng thái $|00\rangle$, $|10\rangle$, $|11\rangle$ và $|01\rangle$ của hai Q-bít. Trạng thái của Bell trong lý thuyết “vướng mắc” (entanglement theory) là một trạng thái có độ vướng mắc tối

đa.

“Vướng mắc lượng tử” nêu ra bởi Einstein, chủ trì của thuyết tương-đối, cùng với hai đồng sự Podolsky và Rosen, để chỉ trích tính chất không “hoàn hảo” (incomplete) của lý thuyết cơ lượng tử qua các giải thích của trường-phái Copenhagen (Copenhagen interpretation). Có nghĩa là rất có thể lý thuyết cơ lượng tử chỉ là một phần của một lý thuyết hoàn hảo (complete theory) trong đó phải có những thông số (parameters) nào đó hãy còn thiếu sót (biến-số ẩn địa-phương, local hidden variables) để gây nên sự tương-quan (correlation) lượng tử này. Mãi ba chục năm về sau (1964), John Bell mới thiết lập được một bất đẳng thức để xác định một giới hạn cao nhất (upper limit) của cường độ tương quan (correlation) cho bất kỳ một lý thuyết nào tôn trọng thực chất địa phương (local realism), và trong khi đó thì “vướng mắc lượng tử” có thể dẫn tới một tương quan (correlation) có cường độ mạnh mẽ hơn và vi phạm cái giới hạn tối đa này. Như thế, tương quan do vướng mắc lượng tử có thể dễ dàng phân biệt được với tương quan do biến số ẩn gây ra, bằng thí nghiệm. Kết quả của nhiều thí nghiệm sau đó dường như hoàn toàn hỗ trợ cơ lượng tử và hiệu ứng vướng mắc lượng tử là có thật. Như vậy, mặc dù trong phạm vi của lý thuyết tương đối, thuyết nhân quả (causality) không cho phép truyền tin qua sự vướng mắc của các trạng thái một mình không thôi, người ta tin tưởng rằng tin tức vẫn có thể truyền đi qua sự vướng mắc của các trạng thái của các Q-bít, nhưng phải có sự giúp đỡ thêm của một phương tiện truyền tin cổ điển với vận tốc chậm hơn vận tốc của ánh sáng, có nghĩa là không vi phạm lý thuyết nhân quả (causality) Bạn đọc nếu thích để ý tới các bài bàn cãi thú vị về lý thuyết vướng mắc (entanglement theory) có thể tham khảo các bài khảo cứu viết về EPR (Einstein, Podolsky and Rosen paradox), vướng mắc lượng tử (quantum entanglement), bất đẳng thức của Bell (Bell’s inequalities), các thí nghiệm làm để thử nghiệm về bất đẳng thức của Bell, các lỗ hổng của các thí nghiệm này, nhân quả phản hồi (retro-causality) của vướng mắc lượng tử v.v...

Viễn tải (teleportation) lượng tử: Sau đây là một thí dụ lý thuyết cụ thể để diễn tả sự truyền tin lượng tử thực hiện được do sự “vướng mắc” lượng tử của các trạng thái của các Q-bít. Giả thử rằng anh Bách và chị Ánh chia sẻ chung với nhau một đôi Q-bít A và B vướng mắc với nhau theo như lý thuyết cơ học lượng tử thành một trạng thái gọi là trạng thái của Bell, như trạng thái $|\Psi_{00}\rangle$ chẳng hạn,

$$|\Psi_{00}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$$

Ít lâu sau anh Bách và chị Ánh chia tay, nhưng mỗi người giữ một nửa đôi Q-bít này. Anh Bách mang theo Q-bít B và chị Ánh ở lại giữ Q-bít A. Sau đó, có người có một Q-bít C và muốn nhờ chị Ánh gửi cho anh Bách. Giả sử Q-bít C này ở trạng thái

$$|\Psi_C\rangle = a|0\rangle + b|1\rangle$$

a và b là hai số phức tạp tùy ý (arbitrary) mà ngay cả chị Ánh cũng không biết. Người ta đã chứng minh rằng chị Ánh có thể lợi dụng sự vướng mắc của đôi Q-bít A và B mà mỗi người còn giữ một nửa để chuyển Q-bít C qua cho anh Bách. Thật thế, chị Ánh có thể tác động Q-bít C với Q-bít A mà chị còn giữ, vận dụng một số biến đổi thích hợp cho hai Q-bít này, rồi sau đó chị đo để biết xem đôi Q-bít C và A sẽ có chuỗi trị số nào, 00, 01, 10 hay 11. Xong chị gửi cho anh Bách biết kết quả đo lường của chị bằng một phương pháp truyền tin cổ điển (không vi phạm thuyết nhân quả!) như điện thoại hay điện tín chẳng hạn. Nhận được mảnh tin này, anh Bách có thể có được trạng thái của Q-bít C bằng cách suy ra từ trạng thái của Q-bít B mà anh còn giữ. Như vậy có nghĩa là mẫu tin Q-bít C đã gián tiếp được “vận tải” từ chị Ánh sang cho anh Bách mặc dù giữa chị Ánh và anh Bách không có một kênh truyền tin cụ thể nào nối với nhau cả. Phương pháp truyền tin không cần kênh giao tiếp mà tôi vừa diễn tả sơ qua ở đây gọi là phương pháp “viễn tải” (teleportation) lượng tử.

Nén-ép các mẫu tin trong truyền tin lượng tử: Một khả năng đặc biệt nữa của truyền tin lượng tử là khả năng nén ép (superdense coding) tin tức trong mẫu tin truyền đi. Giả sử chị Ánh và anh Bách chia sẻ chung với nhau một trạng thái của Bell vướng mắc bởi hai Q-bít A và B.

$$|\Psi_{01}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle + |10\rangle)$$

Sau đó hai người xa cách, nhưng chị Ánh giữ Q-bít A còn anh Bách giữ Q-bít B. Chị Ánh bây giờ cần gửi cho anh Bách một chuỗi hai mẫu tin (bít) hoặc là 00, hoặc là 01 hoặc là 10 hoặc là 11. Người ta đã chứng minh rằng chị Ánh có thể tận dụng sự vướng mắc lượng tử của hai Q-bít A và B và khả năng biến đổi từ xa cái trạng thái vướng mắc của Bell mà hai người chia sẻ thành một trạng thái của Bell khác bằng cách thay đổi trạng thái của Q-bít A mà chị còn giữ và sau đó gửi Q-bít A mới này cho anh Bách. Anh Bách sau khi nhận được Q-bít A của chị Ánh gửi, sẽ đo trị số của đôi Q-bít A và B,

nhưng đo trong cơ sở (basis) của Bell (đã định nghĩa ở trên) và nhờ vậy anh sẽ biết được chuỗi hai mẫu-tin nào (00, 10, 11, hay 01) chị Ánh đã gửi cho anh. Như vậy có nghĩa là chị Ánh đã có thể gửi cho anh Bách hai mẫu tin (bít) cùng một lúc mà chỉ cần dùng có mỗi một Q-bít A mà thôi. Trong trường hợp này người ta nói rằng với truyền tin lượng tử người ta có thể nén ép (superdense coding) hai mẫu tin tức cổ điển vào một bít lượng tử (Q-bít), tăng cường hiệu suất của sự truyền tin lên gấp đôi.

Nói tóm lại, máy tính lượng tử, dùng nguyên tắc tính toán lượng tử với đặc-tính dính-kết và vướng mắc của các trạng-thái lượng tử, có thể giải quyết được nhiều bài toán nhanh hơn máy tính cổ điển rất nhiều và thực hiện được phương pháp truyền tin lượng tử mà một người thứ ba không có cách nào chặn để lấy một cách phi pháp được. Khảo cứu về tính toán lượng tử và truyền tin lượng tử đã và đang tiến hành ráo riết trong những năm gần đây. Trong lĩnh vực lý thuyết, người ta đang tìm kiếm các bài toán (an-gô-rít) lượng tử mới để có thể sử dụng trong máy tính lượng tử, đạt được kết quả nhanh hơn là máy tính cổ điển. Chuyện chính tuy nhiên vẫn là nỗ lực để xây dựng một máy tính lượng tử với số Q-bít đầy đủ để có thể thực hiện được các bài toán lượng tử này. Người ta đã nghiên cứu việc cấu trúc này trong nhiều lĩnh vực khác nhau của vật lý. Ta có thể kể làm thí dụ một vài lĩnh vực này như máy tính lượng tử dựa trên vật siêu dẫn (superconductor), ion mắc kẹt (trapped ions), NMR (nuclear magnetic resonance), CQED (cavity quantum electrodynamics), ngưng tụ Bose-Einstein (Bose-Einstein condensate), điểm lượng tử trên mặt (quantum dot on surface) v.v... và v.v... Người ta cũng làm khảo cứu để tìm cách vượt qua những khó khăn gặp trong tính toán lượng tử. Một trong những khó khăn này là vấn đề suy giảm độ dính-kết (decoherence) của các trạng thái lượng tử làm cho kết quả tính toán có thể bị sai đi khỏi trị số chính xác của nó. Nên nhớ là sự suy giảm dính-kết làm cho các tính toán lượng tử dựa trên các biến đổi nhất-thể (unitarity transformations) không thể nào nghịch đảo lại được. Vấn đề suy giảm dính-kết này đã được nghiên cứu khá nhiều. Một mặt, người ta làm khảo cứu tích cực về phương pháp sửa chữa những sai lầm do sự suy giảm dính-kết gây ra. Mặt khác, người ta cũng nghiên cứu cách kiến trúc một máy tính lượng tử sao cho các Q-bít của máy không bị ảnh hưởng bởi những tác động của môi trường xung quanh, nhất là để tránh được các tác động do sự đo lường các Q-bít gây ra. Cả hai loại tác động này có thể làm suy giảm độ dính-kết khá nhiều. Cũng hy vọng rằng ít

ra trong một tương lai gần, người ta có thể thiết kế được một máy tính lượng tử có đủ khả năng để thực sự thử nghiệm được an-gô-rít của Shor và các an-gô-rít lượng tử khác. Máy tính lượng tử hiện nay vẫn còn ở trong một tình trạng tương đối phôi thai, nhưng với nỗ lực khảo cứu hiện nay, ta sẽ không lấy làm ngạc nhiên là trong một tương lai không xa, người ta có thể cấu trúc được một máy tính lượng tử có khả năng thực hiện được những sự tính toán nhanh hơn tất cả các máy tính siêu tốc dựa trên các tính toán cổ điển đang có hiện nay cũng như là có thể truyền tin bằng phương pháp truyền tin lượng tử và những điều này sẽ có một ảnh hưởng cực kỳ sâu đậm tới tất cả mọi lĩnh vực của nhân loại, sâu đậm hơn cả các ảnh hưởng của máy tính điện tử cổ điển đang dùng hiện nay.

PHẠM ĐỨC CHÍNH*

CƠ-LÝ TÍNH VĨ MÔ CỦA VẬT LIỆU ĐA TINH THỂ HỖN ĐỘN CÓ THỂ ĐƯỢC XÁC ĐỊNH CHÍNH XÁC TỚI ĐÂU?

Abstract. Random polycrystalline aggregates may not have unique macroscopic properties (conductivity, elasticity), but those scatter over some uncertainty intervals. Our upper and lower bounds constructed from the minimum energy and complimentary energy principles and based on the statistical isotropy and symmetry hypotheses are expected to predict those scatter ranges.

Trong thế giới vi mô lượng tử, vị trí và tốc độ của các hạt cơ bản chỉ có thể được xác định đồng thời với độ chính xác trong giới hạn được thiết lập bởi nguyên lý bất định Heisenberg có gắn với một giá trị định lượng cụ thể là hằng số Planck.

Trong thế giới vĩ mô chúng ta cũng gặp vô số những thứ bất định không thể xác định chính xác được, chẳng hạn như các tính chất cơ lý vĩ mô của các vật liệu, cụ thể ở đây là các hệ số dẫn (nhiệt, điện, điện môi, thẩm từ, hệ số khuếch tán, ...) liên kết tuyến tính gradient của trường (nhiệt, điện, ...) với dòng (nhiệt, điện, ...), hay các hệ số đàn hồi cho mối quan hệ tương ứng giữa các trường biến dạng và ứng suất. Các hệ số này được đo đạc trực tiếp từ thực nghiệm và được lập thành bảng để được sử dụng trong thực tế, tuy nhiên thường chỉ được cho với độ chính xác tới 2 chữ số. Đây cũng chính là các hệ số của các phương trình vi-tích phân mô tả thay đổi của các trường (nhiệt, điện, biến dạng, ứng suất, ...) trong vật thể mà chúng ta quan tâm. Một khi độ chính xác của các hệ số này là tương đối thì lời giải của các phương trình cũng chỉ là tương đối một cách tương ứng, cho dù phương

* Viện Cơ học, Viện KH&CN VN, Hà Nội.

pháp giải có chính xác đến đâu đi nữa.

Các sai số này có liên quan tới độ chính xác của các thiết bị và phương pháp đo, nhưng cơ bản là do hầu hết vật liệu thông dụng đều có các cấu trúc không đồng nhất, hỗn độn, mà quan tâm chính của chúng ta ở đây là các đa tinh thể tạo thành từ các đơn tinh thể muôn hình định hướng hoàn toàn ngẫu nhiên trong không gian, liên kết với nhau thành một môi trường liên tục, dẫn tới thể hiện vĩ mô gần như là một vật liệu đồng nhất và đẳng hướng - đặc điểm của phần lớn các vật liệu chúng ta gặp trong thực tế. Xác định mối liên hệ giữa tính chất các thành phần cấu thành (cụ thể ở đây là của đơn tinh thể cơ sở) với tính chất vĩ mô của vật liệu là nhiệm vụ của Cơ học và khoa học Vật liệu.

Ký hiệu tính chất được xem xét của đơn tinh thể là C . Với một đơn tinh thể bất kỳ, đó là một ten xơ đối xứng bậc 2 với 6 hằng số vô hướng độc lập cho “tính chất dẫn”, hay là một ten xơ bậc 4 với 21 hằng số vô hướng độc lập cho “tính chất đàn hồi”. Trong khi đó tính chất C^e của vật liệu đẳng hướng vĩ mô được thể hiện đơn giản chỉ qua 1 hệ số vô hướng đối với tính dẫn, và 2 hệ số vô hướng đối với tính đàn hồi. Đánh giá đơn giản nhất cho tính chất vĩ mô C^e của đa tinh thể, được gọi là đánh giá Voigt-Reuss-Hill, hay Wiener có dạng:

$$\langle C \rangle \geq C^e \geq \langle C^{-1} \rangle^{-1}, \quad (1)$$

trong đó $\langle C \rangle$ là trung bình của C theo mọi phương không gian, C^{-1} là nghịch đảo của C .

Khoảng cách (1) trong nhiều trường hợp tỏ ra là quá rộng. Đánh giá (1) chỉ sử dụng một giả thiết là các đơn tinh thể có các hướng tinh thể được phân bố đồng đều theo mọi phương trong đa tinh thể. Xuất phát từ quan sát là các đơn tinh thể thành phần định hướng hoàn toàn ngẫu nhiên và độc lập với nhau, Hashin và Shtrikman đã khôn khéo xây dựng được một phương pháp biến phân mới cho phép thu hẹp đáng kể khoảng cách (1). Bằng các phương pháp khác nhau, một số tác giả khác đã tìm được một số đánh giá hẹp hơn một chút đánh giá Hashin-Shtrikman cho một số trường hợp riêng cụ thể. Câu hỏi tự nhiên là liệu các đánh giá đó còn có thể được thu hẹp đến đâu?

Các phân tích tính chất vĩ mô của vật liệu, khai triển theo chuỗi tổng các thành phần là tích lũy thừa bậc N tăng dần của độ sai lệch tính chất quanh giá trị trung bình [ở đây có thể lấy như hiệu khoảng cách (1) chia cho giá trị trung bình] với hệ số tương ứng chứa đựng thông tin thống kê bậc N về cấu

trúc hình học của vật liệu, cho thấy đánh giá Voigt-Reuss-Hill tương ứng với bậc 1, còn đánh giá Hashin-Shtrikman là bậc 2. Một đánh giá được gọi là bậc N nếu trong khai triển theo chuỗi ta bỏ đi các thành phần chứa lũy thừa bậc $(N+1)$ và cao hơn thì đánh giá trên và dưới trùng nhau. Thông tin thống kê bậc N về cấu trúc hình học của vật liệu liên quan tới xác suất của N điểm chọn bất kỳ với khoảng cách tương ứng nhất định giữa chúng được ném vào không gian của đa tinh thể và rơi vào một số hạt tinh thể có định hướng tinh thể cho trước. Các phân tích lý thuyết cũng đã chỉ ra rằng không thể có được đánh giá tới bậc 3 và cao hơn cho tính chất vĩ mô của đa tinh thể hỗn độn bất kỳ, vì các đánh giá bậc 3 yêu cầu thông tin thống kê bậc 3 về cấu trúc hình học của vật liệu, mà các thông tin này liên quan tới hình dạng của các hạt tinh thể vốn có các hình thù rất ngẫu nhiên và không định trước được.

Mặc dù vậy, chúng tôi cũng đã xây dựng thành công đánh giá mới, hẹp hơn đáng kể đánh giá Hashin-Shtrikman, và hiện đang là các đánh giá tốt nhất cho các tính chất vĩ mô của đa tinh thể hỗn độn. Đánh giá của chúng tôi vẫn chỉ là bậc 2, nhưng tiến khá gần tới bậc 3. Các biểu thức chính xác đầy đủ của đánh giá mới là phức tạp, nhưng có thể được xấp xỉ để sử dụng trong thực tế bằng biểu diễn đơn giản hơn như sau:

$$P_C(\langle C \rangle) \geq C^e \geq P_C(\langle C^{-1} \rangle^{-1}), \quad (2)$$

trong đó

$$P_C(C^0) = \langle (C + C^*)^{-1} \rangle^{-1} - C^*,$$

với C^* là ten xơ đẳng hướng biểu diễn đơn giản qua ten xơ đẳng hướng C^0 , nhưng có các biểu thức cụ thể khác nhau cho các hệ số dẫn và đàn hồi.

Đầy đủ hơn, đánh giá chính xác có dạng:

$$P_C(C^+) \geq C^e \geq P_C(C^-), \quad (3)$$

trong đó, thay vì có các giá trị đã cho như trong (2), C^+ và C^- phải là các lựa chọn tối ưu từ các ràng buộc bất đẳng thức

$$C^+ \geq \langle C \rangle, C^- \leq \langle C^{-1} \rangle^{-1},$$

và một số bất đẳng thức khác có biểu diễn khá phức tạp, phải kiểm tra qua máy tính. Ngay cả biểu diễn (2), tuy nhìn đơn giản, nhưng có thể nhận thấy ở đây cần có các phép lấy nghịch đảo các ten xơ bậc 2 hay bậc 4, bên cạnh các phép trung bình hóa.

Điều thú vị là đánh giá xấp xỉ (2) là một đánh giá bậc 3, trong khi đánh giá chính xác (3) là bậc 2, nhưng gần với (và nói chung là rộng hơn một chút) đánh giá xấp xỉ (2). Cùng với phân tích lý thuyết đã nói ở trên, điều

này ám chỉ rằng, về mặt lý thuyết, đánh giá mới của chúng ta đã tiến gần tới đánh giá tốt nhất có thể được cho đa tinh thể hỗn độn, ít nhất là theo ngôn ngữ “bậc”.

Áp dụng đánh giá mới (3) đối với Sắt, ta có kết quả cụ thể cho mô đun đàn hồi Young là: $212.2 \geq E \geq 210.6$ (GPa) [đánh giá gần đúng (2) cho $212.2 \geq E \geq 210.9$], còn với Đồng, ta có $130.2 \geq E \geq 127.5$ (GPa) [đánh giá gần đúng (2) cho $130.2 \geq E \geq 128.0$]. Có thể nhận thấy ở đây là mô đun đàn hồi của Sắt và Đồng chỉ có thể được xác định chính xác tới 2 chữ số. Áp dụng cho nhiều vật liệu khác đã cho kết quả là phần lớn các tính chất vĩ mô có thể được xác định trong phạm vi chính xác chỉ từ 2 tới 4 chữ số. Diễn đạt một cách khác thì “độ rộng khoảng bất định” $S = [(\text{đánh giá trên}) - (\text{đánh giá dưới})] / [(\text{đánh giá trên}) + (\text{đánh giá dưới})]$ cho nhiều vật liệu thường có các giá trị từ một vài phần trăm tới vài phần vạn.

Giá trị của đánh giá xấp xỉ (2) không chỉ ở chỗ nó đơn giản và tương đối gần với đánh giá chính xác (3) qua nhiều tính toán số cụ thể. Đánh giá (2) là chính xác cho mô hình giả tưởng là các đơn tinh thể tạo thành đa tinh thể đều có dạng hình cầu. Thực tế thì các đơn tinh thể thường là các khối đa diện với kích thước tương đối đều theo các chiều không gian - gần với hình cầu hơn là các thái cực khác như hình đĩa dẹt, hay thon dài như cái kim, hay có các cấu hình tô pô phức tạp như hình xuyên chẳng hạn. Bởi vậy, áp dụng trong thực tế, (2) có thể cho kết quả xấp xỉ tốt hơn là như mong đợi nếu chỉ xuất phát từ lý do là (2) gần với (3).

Phương pháp của chúng tôi lấy cảm hứng bắt nguồn từ phương pháp Hashin-Shtrikman mà đã được nhiều tác giả khác hoàn thiện. Tuy nhiên, chúng tôi không sử dụng nguyên lý biến phân Hashin-Shtrikman được xây dựng riêng cho mục tiêu này, mà xuất phát trực tiếp từ các nguyên lý cơ bản hơn là các nguyên lý năng lượng, và năng lượng bù cực tiểu. Điểm cực tiểu của các phiếm hàm năng lượng tương ứng với các trường thực và giá trị chính xác của tính chất vĩ mô, còn các trường thử (không thực, khả dĩ) thỏa mãn một số ràng buộc cho trước, đặt vào các phiếm hàm năng lượng, sẽ cho được các đánh giá (trên và dưới) đối với tính chất vĩ mô. Các trường khả dĩ đơn giản nhất để dàng thỏa mãn các ràng buộc là các trường hằng số, mà khi đặt vào các phiếm hàm năng lượng cho chúng ta đánh giá Voigt-Reuss-Hill (1). Tuy nhiên, để nhận được các đánh giá nhạy cảm hơn, chúng ta cần các trường khả dĩ biến thiên theo sự thay đổi tính chất tinh thể trên hình học cụ thể của vật liệu. Khó khăn là chúng ta phải xây dựng trường khả dĩ

tốt nhất trên một hình học hỗn độn và không xác định trước của đa tinh thể. Trong quá trình xây dựng, chúng tôi cũng tiến tới trường phân cực Hashin-Shtrikman, có sử dụng các hàm thể Green của các bài toán dẫn và đàn hồi cho không gian vô hạn. So với các bất đẳng thức Hashin-Shtrikman, các biểu thức năng lượng của chúng tôi có thêm được các thành phần nhiễu chứa đựng thông tin thống kê bậc 3 về cấu trúc hình học của vật liệu, giúp cho xây dựng các đánh giá mới tốt hơn. Các phiếm hàm năng lượng này không thể tính chính xác được, nhưng có thể đánh giá (trên và dưới) được. Để đánh giá các phiếm hàm năng lượng này, chúng tôi xây dựng 2 giả thiết cơ bản về cấu trúc hình học hỗn độn của đa tinh thể:

Chúng tôi xem đa tinh thể hỗn độn được cấu thành từ n pha (nhóm) có thể tích bằng nhau, mỗi pha (nhóm) gồm có các hạt tinh thể có cùng hướng tinh thể trong không gian, tuy hình học của từng hạt tinh thể có thể tùy ý và không định trước. Đa tinh thể thực được biểu diễn bởi cấu hình n -pha như vậy, với $n \rightarrow \infty$ và mọi hướng tinh thể trong không gian đều được hiển diện công bằng. Giả thiết thứ nhất “đẳng hướng thống kê” là: các biểu thức tích phân cụ thể lấy trên hình học pha được xây dựng từ các đạo hàm của các hàm thể điều hòa và song điều hòa (xuất hiện trong các hàm Green của các bài toán dẫn hay đàn hồi cho miền vô hạn) mô tả tương tác hình học giữa các pha phải là các ten xơ đẳng hướng (nếu không thì tại sao nó lại phải có hướng xác định nào đó trong không gian đa tinh thể hỗn độn của chúng ta?). Chúng ta cần tới ten xơ đẳng hướng tới bậc 4 cho bài toán dẫn, và ten xơ đẳng hướng tới bậc 8 (có biểu diễn khá phức tạp) cho bài toán đàn hồi. Đánh giá Hashin-Shtrikman trên thực tế cũng đã sử dụng một số hệ quả riêng từ giả thiết này.

Giả thiết thứ hai “đối xứng thống kê” là: việc hoán đổi vị trí giữa các tinh thể của 2 pha bất kỳ trong cấu hình n -pha nói trên không làm thay đổi giá trị các phiếm hàm cụ thể được xây dựng trên hình học pha từ các hàm thể đã nói trên. Nói nôm na là nếu ta hoán đổi đối vị trí giữa 2 nhóm tinh thể bất kỳ có các định hướng tinh thể khác nhau, thì các đặc trưng vĩ mô của đa tinh thể không hề thay đổi.

Cần nhấn mạnh rằng “hỗn độn” ở đây hàm ý hoàn toàn ngẫu nhiên. Nó không bao hàm các cấu hình có trật tự toàn phần hay một phần.

Vấn đề được trông đợi tiếp theo là cần có các thực nghiệm đo đạc các tính chất các vật liệu đa tinh thể cụ thể, để so sánh “khoảng bất định” quan sát được với kết quả lý thuyết. Các đo đạc này phải thật chính xác, cấu hình

của đa tinh thể phải thực sự là hỗn độn, và một số yếu tố khác cũng có thể giúp làm tăng “khoảng bất định” cần được tách bạch và giảm thiểu. Kết quả thực nghiệm sẽ kiểm chứng giá trị của kết quả lý thuyết đã được xây dựng.

Một hướng có thể khác là dùng mô phỏng số để tạo ra các hình học đa tinh thể hỗn độn và tính toán tính chất vĩ mô cho mỗi cấu hình được tạo ra. Người ta đã tạo được ra những cấu hình như vậy với sự giúp đỡ của máy tính, từ rất nhiều điểm được ném ngẫu nhiên vào không gian, rồi chia không gian thành các đơn tinh thể theo các cách phân cắt Voronoi hay Delaunay, lấy các điểm đã cho làm tâm. Tuy nhiên, việc giải chính xác bài toán dẫn hay đàn hồi cho một khối lớn các đa tinh thể hỗn độn như vậy, ngay cả cho trường hợp đơn giản đi nhiều là không gian 2 chiều (phẳng) cũng quá nặng so với khả năng của máy tính hiện nay.

Một số phản biện đồng nghiệp vẫn chưa hoàn toàn tán đồng với ý tưởng của tôi là tồn tại “khoảng bất định” xác định đối với tính chất vĩ mô của đa tinh thể hỗn độn, kể cả đối với mô hình số nói trên (và nói chung là các môi trường liên tục và các hệ có cấu trúc hỗn độn). Họ tin rằng với kích thước của khối đa tinh thể đại diện tăng dần lên, tính chất vĩ mô sẽ dần hội tụ, không phải tới một “khoảng bất định” xác định, mà tới một giá trị chính xác, theo đúng với định đề xuất phát của lý thuyết đồng nhất hóa các môi trường không đồng nhất.

Một ví dụ đơn giản và nổi tiếng nhất về một hệ ngẫu nhiên là việc ném đồng xu để nhận được các kết quả sấp hay ngửa. Các thực nghiệm đã chứng tỏ rằng với số lần ném tăng lên, xác suất để nhận được kết quả sấp hay ngửa sẽ tiến chính xác tới con số $\frac{1}{2}$, và chẳng có “khoảng bất định”, dù nhỏ, nào ở đây cả. Tuy nhiên điều này cũng dễ hiểu vì hệ các sự kiện ném đồng xu đơn giản hơn rất nhiều, thêm vào đó khái niệm “sấp” hay “ngửa” là khái niệm không định lượng, và chẳng có cái “cỡ đo” nào cho “khoảng bất định” cả. Trong khi đó với đa tinh thể ta có hiệu số tính chất theo các hướng khác nhau của đơn tinh thể dị hướng cơ sở, hoặc khoảng cách (1), có thể đóng vai trò “cỡ đo”.

Việc sử dụng mô phỏng số để tính toán các hệ không đồng nhất, ngẫu nhiên, và các vật liệu có cấu trúc tuần hoàn cũng như hỗn độn, đang được phát triển mạnh mẽ bởi nhiều tác giả.

Được nghiên cứu tỉ mỉ nhất là các mạng ngẫu nhiên (random networks) trên cơ sở các cấu hình tuần hoàn cụ thể như các mạng tuần hoàn vuông, tam giác, tổ ong lục giác, Kagomé (2 chiều), và mạng kim cương, lập phương

đơn giản, lập phương tâm mặt, lập phương tâm khối (3 chiều)... với các đoạn nối (bond) trong mạng được cho một số giá trị “dẫn” (hay “đàn hồi”) cụ thể một cách ngẫu nhiên theo một tỷ lệ cho trước. Các tính toán số đã cho thấy tính chất dẫn (hay đàn hồi) vĩ mô của các mạng ngẫu nhiên này, ở kích thước lớn, hội tụ tới các giá trị duy nhất (không thấy tồn tại “khoảng bất định”), thậm chí chính xác tới 6 chữ số cho một số mạng từ các thành phần có các tính chất thái cực như “dẫn + siêu dẫn”, “dẫn + không dẫn”, “đàn hồi + siêu cứng”,...

Tuy nhiên, chưa thấy có nghiên cứu chi tiết và tin cậy tương tự cho các mạng ngẫu nhiên trên cơ sở các cấu hình hỗn độn phi tuần hoàn, chẳng hạn từ các cấu hình Voronoi hay Delaunay hỗn độn. Tính toán chính xác cho các mạng (kích thước sẽ phải rất lớn) này sẽ phức tạp hơn rất nhiều, dù bài toán cho mạng vẫn đơn giản hơn nhiều so với cho môi trường liên tục không đồng nhất như đa tinh thể. Các kết quả chính xác, nếu có được, rất có thể sẽ chỉ ra sự tồn tại của “khoảng bất định” cho tính dẫn và đàn hồi vĩ mô của mạng ngẫu nhiên hỗn độn.

Một số tác giả Mỹ đã mô phỏng và tính toán số các tính chất đàn hồi vĩ mô cho vật liệu độ rỗng cao dạng ô mạng tổ ong Voronoi hỗn độn 2 chiều (các vách ô của mạng được mô hình như dầm chịu uốn) và nhận thấy có “khoảng bất định” lớn tới mức $5 \div 10\%$ giá trị trung bình của tính chất vĩ mô - phù hợp với quan sát của họ qua thực nghiệm và kinh nghiệm làm việc thực tế với nhiều vật liệu loại này có từ sản xuất hay trong thiên nhiên. Khoảng bất định cho các tính chất khác như “độ bền” thậm chí còn lớn hơn. Tuy nhiên các mô hình, cơ sở của phương pháp, và sơ đồ tính cần được hoàn thiện nhiều, trước khi có thể đưa ra được các kết quả chính xác và thuyết phục về “khoảng bất định” cho các mô hình tương ứng. Có thể coi các thực nghiệm trực tiếp hay mô phỏng số là cách tìm “khoảng bất định” từ trong ra, còn cách xây dựng đánh giá lý thuyết như chúng ta đã làm ở trên là cách tìm “khoảng bất định” từ ngoài vào. Hiện chưa có phương pháp lý thuyết thích hợp để đánh giá “khoảng bất định” từ ngoài vào cho vật liệu độ rỗng cao dạng ô mạng tổ ong hỗn độn. Phương pháp lý thuyết cho được công thức để sử dụng chung cho mọi trường hợp và còn có khả năng giải thích hiện tượng, còn phương pháp thực nghiệm và mô phỏng số cho kết quả chỉ cho từng trường hợp cụ thể, nhưng có tác dụng kiểm chứng kết quả lý thuyết.

Vũ trụ đã biết của chúng ta bao la gần như là vô tận, với kích thước cỡ

100 tỷ năm ánh sáng. Các quan sát cho thấy phân bố vật chất và bức xạ trong vũ trụ hầu như là đồng nhất và đẳng hướng tuyệt đối, với bức xạ nền đồng đều ở nhiệt độ 2.725°K , nhưng vẫn có một mức nhiễu nhỏ cỡ 10^{-5} . Nếu có được lý thuyết để ước đoán được khoảng bất định này cũng sẽ là điều thú vị. Liệu chúng ta sẽ phải trở về thời điểm 300.000 năm sau Vụ nổ lớn, ở ranh giới khi vũ trụ chuyển từ các hạt tích điện sang các nguyên tử và phân tử trung hòa mà bức xạ nền được giải phóng, hay có thể đơn giản hơn là có mối tương quan nhất định giữa mức nhiễu của bức xạ nền và cấu trúc hiện tại của vũ trụ? Có thể thấy hình học vũ trụ hiện tại là hỗn độn (tương ứng với đa tinh thể), nhưng ở mức địa phương vũ trụ cũng có những cấu hình trật tự như các thiên hà và cụm thiên hà (tương ứng với trật tự địa phương của đơn tinh thể).

Liệu mọi bất định của thế giới vĩ mô đều bắt nguồn từ các bất định của thế giới vi mô ở thang Planck? Nếu có những sợi dây dẫn dắt cho các khuyếch đại đó thì chúng ta cần tìm cách mô tả. Nhưng cũng rất có thể thế giới vĩ mô có những quy luật riêng của mình, không phụ thuộc trực tiếp những gì xảy ra ở thế giới vi mô. Dù thế nào thì ý tưởng về “lượng tử” của Planck và những hệ quả sâu rộng của nó đối với khoa học nói chung luôn là tấm gương động viên chúng ta trên con đường tìm hiểu các quy luật của tự nhiên.

Chi tiết hơn về các kết quả và các tài liệu liên quan, xem:

[1] Pham, D.C. Conductivity of realizable effective medium intergranularly random and completely random polycrystals against the bounds for isotropic and symmetrically random aggregates. *Journal of Physics: Condensed Matter* **10**, 9729-9735 (1998).

[2] Pham, D.C. Uncertainty ranges for the macroscopic resistivities and permeabilities of random polycrystalline aggregates. *Physical Review B* **64** 104205[1-8] (2001).

[3] Pham, D.C. New estimates for macroscopic elastic moduli of random polycrystalline aggregates. *Philosophical Magazine* **86**, 205-226 (2006).

[4] Pham, D.C. Macroscopic uncertainty of the effective properties of random media and polycrystals. *Journal of Applied Physics* **101**, 023525[1-9] (2007).

[5] Pham, D.C. On the macroscopic elastic moduli of inhomogeneous materials and random orthorhombic polycrystals. *Acta Mechanica*, in press

(2008).

VIỄN CẢNH VỀ NĂNG LƯỢNG

Abstract: L'énergie va devenir de plus en plus chère. C'est le cas des combustibles fossiles dont l'utilisation est nocive pour l'environnement car elle contribue à accroître l'effet de serre naturel. Ils sont en quantité finie sur la planète et vont peu à peu s'épuiser. Notre civilisation, dont la richesse est basée sur ceux-ci, doit progressivement les remplacer par d'autres sources d'énergie avant qu'il ne soit trop tard. Elle doit aussi changer la manière dont on consomme l'énergie sans pour autant diminuer notre niveau de vie et en augmentant celui des habitants des pays en voie de développement. C'est possible en évoluant et en substituant peu à peu d'autres sources d'énergie aux combustibles fossiles. Cette contribution fait un rapide survol de la situation énergétique actuelle et des possibilités pour le futur.

Tóm tắt: Năng lượng sẽ ngày càng đắt đỏ. Đó là trường hợp của những nhiên liệu hóa thạch, việc sử dụng chúng làm phương hại môi sinh vì nó góp phần làm tăng hiệu ứng nhà kính. Số lượng nhiên liệu này chỉ có hạn trên trái đất và sẽ dần dần cạn kiệt. Nền văn minh chúng ta, vốn dựa vào những tài nguyên đó để phát triển, nên cũng cần phải dần dần thay thế chúng bằng những nguồn năng lượng khác, trước khi quá muộn. Chúng ta cũng phải thay đổi cách sử dụng năng lượng để một mặt không làm suy giảm mức sống của chúng ta mà đồng thời vẫn làm tăng mức sống của nhân dân các nước đang phát triển. Khả năng này có thể trở thành hiện thực nếu ta biết cách thay thế dần dần nhiên liệu hóa thạch bằng những nguồn năng lượng khác. Bài viết này lược nhanh tình hình năng lượng hiện nay và những viễn cảnh trong tương lai.

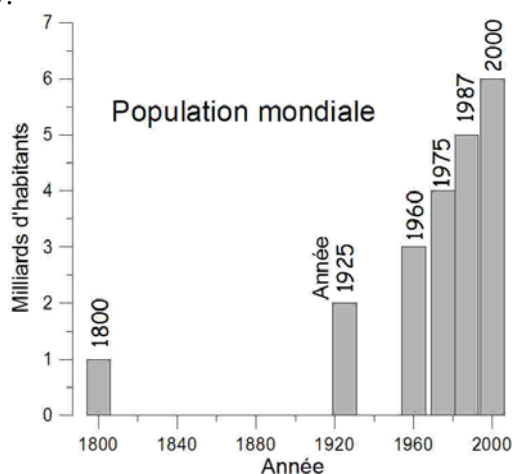
Năng lượng cần thiết cho sự phát triển kinh tế và đời sống. Của cải của nền văn minh chúng ta vốn dựa vào những nhiên liệu hóa thạch, thế mà chúng có thể cạn kiệt. Dẫu tiêu thụ nhanh chậm thế nào chúng cũng có lúc hết, và ta sẽ phải xử lý tình trạng này. Ngoài ra, do sinh hoạt của con người,

* Edmonium Conseil.

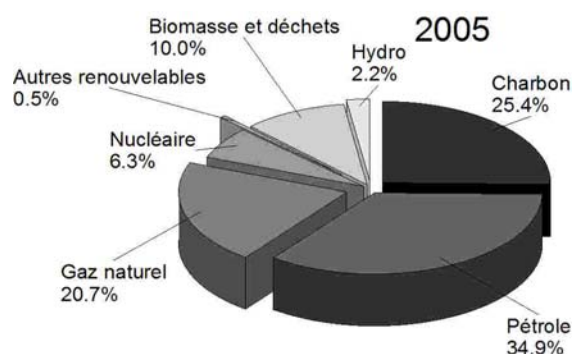
vấn đề khí thải làm nên hiệu ứng nhà kính còn tác động lên khí hậu, dầu ta khó tiên đoán được một cách định lượng sự thay đổi sẽ ra sao trong tương lai. Trong mọi trường hợp ta phải cải tiến. Sự thay đổi trong lĩnh vực năng lượng đòi hỏi thời gian lâu dài nên ta cần sửa soạn ngay từ bây giờ để sẵn sàng ứng đáp cho đến giữa thế kỷ.

Điều thách thức về vấn đề năng lượng là chúng ta phải làm sao có thể rút bớt đi sự phát khí độc CO₂ và giảm sự lệ thuộc vào nhiên liệu hóa thạch. Nếu cứ tiếp tục tiêu thụ dầu hỏa với mức độ ngày nay thì không thể tránh khỏi một cuộc khủng hoảng nghiêm trọng về sự thiếu hụt năng lượng. Dùng các nhiên liệu hóa thạch khác sẽ dẫn đến sự thay đổi khí hậu với hệ quả nặng nề đến đời sống con người và nền kinh tế toàn cầu.

Của cải mà chúng ta có được ngày hôm nay một phần nhờ vào những nguồn năng lượng rẻ tiền, phần khác vào công trình của những nhà khoa học lớn đã giúp ta canh tân và sử dụng hiệu quả những nguồn năng lượng mà thiên nhiên mang lại cho chúng ta. Ngay từ khởi đầu cuộc cách mạng công nghệ, nhiều nhà khoa học đã nhận ra ngay vai trò quan trọng của năng lượng cho xã hội và chẳng phải ngẫu nhiên mà những bộ óc xuất sắc nhất đã lưu tâm đến nhiệt động học và ứng dụng của ngành này, cũng như đến các ngành vật lý khác để cải tiến sự sản xuất năng lượng sao cho nhiều và rẻ. Sự quan tâm này vẫn tiếp diễn trong hai thế kỷ vừa qua. Max Planck góp phần chủ yếu cho vật lý ngay cả trong lĩnh vực năng lượng. Công trình của ông đã là chất xúc tác của biết bao đổi mới để mang lại cho ta tiện nghi vật chất ngày nay.



Hình 1. Tiến triển của dân số toàn cầu theo từng tỷ người



Hình 2. Phân bố sự tiêu thụ năng lượng thô giữa những nguồn năng lượng khác nhau, theo AIE, www.iea.org

Thêm nhiều nữa!

Sự tiêu thụ năng lượng thô, nghĩa là trước khi được chế biến, không ngừng tăng trưởng vì một phần là do dân số toàn cầu tăng lên (khoảng 200.000 nhân khẩu mỗi ngày), phần nữa vì mức sống được nâng cao ở những nước đang trên đà phát triển, do đó sự tiêu thụ năng lượng cũng tăng theo. Thực tế, bất kỳ sự trao đổi kinh tế hay kỹ nghệ nào cũng đều cần đến vận tải hay máy móc, là những thứ cần đến năng lượng để vận hành.

Năm 1000, người ta ước lượng có khoảng từ 250 đến 350 triệu dân số trên Trái đất. Con số 1 tỷ người đầu tiên đạt tới là vào năm 1800, sau đó nhân loại tăng nhanh bắt đầu từ thế kỷ vừa qua, hình 1 chỉ rõ những niên biểu cho biết sự tăng trưởng mỗi lần 1 tỷ người.

Nhưng đại đa số dân chúng trên trái đất hãy còn có thu nhập thấp và rất nhiều người không đủ phương tiện để sống trong một xã hội tân tiến. Ước lượng cho hay có khoảng 2.8 tỷ người sinh sống chỉ với gần 2\$ mỗi ngày và một tỷ người dưới 1\$. Mức sống của họ chỉ có thể nâng cao hơn nếu họ tiêu thụ thêm năng lượng (mọi hoạt động thương mại hay sản xuất đều đòi hỏi năng lượng mà).

Do đó, sự tăng trưởng nhân số cũng như mức sống làm cho sức tiêu thụ năng lượng ngày càng nhiều trên trái đất. Ước tính cho thấy là năm 1800 người ta tiêu thụ khoảng 0.2 Gtep cho 1 tỷ người. Năm 1900 mức tiêu thụ tăng lên 1 Gtep cho 1.7 tỷ dân số và năm 2000 tăng lên là 10 Gtep cho 6 tỷ người. Những con số này chứng tỏ năng lượng tiêu thụ không những phụ thuộc vào sự tăng trưởng mà còn vào mức sống được nâng cao: trung bình

con người ngày nay giàu có hơn so với hai thế kỷ trước¹.

Một thế giới ngự trị bởi các nhiên liệu hóa thạch

Như hình 2 chỉ rõ, thế giới của chúng ta bị thống trị bởi những nguyên liệu hóa thạch. Dầu hỏa, khí đốt tự nhiên và than đá chiếm đến 80% năng lượng thô mà chúng ta tiêu thụ. Chúng đã mang phong phú cho nhân loại nhưng dự trữ của những nguồn năng lượng này trên trái đất không vô hạn. Sớm muộn chúng sẽ cạn kiệt và chúng ta phải tìm ra những nguồn khác thay thế.

Nhìn trên hình 2 chúng ta thấy hạt nhân nguyên tử góp phần gấp ba lần thủy điện, mặc dù hai nguồn năng lượng này sản xuất đại khái cùng một số lượng điện. Cái hệ số 3 đó xảy ra là vì hiệu suất sản xuất điện của một trung tâm hạt nhân chỉ bằng 33% trong khi đập thủy điện có năng suất gần đến 100%. Điều đó chứng tỏ cái tùy tiện trong sự so bì giữa các nguồn năng lượng.

Sinh khối và chất phế thải cung cấp khoảng 10% trong tổng thể năng lượng toàn cầu. Phần lớn nguồn năng lượng này lại nằm ngoài các chu trình thương mại. Nhiên liệu hóa thạch ngày nay tuy chiếm phần quan trọng, nhưng cách đây 2 thế kỷ đa số dân chúng tận dụng những nguồn năng lượng tái tạo. Thực vậy, cách đây hai thế kỷ mức tiêu thụ năng lượng thô được ước tính khoảng 0.2 Gtep và sinh khối là nguồn năng lượng chủ yếu của nhân dân thời đó (khoảng 1 tỷ người). Ngày nay những chất liệu này hãy còn là nguồn năng lượng cho nửa phần nhân loại (khoảng 3 tỷ người) với mức tiêu thụ 1 Gtep.

Sự thay đổi khí hậu

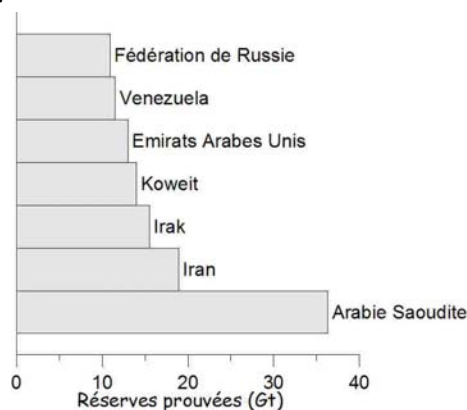
Nếu không có hiệu ứng nhà kính thì nhiệt độ trung bình trên trái đất sẽ là -18°C. Nước đóng băng hết và cuộc sống sẽ chẳng như ta biết ngày nay. May thay, hiệu ứng nhà kính tự nhiên làm tăng nhiệt độ lên 33°C. Và trái đất với nhiệt độ 15°C trở nên rất thích hợp cho sinh vật. Vì vậy, điều đáng lo ngại không phải là hiệu ứng nhà kính tự nhiên mà là sự tăng cường của hiệu ứng này do sinh hoạt của con người và nhất là do sự sử dụng các nhiên liệu hóa thạch cho nhu cầu năng lượng. Khí CO₂ góp phần chủ yếu vào sự tăng hiệu ứng nhà kính, nhưng còn nhiều loại khí khác như CH₄ (23 lần độc

¹ Đơn vị đo năng lượng, 1Gtep = 1tỷ tep; 1tep tương đương với năng lượng của một tấn dầu = 41,8 tỷ Joule – ND.

hại hơn CO₂), oxit nitơ v.v... cũng có những tác dụng nhất định. Ngay nước cũng góp phần làm tăng hiệu ứng nhà kính. May thay, sinh hoạt của con người phát ra lượng hơi nước quá nhỏ nên không đóng vai trò đáng kể.

Sự tăng hiệu ứng nhà kính do tác động của con người dẫn đến sự tăng nhiệt độ trung bình trên trái đất và làm thay đổi khí hậu. Tuy vậy, ta không thể tiên đoán chính xác được tầm quan trọng của sự thay đổi khí hậu, nó tùy thuộc vào cách thức chúng ta tiếp tục sử dụng nhiên liệu hóa thạch trên quy mô toàn cầu. Những chuyên gia của GIEC (www.ipcc.ch) tiên đoán nhiệt độ sẽ tăng lên khoảng từ 1.8°C đến 4°C cho đến cuối thế kỷ. Con số 4°C tương đương với sự giảm cũng từng ấy nhiệt độ trong giai đoạn chuyển tiếp từ thời kỳ *gian băng* sang thời kỳ *sông băng* trên trái đất. Đó là một cuộc thay đổi khí hậu rất lớn.

Tất cả các nhiên liệu hóa thạch khi đốt lên đều phát ra khí CO₂. Nhưng chúng càng chứa nhiều nguyên tử hydro thì chúng lại càng ít phát ra khí độc này để sản xuất ra một đơn vị năng lượng. Với cùng một nhiên liệu thì hiệu suất sử dụng tốt nhất là làm sao phát ra ít khí CO₂ nhất. Cũng một kWh điện sản xuất ra, một tuabin khí có hiệu suất khoảng 55% phát ra CO₂ ít hơn một tuabin đơn với hiệu suất 45 %. Đại thể như sau: sản xuất được 1kWh điện với than đá thì lượng CO₂ phát ra là 1000g, với dầu hỏa là 750g và với khí đốt là 500 g. Vì nước Pháp sản xuất 90% điện không có CO₂, một người Pháp trung bình phát ra khí CO₂ ít hơn người Đức 1.8 lần và ít hơn người ở Mỹ 2.9 lần.



**Hình 3. Trữ lượng đã được xác minh về dầu hỏa thông thường.
Dữ kiện của BP statistical review 2007**

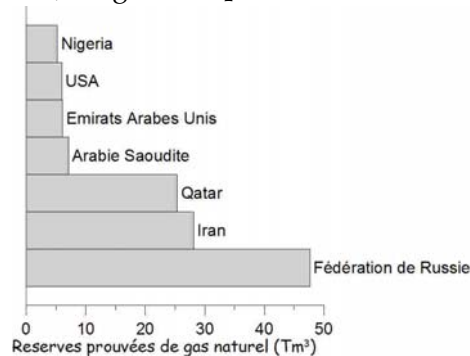
Tùy theo những nguồn năng lượng khác nhau được sử dụng, mà số lượng khí CO₂ phát ra trung bình để sản xuất 1 kWh điện thay đổi theo từng quốc gia. Nước Pháp vì chỉ có 10% điện sản xuất bởi các nhà máy nhiệt

điện nên phát ra 90g khí CO₂/ kWh. Con số này rất nhỏ so với Đức (600 g/kWh), Đan Mạch (840 g/kWh) hay Tây Ban Nha (480 g/kWh), xứ này tuy có một bãi năng lượng gió (phong điện) quan trọng nhưng phần lớn năng lượng điện của họ lại được sản xuất từ các nhiên liệu hóa thạch.

Một xe hơi phóng ra 180 g khí CO₂ khi chạy được 1km (180g/km), giá trị này, nói chung, thực tế hơn là giá trị trong những lần thử chuẩn hóa, như vậy hằng năm nếu chạy 15.000km (về cỡ độ lớn đây là khoảng cách trung bình mà một xe hơi gia đình chạy trong một năm) thì một xe hơi phóng ra 2,7 tấn khí CO₂. Sự phóng khí CO₂ tỷ lệ thuận với sự tiêu thụ chất đốt. Hệ số chuyển đổi như sau:

1 lít xăng dầu $\Leftrightarrow$ 2,35 kg khí CO₂

1 lít dầu diesel $\Leftrightarrow$ 2,35 kg khí CO₂

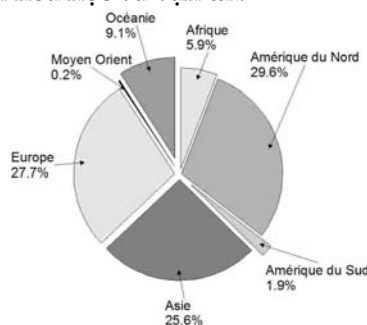


**Hình 4. Trữ lượng đã được xác minh về khí đốt tự nhiên.
Dữ kiện của BP statistical review 2007**

Nhiên liệu hóa thạch

Chính nhờ khai thác được những nguồn năng lượng rẻ tiền (nhiên liệu hóa thạch) mà thiên nhiên đã phải mất cả hàng trăm triệu năm để tạo thành, cho nên nền văn minh hiện đại đã phát triển nhanh chóng (người Pháp đã giàu lên gấp hai lần chỉ trong vòng 25 năm trong thời kỳ 1970 mới đây, mà trước đó họ đã phải mất đến 400 năm từ 1400 đến 1800 để đạt tới kết quả tương tự). Nhưng số lượng của nhiên liệu hóa thạch cũng chỉ có hạn trên trái đất. Cho dù ta có tiết kiệm thay vì phung phí như ngày nay, ta cũng chẳng sao tránh khỏi cuộc khủng hoảng về năng lượng vì một ngày nào đó chúng sẽ cạn kiệt. Trong khi chờ đợi, giá cả của chúng sẽ tăng mạnh. Cuộc khủng hoảng này sẽ xảy ra trong một tương lai xa hay chỉ vài thập kỷ tới, cái đó tùy thuộc vào cách thức ta sẽ sử dụng ra sao những nhiên liệu còn sót lại, bằng cách nào đi nữa thì cuộc khủng hoảng sẽ phải đến. Vì thế ta cần

sửa soạn thay thế dần dần nhiên liệu hóa thạch bằng những nguồn năng lượng khác và nhiên liệu hóa thạch còn sót lại nên dành cho những hoạt động cao quý nhất như hóa học và vận tải.



Hình 5. Phân phối về trữ lượng than đá cuối năm 2005.
Dữ liệu của WEC www.worldenergy.org

Điều quan trọng là cần phải biết ở đâu có nhiều trữ lượng nhiên liệu hóa thạch vì nó rất quan trọng cho sự bảo đảm an toàn nguồn cung cấp, phần lớn các cuộc chiến tranh có nguyên nhân là để kiểm soát các nguồn năng lượng. Liên hiệp châu Âu sẽ càng ngày càng lệ thuộc vào năng lượng. Năm 2004 Liên hiệp châu Âu phụ thuộc vào bên ngoài đến 80% đối với dầu hỏa và 54% đối với khí đốt. Các chuyên gia dự tính sự lệ thuộc sẽ tăng lên đến 90% về dầu hỏa và 70% về khí đốt vào năm 2020.

Trữ lượng dầu hỏa nằm phần lớn ở Cận Đông (hình 3), về khí đốt ở Liên bang Nga và Cận Đông (hình 4). Đặc biệt, ta thấy rằng Iran đóng vai trò trọng yếu đối với dầu hỏa và khí đốt.

Những trữ lượng về than đá được phân phối điều hòa hơn ở những xứ Âu Mỹ như hình 5 minh họa. Có rất nhiều dự trữ về than đá so với dầu hỏa và khí đốt, vậy nó là nguồn năng lượng của tương lai, tiếc thay nó lại là loại năng lượng hóa thạch gây ô nhiễm nhiều nhất.

Cũng có những loại dầu hỏa không thông thường như đá phiến chứa bitum hay cát nhựa, với nguồn dự trữ rất đáng kể. Tuy nhiên, ta phải mất nhiều năng lượng hơn để chiết xuất dầu hỏa từ những nguồn đó ra, và lại nó còn gây ô nhiễm mạnh hơn. Vì ta có thể tổng hợp dầu hỏa từ than đá, khí đốt hay sinh khối, cho nên đến cuối thế kỷ ta hãy còn sản xuất được dầu hỏa nhưng với một giá khác ngày nay.

Năng lượng tái tạo

Năng lượng tái tạo là những nguồn năng lượng cổ xưa nhất mà loài người đã từng sử dụng. Thực vậy, sinh khối được dùng ngay từ thuở phật

minh ra lửa cách đây 500.000 năm. Chúng đã góp phần cho sự phát triển thời Trung Cổ và thay thế phần nào cho sức người. Tiếc thay, việc khai thác rừng ồ ạt làm cho gỗ ngày càng trở nên hiếm hoi và có lẽ đã làm cho nền văn minh ở châu Âu tàn lụi nếu châu lục này không kịp thời khai thác than đá để mở đầu cuộc cách mạng công nghệ. Thời đó nhu cầu năng lượng hãy còn nhỏ. Hai thế kỷ trước đây, một người Pháp tiêu thụ năng lượng 14 lần ít hơn ngày nay và dân chúng Pháp chỉ bằng nửa bây giờ khiến cho nước Pháp tiêu thụ 28 lần ít hơn thời nay. Việc chuyển sang dùng nhiên liệu hóa thạch đã cho phép xứ này giữ được những gì còn sót của sinh khối và họ tiến hành trồng lại rừng. Kết quả là ngày nay ở Pháp diện tích rừng rộng lớn gấp đôi lần so với hai thế kỷ trước.

Những năng lượng tái tạo có lợi nhất về mặt kinh tế thì ngày nay đã được sử dụng rất rộng rãi. Đó là trường hợp các thác và đập nước để sản xuất thủy điện, hay sinh khối và chất phế thải để sản xuất nhiệt năng. Những đập thủy điện lớn có hiệu suất rất cao. Nếu khả thi, đó là nguồn năng lượng nên khai thác ưu tiên cho một xứ để sản xuất điện. Đó là chính sách mà nước Pháp đã áp dụng và thủy điện trong nhiều năm cung ứng phần lớn nhu cầu năng lượng của dân Pháp (năm 1960, 56% điện của xứ này là thủy điện). Bắt đầu từ năm ấy, nhu cầu điện tăng trưởng rất mạnh nên Pháp phải đổi sang các nguồn khác, và lại cũng chẳng còn địa hình nào sử dụng được nữa cho thủy điện.

Hãy còn nhiều khả năng làm máy thủy điện nhỏ, nhưng khá tốn kém, ngược lại nó có cái lợi là một nguồn năng lượng phân tán. Trong tương lai, năng lượng của các đại dương có thể khai thác (sóng, hải lưu (động cơ quay nước), thủy triều, nhiệt năng (Thái Bình Dương)). Nước Pháp có tiềm năng cao đứng hàng thứ hai về mặt biển toàn cầu, sau Mỹ, và Pháp có nhiều biển nóng trong Thái Bình Dương.

Sinh khối là một nguồn cacbon quan trọng. Nó có rất nhiều ứng dụng: thực phẩm, vật liệu, nhiệt, chất đốt sinh thái, hóa học xanh... Ngay từ hai thế kỷ trước, sinh khối đã thiếu hụt rồi, mà nhu cầu ngày ấy nhỏ hơn ngày nay rất nhiều. Vậy nó không thể thỏa mãn tất cả mọi nhu cầu của ngày hôm nay. Cần phải chọn lựa những ứng dụng nào của sinh khối cho ta nhiều giá trị thặng dư nhất. Trong những ứng dụng của sinh khối thì chất đốt sinh thái là rất có lợi, nếu sự sản xuất chất đốt này không tranh lấn sang lĩnh vực thực phẩm của sinh khối, mà điều này thực sự đã xảy ra ở một vài địa phương sản xuất chất đốt sinh thái thể hệ một (như ethanol, diesel sinh

học). Vì thế cần phải bành trướng sản xuất chất đốt thuộc thể hệ thứ hai dùng xeluloza (gỗ, mùn cưa, bãi cây nhỏ, rơm rạ...). Mang năng lượng từ ngoài vào chủ yếu dưới dạng Hydro sản xuất bởi điện phân với điện sạch (do hạt nhân hay năng lượng tái tạo), người ta có thể làm tăng hiệu suất lên gấp hai hay ba lần so với chất đốt sinh thái thể hệ một. Khai thác vi tảo ở ngoài biển, ta có thể sản xuất chất đốt sinh thái gấp 10 lần so với sinh khối trên cạn với cùng một hecta. Tuy hầy còn ở giai đoạn nghiên cứu, nhưng đó là một con đường đầy triển vọng khi ta biết nuôi trồng vi tảo trên quy mô rộng lớn và tránh được nạn dịch tàn sát chúng.

Mặt trời là nguồn năng lượng tương lai. **Thực thể vàng ô** hầy còn soi sáng 5 tỷ năm nữa trước khi hành tinh của chúng ta biến mất. Tuy nhiên, thiên vạn năm trước thời tận thế, trái đất không còn là chỗ nương thân cho động vật hay thực vật. Các thiết bị dùng năng lượng mặt trời ở nhiệt độ thấp (như thiết bị đun nước phụ thêm bởi sàn nhà sưởi ấm) vận hành khá tốt nhưng ít được dùng ở Pháp. Đó là một giải pháp rất hay cho những xứ nóng. Hiện nay số lượng điện sản xuất bởi nhiệt động lực học mặt trời (ở nhiệt độ cao) cũng đại khái tương đương với số lượng điện sản xuất bởi các pin mặt trời. Pin mặt trời có rất nhiều triển vọng nhưng không biết rõ khi nào lĩnh vực này mới phát triển trên quy mô lớn. Giá cả của những tấm pin mặt trời thì giảm dần trong khi giá của dầu hỏa lại tăng. Vấn đề là khi nào giá cả hai bên bằng nhau. Tương lai chắc chắn sẽ thuộc về những lớp cực mỏng, nó cho phép giảm giá vì các tấm quang điện hầy còn là một nguồn năng lượng đắt tiền ($\approx 0,45\text{€}/\text{kWh}$) nếu liên kết chúng thành mạng, và giá lại càng đắt hơn ($\approx 1,5\text{\$/kWh}$) với một hệ thống tự chủ chạy với một bộ pin.

Vấn đề chính của động cơ gió là sự gián đoạn từng hồi tùy theo thời tiết. Vì thế, nếu ta muốn dùng nó như một nguồn năng lượng chính, chứ không phải một nguồn phụ, thì phải bổ sung bằng một nhà máy nhiệt điện khởi động nhanh chóng. Ở Đức vì chỉ có một chế độ gió nên hiệu suất nhỏ khoảng 15% năm 2003. Một xứ như Pháp may mắn hơn, vì có ba chế độ gió khác nhau nên có nhiều khả năng là thể nào cũng có gió ở đâu đó. Một nước có nhiều nhà máy nhiệt điện như Đan Mạch chẳng hạn, dùng động cơ gió có lợi vì khi gió nổi ta có thể cho máy nhiệt điện dừng lại, do đó khí độc CO_2 thải ra giảm đi. Trái lại, đối với một nước như Pháp, thì mỗi lợi này lại rất hạn chế. Nếu ta thay thế nhà máy điện hạt nhân (không phóng khí độc CO_2) bằng những trang trại động cơ gió thì ta phải bổ sung cho chúng bởi những nhà máy điện dùng khí đốt để phòng khi không có gió. Nhưng lợi

bất cập hại, vì rốt cuộc có nhiều khí thải CO₂. Xin nhắc lại là ở nước Pháp nếu tất cả các nhà máy điện hạt nhân đều được thay bằng các nhà máy điện dùng khí đốt thì chúng sẽ phát ra 3,3 tấn CO₂ tính trên một đầu người mỗi năm. Nếu thay bằng các nhà máy điện dùng than đá thì con số đó lên tới 7,5 tấn. Ta có thể viện cớ nếu phát triển nhiều động cơ gió để tận dụng lúc nào cũng có gió ở đâu đó và cho ta điện năng trong một thời gian dài hơn là dự tính. Điều này là đúng đối với nước Pháp hơn là đối với nước Đức, nhưng dẫu sao ở Pháp cũng có những thời kỳ chẳng đâu có gió cả.

Cần lưu ý rằng gió thổi gián đoạn là một trở ngại lớn. Điện sản xuất bị thất thường và gây bất ổn cho mạng phân phối khi quá nhiều điện lượng bất đồ phóng vào. Thí dụ ở Đan Mạch, phong điện có giá ưu đãi. Nhưng thật không may, phần lớn điện sản xuất bởi động cơ gió lúc mua thì đắt và lúc xuất khẩu thì hạ giá vì chúng được sản xuất vào những giờ thấp điểm khi mà nhu cầu điện đã giảm.

Phong điện ở ngoài khơi, tuy đắt hơn so với trong đất liền, nhưng cũng nên phát triển trong tương lai. Giá thành khá cao và đòi hỏi những kỹ thuật đặc biệt để lắp đặt, giống như việc xây dựng những giàn khoan dầu hoả. Đối với biển nông thì động cơ gió có thể cắm ngay trên nền biển nhưng với biển sâu thì phải có giàn neo ở đáy biển.

Những đầu tư cho lĩnh vực năng lượng tái tạo này là rất lớn. Trong những xứ phát triển, cần vận dụng những cơ chế tài chính tương tự như những nước đang phát triển. Ý tưởng ở đây là tài trợ lắp đặt thiết bị bởi một cơ quan bên ngoài hay bởi nhà nước. Người tiêu thụ hoàn vốn đầu tư với lãi suất và phí tổn vận hành (thí dụ sưởi điện bằng máy bơm nhiệt). Để cho giải pháp được hấp dẫn, với dịch vụ tương đương hay cao hơn so với thiết bị cũ, cần phải làm sao cho người tiêu thụ năng lượng mới trang trải phí tổn ít hơn, trong một chiến thuật đôi bên cùng có lợi.

Để minh họa ý tưởng này hãy lấy thí dụ máy bơm nhiệt điện. Một gia đình người Âu trả hằng năm 3000 € dầu đốt để sưởi. Nếu trang bị máy bơm nhiệt điện, họ sẽ chỉ tốn kém có 500 € hằng năm. Nhưng vấn đề là thiết bị rất tốn kém khoảng từ 15000€ đến 20000 € mà gia đình nào cũng không nhất thiết có đủ ngân quỹ để trang trải. Ý định là có một cơ quan ngoại vi ứng trước cho sự đầu tư. Mỗi năm cơ quan này đòi hỏi gia đình trả 2000 €, như vậy họ được lợi mỗi năm 1 000 € so với giải pháp trước (ta có thể linh động giảm giá theo thời gian). Số tiền lợi này một phần để trang trải điện cần thiết cho máy bơm vận hành, phần khác để hoàn trả vốn và lãi cho hệ thống thiết

bị.

Công nghệ, giáo dục và đào tạo đều quan trọng cho sự phát triển năng lượng tái tạo. Sự đào tạo các chuyên viên lắp đặt máy là một điều có tính chất quyết định. Cần có một cơ chế đào tạo chung, thành lập bởi các tập đoàn kỹ nghệ lớn để bảo đảm tính liên tục theo thời gian. Nếu một hệ thống lắp đặt ngày hôm nay mà trong mười năm nữa bị trục trặc mà ta không sửa chữa được chỉ vì người thợ đã biến mất và người mới không thấu tỏ công nghệ cũ, ta sẽ gặp tai họa. Cần phải có sự gắn kết tổng thể của những người lắp đặt thiết bị nếu ta không muốn năng lượng tái tạo bị thất bại trong tương lai.

Sau nữa chỉ nên sử dụng những năng lượng tái tạo nào có lợi ích về mặt kinh tế đối với nước mà chúng được áp dụng. Chẳng nên theo thời thượng mà phát triển những nguồn năng lượng đòi hỏi phải nhập khẩu kỹ thuật và nhân công từ bên ngoài.

Năng lượng hạt nhân

Cái lợi ích của năng lượng hạt nhân là sản xuất một kWh điện với giá vừa rẻ vừa ổn định theo thời gian. Nó chỉ có lợi đối với một nước nào muốn cung ứng điện cho dân chúng và cho kỹ nghệ của xứ ấy với giá cả cạnh tranh được. Trái lại, những nhà đầu tư muốn có lợi nhuận ngắn hạn và không tính xa thì chẳng nên khai thác nguồn điện này. Thực tế, năng lượng hạt nhân đòi hỏi những khoản đầu tư khổng lồ (so với các nguồn năng lượng tái tạo khác với cùng một kWh) và một thời gian khá dài để hoàn tất. Kiểm chế được năng lượng hạt nhân đòi hỏi phải có một trình độ kỹ thuật cao. Ngược lại một khi khởi động khai thác máy rồi thì lợi lộc kinh tế là rất hiển nhiên và hời.

Sự ổn định giá cả của kWh hạt nhân là vì uranium chỉ chiếm giữ một phần nhỏ trong giá thành của kWh điện. Nếu giá của uranium trong thiên nhiên tăng lên 10 lần, phí tổn sản xuất kWh chỉ tăng có 40%, để dễ bề so sánh, nếu khí đốt cũng tăng lên 10 lần thì giá kWh điện sẽ tăng lên 7 lần.

Công nghệ ngày nay chủ yếu dùng ^{235}U mà đồng vị này chỉ chiếm 0.7% của uranium tự nhiên, với trữ lượng chỉ đủ dùng một hay hai thế kỷ nữa. Hiệu suất làm ra điện của uranium chỉ khoảng 33%, nghĩa là để có 1kWh điện ta đã thải ra môi trường bên ngoài 2kWh dưới dạng nhiệt.

Công nghệ tương lai, dựa trên những lò phản ứng neutron nhanh, cho phép ta dùng được cả ^{238}U . Trữ lượng của đồng vị này đủ để dùng hơn

mười ngàn năm và hơn nhiều nữa nếu ta dùng thorium vì chất này dồi dào hơn uranium trên trái đất. Nếu dùng ^{238}U ta có thể nhân gấp 140 lần trữ lượng ngày nay. Để minh họa sự thay đổi thang mức, ta hãy xét một lượng nhiên liệu hạt nhân đủ để cung cấp cho một nhà máy điện hạt nhân trong 40 năm. Cũng một số lượng nhiên liệu như thế cho phép ta cung cấp lò phản ứng neutron nhanh trong 5000 năm.

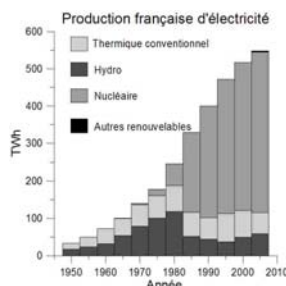
Siêu Phụng Hoàng (SuperPhenix), một lò phản ứng neutron nhanh, được triển khai ở Pháp nhưng đã bị dừng lại vì những lý do chính trị. Nhiều nghiên cứu đang được thực hiện trở lại, trong khuôn khổ của diễn đàn quốc tế thế hệ IV, để triển khai quy trình neutron nhanh. Nhiều điều cho ta thấy cái quy trình này sẽ không được đưa vào sử dụng hàng loạt trước giữa thế kỷ. Trước hết vì giá của điện sẽ đắt so với quy trình lò phản ứng dùng neutron chậm đang được khai triển rộng rãi. Phải đợi khi nào giá của uranium tự nhiên sẽ tăng lên, nghĩa là khi những trữ lượng, ước tính cho sử dụng ngày nay, sẽ giảm đi đủ nhiều. Hơn nữa, để khởi động quy trình neutron nhanh ta lại cần tới plutonium sản phẩm của lò neutron chậm. Những lò hạt nhân sắp tới thay thế những cái khác vẫn dùng công nghệ neutron chậm nhưng với thời gian tồn tại khoảng sáu mươi năm. Tất cả những yếu tố đó hợp lại cho thấy lò phản ứng neutron nhanh chỉ khởi động vào giữa thế kỷ.

Nếu nước Pháp khoảng những năm 1970 đã chọn dầu hỏa thay vì hạt nhân để sản xuất điện, thì ngày nay mỗi người dân hàng năm phải trả 1500€, với giá nhập khẩu 120\$ một thùng dầu hỏa để cung ứng điện mà nước này cần dùng. Điều này thể hiện qua số tiền 100 tỷ euros, nghĩa là nhiều hơn ngân sách của Bộ Giáo dục khoảng 66 tỷ euros cho năm 2005.

Nhiều nghiên cứu mạnh mẽ về sự tổng hợp nhiệt hạch cũng đang được triển khai (như lò phản ứng nhiệt hạch quốc tế ITER ở Cadarache), nhưng chắc còn lâu mới có ứng dụng cho kỹ nghệ. Sớm lắm cũng phải đợi đến cuối thế kỷ này hay chắc chắn hơn là đầu thế kỷ sau, trừ phi người ta quyết định gia tăng khẩn cấp việc nghiên cứu. Ít nhất phải cần xây 2 lò phản ứng mới nữa sau ITER mới có thể cho ra sản phẩm kỹ nghệ. Cái thứ nhất để chứng minh ta có thể sản xuất được plasma gần như là liên tục trên phương diện vĩ mô (400 giây tối đa cho ITER) và lợi ít nhất 40 lần (10 cho ITER), điều kiện cần để sản xuất điện có lời. Lò thứ hai là một nguyên mẫu cho kỹ nghệ. Cái lợi của lò tổng hợp nhiệt hạch là chất phóng xạ có thời gian sống ngắn, trái ngược với lò phân hạch cho ra các chất phóng xạ có thời gian sống rất dài.

Điện

Chúng ta càng ngày càng cần điện. Một phần vì mức tiêu thụ điện tăng nhanh hơn mức tiêu thụ năng lượng thô khác, vì người ta ngày càng sử dụng nhiều các thiết bị chạy bằng điện, phần khác vì điện sẽ được dùng nhiều ở quy mô lớn: máy bơm nhiệt, sản xuất chất đốt sinh học thế hệ thứ hai, điện phân nước để sản xuất khí hydro. Cần sản xuất những loại điện mà không phóng khí độc CO₂ như điện hạt nhân hay điện bởi những năng lượng tái tạo. Nước Pháp đã làm một cuộc chuyển mình như ta thấy trong hình 6, cho ta rõ sự phân phối những nguồn năng lượng khác nhau để sản xuất điện từ năm 1950.

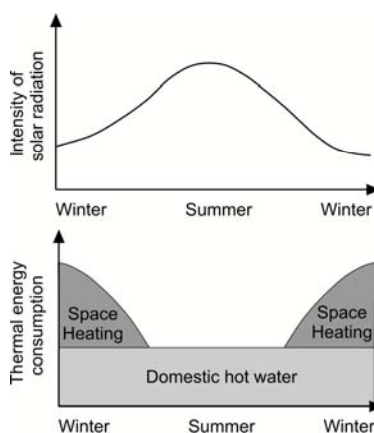


Hình 6. Phân phối những nguồn năng lượng khác nhau để sản xuất điện ở Pháp. Mémento de l'énergie CEA

Vấn đề trong tương lai là làm sao có thể tăng vai trò của những nguyên tử cacbon sẵn có và dùng được. Những nguyên tử cacbon này nằm trong những nhiên liệu hóa thạch và trong sinh khối. Chính vì lẽ đó mà trong chất đốt sinh thái thuộc thế hệ thứ hai, điều rất hay nếu ta dùng khí hydro để tăng vai trò của tổng thể các nguyên tử cacbon vì hiện nay chưa dùng hydro để làm việc đó. Một phần nguyên tử cacbon thực tế đã xuất ra dưới dạng khí độc CO₂ trong công nghệ ngày nay. Đối với các sinh khối điều quan trọng là làm tăng giá trị của toàn thể cây thực vật chứ không phải một phần thôi như ta làm ngày nay.

Dự trữ Năng lượng: Nhược điểm

Tích trữ năng lượng là một điểm yếu của ngành. Trong khi 70g xăng đốt tiềm chứa 1 kWh, ta cần khoảng 25 kg bộ pin chì để có từng ấy năng lượng và cần 3.600 lít nước đặt ở trên cao 100m mới làm nên 1kWh thủy điện.



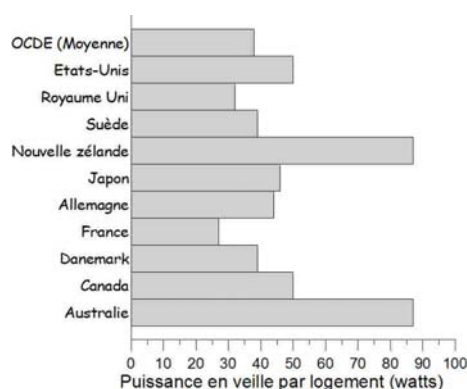
Hình 7. Trong những nước ôn đới, cường độ năng lượng mặt trời nhận được có pha đối nghịch với nhu cầu sưởi ấm

Người ta đã biết cách tích trữ những lượng điện rất lớn, nhưng giá phải trả hãy còn đắt. Sự tích lũy điện cho phép ta linh động trong cách sản xuất cũng như trong tiêu thụ điện. Nó cho phép ta giảm phương tiện sản xuất. Đối với một nhà sản xuất, thực là lợi nếu tích trữ điện trong những giờ thấp điểm vì giá lúc ấy rẻ, rồi bán lại trong những giờ cao điểm với giá lúc ấy đắt (giá cả chênh nhau hàng 100 lần giữa giờ cao và giờ thấp điểm).

Tích trữ cũng cần thiết để khai thác hữu hiệu năng lượng tái tạo gián đoạn, như pin quang điện ở những địa hình đơn độc hay những trang trại động cơ gió lớn để thu tóm trọn vẹn những khả năng của chúng. Dự trữ điện có thể tốt để có sẵn điện chất lượng cao.

Hiệu suất tích trữ là một điểm quan trọng vì nó xác định khả năng sinh lợi của thiết bị. Chẳng hạn, nếu ta sản xuất khí hydrô với phong điện dồi thừa, rồi ta tích trữ khí hydrô ấy để về sau dùng cho pin nhiên liệu thì hiệu suất sẽ thấp khoảng 30%, trong khi hiệu suất đạt dễ dàng tới 70% nếu ta dự trữ bằng thủy điện. Trái lại có lẽ hay hơn cả nếu ta sản xuất khí hydrô rồi chuyển nó vào mạng khí đốt tự nhiên, cả hai khí sẽ được dùng chung cho thiết bị sưởi. Rút cuộc hiệu suất tổng cộng sẽ hơn nhiều.

Tích trữ nhiệt cũng là một mục tiêu quan trọng, nhất là tích trữ giữa hai mùa. Tích trữ nhiệt mùa hạ để dùng trong mùa đông (hình 7). Tiếc thay giá hãy còn quá đắt lại còn đòi hỏi một dung tích rất lớn rộng. Trái lại ta có thể tích trữ nhiệt dùng hàng ngày bởi bình tích nhiệt. Nước được đun nóng trong giờ thấp điểm vào buổi tối và ngày mai dùng nước nóng suốt ngày. Bình tích nhiệt như vậy góp phần làm linh động việc tiêu thụ điện.



Hình 8. Công suất canh tuần của máy điện tử ở vài nước. Dữ kiện “Things that go blip in the night”, standby power and how to limit it. IEA - OCDE, 2001

Hiệu lực và tiết kiệm năng lượng

Một kWh có giá rẻ nhất là tự nó đến mà không cần phải sản xuất ra. Sự điều độ và hiệu lực của năng lượng là hai điểm quan trọng. Có những điều phí phạm như những máy điện tử canh tuần, chúng tiêu thụ năng lượng mà chẳng mang lại chút dịch vụ nào. Hình 8 cho ta thấy công suất của máy điện tử canh tuần ở một số quốc gia. Tốn kém hàng năm tương tự như một cái tủ lạnh.

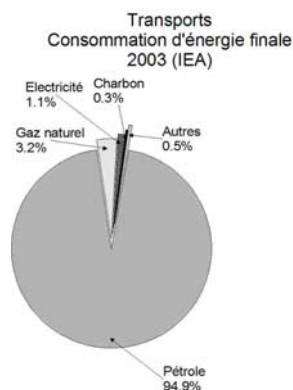
Vận tải

Vận chuyển là một vấn đề khó giải quyết vì chúng tùy thuộc hầu như độc nhất vào dầu hỏa (hình 9). Số lượng xe hơi toàn cầu cực kỳ lớn như ta có thể thấy trên hình 10, trong đó xe cá nhân chiếm phần nổi trội. Xe vận tải phát ra rất nhiều khí thải tạo nên hiệu ứng nhà kính và đường bộ vượt hẳn mọi phương tiện giao thông khác trong chuyện phát ra các khí đó, như hình 11 cho thấy.

Xe ô tô lai tạp gồm có một động cơ nhiệt, một động cơ điện và một bộ ắc quy là một giải đáp ngắn và trung hạn cho vấn đề dầu hỏa. Có loại xe lai tạp hoàn toàn tự trị, nghĩa là bộ ắc quy không cần phải nạp điện bởi các nguồn điện ở ngoài. Xe tự nạp điện khi xe chạy, hoặc là khi ta thắng phanh hoặc là do động cơ nhiệt của xe chạy với vận tốc tối ưu. Chạy trong thành phố, mức tiêu thụ xăng giảm một cách ngoạn mục: 5 lít xăng/ 100km trong Paris ngay cả khi giao thông tắc nghẽn vì kẹt xe.

Những loại xe tự nạp điện này sẽ tiến triển thành xe có ắc quy nạp điện bởi nguồn bên ngoài. Ý tưởng là có một ắc quy điện đủ cho xe chạy khoảng

30 đến 40 km, đối với khá nhiều người thì khoảng cách thế là đủ. Cho những hành trình xa hơn thì ta sẽ dùng một động cơ nhiệt, phụ trợ bởi một động cơ điện và một ắc quy như xe lai tạp ngày nay. Giải pháp này rất hay nếu điện sản xuất ra mà không làm tăng hiệu ứng nhà kính (năng lượng hạt nhân hay tái tạo), nếu không làm được thế thì ta chỉ di chuyển cái ô nhiễm cục bộ sang một địa điểm tập trung mà thôi. Trong một xứ mà than đá giữ phần quan trọng để sản xuất điện thì lợi ích dùng xe lai tạp hay động cơ điện kém phần hấp dẫn.

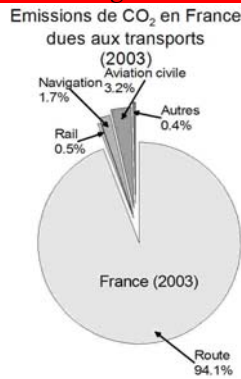


Hình 9. Phân phối sự tiêu thụ năng lượng trong vận tải năm 2003. Nguồn AIE, www.iea.org

Nhiều dự án làm xe hơi chạy điện ở quy mô rộng lớn bắt đầu tái hiện. Điều bất tiện cho loại xe này là sự tự trị: xe chạy chỉ được trong vòng 100km. Với những ắc quy mới Li-Ion, ta hy vọng có thể tăng gấp đôi mức tự trị thậm chí còn hơn nữa. Đó là giải pháp rất hay cho những xe chỉ chạy trong thành phố hay cho những đoàn xe có hành trình ngắn chạy trong một không gian nhỏ của các công ty. Còn lại vấn đề an toàn của các ắc quy vì nhiều tai nạn đã xảy ra cho những ắc quy Li-Ion trong điện thoại di động và máy tính. Khi ta nói đến bãi xe hơi với con số khoảng một tỷ thì xác suất xảy ra sự cố phải cực kỳ thấp.



Hình 10. Số lượng xe hơi toàn thế giới năm 2005 Dữ kiện www.ccfu.fr.



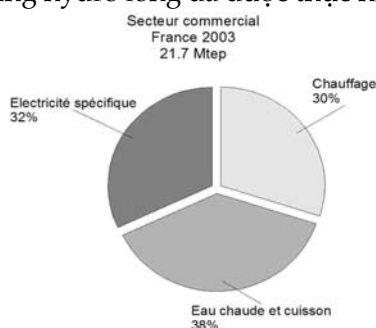
Hình 11. Phát khí CO₂ do vận tải. Dữ kiện www.iea.org

Lợi ích của xe hơi tái nạp điện và những xe hơi điện là ở chỗ ta có thể dùng bình ắc quy như một phương tiện để tích trữ điện. Nó cho phép ta không cần đến những phương tiện sản xuất điện trong giờ cao điểm, nghĩa là những trung tâm nhiệt điện dùng nhiên liệu hóa thạch phóng ra khí CO₂. Để đáp ứng nhu cầu điện, có nhiều lợi điểm là nên tăng cường bãi điện bởi những nguồn năng lượng không phóng khí CO₂, như năng lượng hạt nhân hay tái tạo. Sự dư thừa điện này sẽ được dùng để tái nạp các ắc quy cho xe hơi lai tạp, cho xe hơi điện và cũng để sản xuất hydro bởi điện phân cho chất đốt sinh thái thế hệ 2. Nhu cầu điện ở giờ cao điểm sẽ không còn quản lý bởi các trung tâm nhiệt điện mà bởi các ắc quy của xe lai tạp, những xe này không được phép tái nạp điện khi có nhiều nhu cầu về điện. Xe hơi lai tạp tái nạp điện và chất đốt sinh thái thuộc thế hệ 2 có thể cho phép ta chia đôi mức tiêu thụ dầu hỏa cho vận tải và sự phóng khí CO₂. Hơn nữa, khi sản xuất điện bởi năng lượng sinh thái, sẽ không còn khí CO₂ phóng ra nữa.

Khí hydro và xe hơi dùng pin nhiên liệu là để cho một tương lai xa. Xe chạy bằng pin nhiên liệu hãy còn quá đắt và vận hành chưa được tốt so với những xe hiện tại. Hãy còn nhiều vấn đề cần giải quyết như sự thoát nhiệt và thay thế xúc tác bạch kim bằng một vật liệu xúc tác rẻ hơn và phổ biến hơn. Thực vậy, nếu ta thay thế tất cả các xe hơi hiện tại bởi xe chạy bằng pin nhiên liệu thì hàng năm phải sản xuất bạch kim 300 lần nhiều hơn để trang bị cho những xe này.

Nhược điểm lớn của hydro là bình chứa nó chỉ dung nạp được một lượng nhỏ H₂. Để chạy 100 km với xe hơi pin nhiên liệu ta cần 1 kg Hydro. Đặt 5 kg H₂ trong xe để chạy được 500 km, thì cần một bình chứa có hình dạng đơn giản, chịu được áp suất cao, và nếu hydro bị nén tới áp suất 800 bar, thì thể tích của bình chứa phải cỡ 80 lít. Với tỷ trọng năng lượng trong

một đơn vị thể tích nhỏ như thế nên các trạm cung cấp hydro phải có diện tích 10 lần lớn hơn những trạm xăng hiện tại. Sau hết, để sản xuất hydro một cách sạch ta cần phải tiêu thụ điện năng khoảng 250 đến 300 TWh hàng năm, tương đương với 25 đến 30 lò phản ứng hạt nhân 1GW hay 50.000 đến 60.000 nhà máy phong điện 2MW. Khí hydro sẽ là quan trọng trong tương lai nhưng cần điều chế chất đốt này dưới thể lỏng để có được mật độ năng lượng đủ cho vận tải đường bộ. Tuy nhiên, đối với vận tải hàng không, các máy bay dùng hydro lỏng là điều có thể hình dung được. Và nhiều thử nghiệm về máy bay dùng hydro lỏng đã được thực hiện.



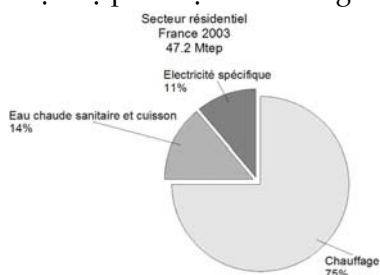
Hình 12 Phân phối tiêu thụ năng lượng trong khu vực thứ ba
Dữ kiện www.industrie.gouv.fr/energie

Nhà cửa

Bên Pháp, nhà cửa sử dụng 43% năng lượng thô và đóng góp 21% vào sự phóng khí thải có hiệu ứng nhà kính. Khoảng 1/3 nhà cửa thuộc về khu vực kinh tế thứ ba, còn 2/3 là nhà ở, trong đó khoảng 1/3 là chung cư và 2/3 là nhà riêng. Sự phân phối về sử dụng năng lượng trong hai khu vực đó được trình bày trong hình 12 và 13.

Nước Pháp có khoảng 30 triệu nhà ở, và mỗi năm người ta xây cất từ 300.000 đến 400.000 nhà. Sự đổi mới thay thế một khu nhà cửa như vậy là vào khoảng một thế kỷ. Sự cải biến nhà cửa là rất quan trọng vì đó là phương tiện dễ dàng để giảm thiểu sự tiêu thụ năng lượng. Những nhà xây cất trước năm 1975 trung bình tiêu thụ 330 kWh/m²/năm. Nhà xây cất theo quy định 2000 (RT 2000) tiêu thụ trung bình giữa 80 đến 100 kWh/m²/năm. Ngày nay, người ta biết xây cất nhà với tiêu thụ 50 kWh/m²/năm. Nhưng cái quan trọng là cần phải cải biến ở quy mô rộng lớn. Thu lợi được 20% trong hàng triệu nhà cửa còn hiệu quả hơn là xây cất vài cư xá tiết kiệm năng lượng. Vậy sự cách tân nhà cửa là điểm chủ chốt và phải thực hành một cách không xâm nhập, nghĩa là ở bên ngoài tường nhà, để không làm nhiều

loạn đời sống người ở, buộc họ phải dọn nhà trong lúc cải biến.



Hình 13. Phân phối tiêu thụ năng lượng trong khu vực nhà ở.
Dữ kiện www.industrie.gouv.fr/energie

Nhà cửa và vận tải liên quan mật thiết với nhau. Phải sao cho cái lợi của đổi mới nhà cửa không bị triệt tiêu bởi sự vận tải mất nhiều năng lượng. Chọn nhà ở xa nơi làm việc cũng có thể tốt nếu giá nhà rẻ và do đó có ngân quỹ để cải tiến về nhiệt năng. Nhưng lợi được 80 kWh/m²/năm có khi chẳng bù nếu phải mất thêm 20 km đi xa hơn nữa để đến chỗ làm việc.

Trong những khu nhà ở phân tán, dùng xe cộ cá nhân sẽ làm giảm ô nhiễm nhiều hơn là dùng các phương tiện vận tải tập thể vì xe này thường vắng khách trong ngày, lý do là mật độ dân số quá nhỏ. Nên dùng xe riêng để đến nhà ga gần chỗ ở, sau đó lấy xe công cộng đến chỗ làm việc. Nhưng cũng phải ghi nhận là nhiều khi khó khăn vì không đậu được xe dễ dàng mà không mất tiền. Rốt cuộc là nhiều khi người ta dùng xe để chạy cả đoạn đường từ nhà đến chỗ làm việc.

Kết luận

Năng lượng càng ngày càng đắt đỏ. Ta cần phải tiết kiệm và sử dụng nó một cách tốt nhất. Muốn thế giáo dục và đào tạo thực là cần thiết ở tất cả mọi trình độ trong xã hội. Cần phải dần dần bỏ đi những nhiên liệu hóa thạch mỗi khi ta có thể thay thế chúng với một giá thành phải chăng.

Ta sẽ cần tất cả các nguồn năng lượng, và ngay cả thế có lẽ cũng còn chưa đủ. Đối với mỗi một tình huống nên chọn một nguồn năng lượng nào hiệu quả nhất. Không có một giải pháp phổ quát và ta sẽ thích nghi với từng trường hợp trong đó chất xám cũng quan trọng như kỹ thuật. Đúng như vậy, ta sẽ không sưởi nhà cũ theo cùng một cách như sưởi nhà mới. Hơn nữa, tùy theo nhà ở vùng đất nào, ta có thể có những giải pháp khác nhau.

Nghiên cứu khoa học đóng vai trò quan trọng không những để cải tiến kỹ thuật hiện tại mà còn để đổi mới. Sự đóng góp của những nhà khoa học là chủ yếu như đã xảy ra trong quá khứ. Những công trình của Planck quan

trọng không chỉ trong lĩnh vực tri thức cơ bản mà còn ở những ứng dụng, nhất là trong lĩnh vực năng lượng.

Sử dụng những tài nguyên năng lượng ít tốn kém và tôn trọng môi trường sinh thái là một thách thức cho tất cả những nhà nghiên cứu khoa học. Người dân các nước đang phát triển phải được sử dụng một năng lượng rẻ để nâng cao mức sống và giáo dưỡn của họ.

Cần phải sửa soạn thay thế dần những nhiên liệu hóa thạch bởi những nguồn khác trong hầu hết mọi sử dụng năng lượng. Bước chuyển từ một nền văn hiến dựa trên những nhiên liệu hóa thạch sang một nền văn hóa khác trong đó phần lớn những nhiên liệu này bị bỏ qua, sẽ phải mất một khoảng thời gian cỡ nửa thế kỷ. Chính vì thế ta phải hành động ngay từ bây giờ.

Tài liệu tham khảo:

Bobin J.L., Huffer E. and Nifenecker H., *L'énergie de demain, techniques, environnement, économie*, EDP Science, 2005

Ngô C., *L'énergie, ressources, technologies et environnement*, Dunod, 2002 and 2008.

Ngô C., *Quelles énergies pour demain? On se bouge!*, Spécifiques editions, 2007

www.iea.org

www.worldenergy.org

PHẦN IV

THIÊN VĂN HỌC

NGUYỄN QUANG RIỆU*

DẤU ẤN CỦA THUYẾT LƯỢNG TỬ TRONG NGHIÊN CỨU VŨ TRỤ

Abstract: *The Imprint of Quantum Theory in Astrophysics*

The universe is a laboratory in which all kinds of physical phenomena take place, even those unobservable on earth. The investigation of the hot and dense primeval universe filled with high energy particles requires the use of quantum physics, while the large scale structure and the evolution of the universe are governed by the Newton law of gravitation and the Einstein theory of general relativity. The various processes that could have contributed to the formation of light elements, such as deuterium and helium soon after the *Big Bang*, and later to the synthesis of complex atoms inside the stars explain satisfactorily the chemical composition observed in the universe today.

Max Planck's pioneer works based on the assumption that energy of particles should be quantized are crucial to describe the black-body spectrum, thereby avoiding the infinite power occurring at short wavelengths, the so-called "ultraviolet catastrophe", caused by the classical Rayleigh-Jeans law. The *Cosmic Microwave Background*, which is the remnant of the Big Bang, has been shown to be a black body at 2.726 Kelvin, except in the direction of clusters of galaxies where its spectrum undergoes a slight distortion due to the *inverse Compton diffusion* by high energy intergalactic electrons (Sunyaev-Zeldovich effect). Thermal radiation from stars and planets and from compact interstellar dust clouds considered to be black-body radiation can be investigated using the Planck law.

Einstein adopted the quantum-mechanical concept by assuming that radiation also behaves as particles in order to investigate the interaction of radiation with matter, namely the phenomena of absorption and emission of light by an atom. His suggestion for the existence of *stimulated emission* has found applications in the production of lasers and masers. Cosmic masers like

* Director Emeritus of Research. National Centre of Scientific Research. Paris Observatory.

the *hydroxyl* (OH), *water vapour* (H₂O) and *silicon monoxide* (SiO) masers originating in compact molecular clouds have been detected in the Milky Way and in other galaxies at radio wavelengths. They are capable of amplifying the background signal by several orders of magnitude. Their investigation based on Einstein's works allows astrophysicists to determine the physical and chemical conditions in the vicinity of stars and in the interstellar medium.

The main objective of the Planck satellite launched in the near future by the European Space Agency will be the detailed investigation of the Cosmic Microwave Background with a sensitivity a thousand times higher than that obtained previously with the COBE satellite.

Những bức xạ trong vũ trụ

Vũ trụ là một phòng thí nghiệm đa dạng cung cấp cho các nhà khoa học những số liệu liên quan đến nhiều hiện tượng lý-hóa, từ mức vĩ mô đến mức vi mô. Lực hấp dẫn phổ biến của Newton chi phối sự chuyển động của các thiên thể và quá trình tiến hóa của vũ trụ trên quy mô lớn. Thuyết Big Bang - tuy vẫn còn phải được cải tiến nhưng được đa số các nhà thiên văn chấp nhận - và những công trình về sự tổng hợp những nguyên tố trong vũ trụ nguyên thủy và trong những ngôi sao đều là cơ sở để giải thích những hiện tượng thiên văn quan sát thấy hiện nay. Những công trình của Max Planck và của Albert Einstein đã mở đường cho sự nghiên cứu những bức xạ vũ trụ. Về mặt kỹ thuật, kính thiên văn quang học và kính thiên văn vô tuyến ngày càng lớn, có độ phân giải cao, cùng những thiết bị thu tín hiệu chế tạo ra từ những vật liệu bán dẫn và siêu dẫn, cũng làm cho ngành thiên văn phát triển rất nhiều trong những thập niên gần đây. Các nhà thiên văn xử lý số liệu và áp dụng những định luật lý-hóa để lập ra những mô hình lý thuyết nhằm tìm hiểu cơ chế phát những bức xạ và mô tả những hiện tượng quan sát trong vũ trụ. Bức xạ điện từ lan truyền trong không gian như những làn sóng trải dài từ những bước sóng cực ngắn của tia gamma, tia X và tia tử ngoại đến bước sóng khả kiến và những bước sóng cực dài hồng ngoại và vô tuyến. Vì bức xạ có tính chất lưỡng tính sóng-hạt nên các nhà vật lý dùng khái niệm sóng để mô tả hiện tượng giao thoa trong quang học và khái niệm hạt để giải thích hiệu ứng quang điện hay quá trình hấp thụ và phát bức xạ.

Trong vũ trụ có vô số thiên hà, mỗi thiên hà là một tập hợp khí và bụi cùng với những ngôi sao và hành tinh. Những thiên thể đặc có độ dày quang học (optical depth) lớn, như những ngôi sao, những hành tinh và

những đám mây chứa nhiều khí và bụi đều tuân theo định luật của *vật đen* và phát ra *bức xạ nhiệt*. Tinh vân là những đám khí bị ion hóa (*plasma*) trong đó có electron chuyển động tự do. Khi electron trong tinh vân va chạm và tương tác với những hạt ion cũng phát ra bức xạ nhiệt. Các nhà thiên văn quan sát bức xạ nhiệt để đo nhiệt độ của các thiên thể. Tàn dư của những ngôi sao đã nổ (sao siêu mới) là những đám khí tương đối loãng trong đó electron được gia tốc trong từ trường và chuyển động theo những đường lượn sóng với tốc độ cao xấp xỉ bằng tốc độ ánh sáng. Loại thiên thể này phát ra *bức xạ phi-nhiệt* mạnh hơn bức xạ nhiệt rất nhiều. Bức xạ phi-nhiệt trong vũ trụ giống những bức xạ quan sát trong những máy gia tốc "*synchrotron*". Quan sát bức xạ phi-nhiệt là để tìm hiểu cơ chế gia tốc các hạt vật chất trong các thiên thể và để ước tính từ trường và năng lượng của electron. Thiên thể trong vũ trụ phát ra bức xạ nhiệt và bức xạ phi-nhiệt trên những dải tần số rộng.

Vật đen là một vật lý tưởng có khả năng hấp thụ hoàn toàn các năng lượng điện từ. Khi được nung nóng, vật đen phát ra bức xạ nhiệt. Khoảng trống đen kịt và kín mít bên trong cái lò than có thể được coi là một vật đen. Bức xạ phông vũ trụ, tàn dư của Big Bang, phát ra trên bước *sóng vi ba* (sóng vô tuyến) và hiện tràn ngập toàn bộ vũ trụ, cũng là bức xạ vật đen. Planck là nhà vật lý đã đưa ra ý kiến độc đáo để lượng tử hóa năng lượng của vật chất nhằm giải quyết mâu thuẫn giữa kết quả lý thuyết và kết quả quan sát liên quan đến vấn đề năng lượng của vật đen. Einstein khái quát hóa giả thuyết của Planck để lượng tử hóa bức xạ với mục đích giải thích cơ chế phát những vạch phổ nguyên tử và phân tử. Công trình của Einstein đã dẫn đến sự phát hiện *bức xạ cảm ứng* (*stimulated emission*) và sự phát minh những máy *maser* và *laser* phát ra những tia xạ có cường độ lớn dùng trong công nghiệp trên bước sóng vi ba và quang học.

Thảm họa Rayleigh-Jeans

Cuối thế kỷ 19 và đầu thế kỷ 20 đã đem lại một kỷ nguyên mới cho ngành vật lý. Các nhà vật lý ở thế kỷ 19 dùng lý thuyết nhiệt động học và vật lý thống kê cùng với giả thuyết năng lượng được phân bố đều giữa các hướng chuyển động tự do trong không gian (degree of freedom) để xác định phổ của bức xạ vật đen ở trạng thái cân bằng nhiệt (trạng thái nhiệt độ đồng đều và không thay đổi). Dựa trên những lý thuyết cổ điển này, Lord John William Rayleigh và James Jeans tìm thấy một công thức rất đơn giản để tính cường độ của bức xạ vật đen. Theo công thức Rayleigh-Jeans, độ

sáng của vật đen không tùy thuộc vào bản chất của vật thể, nhưng có điều kỳ lạ là ở bất cứ nhiệt độ T nào, độ sáng B_ν cũng tăng rất nhanh với tần số ν theo luật bình phương ($B_\nu = 2kT\nu^2/c^2$, k là hằng số Boltzmann và c là tốc độ ánh sáng). Có nghĩa là một vật đen như cái lò dùng để nung nấu phải phát ra những bức xạ rất mạnh ở những tần số cao, đặc biệt trên vùng sóng tử ngoại và sóng X. Như ta biết, trên thực tế lò này không phát ra tia tử ngoại và tia X độc hại và không gây ra thảm họa cho người dùng. Theo công thức Rayleigh-Jeans, toàn bộ năng lượng của vật đen (tức là tích phân của hàm B_ν theo tần số) cũng là vô tận! Phương pháp tính cường độ của bức xạ vật đen bằng những lý luận của ngành vật lý cổ điển đã dẫn đến những kết quả tỏ ra là không hợp lý. Công thức Rayleigh-Jeans đã gây ra chấn động làm một số nhà khoa học ở đầu thế kỷ 20 phải gọi đó là “thảm họa tử ngoại” hay “thảm họa Rayleigh-Jeans”.

Nhiều nhà vật lý nổi tiếng hồi đó như *Jožef Stefan*, *Ludwig Boltzmann* và *Wilhelm Wien* tìm cách giải quyết mâu thuẫn giữa lý thuyết và thực nghiệm liên quan đến vấn đề bức xạ vật đen. Vào đầu thế kỷ 20, tuy Max Planck chưa biết nguyên nhân sâu sắc của vấn đề này trên phương diện vật lý, nhưng muốn tìm ra một công thức toán học có khả năng tính được những đường cong để khớp với đường cong của phổ vật đen mà các nhà vật lý đã quan sát được từ trước bằng phương pháp thực nghiệm. Sau khi đã tìm thấy những đường cong của vật đen bằng công thức toán học, Max Planck nảy ra ý kiến cho rằng năng lượng của những hạt dao động, như những electron trong nguyên tử, không chỉ đơn giản tỷ lệ với nhiệt độ mà phải bị lượng tử hóa. Năng lượng E của hạt biến đổi theo từng mức lượng tử $h\nu$ (h là hằng số Planck, và ν là tần số của bức xạ). Xác suất $P(E)$ để có năng lượng E phải tỷ lệ với $\exp(-E/kT)$. Độ sáng của vật đen tính theo lý thuyết lượng tử là: $B_\nu = (2h\nu^3/c^2)/[\exp(h\nu/kT) - 1]$.

Công thức này mang tên *công thức Planck* cho thấy, dù ở tần số cao đến đâu thì mẫu số vẫn tăng rất nhanh so với tử số, làm hàm B_ν phải giảm xuống ở vùng tần số cao nên tránh được thảm họa tử ngoại. Ở miền tần số thấp như miền sóng vi ba (sóng vô tuyến xentimet và những bước sóng dài hơn) $h\nu/kT$ rất nhỏ nên công thức Planck và công thức Rayleigh-Jeans đều dẫn đến những kết quả tương tự như nhau. Công thức Planck cho thấy nhiệt độ của vật đen càng cao thì vật đen càng sáng. Theo công thức Wien, cực đại của bức xạ xảy ra ở tần số $\nu_{max} \sim 3kT/h$, làm cho đỉnh của những đường cong Planck dịch chuyển về phía tần số cao khi nhiệt độ tăng lên.

Tuy những ngôi sao đều có khí quyển bao bọc xung quanh nhưng vẫn được coi là những vật đen trên một mức độ nào đó. Các nhà thiên văn dùng định luật Planck và định luật Wien và dựa trên độ sáng và màu của những ngôi sao để sắp xếp sao thành từng loại. Ngôi sao nào nóng thì sáng và có màu xanh lam, còn những ngôi sao nguội hơn lại mờ hơn và có màu đỏ (tần số thấp hơn tần số màu xanh). Bề mặt Mặt trời nóng khoảng 6.000 độ Kelvin nên Mặt trời là một ngôi sao màu vàng.

Bức xạ photon vũ trụ tàn dư của Big Bang

Vũ trụ nguyên thủy là một môi trường plasma rất nóng, trong đó photon (hạt ánh sáng) va chạm liên tục với electron nên không di chuyển được dễ dàng. Trong 400.000 năm đầu sau khi vũ trụ được khai sinh từ Big Bang, hiện tượng tán xạ này làm vũ trụ mờ đục và phát ra bức xạ nhiệt. Phổ của bức xạ vũ trụ là phổ của một vật đen. Sau khi nhiệt độ giảm xuống chỉ còn khoảng 3000 Kelvin, electron tái hợp được với proton để tạo ra hydro trung hòa. Khi đó trong vũ trụ không còn nhiều electron nên photon di chuyển tự do và vũ trụ trở nên trong sáng. Vật chất không còn có tác động đối với photon, nên bức xạ vũ trụ vẫn giữ được đặc tính của một vật đen. Vũ trụ tiếp tục giãn nở không ngừng, nhưng phổ bức xạ photon vũ trụ vẫn được mô tả bằng định luật Planck, tuy ở nhiệt độ ngày càng thấp. Phổ của bức xạ photon vũ trụ hiện nay rất khớp với đường cong Planck của một vật đen ở nhiệt độ 2,726 Kelvin. Bức xạ photon phát ra mạnh nhất trên bước sóng vô tuyến $\sim 1,9$ milimet (tần số ~ 160 Gigahertz).

Sự phát hiện ra bức xạ photon vũ trụ không những là một bằng chứng củng cố thuyết Big Bang mà còn giúp các nhà thiên văn nghiên cứu cấu trúc của vũ trụ trên quy mô rộng. Khi quan sát về hướng những chùm thiên hà, họ nhận thấy đường cong Planck biểu diễn phổ của bức xạ photon vũ trụ có chút ít sai lệch so với đường cong của vật đen ở nhiệt độ 2,726 Kelvin. Lý do là vì môi trường giữa những thiên hà trong những chùm thiên hà có khí bị ion hóa và nóng tới hàng trăm triệu độ nên electron có năng lượng cao và phát ra bức xạ X. Trong quá trình va chạm với photon, electron năng lượng cao chuyển năng lượng cho photon (biệt ngữ vật lý là “hiệu ứng Compton ngược”). Electron của chùm thiên hà tương tác với photon của bức xạ photon vũ trụ qua hiệu ứng Compton ngược và làm tăng năng lượng photon của bức xạ photon. Do đó, ở hướng những chùm thiên hà, đường cong của phổ bức xạ photon vũ trụ thay đổi chút ít. Hiện tượng này được tiên đoán bởi hai nhà vật lý Sunyaev (Ouzbekistan) và Zeldovich (Nga) nên gọi là “hiệu ứng

Sunyaev-Zeldovich” (viết tắt là “hiệu ứng SZ”). Sự quan sát hiệu ứng SZ là một trong những phương tiện để phát hiện những chùm thiên hà xa xôi và để xác định hằng số Hubble, dẫn đến sự ước tính tuổi của vũ trụ. Kính thiên văn dùng để quan sát hiệu ứng SZ và để phát hiện bức xạ yếu ớt của những chùm thiên hà cần có độ phân giải cao.

Sự tương tác giữa bức xạ và vật chất

Theo quan niệm của Planck, vật chất bị lượng tử hóa và được coi như những hạt dao động điều hòa (harmonic oscillator) để phát ra bức xạ. Năng lượng của hạt được lượng tử hóa trên những mức cách nhau đều. Bohr nhận định là những mức năng lượng của những hệ nguyên tử không nhất thiết phải cách nhau đều. Sau này các nhà vật lý xác định là khoảng cách của những mức năng lượng của phân tử cũng không được phân bố đều trên thang năng lượng. Einstein không những dựa trên giả thuyết vật chất bị lượng tử hóa của Planck, mà còn cho rằng bức xạ cũng là những hạt lượng tử có năng lượng $h\nu$. Công trình của Einstein lượng tử hóa bức xạ đã mở đường cho công việc nghiên cứu quá trình tương tác giữa bức xạ và vật chất như được trình bày sau đây.

Những tinh vân trong vũ trụ là những đám khí trong đó nguyên tử thay đổi năng lượng để phát ra bức xạ. Khi đám khí ở trạng thái cân bằng nhiệt, nguyên tử được phân bố trên thang năng lượng theo định luật Boltzmann. Ở những mức năng lượng E càng cao thì “dân số” (nguyên tử) n càng thưa thớt theo luật hàm mũ: $n \sim \exp(-E/kT)$. Theo Einstein, khi một bức xạ có tần số thích hợp chiếu vào nguyên tử thì nguyên tử hấp thụ photon của bức xạ để nhảy từ mức năng lượng thấp l lên mức năng lượng cao m . Cường độ của bức xạ càng mạnh thì xác suất của hiện tượng hấp thụ càng cao và tỷ lệ với một hằng số gọi là B_{lm} . Ngược lại, nguyên tử phát ra photon khi chuyển từ mức năng lượng cao m xuống mức năng lượng thấp l . Trong trường hợp này, Einstein đề xuất hai cơ chế phát bức xạ khác nhau. Cơ chế thứ nhất là nguyên tử có khả năng chuyển hoàn toàn ngẫu nhiên từ mức năng lượng cao m xuống mức năng lượng thấp l với xác suất A_{ml} mà không cần có một nguồn bức xạ nào chiếu vào. Qua quá trình này, nguyên tử phát ra “bức xạ tự phát” (*spontaneous emission*). Cơ chế thứ hai là nếu có một bức xạ có tần số ν thích ứng với hiệu số năng lượng ở mức m và l , ($E_m - E_l = h\nu$), chiếu vào thì đám khí nguyên tử phát ra “bức xạ cảm ứng” (*stimulated emission*). Suất photon phát ra tỷ lệ với cường độ của bức xạ theo hệ số B_{ml} tương ứng với hai mức m và l . Bức xạ tự phát và bức xạ cảm ứng

phát ra dưới dạng những vạch phổ có tần số tương ứng với sự chuyển mức giữa mức m và mức l . Những hệ số A_{ml} , B_{lm} , và B_{ml} , gọi là hệ số Einstein, không phải là những hằng số phổ biến mà lại tùy thuộc vào những mức năng lượng l , m và vào đặc điểm của từng nguyên tử. Trong một đám khí nguyên tử ở trạng thái cân bằng nhiệt, suất nguyên tử chuyển lên mức trên phải bằng suất nguyên tử chuyển xuống mức dưới. Einstein dựa trên giả thuyết này và đồng thời áp dụng công thức Planck để tìm thấy những hệ thức giữa những hệ số A_{ml} , B_{lm} , và B_{ml} . Muốn tính được giá trị của những hệ số Einstein tương ứng với từng vạch phổ, các nhà vật lý phải dùng thêm cả những định luật của vật lý nguyên tử. Những hệ số Einstein được dùng trong phương trình cân bằng thống kê để tính phổ của những bức xạ nguyên tử và phân tử.

Trong vũ trụ những đám khí trong tinh vân thường ở trạng thái cân bằng nhiệt. Các nhà thiên văn quan sát những vạch phổ nguyên tử và phân tử để xác định điều kiện lý-hóa trong những thiên thể, như nhiệt độ và mật độ. Hydro trung hòa là nguyên tố phổ biến nhất trong vũ trụ. Nguyên tử hydro phát ra một vạch phổ trên bước sóng vô tuyến 21 xentimet. Xả suất tự phát A_{ml} của nguyên tử hydro rất thấp ($A_{ml} \sim 3 \cdot 10^{-15}/\text{giây}$) nên nguyên tử tồn tại trên mức năng lượng cao m trong một thời gian t_{ml} dài tới 11 triệu năm ($t_{ml} \sim 1/A_{ml}$). Có nghĩa là cứ 11 triệu năm mới có một photon vô tuyến của nguyên tử hydro tự nhiên phát ra trên bước sóng 21 xentimet! Nhờ có sự va chạm với electron làm nguyên tử chuyển mức năng lượng nhanh hơn, nên chu kỳ phát photon rút cục giảm xuống 400 năm, tuy vẫn còn dài. Tuy nhiên, bức xạ 21 xentimet của nguyên tử trung hòa hydro vẫn là bức xạ mạnh nhất trong vũ trụ, bởi vì hydro là thành phần vật chất phổ biến nhất, có mật độ cao nhất. Vạch phổ 21 xentimet của hydro đã được dùng để phát hiện cấu trúc xoắn ốc của Ngân hà và để quan sát những thiên hà xa xôi.

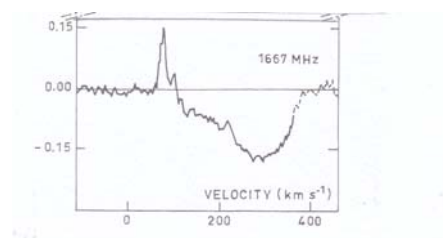
Những tia laser và maser trong vũ trụ

Cơ chế phát bức xạ cảm ứng mà Einstein đề xuất đã dẫn đến những áp dụng để sản xuất những máy *laser* và *maser* trong công nghiệp. Công trình của Einstein cũng tỏ ra rất cần thiết trong công việc nghiên cứu hiện tượng laser và maser trong vũ trụ. Như đã trình bày trong chương trước, thông thường những đám khí tồn tại ở trạng thái “cân bằng nhiệt” trong đó nguyên tử động ở những mức năng lượng thấp theo định luật *Boltzmann*. Tuy nhiên, đám khí có thể chuyển sang trạng thái “không cân bằng nhiệt” nếu có một cơ chế “bơm” nguyên tử lên những mức năng lượng cao. Khi đó sự

phân bố nguyên tử không còn tuân theo định luật *Boltzmann*. Thậm chí sau khi được bơm, dân số nguyên tử ở những mức năng lượng cao có khả năng vượt hơn hẳn dân số nguyên tử ở những mức năng lượng thấp. Hiện tượng “đảo ngược dân số” tạo ra tình trạng có rất nhiều nguyên tử tập trung ở những mức năng lượng cao, chẳng hạn ở mức m . Khi một bức xạ có tần số $\nu = (E_m - E_l)/h$ chiếu vào thì không còn nhiều nguyên tử ở mức năng lượng thấp l để hấp thụ bức xạ. Trái lại, bức xạ khởi động một quá trình tương tự như một loại “phản ứng dây chuyền”, làm những nguyên tử tập trung ở mức năng lượng cao m đột nhiên đổ xô xuống mức năng lượng dưới l và thi nhau phát bức xạ. Quá trình này tạo ra một tia laser rất mạnh. Các nhà vật lý sử dụng nhiều “thủ thuật” để bơm dân số nguyên tử lên những mức năng lượng cao. Chẳng hạn họ dùng một tia ánh sáng để bơm nguyên tử lên những mức năng lượng rất cao. Từ đây nguyên tử dần dần tự rơi xuống những mức năng lượng dưới qua cơ chế tự phát bức xạ và tạm đọng lại ở một mức năng lượng m nào đó, gọi là *mức nửa bền vững (metastable state)*. Khi đó chỉ cần một bức xạ có tần số thích hợp chiếu vào là nguyên tử đổ xuống một mức năng lượng thấp hơn và tạo ra bức xạ laser. *Laser (Light amplification by stimulated emission of radiation)* phát ra những tia xạ trên lĩnh vực sóng khả kiến, tử ngoại (ultraviolet) và hồng ngoại (infrared). Còn *maser (Microwave amplification by stimulated emission of radiation)* hoạt động theo nguyên tắc của laser nhưng trên miền sóng vi ba (vô tuyến).

Các nhà thiên văn phát hiện là trong vũ trụ cũng có những đám khí phát bức xạ maser. Maser thiên nhiên xuất phát từ những phân tử trong những tinh vân của dải Ngân hà. Tinh vân là những đám khí nguyên tử và phân tử có cả bụi và những ngôi sao sáng trưng. Phân tử là một tập hợp nguyên tử trong đó những nguyên tử có thể coi là gắn với nhau bằng những lò xo vô hình. Khi phân tử dao động hoặc quay xung quanh những trục của phân tử thì phát ra những bức xạ trên bước sóng hồng ngoại và vô tuyến. Phân tử trong tinh vân được bơm lên những mức năng lượng cao bởi photon của những ngôi sao và của bụi để phát ra bức xạ maser. Vào thập niên 1960, các nhà thiên văn của Đại học Berkeley quan sát được trên bước sóng 18 xentimet một bức xạ phát ra từ hướng Tinh vân Lạp Hộ (Orion Nebula). Vạch phổ của bức xạ rất hẹp nhưng lại cực kỳ sáng làm các nhà thiên văn ngạc nhiên đến nỗi họ phải cho đó là bức xạ của một chất “Huyền bí” (Mysterium) nào đó! Sau những tính toán cơ học lượng tử và những kết quả đo đạc quang phổ, họ kết luận là vạch bức xạ “Huyền bí” thực sự chính

là một vạch phổ maser của phân tử “hydroxyl” OH quen thuộc. Ngoài phân tử OH còn có phân tử nước H_2O và phân tử “silicon monoxide” SiO cũng phát ra những bức xạ maser vô tuyến rất mạnh. Sau này, các nhà thiên văn còn phát hiện được trong những thiên hà xa xôi những bức xạ maser OH và H_2O mạnh gấp hàng nghìn tới hàng triệu lần những maser quan sát được từ trước trong dải Ngân hà (xem **Hình**). Cường độ của những bức xạ maser vũ trụ tăng theo hàm mũ với kích thước của đám khí phân tử. Những đám khí trong vũ trụ lớn hàng trăm triệu kilomet, tương đương với kích thước của hệ mặt trời nên phát ra bức xạ maser rất mạnh. Trong vũ trụ, một bức xạ vô tuyến sau khi truyền qua đám khí maser có khả năng được khuếch đại đến hàng tỷ lần. Những laser và maser nhân tạo đương nhiên là có kích thước khiêm tốn hơn nhiều. Để tăng cường hiệu suất của quá trình bơm laser nhân tạo, một hệ thống gương được dùng để phản chiếu bức xạ cảm ứng nhằm kích thích liên tục laser. Muốn nghiên cứu hiện tượng maser trong vũ trụ, các nhà thiên văn phải lập ra những mô hình lý thuyết để giải phương trình truyền bức xạ trong đám khí phân tử, kết hợp với phương trình cân bằng thống kê trong đó xuất hiện những hệ số Einstein.



Hình bên trái: Thiên hà Messier 82 có hình dạng một chiếc xì gà ở cách trái đất 12 triệu năm ánh sáng trong chòm sao Đại Hùng. Trung tâm thiên hà Messier 82 là một môi trường rất xáo động, phun ra nhiều khí và bụi. Đây cũng là nơi mà sự sản sinh ra hàng nghìn ngôi sao có khả năng bùng lên từng đợt (Hình NASA-ESA).

Hình bên phải: Một bức xạ maser của phân tử hydroxyl OH (thể hiện bằng vạch phổ rất hẹp có đỉnh cao nhìn thấy ở phía bên trái trong phổ) được phát hiện trên bước sóng 18 xentimet (tần số 1667 Megahertz) ở vùng trung tâm thiên hà Messier 82 {Nguyễn Quang Rieu (Observatoire de Paris-Meudon), Ulrich Mebold và Anders Winnberg (Max Planck Institut, Bonn),

Jean Guibert (Observatoire de Paris-Meudon) và Roy Booth (University of Manchester) công bố trong tạp chí *Astronomy and Astrophysics*, vol. 52, p. 467, 1976}. Bức xạ maser trong thiên hà Messier 82 là một trong hai bức xạ maser rất mạnh được phát hiện đầu tiên ở hẳn bên ngoài dải Ngân hà. Kính thiên văn vô tuyến lớn 100 met của viện "Max Planck Institut für Radioastronomie, Bonn" đã được dùng để phát hiện ra bức xạ maser này. Miền phổ rất rộng trùng xuống (phía bên phải trong phổ) được tạo ra bởi những đám khí hydroxyl trong thiên hà, nhưng vì những đám khí này không phải là maser nên không phát mà lại hấp thụ bức xạ (cường độ âm). Trục tung biểu diễn cường độ của bức xạ và trục hoành biểu diễn tốc độ của những đám khí trong thiên hà.

Trong những năm gần đây, tia laser còn được chiếu lên bầu trời để tạo ra những ngôi sao nhân tạo. Các nhà thiên văn quan sát ngôi sao laser như một ngôi sao chuẩn để điều chỉnh liên tục kính thiên văn nhằm loại trừ sự hỗn loạn của khí quyển có khả năng làm nhiễu hình của thiên thể. Tia laser kích thích những nguyên tử natri trong khí quyển và tạo ra một điểm sáng màu vàng trông như một ngôi sao. Các nhà thiên văn chỉ cần "bật" ngôi sao laser mỗi khi họ cần dùng ở bất cứ thời điểm nào và ở vị trí nào trên bầu trời để điều chỉnh thiết bị trong khi họ quan sát các thiên thể. Những kính thiên văn cỡ lớn sẽ được trang bị bằng thiết bị hiện đại này, hiện nay được coi là thiết bị cần thiết để chụp được hình của những thiên thể với độ sắc nét cao.

Tôn vinh các nhà khoa học

Khí quyển trái đất chỉ để bức xạ khả kiến (ánh sáng), hồng ngoại gần và vô tuyến đột nhập từ vũ trụ vào bề mặt trái đất. Còn những bức xạ khác trong phổ điện từ như bức xạ gamma, bức xạ X, bức xạ tử ngoại và hồng ngoại xa đều bị khí quyển trái đất hấp thụ. Muốn quan sát những miền sóng bị hấp thụ, các nhà thiên văn phải phóng kính thiên văn ra ngoài tầng khí quyển trái đất. Họ thường lấy tên các nhà bác học nổi tiếng để đặt cho các vệ tinh phóng kính thiên văn lên không gian. Tên của Einstein đã được đặt cho vệ tinh nhân tạo phóng năm 1978 để quan sát vũ trụ trên miền sóng X. Kính của vệ tinh Einstein được dùng để nghiên cứu những thiên thể phát ra những bức xạ có năng lượng cao, như pulsar và tàn dư của những vụ sao nổ cùng những chùm thiên hà. Một vệ tinh khác cũng hoạt động trên bước sóng X được phóng năm 1999 và được đặt tên là Chandra để tôn vinh nhà thiên văn vật lý Chandrasekhar (Ấn Độ), người đã đề xuất lý thuyết giải thích quá trình hình thành những thiên thể siêu đặc như sao lùn trắng, sao

neutron và lỗ đen. Trong số những kết quả đáng ghi nhớ mà vệ tinh Chandra đã đạt được, phải kể sự phát hiện một lỗ đen khổng lồ nặng gấp 2,5 triệu lần mặt trời và nằm ngay trong trung tâm Ngân hà.

Cơ quan Không gian Vũ trụ châu Âu (European Space Agency) chuẩn bị phóng một vệ tinh đặt tên là Planck để quan sát bức xạ phông vũ trụ. Năm 1989, vệ tinh COBE đã phát hiện là bức xạ phông vũ trụ không đồng đều và phổ bức xạ là phổ một vật đen. Biên độ thăng giáng nhiệt độ, tuy cực kỳ nhỏ, nhưng thể hiện một vũ trụ nguyên thủy hỗn độn vật chất, mầm mống của những thiên hà quan sát thấy ngày nay. Planck là vệ tinh thế hệ thứ ba, sau COBE và WMAP, có độ nhạy chưa từng đạt được từ trước tới nay. Vệ tinh Planck nhạy bằng khoảng một nghìn lần vệ tinh COBE và phổ kế trên vệ tinh Planck phủ một miền sóng rất rộng, từ sóng hồng ngoại tới sóng vô tuyến. Mục tiêu chính của vệ tinh Planck là quan sát chi tiết bức xạ của vũ trụ nguyên thủy để cung cấp những số liệu cần thiết cho những mô hình lý thuyết mô tả quá trình tiến hóa của vũ trụ. Hiện nay tại nước Đức đã có hàng chục viện nghiên cứu khoa học cũng mang tên nhà bác học Max Planck.

Tài liệu tham khảo:

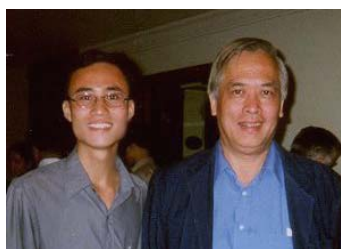
M. Elitzur: *Astronomical Masers* (Kluwer Academic Publishers 1992).

R.P. Feynman, R.B. Leighton, M. Sands: *The Feynman Lectures on Physics* (California Institute of Technology, Addison-Wesley Publishing Company, 1977).

Kenneth R. Lang: *Astrophysical Formulae* (Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1980).

Nguyen Quang Rieu: *Circumstellar Radio Molecular lines* (The M-Type Stars; Monograph Series on Nonthermal Phenomena in Stellar Atmospheres, CNRS - NASA, p. 209, 1986).

C.H. Townes, A.L. Schawlow: *Microwave Spectroscopy* (McGraw-Hill Book Company, 1955).



TRỊNH XUÂN THUẬN*

VŨ TRỤ THẬT HÀI HÒA NHUNG VÔ CÙNG TINH TẾ VÀ THỐNG NHẤT

Abstract: "We are all made of stardust and we are all the children of stars. We are the brothers of the wild beasts and the cousins of the flowers in the field. We all share the same cosmic genealogy. This realization should instill in us a sense of compassion for all other human and non-human beings. We should understand that our happiness depends on the happiness of others." - Trinh Xuan Thuan.

"Chúng ta được cấu thành từ những đám tinh vân và là hậu duệ của những vì sao. Những loài dã thú là huynh đệ của tất cả chúng ta, những đóa hoa đồng nội và chúng ta cũng đều là anh em họ hàng. Tất cả đều cùng sẻ chia một phá hệ vũ trụ. Nhận thức này sẽ làm thấm thấu vào lòng ta một cảm quan từ bi đối với tất cả mọi loài. Chúng ta nên hiểu một điều rằng, hạnh phúc của chính mình nương tựa vào hạnh phúc của tha nhân." - Trịnh Xuân Thuận.

Giáo sư là người đo đạc vũ trụ, vậy ông có thể nói chúng ta có vị trí như

* Giáo sư Trịnh Xuân Thuận là một trong những chuyên gia hàng đầu thế giới trong lĩnh vực Vật lý Thiên văn. Khoa học đối với ông không chỉ dành riêng cho giới khoa học thông thái, mà luôn nhắm tới đông đảo công chúng, nhất là về mặt triết lý và ý nghĩa của nó cho cuộc sống. Ông đã viết nhiều tác phẩm khoa học đại chúng, và thực sự đã được đông đảo công chúng thế giới đón nhận như: *Giai điệu bí ẩn, Cái vô hạn trong lòng bàn tay, và mới nhất là Những con đường của ánh sáng...*

Xin trân trọng giới thiệu cuộc trò chuyện rất thú vị do Nguyễn Đức Phường, Hội Thiên văn - Vũ trụ Việt Nam, thực hiện cho *Max Planck - Người khai sáng thuyết lượng tử*. (Ảnh là Gs. Trịnh Xuân Thuận và Nguyễn Đức Phường.)

thể nào trong vũ trụ? Và, đối với bản thân ông, ông cảm thấy mình có vai trò gì trong một tổng thể các kiến trúc siêu vĩ của tự nhiên trong mỗi lần giao hòa với cả một vũ trụ bao la?

Đối với tôi, vũ trụ sẽ không có ý nghĩa gì nếu không có một người quan sát tồn tại để đánh giá vẻ đẹp thánh thiện và sự hài hòa của nó. Vũ trụ học hiện đại đã làm mờ nhạt một cách đáng kể vị trí của con người trong vũ trụ. Kể từ năm 1543, Nicolas Copernic (1473-1543) trục xuất con người khỏi vị trí trung tâm của vũ trụ. Những khám phá thiên văn đương đại cũng không ngừng làm suy giảm thêm chỗ đứng của con người trong vũ trụ bao la này. Không những chỉ có các hành tinh không ở trung tâm của Hệ Mặt trời, mà tất cả các ngôi sao cũng thế. Mặt trời cũng chỉ là một trong trăm tỷ ngôi sao của dải Ngân hà. Và đến lượt mình, thiên hà Ngân hà cũng chỉ là một thành viên bình thường trong hàng trăm tỷ thiên hà khác trong vũ trụ mà chúng ta quan sát được. Không chỉ có thế, ngày nay chúng ta đã khám phá ra rằng, 96% khối lượng và năng lượng của vũ trụ không phải là vật chất bình thường (proton và neutron), những chất liệu đã cấu tạo nên cơ thể của chúng ta. Con người đã thu nhỏ lại không chỉ trong không gian mà còn cả về mặt thời gian. Nếu ví 14 tỷ năm của vũ trụ như 1 năm, thì con người đầu tiên xuất hiện trên Trái đất chỉ vào thời điểm 10 giờ 30 phút ngày 31 tháng 12 (khoảng 2 triệu năm trước, ở một nơi nào đó ở châu Phi). Có nên tuyệt vọng hay không một khi chúng ta cảm thấy mình hình như rất vô nghĩa trước vũ trụ? Và như thế, có nên chấp nhận quan điểm của nhà sinh học người Pháp đoạt giải Nobel, Jacques Monod (1910-1976), cho rằng “con người xuất hiện một cách tình cờ trong vũ trụ vốn dĩ cũng rất lạnh lùng và dửng dưng”, hay như nhà vật lý đoạt giải Nobel người Mỹ, “Chúng ta càng hiểu biết về vũ trụ chừng nào, hình như càng thấy vô nghĩa thêm chừng nấy”? Tôi thì không nghĩ như thế. Cho đến khi chúng ta tiếp xúc được với một nền văn minh nào đó ngoài địa cầu, Con Người vẫn còn đóng một vai trò quan trọng, đó là mang cho vũ trụ một ý nghĩa.

Điều gì đã thôi thúc ông chọn thiên văn học làm mục tiêu theo đuổi? Khi 19 tuổi, ông đã được tiếp xúc với kính thiên văn lớn nhất thế giới lúc bấy giờ trên đỉnh Palomar. Đó có phải là cú hích quyết định sự lựa chọn thiên hướng khoa học của ông?

Năm 1967, tôi đặt chân đến Caltech để bắt đầu cho những năm học đại học của mình. Tôi thực sự muốn trở thành một nhà vật lý. Đây đúng là thiên đường của khoa học với những nhà vật lý lỗi lạc nhất đoạt giải Nobel

như Richard Feynman, một trong trụ cột của điện động lực học lượng tử. Murray Gell-Mann (sinh 1929, Nobel 1969), người đã phát minh ra hạt quark. Tuy nhiên, trong những năm tiếp đó, tôi thực sự đã bị cuốn hút nhiều hơn đối với vật lý thiên văn. Những năm 60 đúng là thời đại hoàng kim của thiên văn học với một vụ mùa bội thu những khám phá vĩ đại trong lịch sử khoa học vũ trụ. Quasar, những thiên thể xa nhất và cũng sáng nhất được biết trong vũ trụ đã được khám phá bởi Marteen Schmidt, một trong những giáo sư thiên văn của tôi. Rồi, bức xạ nền viba, những tàn dư của Vụ nổ lớn, được khám phá vào năm 1965 bởi Arno Penzias và Robert Wilson làm việc ở phòng thí nghiệm Bell Telephone. Arno Penzias cũng là một thầy giáo của tôi khi tôi làm Ph.D ở Đại học Princeton.

Và còn nữa, vào năm 1967, hai nhà thiên văn vô tuyến ở Cambridge là Anthony Hewish (sinh 1924, Nobel 1974) và Jocelyn Bell đã khám phá ra Pulsar, những sao neutron quay nhanh... Hơn nữa, một trong những phòng thí nghiệm hợp tác với Caltech, Phòng thí nghiệm lực đẩy phản lực Jet Propulsion Laboratory (JPL) ở Pasadena, California, đứng đầu và được giao trách nhiệm thực hiện tất cả các chương trình thám hiểm không gian của Mỹ bằng việc sử dụng những trạm thăm dò không người lái. Hiện tại, chương trình thám hiểm hành tinh Hỏa diễn ra hết sức thuận lợi. Tôi còn nhớ mình cảm thấy thú vị biết bao khi một trong những giáo sư của tôi, William Fowler (1911-1995, Nobel 1983), cũng đoạt giải Nobel vật lý về việc giải thích cách tổng hợp các nguyên tố hóa học trong các vì sao, đã đặt một màn hình lớn trong phòng học. Bởi vậy, chúng tôi có thể nhìn những hình ảnh về hành tinh Hỏa được truyền trực tiếp về Trái đất bởi tàu thám hiểm không gian Mariner 4. Chúng tôi may mắn là những người đầu tiên được nhìn thấy những hình ảnh về bề mặt hành tinh Hỏa ngoạn mục này. Điều này đã chỉ ra một cách rõ ràng rằng, không có bất cứ một sự sống trí tuệ nào trên hành tinh Hỏa. Trước khi có sứ mệnh Mariner 4, người ta vẫn nghĩ rằng có người trên hành tinh Hỏa.

Nhưng điều thực sự đã đem lại sự cân bằng cho tôi là cơ hội tuyệt vời được sử dụng kính viễn vọng đường kính 5m trên đỉnh Palomar. Ở thời điểm đó, đây là kính viễn vọng lớn nhất thế giới. Khi chỉ mới 19 tuổi, tôi đã có cơ hội được nhìn vào khoảng không gian xa nhất của vũ trụ và làm việc với kính viễn vọng mà đã được chính nhà khoa học lỗi lạc Hubble sử dụng. Chính ông là người đã khám phá ra sự giãn nở của vũ trụ và bản chất của các thiên hà. Tôi sử dụng kính viễn vọng để giúp một trong những vị giáo

sự của tôi tìm kiếm những thiên thể trong vùng phổ khả kiến của một vài pulsar được khám phá trong thời gian gần đây. Vì vậy, vào thời gian cuối của những năm đại học ở Caltech, nơi mà tôi đã nhận bằng cử nhân khoa học về vật lý, tôi đã quyết định đến Princeton để làm tiếp tiến sĩ về vật lý thiên văn. Tôi thực sự đã bị cuốn hút đặc biệt bởi Princeton. Ở đây, có một nhà vật lý thiên văn lỗi lạc, Lyman Spitzer, và tôi muốn theo ông ấy để làm nghiên cứu. Ông là người mở đường cho vật lý plasma và cũng là cha đẻ của kính không gian Hubble. Và ngày nay, chính cái tên Spitzer đã được đặt tên cho một kính viễn vọng không gian của NASA. Tôi đã không bao giờ hối tiếc khi chọn vật lý thiên văn làm mục tiêu theo đuổi thay vì chọn vật lý hạt cơ bản. Vũ trụ này thật bao la và ẩn chứa bao nhiêu điều bí ẩn mà cho dù ngay cả không phải là một thiên tài như Feynman, bạn cũng vẫn có thể có những cống hiến giá trị trong việc giải mã Cuốn sách lớn của Tự Nhiên.

Có phải chúng ta đang ở cuối con đường của việc khám phá ra những quy luật cuối cùng của tự nhiên?

Tôi không tin rằng khoa học sẽ giải quyết tất cả những câu hỏi. Đó cũng chính là tại sao tôi đã đặt tên cuốn sách đầu tay của mình là *Giai điệu bí ẩn*. Chúng ta sẽ không bao giờ tháo gỡ được hết những bí mật của tự nhiên. Chúng ta có thể tiếp cận đến gần sự thật chứ không bao giờ đặt chân đến cuối con đường để hiểu được tất cả. Khi một câu hỏi được sáng tỏ, sẽ có rất nhiều câu hỏi khác xuất hiện. Trong vũ trụ luôn có những điều huyền diệu và bí ẩn, những điều nằm ngoài trí tưởng tượng và suy luận thuần túy của loài người, vượt xa những gì chúng ta có thể cảm nhận được. Bởi vậy, tôi không đồng ý với những nhà khoa học cho rằng, chúng ta đang đi đến tận cùng của sự hiểu biết, và chỉ trong một vài năm nữa, chúng ta có thể biết tất cả những gì có thể biết được trong vũ trụ. Cuối thế kỷ 19, đã có những nhà khoa học ưu tú nhất, chẳng hạn như nhà khoa học người Anh Lord William Thompson Kelvin (1824-1907), người đã từng tuyên bố về sự kết thúc của vật lý học và tất cả những vấn đề lớn đã được giải quyết. Công việc còn lại của các nhà vật lý chỉ còn là điền vào một vài những con số sau dấu phẩy của những hằng số vật lý, vốn dĩ đã đúng rồi. Ông ta đã sai. Vào những năm đầu của thế kỷ 20, Einstein đã làm một cuộc cách mạng trong cách nhìn của chúng ta về không gian và thời gian, về khối lượng và năng lượng. Và cơ học lượng tử đã làm thay đổi sâu sắc quan điểm của chúng ta về thế giới nguyên tử và hạ nguyên tử.

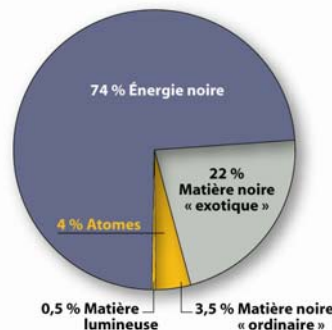
Và liệu các nhà thiên văn có hóa thân thành công thành những nhà chiêm

trình thời Trung cổ để chiêm nghiệm trong quả cầu pha lê về một định mệnh tối hậu của vũ trụ, cũng như những gì diễn ra ngay ở thời khắc đầu tiên của Big Bang, đằng sau bức tường Planck?

Bạn biết đó, đầu thế kỷ 21, đó còn là sự thống nhất của 2 lý thuyết thành một lý thuyết, thuyết lượng tử hấp dẫn, mà một thời đã từng làm bận tâm các nhà vật lý. Chỉ với lý thuyết lượng tử hấp dẫn, các nhà vật lý mới có thể vén lên bức màn bí mật của không gian và thời gian bên ngoài bức tường Planck. Lý thuyết hợp thời ngày nay là lý thuyết dây. Lý thuyết này nói rằng, các hạt cơ bản không phải là những điểm mà chúng là kết quả của những dao động tinh tế của những thực thể đơn lẻ vô cùng nhỏ gọi là dây với chiều dài chỉ có 10^{-33} cm, chiều dài Planck. Tuy nhiên, lý thuyết dây không bao giờ được xác minh một cách thực nghiệm. Vì vậy, chúng ta cũng sẽ không biết thuyết đó đúng hay sai.

Đối với các nhà vật lý thiên văn, vấn đề cốt yếu nhất cần giải quyết là bản chất chính xác của vật chất tối ngoại lai và năng lượng tối. Dây được coi là nguyên nhân tạo ra sự giãn nở của vũ trụ. Ngày nay, vũ trụ được cho là một vũ trụ phẳng với mật độ khối lượng và năng lượng có giá trị bằng với mật độ tới hạn. Điều đó có nghĩa rằng, mọi hành xử của nó nằm giữa một vũ trụ mở với mật độ nhỏ hơn mật độ tới hạn, một vũ trụ như thế sẽ giãn nở mãi mãi theo thời gian, và một vũ trụ đóng với mật độ lớn hơn mật độ tới hạn. Đối với một vũ trụ như thế này sẽ giãn nở tới một bán kính tới hạn và sau đó nó sẽ tự co lại. Chúng ta sẽ được chứng kiến một sự đảo ngược của Big Bang, một Big Crunch (Vụ co lớn). Theo hiểu biết của chúng ta hiện nay, vật chất thường (proton và neutron, những vật liệu cơ bản cấu tạo nên cơ thể chúng ta) chỉ đóng góp một lượng rất khiêm tốn, khoảng 4% vào mật độ tới hạn, trong khi vật chất ngoại lai đóng góp khoảng 26%. Chúng ta thật sự chưa biết một cách chính xác bản chất của loại vật chất này. Đối với các nhà vật lý, họ nghĩ rằng, chính các hạt nặng tương tác yếu (WIMPs), những hạt được sinh ra từ những thời khắc rất sớm của vũ trụ được tiên đoán bởi lý thuyết siêu đối xứng, là thành phần của vật chất tối ngoại lai. Nhưng chưa ai có thể ghi nhận được những hạt WIMPs. Máy va chạm Hadron lớn LHC ở CERN, khi đi vào hoạt động vào cuối năm 2008, có lẽ sẽ kiểm tra được sự tồn tại của những hạt siêu đối xứng này. Nhưng vẫn còn 70% mật độ của vũ trụ. Vào năm 1998, các nhà vật lý thiên văn đã khám phá ra rằng, chúng xuất hiện trong một dạng của năng lượng tối bí ẩn có tác dụng như một phản hấp dẫn. Với phản hấp dẫn, chúng đóng vai trò lực đẩy hơn là lực hút

như hấp dẫn bình thường. Chính Einstein đã từng đề cập tới khái niệm phản hấp dẫn dưới dạng một hằng số vũ trụ học trong phương trình của ông ta về lý thuyết tương đối rộng vào năm 1917. Mục đích của ông là xây dựng một mô hình vũ trụ tĩnh. Nhưng khi Hubble công bố khám phá của mình về sự giãn nở của vũ trụ vào năm 1929 thì lúc đó Einstein mới từ bỏ ý tưởng về hằng số vũ trụ học và tuyên bố rằng “đó là sai lầm lớn nhất trong cuộc đời của tôi”. Tuy nhiên, hằng số vũ trụ học lại hồi sinh sau **hơn năm** để giải thích cho sự gia tốc của vũ trụ. Các nhà vật lý không có một quan điểm nhất quán nào về những gì cấu thành nên hằng số vũ trụ học. Một vài ý nghĩ cho rằng, lực đẩy nó không phải là không đổi mà biến thiên theo thời gian, khái niệm này gọi là “nguyên tố thứ năm”. Như thế xem ra kiến thức của chúng ta cũng chẳng đến đâu cả. Giống như nhà toán học người Áo, Kurt Gödel, đã chứng minh cho thấy, trong một hệ thống số học, sẽ luôn có những mệnh đề không thể mô tả được một cách luận lý bằng những tiên đề nằm ngay trong hệ thống đó (định lý bất toàn của Gödel). Tôi nghĩ là chúng ta sẽ không bao giờ hiểu biết hết vũ trụ này thuần túy chỉ bằng logic và lý luận.



Hình 1. Vũ trụ bị chế ngự bởi vật chất tối tăm. Nó gồm có chủ yếu là năng lượng tối (74%) và vật chất tối 'ngoại lai' (22%), cái này có lẽ là những hạt khối lượng cao nảy sinh trong mấy phần giây ban đầu thuở Nổ Lớn. Vật chất bình thường (gồm những nguyên tử tạo nên chúng ta) chỉ chiếm có 4%, trong đó 3,5% là vật chất tối và 0,5% là vật chất sáng (tinh tú và thiên hà).

Như giáo sư đã nói, vũ trụ toát lên vẻ đẹp hài hòa và thánh thiện trong sự thống nhất. Nhưng nếu không có con người, vẻ đẹp đó phỏng có ý nghĩa gì? Vậy đâu là cội nguồn để ông giác ngộ ra vẻ đẹp và hạnh phúc cuộc sống?

Đối với tôi, vũ trụ chẳng có ý nghĩa gì cả nếu như không có một loài có trí khôn để có thể thưởng ngoạn được vẻ đẹp cùng sự hòa điệu tuyệt vời của nó. Kể từ năm 1543, khi Copernic đã làm thay đổi nhận thức cho thấy Trái đất không còn là trung tâm của vũ trụ, những khám phá của nền thiên

văn học đương đại cũng đã không ngừng làm suy giảm thêm chỗ đứng của con người trong vũ trụ, cả trong hai chiều kích không gian lẫn thời gian. Điều này đã đưa đến sự mất cảm hứng của con người trước thế giới mà Blaise Pascal, một triết gia người Pháp nổi tiếng của thế kỷ thứ 17, đã phải đau khổ thốt lên: “Sự im lặng ngàn đời của khoảng không gian vô tận đã làm tôi kinh hãi.” Tuy nhiên, cái nhìn ảm đạm này đã và đang thay đổi bởi khoa vũ trụ học đương đại, và thế giới lại trở thành một nguồn hứng khởi. Khoa học đã khám phá ra mối tương liên giữa chúng ta với vũ trụ. Chúng ta được cấu thành từ những đám tinh vân và là hậu duệ của những vì sao. Những loài dã thú là huynh đệ của tất cả chúng ta, những đóa hoa đồng nội và chúng ta cũng đều là anh em họ hàng của nhau. Tất cả chúng ta đều cùng chia sẻ một phả hệ vũ trụ. Sự nhận thức này sẽ làm thấm thấu vào lòng ta một cảm quan từ bi đối với tất cả mọi loài. Chúng ta nên hiểu một điều rằng, hạnh phúc của chính ta nương tựa vào hạnh phúc của tha nhân. Thế nên, tất cả chúng ta cần có một cảm quan về mối trách nhiệm phổ quát đối với Trái đất ta đang sống. Đây là hành tinh duy nhất trong Thái Dương hệ bao bọc sự sống, chúng ta cần nên làm những gì tốt đẹp nhất để bảo vệ nó. Lòng tham và sự khinh suất của con người đã làm thương tổn đến sự cân bằng sinh thái của hành tinh này. Những vấn nạn về sự gia tăng nhiệt độ toàn cầu, ô nhiễm môi sinh, hủy hoại tầng ozon không phân biệt ranh giới của một quốc gia nào. Nó chi phối cả toàn thể nhân loại, và tất cả những ai có thiện chí cần ngồi lại làm việc cùng nhau để bảo vệ hành tinh xanh tươi xinh đẹp này.

Vậy, vũ trụ có tham gia vào trò chơi những con bài số phận, hay việc xuất hiện của chúng ta là sự chọn lọc tất yếu và duy nhất trong vô vàn con đường tiến hóa của tự nhiên? Ngọn lửa của ý thức đã được nhen nhóm như thế nào? Và điều gì thôi thúc ông luôn đặt con người làm trung tâm của mọi sự bàn luận?

Ngành vũ trụ học đương đại đồng thời cũng đem đến cho ta nhận thức rằng, vũ trụ này được hòa điệu trong một mức độ chính xác tuyệt vời đảm bảo cho sự xuất hiện của sự sống và ý thức. Nếu vũ trụ này bao la là bởi vì sự mệnh mông này cần thiết cho sự xuất hiện một người quan sát có khả năng thưởng thức vẻ đẹp, sự hài hòa đó, và đem đến cho nó một ý nghĩa. Như nhà vật lý học Freeman Dyson đã phát biểu: “Vũ Trụ này đã biết là chúng ta sẽ có mặt”. Sự hiểu biết về mức độ cực kỳ hòa điệu của vũ trụ để cho sự sống và tri giác xuất hiện đến từ sự cấu trúc của những vũ trụ ảo. Tất

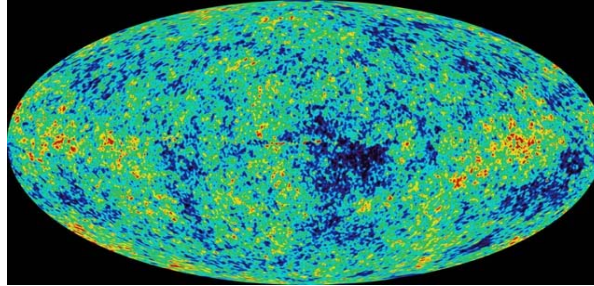
cả những gì trong vũ trụ này (kể cả những đoá hồng, con người, cây cối, núi non, v.v...) đều được xác định bởi một loạt khoảng 15 hằng số vật lý (ví dụ như vận tốc ánh sáng, hằng số hấp dẫn, hằng số Planck, khối lượng của electron, điện tích của electron, v.v...) và những điều kiện sơ khởi (cụ thể như độ giãn nở ban đầu, tỷ trọng sơ khởi của vật chất, năng lượng, v.v...) Những nhà vật lý đã xây dựng những vũ trụ ảo bằng cách thay đổi những hằng số vật lý và điều kiện sơ khởi này. Họ đã đi đến một kết luận khá sững sốt: chỉ cần một thay đổi cực nhỏ trong các hằng số vật lý hay điều kiện sơ khởi, những tinh tú đã không thể hình thành, những nguyên tố nặng đã không được sản sinh và đời sống cũng như tri giác sẽ không bao giờ xuất hiện. Đại bộ phận của cái vũ trụ bao la này sẽ cần cối vô sinh không có cả một con người nhìn ngắm nó. Sự hòa điệu này được biết là cực kỳ chuẩn xác. Cụ thể như tỷ trọng ban đầu của vũ trụ phải được điều hòa ở một con số rất chính xác là 10^{-60} . Điều này có thể được đem so sánh với một cung thủ thiện nghệ nhắm trúng mục tiêu 1 centimet vuông (cm^2) được đặt cách xa 14 tỷ năm ánh sáng, ngay tận đầu biên của vũ trụ! Cái gì đã tạo nên sự hòa điệu tuyệt vời này? Ta có thể cho đó là một ngẫu nhiên tình cờ. Trong trường hợp này ta cần phải đi đến một giả định rằng đã có sự hiện hữu của vô số vũ trụ (mà các nhà vật lý gọi đó là đa-vũ-trụ.) Đã có không ít những lối giải thích về lý thuyết Big Bang làm cơ sở cho thuyết đa-vũ-trụ. Ví dụ như nhà vật lý Nga, Andrei Linde, đã khai triển lý thuyết cho rằng, vũ trụ của chúng ta chỉ là một trong vô số những vũ trụ phát khởi từ vô số lượng những đám bọt lượng tử sơ khai trôi nổi bập bềnh trong vũ-trụ-meta. Đại bộ phận những vũ trụ này vì bao gồm một tổng hợp không chuẩn xác về những hằng số vật lý và điều kiện sơ khởi nên khô chết, ngoại trừ vũ trụ của chúng ta, do một tình cờ may mắn đã có được một tổng hợp hoàn chỉnh, chẳng khác gì một người trúng số độc đắc. Ngược lại, nếu cho rằng chỉ có một vũ trụ duy nhất, thì như thế ta cần giả định là có một nguyên lý sáng tạo chi phối những hằng số vật lý và điều kiện sơ khởi này. Khoa học cũng không thể phân biệt giữa hai khả năng này, thế nên cũng giống như Pascal, chúng ta đành phải chấp nhận một sự đánh cược. Riêng phần tôi, tôi bác bỏ chuyện may rủi, bởi nhiều lý do: thứ nhất, mặc nhận một số lượng vô số những vũ trụ song hành với chúng ta mà không thể kiểm chứng được bằng quan sát, điều này không phù hợp với cảm quan của tôi như là một nhà quan sát. Đồng thời sự giả định này vi phạm quy luật Occam cho rằng, ta nên lý giải sự việc bằng giả thiết đơn giản nhất có thể được: tại sao lại

phải giả định có vô số lượng những vũ trụ khô chết để chỉ có được một vũ trụ duy nhất nuôi dưỡng sự sống và ý thức? Ngoài ra còn có những lý lẽ khác để bác bỏ chuyện may rủi ngẫu nhiên: Đối với tôi thật khó mà tin rằng cái vũ trụ mà tôi nhìn ngắm qua kính viễn vọng, xinh đẹp, đơn thuần, hài hòa như thế kia lại chỉ là sản phẩm của một sự rủi may. Tôi có thể nói rằng sự hòa điệu của vũ trụ mà tôi đã mô tả trước đây được biết như “nguyên lý vị nhân” (vốn phát xuất từ danh từ “anthropos” có nghĩa là “con người” của Hy Lạp) và tôi đã mô tả trong phiên bản “nguyên lý vị nhân mạnh” của nó. Đồng thời cũng còn có một giải thích trong một phiên bản khác gọi là “nguyên lý vị nhân yếu”, đối với tôi đó là sự lặp thừa: “Vũ trụ có đủ phẩm tính để cho con người xuất hiện”. Điều này không có nghĩa rằng sự tiến hóa của vũ trụ chỉ nhắm đến con người mà có thể áp dụng chung cho bất cứ loài tri giác ngoài địa cầu nào ở trong vũ trụ này có khả năng nhận thức được vẻ đẹp và sự hài hòa của nó.

Lội ngược dòng thời gian bằng việc sử dụng những cỗ máy khoa học để ngắm nhìn vũ trụ khi còn non trẻ. Ông có cảm thấy mình thật hạnh phúc hơn khi xoá nhoà ranh giới hiện tại và quá khứ? Với những kỳ tích của công nghệ đó, ông có thể dạo chơi vào quá khứ đến bao lâu?

Đúng vậy, tôi cảm thấy mình thật hạnh phúc mỗi khi được dạo chơi vào quá khứ bằng những kính thiên văn khổng lồ là kết tinh trí tuệ của loài người. Bởi vì sự truyền của ánh sáng không phải là tức thời. Chúng ta nhìn vũ trụ luôn luôn với một độ trễ nhất định. Chúng ta quan sát Mặt trăng khi nó ở 1 giây về trước, Mặt trời 8 phút, ngôi sao gần nhất (Proxima Centauri) 4 năm trước, thiên hà gần nhất giống như dải Ngân hà (Andromeda) 2,3 triệu năm về trước (ánh sáng rời thiên hà Andromeda ở thời điểm khi con người đầu tiên đi thẳng bằng hai chân trên mặt đất). Mặc dù vận tốc ánh sáng là nhanh nhất trong vũ trụ (300.000 km/s - một phần bảy giây đồng hồ ánh sáng đã có thể du ngoạn được vòng quanh Trái đất), nhưng ánh sáng cũng chỉ là một con rùa nếu đem so sánh với thang vũ trụ. Điều này có nghĩa rằng, kính viễn vọng là một cái máy thời gian. Nó cho phép các nhà thiên văn lội ngược lại quá khứ (nhưng không phải là tương lai) của vũ trụ, xây dựng lại lịch sử của nó, cũng có nghĩa là lịch sử cội nguồn của chúng ta. Với kính lớn nhất ngày nay trên Trái đất (kính Keck, đường kính 10m trên miệng núi lửa đã tắt ở Mauna Kea trên đảo Hawaii) và trong không gian (kính không gian Hubble với đường kính gương 2,4m), chúng ta có thể nhìn ngược về quá khứ 10 tỷ năm về trước, tức là 3-4 tỷ năm sau Big Bang. Về

nguyên tắc, kính viễn vọng có thể nhìn ngược lại năm 380.000 sau Big Bang. Trước kỷ nguyên đó, vũ trụ trở nên mờ đục và ánh sáng không thể di chuyển một quãng dài. Vũ trụ giống như chìm vào một đám sương mù dày đặc. Hình ảnh cổ xưa nhất của vũ trụ bắt đầu từ năm 380.000 sau Big Bang: đó là bức xạ nền sóng ngắn, ánh sáng tàn dư lại từ thời khắc của sự sáng thể. Nó đã được nghiên cứu bởi vệ tinh COBE và WMAP của NASA.



Hình 2. Bản đồ bầu trời chụp bởi vệ tinh WMAP của NASA là hình ảnh vũ trụ thời xa xưa nhất. Bản đồ cho ta sự phân phối bức xạ nhiệt tàn dư của hoàn vũ, khoảng 380.000 năm sau vụ Nổ Lớn. Bức xạ này đã du hành trong khoảng 14 tỷ năm để đến với chúng ta. Những chấm không đều đặn vàng và đỏ thể hiện sự kết đọng nhỏ xíu của vật chất, chúng là mầm mống cho những thiên hà sau này.

Là một người sùng đạo Phật, nhưng ông luôn coi đó là một triết lý sống hơn là một tôn giáo. Ông đồng cảm như thế nào về minh triết phương Đông và duy lý phương Tây. Khoa học, đối với ông, đó có phải là một tôn giáo?

Khoa học và tâm linh là hai cánh cửa sổ khác nhau cùng mở vào thực tại. Trong cuốn sách của tôi, “Cái vô hạn trong lòng bàn tay” viết chung với Matthieu Ricard, một tăng sĩ Phật giáo người Pháp, tôi đã cố gắng chứng tỏ cho thấy đã có những điểm đồng quy nổi bật giữa quan điểm về thực tại của Phật giáo và nền khoa học đương đại. Ý niệm về duyên khởi, một ý niệm then chốt trong giáo lý Phật giáo tương ứng với tính toàn thể, bất khả phân của thực tại được hàm chứa trong thí nghiệm EPR (Einstein-Podolsky-Rosen) về các cấp độ nguyên tử và hạ nguyên tử, cùng với thí nghiệm quả lắc Foucault và nguyên lý Mach trong thang đo vũ trụ. Ý niệm về “tính không” của Phật giáo, với sự vắng mặt về sự hiện hữu tự thân, tương đương với tính chất lưỡng tính của ánh sáng và vật chất trong cơ học lượng tử của khoa học. Bởi vì một photon sẽ là sóng hay hạt hoàn toàn tùy thuộc vào cách thể mà ta quan sát, cho nên không thể nói là nó hiện hữu như là một thực thể tự thân. Ý niệm về “vô thường”, tương ứng với ý niệm về tiến hóa trong khoa vũ trụ học. Không có gì ở trong thể tĩnh, tất cả đều biến đổi,

chuyển động và tiến triển, từ một hạt nguyên tử cực nhỏ cho đến một cấu trúc lớn lao nhất trong vũ trụ. Vũ trụ tự nó cũng đã có một lịch sử. Đồng thời tôi cũng đã nêu ra lĩnh vực tiềm ẩn bất đồng: Phật giáo phản bác cái ý niệm về một sự khởi đầu của vũ trụ cũng như về một nguyên lý sáng tạo có khả năng hòa điệu những phẩm tính của mình, từ đó tạo điều kiện cho con người và ý thức xuất hiện. Những điểm đồng quy nói trên không làm cho chúng ta ngạc nhiên, bởi vì cả khoa học lẫn Phật giáo đều sử dụng những tiêu chuẩn nghiêm ngặt và chân xác để vươn đến chân lý. Bởi vì mục tiêu của cả hai là mô tả thực tại, họ phải gặp nhau ở những mẫu số chung mà không hề loại trừ nhau. Trong khoa học, những phương pháp cơ bản để khám phá sự thật là thí nghiệm và lý thuyết hóa dựa vào phân tích; trong Phật giáo, quán tưởng là phương pháp chính. Cả hai đều là những cánh cửa sổ cho phép ta hé nhìn vào thực tại. Cả hai đều vững vàng trong những phạm trù chuyên biệt của mình và bổ sung lẫn nhau. Khoa học khám phá giúp ta những kiến thức “quy ước”. Mục tiêu của nó là hiểu rõ thế giới hiện tượng. Những áp dụng kỹ thuật của nó có thể gây nên những hệ quả xấu hay tốt đối với đời sống thể chất của con người. Thế nhưng quán tưởng, khi giúp ta nhìn rõ bản tính chân thật của thực tại, có mục đích cải thiện nội giới để ta có thể hành động nhằm cải thiện đời sống của tất cả mọi người. Những nhà khoa học còn sử dụng đến những thiết bị tối tân hơn để khám phá thiên nhiên. Trái lại, trong hình thức tiếp cận bằng quán tưởng, thiết bị duy nhất là tâm. Hành giả quán sát những tư tưởng của mình được đan kết lại cùng nhau như thế nào và dính mắc vào y ra sao. Y khảo sát cái cơ chế vận hành của hạnh phúc và đau khổ để từ đó cố gắng khám phá ra những tiến trình tâm linh nhằm nâng cao sự an bình nội tâm, làm cho cõi lòng mình rộng mở hơn đối với tha nhân để giúp họ cùng phát triển, cũng như từ đó thấy rõ được những tiến trình gây ra những hệ quả độc hại để loại bỏ chúng. Khoa học cung cấp cho ta những dữ kiện, nhưng không mang lại sự tiến bộ tâm linh và chuyển hóa. Trái lại, sự tiếp cận tâm linh hay quán tưởng chắc chắn phải đưa ta đến một sự chuyển hóa bản thân sâu sắc trong cách thể mà chúng ta nhận thức về thế giới để dẫn đến hành động. Hành giả Phật giáo một khi nhận thức rằng vật thể không hề có hiện hữu tự thân sẽ giảm thiểu sự dính mắc vào chúng, từ đó giảm bớt khổ đau. Nhà khoa học, với cùng một nhận thức như thế, sẽ xoa tay hài lòng, xem đó như là một tiến bộ tri thức hầu sử dụng vào những công trình nghiên cứu khác, sự khám phá này không hề làm thay đổi thị kiến cơ bản của y đối với thế giới

và cách thức mà y hướng dẫn đời sống của mình. Khi đối diện với những vấn nạn về đạo đức hay luân lý ngày càng có nhiều sức ép, đặc biệt là trong lĩnh vực di truyền học, khoa học cần đến sự trợ giúp của tâm linh để khỏi bỏ quên đi nhân tính của mình. Như Einstein đã phát biểu một câu nói rất đáng tán thưởng: "Tôn giáo của tương lai sẽ là một tôn giáo hoàn vũ. Nó sẽ phải vượt qua một vị Thượng đế có nhân trạng và tránh xa những học thuyết lẫn giáo điều. Bao gồm cả khoa học tự nhiên và tâm linh, nó sẽ phải được đặt căn bản trên một ý thức tôn giáo phát khởi từ cảm nghiệm về tất cả mọi sự vật, khoa học tự nhiên lẫn tâm linh, và đây được xem như một sự hợp nhất đầy ý nghĩa... Phật giáo là câu trả lời cho sự mô tả này... Nếu có bất kỳ một tôn giáo nào có thể đáp ứng được những nhu cầu của nền khoa học đương đại, thì đó chính là Phật giáo." Tôi không thể không đồng ý với ông ta.

Ông hái lượm và thu góp vẻ đẹp của vũ trụ rồi đem phân phát cho mọi người. Tri thức thiên văn vốn rất xa lạ với công chúng nhưng nó đã đến được với công chúng bằng con đường riêng mà ông đã mở lối. Điều gì đã thôi thúc ông tìm đến công chúng? Những tác phẩm khoa học của ông dành cho công chúng nhưng đồng thời cũng là những tác phẩm văn học xuất sắc. Phải chăng sự đồng cảm mạnh mẽ giữa khoa học và văn học được bắt nguồn từ những ngày thơ ấu đầy biến cố?

Như đã trình bày với bạn trong những câu trả lời trước, tốc độ phát triển nhanh chóng về kiến thức khoa học, đặc biệt là trong lĩnh vực vật lý thiên văn và vũ trụ học đã làm thay đổi một cách sâu xa viễn tượng triết học về vị trí cùng mối liên hệ của con người đối với vũ trụ. Nói theo ngôn ngữ của nhà triết gia về khoa học Hoa Kỳ, Thomas Kuhn, thì bây giờ chúng ta đang có một phạm lệ mới. Thật là điều đáng tiếc nếu phạm lệ mới này chỉ hạn chế trong giới hàn lâm, chung quanh một vài vị giáo sư đại học. Tôi muốn phô ra những đổi thay tận căn bản của khoa học và triết học cho đông đảo quần chúng, những người có thể có đầu óc tò mò nhưng nhất thiết không cần phải được huấn luyện về khoa học. Khi sáng tác, tôi luôn luôn chú trọng đến văn phong, tránh dùng những ngôn từ khoa học khó hiểu, cố gắng mang chất thơ và văn chương vào tác phẩm để làm giảm nhẹ sự phức tạp của vấn đề. Từ lúc ấu thơ tôi vẫn thường yêu thích thi ca và văn chương chẳng kém gì khoa học. Thế nên, trong những tác phẩm của mình, tôi có thể nói về những đề tài triết học hay thần học mà tôi đã không thể thảo luận trong các bài viết về khoa học.

Công việc của ông là vẽ dần lên từng chi tiết trong một bức tranh vũ trụ tổng thể. Ông có thể mô tả qua về bức tranh đó ngày nay như thế nào được không?

Lý thuyết thịnh hành nhất của vũ trụ ngày nay là thuyết Vụ nổ lớn Big Bang. Các nhà vật lý thiên văn nghĩ rằng, vũ trụ của chúng ta được bắt đầu khoảng 14 tỷ năm về trước từ một trạng thái vô cùng nóng, đặc, nhỏ trong một Vụ nổ và đẩy các hợp phần của vũ trụ ra khỏi nhau. Vũ trụ dần nở theo một hàm số mũ (gọi là sự lạm phát). Ở đó là cội nguồn của không gian và là bắt đầu của thời gian. Pha lạm phát kết thúc ở thời điểm 10^{-32} giây sau Vụ nổ. Sau đó, vũ trụ dần nở chậm dần và ngày nay chúng ta vẫn có thể quan sát được sự giãn nở đó. Câu chuyện về vũ trụ cũng là câu chuyện về sự tiến hóa và tổ chức của vật chất. Từ một chân không choán đầy bởi năng lượng, xuất hiện một thứ xúp nguyên thủy của vật chất tạo bởi các hạt quark, electron, photon, neutrino và tất cả các phản hạt của chúng. Bởi vì có sự ưu tiên tinh tế cho vật chất hơn là phản vật chất, khoảng một phần tỷ, nên chúng ta sống trong một vũ trụ được cấu thành bởi vật chất với một tỷ lệ khoảng tỷ photon cho mỗi hạt vật chất. Sau đó, cứ 3 hạt quark kết hợp với nhau để tạo nên proton và neutron. Proton và neutron được xem là những viên gạch tạo nên những nguyên tố nguyên thủy, chủ yếu là hydrogen và helium, cộng thêm một chút ít deuterium và lithium. Sau vài phút đầu tiên, khoảng 3/4 khối lượng của vũ trụ là hydrogen và còn lại 1/4 là helium. Những chất liệu cấu tạo nên các ngôi sao và thiên hà mà ngày nay chúng ta quan sát thấy. Vũ trụ vẫn còn mờ đục cho đến 380.000 năm sau Vụ nổ. Về sau khi vũ trụ đã đủ lạnh (khoảng 10.000 K) để cho phép tạo thành các nguyên tử, và từ đây nó bắt đầu trở nên trong suốt. Đó cũng là thời điểm bức xạ nền được sinh ra và ngập tràn toàn bộ vũ trụ mà ngày nay chúng ta quan sát được dưới dạng sóng ngắn. Bắt giữ trong những giếng thế sâu của vật chất tối, các đám mây hydrogen và helium co lại dưới sức hấp dẫn của riêng nó để hình thành nên những ngôi sao và thiên hà sau này. Ngày nay, sau một quá trình tiến hóa 13,7 tỷ năm, vũ trụ quan sát được chứa hàng trăm tỷ thiên hà, mỗi thiên hà lại cấu thành bởi hàng trăm tỷ ngôi sao như Mặt trời. Tất cả đã dệt nên bức thảm vũ trụ tuyệt mỹ. Trong bức tranh vũ trụ đó, có một thiên hà gọi là dải Ngân hà, ở vùng ngoại ô của nó có một ngôi sao đặt tên là Mặt trời và một hành tinh mang tên Trái đất. Rồi trên hành tinh nhỏ nhoi đó đã xuất hiện loài người có khả năng đặt những câu hỏi về vũ trụ, gán cho nó một nguồn gốc và có thể đánh giá vẻ đẹp và sự hài

hòa của nó. Những nghiên cứu của riêng tôi tập trung vào sự hình thành và tiên hóa của các thiên hà: con đường mà từ một vũ trụ đồng đều gần như hoàn hảo (đã được đo bởi sự thăng giáng nhiệt độ trong phòng bức xạ nền với giá trị 10^{-5}), sau đó, nó đã tự tổ chức và dệt nên một tấm thảm phi nhiễu với những bức tường thiên hà trải dài hàng trăm triệu năm ánh sáng bao quanh những khoảng trống khổng lồ.

Tôi biết, ông như người cha luôn quan tâm ưu ái và chăm sóc cho những đứa trẻ thiên hà trong vũ trụ. Và mới đây, bằng việc sử dụng kính không gian Hubble, ông đã phát hiện ra một thiên hà trẻ thơ, mà tuổi của nó, được biết, là trẻ hơn tất cả những thiên hà được khám phá trước đó. Vậy ông có thể kể qua đôi chút về khám phá này được không?

Vâng, công việc nghiên cứu chính của tôi liên quan đến những thiên hà lùn đặc và trẻ, mà tôi tin rằng, là những hòn đá tảng trong vũ trụ của chúng ta. Những thiên hà này có một lượng nguyên tố nặng rất thấp. Điều này có nghĩa rằng chúng chưa chuyển một phần lớn lượng khí của chúng thành những ngôi sao. Vì vậy, môi trường giữa các vì sao của những thiên hà này gần như là nguyên sơ, không bị vẩn đục bởi sản phẩm của thuật giả kim hạt nhân diễn ra trong lòng của những ngôi sao. Do vậy, chúng cho phép chúng tôi có được cái nhìn thoáng qua về kỷ nguyên của sự hình thành các thiên hà, mà ngày nay chúng ta vẫn còn hiểu biết chưa rõ. Trong sự cộng tác với đồng nghiệp người Ukraina, Yuri Izotov từ đài thiên văn Kiev, tôi sử dụng những thiên hà này để đo độ giàu helium nguyên thủy, helium là một trong những nguyên tố nhẹ nguyên sơ (cùng với hydrogen, deuterium, lithium) được tạo ra trong những phút đầu tiên của vũ trụ. Độ giàu helium nguyên thủy liên hệ trực tiếp tới lượng vật chất thường (hay vật chất baryon). Đó là cách mà chúng tôi có thể xác định được tổng lượng vật chất baryon trong vũ trụ, chỉ khoảng 4% mật độ tới hạn mà tôi đã nói với bạn trước đó. Chỉ có 0,5% vật chất thường phát sáng (tập trung ở các ngôi sao và thiên hà). Còn lại 3,5% không phát sáng. Các nhà thiên văn tin rằng những khí nóng phát ra tia X (khoảng triệu độ) trong không gian giữa các thiên hà thuộc cụm hoặc đám, và số lớn các đám mây khí trong không gian liên thiên hà được cấu tạo bởi hydrogen trung hòa có thể giải thích cho con số 3,5% này. Gần đây, bằng việc sử dụng kính không gian Hubble, đồng nghiệp Izotov và tôi đã đo được tuổi của thiên hà trẻ nhất được biết trong vũ trụ. Những quan sát tập trung vào một thiên hà lùn, đặc và xanh có tên gọi là I Zwicky 18. Hiện tại, thiên hà này đang trải qua một loạt sự hình thành

mãnh liệt của các ngôi sao. Trái với hầu hết những thiên hà mà cũng đang trong quá trình hình thành sao đã biết trước đó, lượng nguyên tố nặng (những nguyên tố được tạo ra bởi những ngôi sao khối lượng lớn và sau đó phóng thích vào môi trường giữa các vì sao bởi những vụ nổ định mệnh gọi là siêu sao mới) trong môi trường giữa các vì sao của I Zwicky cực kỳ nhỏ, chỉ vào khoảng 2% lượng nguyên tố nặng trong môi trường giữa các vì sao và trong các ngôi sao (bao gồm cả Mặt trời) trong dải Ngân hà. Điều này có nghĩa là, khí trong I Zwicky gần như là nguyên sơ và bao gồm hầu hết là hydrogen và helium được tạo ra trong vụ nổ lớn Big Bang, ở một vài phút đầu tiên trong sự tồn tại của vũ trụ. Nó không bị làm giàu bởi sự gia công các nguyên tố của thế hệ các ngôi sao kế tiếp. Vì vậy, sẽ không quá lâu để nghi ngờ rằng, I Zwicky là một thiên hà trẻ, và chỉ bây giờ khí của nó mới hình thành nên các ngôi sao, khoảng tỷ 13 tỷ năm sau Big Bang. Để chứng tỏ rằng I Zwicky là một thiên hà trẻ, phải chứng minh rằng không có một ngôi sao già nào có tuổi lớn hơn 1 tỷ năm (còn gọi là sao khổng lồ đỏ) trong nó. Nhưng các sao khổng lồ đỏ rất mờ, và gần đây, những quan sát cũng không đủ nhạy - thậm chí với cả kính thiên văn lớn nhất trên mặt đất cũng như trong không gian - để chỉ ra liệu những ngôi sao già này có mặt trong I Zwicky hay không? Tình huống đã thay đổi với việc lắp đặt một camera nhạy mới ACS (The Advanced Camera for Surveys) trên kính Hubble bởi các nhà du hành vũ trụ vào tháng 2 năm 2003. Chúng tôi đã sử dụng camera ACS để chụp ảnh I Zwicky với viễn kính Hubble trong suốt 25 vòng quỹ đạo vào tháng 5 năm 2003. Hubble cung cấp những tấm ảnh rõ ràng nhất và sâu xa nhất về I Zwicky 18 chứng tỏ một cách thuyết phục rằng không có ngôi sao khổng lồ đỏ nào có mặt trong I Zwicky 18. Thực tế, ngôi sao già nhất trong I Zwicky không già hơn 500 triệu năm tuổi, quá trẻ nếu đem so sánh với tuổi của vũ trụ là 13,7 tỷ năm. Bởi vậy, I Zwicky là một thiên hà trẻ thơ chân thật trong một vũ trụ người lớn. Thực tế làm cho I Zwicky rất khác thường như thế là bởi vì các thiên hà trẻ được hy vọng là hình thành chỉ vài tỷ năm đầu tiên sau Big Bang, trong vũ trụ có độ dịch về đỏ lớn, chứ không phải là 13 tỷ năm và trong một vũ trụ địa phương. Sự tồn tại của I Zwicky 18 chắc chắn đặt ra một viễn cảnh mới trong cách nhìn của chúng ta về con đường mà các thiên hà hình thành. Trong quan điểm hiện tại về sự hình thành các thiên hà, những thiên hà lớn (như dải Ngân hà) được nghĩ là phát triển bởi một quá trình trật tự bằng sự hợp nhất những thiên hà lùn nhỏ hơn như I Zwicky 18. Những viên gạch thiên hà này quá mờ và nhỏ để có

thể nghiên cứu trong sự dịch về đỏ cao. Do sự gần gũi của nó, I Zwicky cho chúng ta cơ hội để nghiên cứu chi tiết những đơn vị cơ bản từ đó các thiên hà được hình thành nên.



Hình 3. Thiên hà lùn I Zwicky 18, cách ta 45 triệu năm ánh sáng, chụp bởi kính không gian vũ trụ Hubble, nó là một thiên hà bất cân đối, không phải một đĩa đẹp như hình xoắn ốc, cũng không phải một quầng phóng cầu như hình bầu dục. Nó chứa rất nhiều khinh khí Hydro và Helium, trong đó nhiều tinh tú mới được hình thành lần đầu chưa đến 500 triệu năm: thiên hà này quả là một sơ sinh được biết đến trong hoàn vũ.

Xin cảm ơn giáo sư!

GIỚI HẠN CỦA BỨC TƯỜNG PLANCK

Abstract: The biggest challenge for mankind is to know the origin and evolution of the universe. While we are trying to make a breakthrough in breaking the Planck wall, there are still many open questions such as dark matter and dark energy, cosmic geometry as well as density of the matter of the universe... In this article, I would like to mention those issues in order to review the evolutionary cosmic history briefly.

Cái gì bắt đầu Big Bang? Tại sao vũ trụ trở thành cái mà chúng ta thấy ngày nay? Bằng tất cả những lý thuyết hiện đại, chúng ta cũng chỉ có thể lùi ngược dòng thời gian đến thời điểm 10^{-43} giây sau vụ nổ để mô tả vũ trụ. Đằng sau bức tường Planck là gì? Đó vẫn là câu hỏi thách thức trí tuệ của loài người. Để hiểu được điều gì diễn ra trước đó, chúng ta cần phải có những đột phá trong nhận thức. Đặc biệt là xây dựng một lý thuyết thống nhất duy nhất của vạn vật.

Việc xây dựng thành công lý thuyết hấp dẫn lượng tử chẳng hạn. Nếu thành công, chúng ta có thể chọc thủng bức tường Planck. Vật lý lượng tử mô tả khá tốt mọi hành xử của vật chất ở thế giới hạ nguyên tử nhưng lại thất bại ở những thang độ dài vũ trụ, nơi đó cơ học hấp dẫn thống trị. Như chúng ta biết, hành xử của vũ trụ sơ khai được điều khiển bởi các cơ chế lượng tử. Nhưng hầu như các định luật vật lý đều bị phá vỡ tại kỳ dị ban đầu. Đối xứng chỉ ra rằng, một hạt bao giờ cũng tồn tại một phản hạt. Liệu có tồn tại một siêu đối xứng, ở đó tiên đoán rằng một hạt vật chất tồn tại một hạt tương ứng gọi là hạt đồng hành siêu đối xứng có cùng khối lượng. Hiện tại, chúng ta chưa ghi nhận được bất kỳ hạt nào như thế trong các máy gia tốc. Nếu Lý thuyết siêu đối xứng tồn tại, nó có thể mở ra một cánh cửa mới để bước vào một thách thức mới trong việc xây dựng một lý thuyết

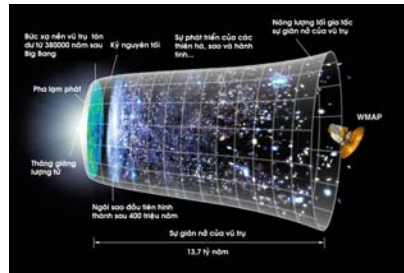
* Hội Thiên văn-Vũ trụ Việt Nam.

thống nhất hoàn chỉnh của vạn vật.

Các hạt cơ bản và các lực trong tự nhiên có thể liên hệ với nhau theo một nguyên lý nào đó. Có thể thông qua những đối xứng chưa biết như Lý thuyết thống nhất lớn hoặc thông qua một lý thuyết như siêu dây. Vũ trụ ở trạng thái kỳ dị ban đầu có thể rất khác. Tại đó, các tương tác có thể thống nhất với nhau, kể cả tương tác hấp dẫn, thành một tương tác duy nhất. Rồi trước thời điểm Planck, vũ trụ có thể nhiều hơn số chiều như bây giờ. Ở những thời điểm như thế không-thời gian không liên tục mà thăng giáng. Lý thuyết dây coi tất cả các lực và hạt như những dao động khác biệt của một thực thể đơn lẻ gọi là siêu dây với chiều dài chỉ có 10^{-33} cm (chiều dài Planck). Lý thuyết này tiên đoán rằng vũ trụ còn tồn tại bảy chiều không gian khác nữa. Những chiều không gian này quá nhỏ để chúng ta có thể quan sát, chúng chỉ có thể gói gém, xoắn lại trong không gian hạ nguyên tử. Hiện tại chúng ta không biết kích thước, hình dạng của những chiều không gian này như thế nào? Thực tế chúng có bao nhiêu? Và liệu nó có mối quan hệ gì với các hạt mới chưa được khám phá không? Tại sao các chiều này lại ẩn? Các ảnh hưởng của không gian nhiều chiều phụ thuộc vào kích thước, hình dạng, loại vật chất và lực truyền trong chúng. Chẳng hạn như ảnh hưởng lên khối lượng và tương tác của các hạt, rồi tác động đến mật độ năng lượng tối, vật chất tối thậm chí đến sự lạm phát của vũ trụ.

Khám phá ra một lý thuyết thống nhất hoàn chỉnh của vạn vật và hiểu biết về tất cả các đối xứng của tự nhiên, có thể cho phép chúng ta trả lời được những câu hỏi cốt lõi và nguyên thủy của vũ trụ học về những gì diễn ra tại thời khắc bắt đầu của vũ trụ.

Mô hình chuẩn vũ trụ học nói rằng, vũ trụ được bắt đầu từ một vụ nổ từ một kỳ dị ban đầu. Đây là một vụ nổ xảy ra ở tất cả mọi điểm trong không gian và là bắt đầu của thời gian. Ở đó, tất cả các định luật vật lý đã biết đều bị phá vỡ, vũ trụ ở trạng thái cân bằng và đối xứng vô cùng hoàn hảo. Sau khởi điểm này, vũ trụ đã phải trải qua một loạt các biến cố. Khoảng 10^{-35} đến 10^{-32} giây, vũ trụ chuyển sang kỷ nguyên lạm phát. Sự chuyển pha lạm phát đã tăng tốc sự giãn nở của vũ trụ và đóng vai trò quan trọng để giữ vũ trụ cân bằng đồng thời cũng tạo ra sự thăng giáng cần thiết và tinh tế trong mật độ của một vũ trụ đồng tính và đẳng hướng để gieo lên những hạt giống cho sự hình thành các ngôi sao, các thiên hà, đám thiên hà và các cấu trúc khác của vũ trụ mà chúng ta quan sát thấy ngày nay. Vũ trụ tiếp tục giãn nở và lạnh dần theo thời gian thông qua một loạt các chuyển pha.



Ảnh 1: Các pha tiến hóa của vũ trụ theo thời gian

Trong suốt thời kỳ ban đầu, vũ trụ choán đầy bởi chân không năng lượng cao sôi sục, ở đó, các cặp hạt và phản hạt được sinh ra và hủy nhau trong một con số cân bằng. Sau khoảng thời gian 380.000 năm sau Big Bang, khi vật chất và bức xạ “ly thân”, các photon bắt đầu dân nở tự do đã khiến vũ trụ trở nên “trong suốt” và Kỷ nguyên tối vũ trụ kết thúc khi vũ trụ đã tròn 400 triệu năm tuổi-lúc này toàn cõi vũ trụ đã khá lạnh, độ dịch về đỏ đạt giá trị 11 và ngôi sao đầu tiên chào đời. Nhưng thật là kỳ lạ. Vũ trụ mà ngày nay chúng ta quan sát được lại chủ yếu cấu thành bởi vật chất, chứ không phải là phản vật chất. Như vậy có một sự bất đối xứng nào đó khiến sự cân bằng trong quá trình sinh và hủy giữa các hạt vật chất và phản vật chất không phải là hoàn toàn cân bằng. Nếu vũ trụ của chúng ta là như ngày nay thì trong thời kỳ ban đầu cứ một tỷ cặp hạt vật chất và phản vật chất hủy với nhau phải dư ra một hạt vật chất. Sự bất cân bằng tinh tế này đã tồn tại và phát triển trong suốt giai đoạn tiến hóa ban đầu của vũ trụ khiến vật chất và phản vật chất cư xử khác biệt một cách vô cùng tinh tế. Và như vậy, đối xứng CP bị vi phạm. Ngày nay, chúng ta đã quan sát được vi phạm đối xứng CP ở hạt meson K trung hòa và meson B. Vật lý lượng tử chỉ ra rằng có ít nhất ba nhóm hạt phân loại theo khối lượng của chúng cần thiết để hài hòa với vi phạm cặp CP trong Mô hình chuẩn. Chính sự vi phạm đối xứng CP là cần thiết để vật chất chiếm ưu thế so với phản vật chất để có một vũ trụ ngày nay (chúng ta phân biệt khái niệm vật chất và phản vật chất chỉ mang tính chất tương đối. Giả sử nhân loại sống trong thế giới phản vật chất có thể hoán đổi hai khái niệm cho nhau).

Sau phần vạn tỷ tỷ tỷ giây đầu tiên, bất đối xứng khiến cứ một tỷ cặp hạt và phản hạt hủy nhau để dư lại một hạt. Tuy ít ỏi nhưng cũng đủ để kiến tạo lên toàn bộ cấu trúc của vũ trụ sau 13,7 tỷ năm. Như vậy, đối xứng hoàn hảo bị phá vỡ khi vũ trụ lạnh đi. Nhưng chưa hết, các số liệu quan sát chỉ ra rằng dường như vũ trụ “nặng” hơn những gì mà chúng ta quan sát thấy. Quả thật, nếu khối lượng của vũ trụ chỉ là các hành tinh, sao, thiên hà

thì không thể giải thích được việc cho phép hình thành chúng trong suốt các giai đoạn lịch sử của vũ trụ, cũng như không thể liên kết các hợp phần của nó thành một cấu trúc chặt chẽ và đẹp hoàn mỹ như ngày nay chúng ta thường ngoạn qua các kính viễn vọng tối tân trong không gian cũng như trên mặt đất. Các số liệu quan sát về đường cong quay thiên hà, quỹ đạo của các đám sao hình cầu, rồi hướng chuyển động của các đám và siêu đám thiên hà đã gợi ý rằng, vũ trụ được choán đầy bởi vật chất tối và năng lượng tối.

Vật chất tối là gì? Vật chất tối có thể là những hạt ngoại lai, hoặc những hạt nặng tương tác yếu WIMPs được tiên đoán bởi lý thuyết siêu đối xứng hoặc không gian nhiều chiều. Ngoài mô hình vật chất phi baryon cho ứng cử viên vật chất tối còn một loại đối tượng khác nữa gọi là những thiên thể nặng, đặc gọi là MACHOs như sao lùn đen, các lỗ đen mi ni, thậm chí cả những hành tinh ngoài hệ Mặt trời... Nhưng thực tế, thông qua các số liệu từ việc đo hiện tượng khuếch đại ánh sáng qua hiệu ứng vi thấu kính hấp dẫn cho thấy những đóng góp của những vật thể MACHOs là không đáng kể. Các số liệu gần đây về phong bức xạ nền tiến hành bởi đài thiên văn không gian hoạt động trên dải sóng viba WMAP cũng chỉ ra rằng vật chất baryon bình thường chỉ đóng một vai trò khiêm tốn, khoảng $4.6\% \pm 0.15\%$; vật chất phi baryon chiếm khoảng $23\% \pm 1\%$ trong tổng mật độ vật chất của vũ trụ.



Ảnh 2: Vòng vật chất tối xung quanh đám thiên hà ZwCl0024+1652.
Chụp bằng Kính thiên văn không gian Hubble

Những phép đo mới với độ chính xác cao hơn từ WMAP về phong bức xạ nền vũ trụ cũng đã phơi bày cho chúng ta bức tranh chi tiết hơn về sử thi tiến hóa vĩ đại của nó. Bức tranh mới này cho thấy rằng, hằng số Hubble - thước đo tốc độ giãn nở của vũ trụ - có giá trị 70.1 ± 1.3 km/giây/Mpc và tuổi của vũ trụ là 13.73 ± 0.12 tỷ năm.

Một đối tượng khác nữa tham gia vào khối lượng của vũ trụ là năng lượng tối. Năng lượng tối là nguyên nhân gia tốc sự giãn nở của vũ trụ. Năng lượng tối có ở mọi nơi và choán đầy vũ trụ của chúng ta. Để hiểu

được bản chất của năng lượng tối chúng ta cần phải đi sâu vào vật lý lượng tử của thế giới vi mô. Như chúng ta đã biết, ở thang vi mô, không gian được coi là trống rỗng hay chân không hoàn hảo, không hoàn toàn trống rỗng mà được choán đầy bởi một trường gọi là Higgs. Chính trường này đã đưa cho các quark và lepton khối lượng của chúng. Trường Higgs làm chậm chuyển động của hạt, cho chúng khối lượng và giữ cho cấu trúc của nguyên tử ổn định. Nếu không có trường Higgs, electron có thể chuyển động với tốc độ ánh sáng, nguyên tử sẽ bị phá vỡ cấu trúc và tan rã ngay lập tức. Năng lượng chân không với các hạt lượng tử trong chân không hoàn hảo của thế giới vi mô có thể là nguồn gốc của năng lượng tối. Việc khám phá ra lý thuyết siêu đối xứng, một phát biểu quan trọng của lý thuyết dây, cho phép hiểu rõ mối liên hệ giữa năng lượng tối và trường Higgs. Nếu tồn tại, các boson Higgs sẽ đóng một vai trò quan trọng về thành phần năng lượng tối. Những bí ẩn của boson Higgs đã gợi cảm hứng cho nhiều nhà vật lý hạt và vật lý năng lượng cao khi họ gán cho thực thể này tên gọi “hạt của Chúa”. Và nhân loại đang hồi hộp chờ đợi máy gia tốc LHC, được mệnh danh là “cỗ máy tái tạo Big Bang”, hé lộ những thông tin thực nghiệm đầu tiên về sự tồn tại của loại hạt mới này. Cuộc săn tìm “hạt của Chúa” vẫn đang tiếp tục.

Đến đây chúng ta nhớ lại rằng Einstein đã từng đưa ra một mô hình vũ trụ học tĩnh với một hằng số vũ trụ học. Chúng ta đang thử xem liệu rằng hằng số vũ trụ học có đóng vai trò gì về lực đẩy bí mật của năng lượng tối làm gia tăng tốc độ giãn nở của vũ trụ không? Các phép đo về cường độ và sự thăng giáng của phông bức xạ nền cùng với các phép đo khác về sự phân bố các đám thiên hà, siêu sao mới đã cho thấy rằng, năng lượng tối có mối liên hệ nhất định với hằng số vũ trụ học. Chẳng hạn, có những siêu sao mới ở rất xa, chúng có thể phát ra cùng một lượng năng lượng tại các cực đại sáng. Đây được gọi là những siêu sao mới loại Ia mà các nhà vũ trụ học thường ví như “cây nến chuẩn vũ trụ”. Nếu đo được độ sáng của những siêu sao mới này chúng ta có thể biết được khoảng cách tới chúng. Từ khoảng cách và tốc độ của siêu sao mới này chúng ta sẽ biết được vũ trụ đang giãn nở theo thời gian như thế nào và tốc độ giãn nở này có tương thích với lực đẩy gây ra bởi năng lượng tối không? Rồi bằng việc đo tốc độ và tương tác giữa các đám thiên hà trong vũ trụ cho phép chúng ta xác định được tổng khối lượng của chúng. Các phép đo cho thấy khối lượng tổng cộng lớn hơn rất nhiều khối lượng nhìn thấy do các sao và các khí nóng phát ra tia X... trong các đám thiên hà. Việc coi độ nhiều của các đám thiên

hà như một hệ thức của thời gian cho phép chúng ta hiểu thêm về lượng năng lượng tối có trong vũ trụ. Vì chân không chứa rất nhiều năng lượng tối, các tính toán lý thuyết ước lượng một lượng lớn hơn 10^{120} lần mức độ quan sát. Những số liệu mới nhất từ các phép đo không gian chỉ ra rằng, năng lượng tối chiếm $72\% \pm 1.5\%$ tổng khối lượng toàn vũ trụ. Và giờ đây, hằng số vũ trụ học được xem như là nguyên tố thứ năm.

Hiện tại, rất khó để chúng ta biết trước được vũ trụ sẽ như thế nào trong một viễn cảnh xa xăm: dân nở mãi mãi hay co lại? Số phận tương lai của vũ trụ phụ thuộc vào mật độ vật chất mà nó có ở hiện tại. Nếu mật độ của nó lớn hơn mật độ tới hạn, vũ trụ sẽ là đóng. Ngược lại, nếu mật độ của vũ trụ nhỏ hơn mật độ tới hạn, vũ trụ sẽ dân nở mãi mãi theo thời gian, và sẽ là một vũ trụ mở.

Thách thức lớn nhất đối với loài người là hiểu được vũ trụ bắt đầu và kết thúc như thế nào? Để có câu trả lời, chúng ta cần phải xây dựng một lý thuyết thống nhất là duy nhất và là tất cả. Nhưng chắc chắn rằng, chúng ta đang xây dựng được những lý thuyết tiệm cận đến một lý thuyết tối hậu như thế. Lý thuyết siêu dây chẳng hạn, lý thuyết này chỉ ra một đối xứng mới là siêu đối xứng với rất nhiều tiên đoán về những hạt mới như những hạt đồng hành siêu đối xứng. Những hạt này cũng giống như mỗi hạt vật chất tương ứng với một phản hạt xuất hiện từ những thăng giáng lượng tử trong chân không năng lượng theo nguyên lý bất định. Và cả những tiên đoán về những không-thời gian lượng tử đa chiều. Những tính chất của những hạt vật chất mới và không gian lượng tử đa chiều có thể bước đầu cung cấp cho chúng ta những thông tin về những biến thái của vũ trụ sau bức tường Planck. Đồng thời giúp hiểu rõ hơn về năng lượng tối và vật chất tối. Từ đó, chúng ta có thể vén lên bức màn bí mật để tìm kiếm câu trả lời cho những câu hỏi tại sao, như thế nào về những gì sẽ diễn ra trong một định mệnh tối hậu của vũ trụ.

Tài liệu tham khảo:

- [1] *Astronomy*: 2005, 2006, 2007, 2008; *Scientific American*: 2006, 2007, 2008; *Sky and Telescope*: 2007, 2008; *Nature, Science*: 2006, 2007, 2008.
- [2] Stephen Hawking, *The Theory of Everything: The Origin and Fate of the Universe*, Jaico Publishing House, 2006.
- [3] Stephen Hawking, *Lược sử thời gian*, Nxb Khoa học và Kỹ thuật, 2000.
- [4] Nguyễn Quang Riệu, *Vũ trụ huyền diệu*, Nxb Thanh niên, 2008.

- [5] Nguyễn Trọng Hiền, *Nền viba vũ trụ*, Vật lý Ngày nay, 2006.
- [6] Nguyễn Đức Phương, *Hành trình giải mã bí ẩn năng lượng tối*, Tia Sáng, 2007.
- [7] Harrison, E.R., *Cosmology*, Cambridge Univ. Press, second edition, Cambridge 2000.
- [8] Sun Kwok, *Cosmic Butterflies*, Cambridge University Press, 2001.
- [9] Linde, A.D., *Particle physics and inflationary cosmology*, Harwood Academic Publishers, Chur 1990.
- [10] Jay M. Pasachoff, *Astronomy from the earth to the universe*, 634p.
- [11] Dale C. Ferguson, *Introductory Astronomy Exercises*, 315p, 1990, Wadsworth Publishing Company
- [12] P. Snow, *Essentials of the dynamic universe: introduction to astronomy*, 158p.
- [13] George O. Abell, David Morrison, Sidney C. Wolff, *Realm of the universe*, 501p.
- [14] Peebles, P.J.E., *Principles of physical cosmology*, Princeton University Press, Princeton 1993.
- [15] R.D. Chapman, *Discovery astronomy*, San Fran: W.H. Freeman and Comp., 518.
- [16] Jacqueline Mitton and Stephen P. Maran, *Gems of Hubble superb images from the Hubble Space Telescope*, 123p.
- [17] R.T. Dixon, *Dynamic astronomy*, 555p.
- [18] Padmanabhan, T., *Cosmology and astrophysics through problems*, Cambridge University Press, Cambridge 1996.

PHẦN V
NHÂN VĂN - XÃ HỘI
- NGHỆ THUẬT - TRIẾT HỌC

NGUYỄN ĐỨC TƯỜNG*

LÀM THẾ KỶ... HAY LÀ ĐÔI ĐIỀU SUY NGHĨ CỦA MỘT NGƯỜI SỐNG GIỮA HAI THẾ KỶ

Abstract. A brief story of the old quantum theory together with the first few researches that supported it and the impact of these researches on a graduate student.

Một buổi chiều nóng bức đầu thập niên 1960, thời còn là sinh viên, tôi ngồi trong *cafeteria* của đại học giải một bài toán vật lý cho lớp Cơ học Thống kê, tính nhiệt dung riêng của chất khí mà mỗi phân tử gồm có hai nguyên tử (*specific heat of diatomic molecules* - ta có thể tưởng tượng phân tử này hình dạng như một quả tạ với hai đầu là hai nguyên tử). Bài tính không khó lắm nhưng dài, sau chừng hai giờ tôi vẽ được đồ thị biểu diễn trông thật đẹp mắt, mà theo như sách nói, đúng khít với kết quả đo lường từng điểm một. Điều đáng nói ở đây là tính nhiệt dung riêng thuộc loại những khảo cứu đầu tiên, hỗ trợ, xây nền cho một học thuyết vật lý mới, thuyết lượng tử (*quantum theory*).

Đã bao nhiêu lần người ta nói đến ngày tàn của Vật lý? Cuối thế kỷ 19, thế giới Vật lý là một thế giới có vẻ thanh bình, ổn định. *Principia* của Newton ra đời đã được 200 năm và Hệ thống Vạn vật của ông (*System of the World*) hoàn toàn vững chắc. Những gì cần khám phá hình như đã được khám phá; tại một vài đại học danh tiếng, có giáo sư khuyên những sinh viên Vật lý xuất sắc nên đi tìm học một môn nào khác, nhiều thử thách hơn. Trong một bài diễn văn đọc năm 1894 tại Chicago mà ngày nay vẫn thường được trích dẫn (xem, thí dụ, *Physics Today*, April 1968), Albert Michelson, có lẽ hãy còn say sưa với việc đo vận tốc của ánh sáng (năm 1907 ông đã được

* Nguyên giáo sư toán học ứng dụng tại Đại học Ottawa, Ottawa, Canada.

giải Nobel về công trình khảo cứu này), đã mạnh bạo phát biểu:

Tuy ta không bao giờ có thể biết chắc được tương lai của khoa học vật lý sẽ không còn những kỳ diệu nào khiến cho ta ngạc nhiên hơn là những gì đã tìm được trong quá khứ, có lẽ ta có thể tin được rằng tất cả những nguyên lý cơ bản đều đã được thiết lập và những tiến bộ mà ta cố làm sẽ chỉ là áp dụng chặt chẽ của những nguyên lý này cho những hiện tượng ta gặp. Về điểm này, khoa học đo lường sẽ biểu lộ sự quan trọng của nó - ở đó kết quả định lượng quan trọng hơn kết quả định tính. Một nhà Vật lý nổi tiếng đã nhận xét rằng chân lý tương lai của khoa học vật lý sẽ là xác định những con số với 6 số thập phân.

Xác định những con số với 6 số thập phân - nói cách khác, tô điểm, đánh bóng những đồ dùng đã cũ! Thực tế không đến nỗi đáng bi quan như vậy; trong giai đoạn này, chuyển động với vận tốc lớn đáng kể, có thể so sánh được với vận tốc của ánh sáng hay những hiện tượng xảy ra dưới áp lực cực cao hay ở nhiệt độ cực thấp chưa là những vấn đề cấp bách. Khảo cứu về thế giới nguyên tử cũng chỉ mới tập tễnh bắt đầu (mô hình nguyên tử Thomson: nguyên tử tương tự như một thứ bánh *pudding* Giáng Sinh - *plum pudding*). Tuy nhiên, có một hiện tượng liên quan tới ánh sáng mà ta thường gặp và không thể bỏ qua, đó là sự nóng sáng (*incandescence*).

Ánh sáng, trông thấy được như ánh sáng thường hoặc không trông thấy được như tia hồng ngoại (*infrared*), tia tử ngoại (*ultraviolet*) hay sóng radio, tất cả đều là sóng điện từ; ở đây, cho tiện việc, ta gọi tất cả là ánh sáng. Hầu hết mọi vật thể đều hấp thụ ánh sáng khi bị chiếu sáng hoặc phát ra ánh sáng (bức xạ) khi bị đun nóng. Trong trường hợp đặc biệt, bề mặt của vật thể phản chiếu hoàn toàn, khi ấy vật thể không hấp thụ và, do đó, cũng không phát xạ. Trường hợp đặc biệt đối nghịch là “vật thể đen hoàn toàn” hay, nói gọn hơn, “vật đen” (*black body*).

Vật đen là danh từ dùng để mô tả một vật chấn sáng có thể bức xạ nhiệt (*thermal radiation*). Một vật đen hoàn toàn hấp thụ tất cả ánh sáng tới và không phản chiếu chút nào. Ở nhiệt độ bình thường, một vật như vậy sẽ trông hoàn toàn đen (do đó tên “vật đen”). Tuy nhiên, nếu đun nóng lên ở nhiệt độ cao, vật đen sẽ bắt đầu sáng với bức xạ nhiệt. Để tiêu biểu cho một vật đen, ta có thể lấy thí dụ muối đèn: khi bị đốt nóng muối đèn sẽ sáng lên, đi dần từ đỏ mờ đến sáng chói.

Trong thực tế, mọi vật thể đều bức xạ nhiệt khi ở nhiệt độ trên zero tuyệt đối (-273,15 độ C), nhưng không có vật thể nào bức xạ nhiệt hoàn toàn, mà chỉ phát hay hấp thụ ánh sáng với bước sóng nào đó tốt hơn một

vật thể khác. Hiệu quả không đồng đều này khiến cho việc dùng vật liệu bình thường để khảo cứu sự tương tác giữa ánh sáng, nhiệt và vật chất trở nên rất khó khăn.

Rất may mắn, ta có thể tạo được vật đen gần như đen hoàn toàn bằng cách sau đây: Làm một cái hộp với vật liệu dẫn nhiệt, thí dụ kim loại, kín và rỗng bên trong và, như vậy, không tiếp nhận ánh sáng từ bên ngoài, rồi khoan một lỗ nhỏ trên thành hộp. Ánh sáng thoát ra từ lỗ nhỏ sẽ gần như hoàn toàn giống ánh sáng xuất phát từ một vật đen lý tưởng. Bởi vì ánh sáng từ bên ngoài vào trong hộp sẽ phản chiếu, đi lại nhiều lần trên thành hộp và, do đó, gần như chắc chắn là bị hấp thụ hết, không còn gì để thoát ra; đúng tiêu chuẩn hấp thụ hoàn toàn và không phản chiếu của vật đen. Việc phân tích ánh sáng thoát ra này gọi là việc khảo cứu về sự bức xạ của vật đen (*black-body radiation*). Theo Kirchhoff, nhà vật lý đã đặt ra từ “vật đen” và “bức xạ của vật đen” năm 1860, quang phổ của ánh sáng thoát ra từ lỗ nhỏ chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ ở bên trong hộp chứ không phụ thuộc vào hình dạng cùng vật liệu làm hộp.

Cuối thế kỷ thứ 19, khi dùng hộp kể trên để khảo cứu thực nghiệm bức xạ của vật đen, các nhà vật lý đã có thể diễn tả cường độ của ánh sáng xuất phát từ vật đen như một hàm của bước sóng cùng sự thay đổi quang phổ của ánh sáng phát ra khi thay đổi nhiệt độ. Về kết quả thực nghiệm và lý thuyết thì đã có nhiều, nhưng rời rạc. Điều mong muốn là đi tìm một cơ sở lý thuyết và thống nhất những kết quả thực nghiệm về sự bức xạ của vật đen.

Những điều đã biết:

1. Cường độ của bức xạ là một hàm của bước sóng và nhiệt độ tuyệt đối;
2. Định luật Stefan-Boltzmann: hiệu suất phát sáng tỷ lệ với lũy thừa bậc bốn của nhiệt độ tuyệt đối;
3. Định luật di chuyển Wien (*Wien's displacement law*): công suất bức xạ cực đại của vật đen tiến về phía bước sóng ngắn (phía màu xanh của ánh sáng trông thấy được) khi nhiệt độ tuyệt đối tăng lên. Hơn nữa, bước sóng tương ứng với công suất bức xạ cực đại tỷ lệ nghịch với nhiệt độ tuyệt đối, hệ số tỷ lệ này gọi là hằng số Wien, có giá trị $2,8971 \times 10^{-3}$ m K;
4. Wien cho một biểu thức để tính mật độ năng lượng của bức xạ và biểu thức này chỉ đúng cho những bước sóng ngắn;
5. Rayleigh và Jeans, trái lại, cho một biểu thức để tính mật độ năng

lượng của bức xạ nhưng biểu thức này chỉ đúng cho những bước sóng dài.

Một lý thuyết đúng cho sự bức xạ của vật đen cần phải kết hợp chặt chẽ với những kết quả kể trên.

Công thức đúng tính mật độ năng lượng bức xạ đầu tiên được thông báo bởi Planck và đọc trước Hội Vật lý Đức ngày 19 tháng 10, 1900. Planck có ý định dùng những lý luận từ nhiệt động học để chứng minh định luật về bức xạ của Wien nhưng nhận ra định luật này không thể đúng với kết quả thực nghiệm, ông đề nghị thay đổi đôi chút trong chứng minh để đi đến kết quả cuối cùng.

Tuy nhiên, dù sao thì một công thức như vậy cũng chỉ là một công thức thực nghiệm, không có cơ sở gì về lý thuyết. Khuyết điểm này được Planck sửa lại vào ngày 14 tháng 12, 1900 khi ông đọc trước Hội Vật lý Đức một bài viết trong đó định luật mới của ông được đặt trên một nền móng lý thuyết vững chắc.

Trong chứng minh này, Planck giả dụ trong hộp đen có một hệ thống gồm một số lớn dao động tử đơn giản, mỗi dao động tử có một tần số dao động riêng ν (ν) và một năng lượng riêng Σ (ϵ), rồi dùng lý luận xác suất và nhiệt động học để đi đến công thức cuối cùng. Nhưng để đi đến công thức này, Planck phải chấp nhận một sự việc vô cùng quan trọng là

$$\Sigma = h\nu,$$

với h là một hằng số không phụ thuộc vào ν . Và như vậy,

Năng lượng trung bình của một dao động tử đơn giản có tần số ν phải là một bội số nguyên lần của $h\nu$ và lượng năng lượng nhỏ nhất có thể phát ra hay hấp thụ bởi nó là $h\nu$.

Nói cách khác, năng lượng không biến đổi một cách liên tục mà nhảy từng bước với một giá trị nhất định, *quanta*; năng lượng của dao động tử đã được *lượng tử hóa*. Phát biểu trên là căn bản của một ngành mới trong Vật lý, thuyết lượng tử (*quantum theory*).

Dùng công thức Planck cho mật độ năng lượng, ta có thể tìm lại những kết quả về bức xạ ở trên. Thí dụ, cho ν tiến tới zero (tương ứng với bước sóng dài) ta sẽ tìm lại được định luật Rayleigh-Jeans; cho ν tiến tới vô cực (tương ứng với bước sóng ngắn) ta sẽ tìm lại được định luật Wien, v.v... So sánh với một số kết quả thực nghiệm, Planck tính giá trị của những hằng số quen thuộc như hằng số Boltzmann k , số Avogadro N cùng xác định hằng số h nay gọi là hằng số Planck ở trên, có mặt ở mọi nơi trong vật lý hiện đại

($h = 6.63 \times 10^{-34}$ joule sec).

Planck sinh ngày 23 tháng 4, 1858, trong một gia đình Đức thủ cựu, kinh viện, được tôi luyện theo vật lý cổ điển, nên lượng tử hóa năng lượng đối với ông là một đề nghị táo bạo mà chính ông cũng rất do dự khi đưa ra. Theo Franck, một sinh viên và cũng là đồng nghiệp của ông, nhiều lần Planck thử cố tìm cách tránh khái niệm lượng tử nhưng không xong, sau cùng đành chấp nhận. Rồi vật lý tuy lúc đầu có vẻ thờ ơ, nhưng vì nhiều sự việc chỉ có thể giải thích được một cách dễ dàng với giả thiết lượng tử, nên chẳng bao lâu thuyết lượng tử đã trở thành một thành phần cơ bản.

Ngày 14 tháng 12, 1900 được coi là ngày khai sinh của lượng tử và cũng là điểm khởi hành của vật lý đương đại, nhưng để trưởng thành lượng tử còn cần những phát minh hỗ trợ sáng giá, nhiều phát minh có lẽ chính Planck cũng không thể ngờ tới. Planck được giải Nobel năm 1918.

Năm 1905 là một năm rất đáng ghi nhớ khác. Trong cùng một số *Annalen der Physik*, vol. 17, có ba bài viết liên hệ tới ba hằng số quan trọng của vật lý; đó là hằng số Boltzmann k , tốc độ của ánh sáng c và hằng số Planck h . Einstein đã cho ra mắt ba khảo cứu quan trọng, hai khảo cứu sau sẽ đủ để làm thay đổi cả bộ mặt của vật lý: bài thứ nhất về chuyển động Brown (trang 9), bài thứ nhì về thuyết tương đối hẹp (trang 40) và bài thứ ba về hiệu ứng quang điện (trang 132).

Hiệu ứng quang điện là khảo cứu nền móng quan trọng đầu tiên trợ giúp cho thuyết lượng tử. Einstein đi xa hơn, ông cho lượng tử năng lượng một chỗ đứng còn quan trọng hơn cha đẻ của nó đã cho nó: ánh sáng không những chỉ đến dưới dạng lượng tử, ánh sáng là lượng tử - *photon*. Giả thuyết này thiết lập tính chất nhị nguyên - hạt và sóng - của ánh sáng. Ta đã biết rõ tính chất sóng của ánh sáng qua những hiện tượng như giao thoa, hiệu ứng quang điện biểu hiện tính chất hạt của ánh sáng, chỉ được kiểm chứng vào năm 1915 bởi Millikan. Einstein được giải Nobel vào năm 1921 về khảo cứu này (không phải về thuyết tương đối) và Millikan, vào năm 1923.

Năm 1908, Einstein trở lại vấn đề, tính nhiệt dung riêng của một tinh thể; đây là khảo cứu đầu tiên khác, không liên hệ tới ánh sáng, phù trợ cho thuyết lượng tử. Nếu ta chấp nhận định lý phân bố đều của năng lượng (*equipartition of energy*), nhiệt dung riêng luôn luôn có cùng một trị số, $3R$ (R là hằng số khí), ở mọi nhiệt độ và cho mọi chất rắn. Kết luận này phù hợp với định luật thực nghiệm của Dulong-Petit ở nhiệt độ thường nhưng sai ở nhiệt độ thấp. Để đơn giản bài toán, Einstein xét một hệ thống gồm những

dao động tử, rung động với cùng một tần số ν , quanh một vị trí cân bằng cố định. Nếu để năng lượng của những dao động tử biến đổi một cách liên tục, ta sẽ có lại định luật Dulong-Petit ở trên. Einstein giả dụ những năng lượng này chỉ có thể là bội số nguyên của $h\nu$ và tiếp tục như Planck, nhiệt dung riêng ông tính được có trị số $3R$ như kết quả cổ điển ở nhiệt độ cao và tiến tới số không ở nhiệt độ thấp. Giả thiết của Einstein tương đối đơn giản, trong bài viết gốc của ông, đồ thị biểu diễn nhiệt dung riêng của kim cương phù hợp với thí nghiệm ở nhiệt độ cao nhưng hơi lớn hơn trị số thực nghiệm ở nhiệt độ thấp.

Debye dùng lại mô hình của Einstein nhưng với giả thiết phức tạp, gần thực tế hơn để tính nhiệt dung riêng của chất rắn. Ghi trị số thực nghiệm của nhôm, đồng, bạc, chì trên cùng một đồ thị biểu diễn nhiệt dung riêng của chất rắn, kết quả thực nghiệm trùng hợp với kết quả lý thuyết *từng điểm một*.

Theo nguyên lý phân bố đều của năng lượng, năng lượng trung bình liên kết với mỗi bậc tự do (*degree of freedom*) ở trạng thái cân bằng nhiệt là $0,5kT$ (k là hằng số Boltzmann và T , nhiệt độ tuyệt đối) và, vì vậy, chỉ cần đếm số bậc tự do của một hệ thống là ta có được nhiệt năng trung bình và từ đó suy ra nhiệt dung riêng, đúng ở giới hạn cổ điển (nhiệt độ cao). Phối hợp với thuyết lượng tử, nhiệt dung riêng của những hệ thống phức tạp hơn, như chất khí, có thể được tính một cách tương tự. Kết quả đúng ở mọi nhiệt độ, với một độ chính xác bất ngờ so với thực nghiệm.

*

* *

Trong sinh hoạt tinh thần của con người, mỗi khi nói đến nghệ thuật, ta ngầm hiểu là ta đang bàn về một vấn đề liên quan tới âm nhạc, văn chương, hội họa, vãn vãn - đó là những gì ít nhiều thiếu chính xác, ranh giới đẹp xấu không thật phân minh và, vì vậy, trong đó không có khoa học như toán, vật lý,... Tất nhiên, toán hay vật lý, tự chúng, chúng có thể đứng một mình, nhưng khi phân loại, bỏ ra ngoài nghệ thuật, tôi trộm nghĩ, đó là một thiếu sót ghê gớm, khiến cho nghệ thuật giảm bớt mất tính đa dạng, phong phú của nó. Bỏ qua chuyện một tác phẩm nghệ thuật có giá trị thực chất hay không, vì đó là một vấn đề quá rộng, giá trị của một tác phẩm nghệ thuật là vẻ đẹp và, vì vậy, rất tương đối, phụ thuộc nhiều vào những yếu tố bên ngoài. Ta thường thức một bản nhạc, một áng văn hay một bức tranh ở

nhiều trình độ khác nhau, tùy theo cảm quan và hiểu biết của mỗi người. Thế nhưng, nếu ta có thể tìm được vẻ đẹp, thí dụ, của những người đàn bà của Renoir và của Picasso, thì tại sao ta không thể nói rộng được định nghĩa của vẻ đẹp cho những chuyên ngành khác. Người nghiên cứu khoa học thường nói về sự thanh lịch (*elegance*) của phương pháp, tiết kiệm (*economy*) trong hành động cùng sự chính xác và khả năng tiên đoán; trên căn bản này ta có thể khá dễ dàng bàn về “cái đẹp” của một lý thuyết vật lý hay, cụ thể hơn, của đồ thị biểu diễn nhiệt dung riêng của Debye... Khoa học, cũng như âm nhạc, là một thị hiếu không tự nhiên mà có, nó đòi hỏi cố gắng, kiên nhẫn và chỉ được tích lũy dần dần trong một thời gian khá dài. Hơn nữa, về phương diện sáng tạo - tạo ra cái đẹp - cũng như về âm nhạc, không phải chỉ cứ cầm lên được cây vĩ cầm hay ngồi xuống cạnh dương cầm là ta có thể làm nên những âm thanh tuyệt diệu. Cho nên để thẩm định “vẻ đẹp”, thí dụ, của vật lý, đòi chút căn bản về vật lý và toán cũng là điều hữu ích tuy không tuyệt đối cần thiết, ta chỉ cần giữ cho tâm hồn “thoảng” là đủ.

Cafeteria của đại học là một tòa nhà kiến trúc kiểu *gothic*, mái cao, tường nhiều cửa kính màu cổ kính, tuyệt đẹp; bàn ăn mặt đá nhẵn bóng, mát rượi. Vào những ngày nóng bức, tôi thường vào đây ăn rồi ở lại luôn để học hay đọc sách. Thật yên tĩnh, thỉnh thoảng có tiếng động đến từ xa, có lẽ người làm đang sửa soạn cho bữa cơm chiều. Tôi ngồi trong *cafeteria*, làm xong bài toán. Sắp xếp ngay ngắn trên mặt bàn những đồ thị biểu diễn nhiệt dung riêng của Einstein, của Debye, rồi của mình, công trình một buổi chiều nóng bức, tôi ngắm nhìn những hình vẽ linh động, óng ả, mượt mà như nếp lụa trên tà áo của bức tượng bằng cẩm thạch *Pietà* của Michelangelo; tất cả đều là sản phẩm của trí óc con người. Ở thời điểm khảo cứu này về nhiệt dung riêng của vật chất, thuyết lượng tử, mà ngày nay ta thường gọi là thuyết lượng tử cũ (*old quantum theory*), mới chừng mười hai tuổi. Mô hình nguyên tử Bohr đang thành hình, hứa hẹn một thời đại mới, một cách nhìn và suy nghĩ về sự vật mới.

Khác với biết bao nhiêu bài toán mà đời một người đi học phải trải qua, thường là những con đường phẳng phiu, quang đàng, có tên hay không tên, băng quơ, vô cảm nên ta không chú ý, bài toán tôi làm gắn liền với những tên người đã tạo nên nó, chưa bị tiêu hóa, chế biến nhiều bởi sách giáo khoa, Planck, Einstein, Debye,... Tôi chỉ lập lại những con tính, bước theo những bước chân khổng lồ, hãy còn tươi mới, mới chừng năm mươi năm, cảm thấy như đang nói chuyện trực tiếp với người đi trước. Đột nhiên,

tôi cảm thấy mình nhỏ bé, kinh ngạc và kinh hoàng.

Ngày 4 tháng 10, 1947 khi Planck qua đời, tôi mới vào trung học, chạy giặc, đi học phải ngồi học ở một ngôi đình hay ngôi chùa nào đó tại đồng quê tỉnh Hải Dương, thi khó mà nói tôi có chuyện “cọ vai” (*rub shoulders*) với ông. Vì không là học trò hay cộng sự của ông, tôi không có huyền thoại về ông để kể. Tưởng niệm 150 năm sau ngày Planck ra đời, để tỏ lòng biết ơn và kính trọng, tôi kể lại ở đây ấn tượng ông đã để lại trong tôi, một sinh viên bình thường. Sau nửa thế kỷ, nay kể lại những xúc động riêng tư này, tuy nghe thì có phần cường điệu nhưng tình cảm đó hoàn toàn có thật.

Lũ chúng ta đầu thai làm thế kỷ...

Làm thế kỷ? Thi sĩ Vũ Hoàng Chương, vào một lúc nào đó, vì bức xúc, đã viết câu thơ đầy bi phần ở trên. Đời sống tất nhiên có nhiều chuyện rủi ro, nhưng tôi biết Vũ Hoàng Chương, trước khi là thi sĩ, đã học toán; và trình độ toán của ông đủ cao để cho phép ông tính diện tích hay chu vi một vòng tròn hay con số π , với bất cứ độ chính xác mong muốn nào, ít nhất là trên lý thuyết. Bình tĩnh một chút, thi sĩ sẽ thấy mình đã cho hai nghìn năm trăm năm văn minh của nhân loại cô đọng lại trong một phút chơi với... Làm sao mà làm cho được?

Thế kỷ còn dài, ta mới gặp vài người “khổng lồ” ở trên và sẽ còn dịp “cọ vai” với những vị khác, dù chỉ ở trong lớp giảng hay ngồi hóng chuyện cách xa vài thước. Tôi có một kỷ niệm khá hơn bối cảnh này, xin kể ở đây. Năm 1966, bọn tôi ba người, một từ Oxford, một từ Imperial College và tôi, choai choai mới ra trường được ít lâu, đi chơi ở hải cảng Eilat của Israel, ở mũi bể trông ra Hồng Hải. Ngày nay Eilat sầm uất nhưng ngày ấy Eilat chỉ như một ngôi làng nhỏ, một bên kề với Jordan, một bên kề với Ai Cập, xa hơn là Saudi Arabia. Hôm ấy, tôi đang ngồi trong khách sạn thì có một người chạy vào thì thầm, “Gia đình Dirac cũng ở trong khách sạn này.” Dirac, giáo sư giữ ghế Lucasian về Toán ở Đại học Cambridge (một trong những người trước ông giữ ghế này là Newton và người hiện nay là Hawking), là một trong những người đi tiên phong thuộc thế hệ sau, đã góp phần trong việc xây dựng thuyết lượng tử khiến cho thuyết này trở thành thuyết lượng tử “mới”. Đêm hôm ấy, trời quang, có trăng, tôi không nhớ rõ tại sao chúng tôi lại ngồi uống trà với hai ông bà và cô con gái duyên dáng. Chúng tôi nói chuyện gẫu rất khuya, đến quá nửa đêm, trong sân khách sạn. Mme Dirac bật thiệp, vui vẻ và cô con gái thỉnh thoảng lại chọc bỗ, thí dụ cô nói bài viết của ông bây giờ như bốn cũ soạn lại (ông mới cho xuất bản trong *Physical*

Review một bài viết về điện động lực học lượng tử). Còn giáo sư Dirac thường là im lặng, thỉnh thoảng chêm vào một câu như để cho mọi người biết mình không ngủ gật (“Tôi già rồi, bây giờ đến lượt các anh!”) Ngày ấy, đi đâu tôi cũng thường mang theo vài cuốn sách trong đó có cuốn *The Principles of Quantum Mechanics* của ông. Tôi lăm le muốn chạy về buồng lấy, xin ông chữ ký lưu niệm, nhưng cứ rụt rè mãi, rồi thôi. Mấy tuần sau, trong một buổi họp ở Istanbul, Thổ Nhĩ Kỳ, tôi có mười phút để tóm tắt một bài viết. Bạn tôi nói, “Mày phải cẩn thận, Dirac ngồi trong cử tọa.” Cũng run (*shaking in the boots*) nhưng tự trấn an, có khi Dirac không hiểu tiếng Anh của mình. Mọi sự rồi cũng qua.

Sau những bài viết của Einstein vào năm 1905, vật lý cần chừng 25 năm nữa để hoàn tất công việc đổi mới. Einstein gần như đã đơn thương độc mã xây dựng nên thuyết tương đối, hẹp và rộng. Còn thuyết lượng tử có cả một đạo binh hùng hậu: Bohr, de Broglie, Heisenberg, Pauli, Schrödinger, Dirac,... Toàn là những người khổng lồ đã góp công xây dựng nền vật lý đương đại này. Thuyết tương đối và thuyết lượng tử đã làm thay đổi hẳn bộ mặt cùng cách suy nghĩ về việc nhìn sự vật, tính nhiều con số với 6 số thập phân. Có người nói những nhà khoa học này đã làm một cuộc cách mạng, nhưng tôi nghĩ không phải vậy, vì cách mạng trước hết hàm ý phá vỡ, ở đây không có chuyện phá vỡ, họ chỉ tiếp tay Newton, xây thêm cho Hệ thống Vạn vật, tòa nhà tráng lệ của ông, hai cánh nhà vi mô và vĩ mô mới, đẹp không kém.

Tuy nhiên, nếu vật lý đương đại không hẳn là một cuộc cách mạng về trí tuệ thì, về nhiều phương diện, nó là một cuộc cách mạng về đời sống, nhất là từ nửa sau của thế kỷ thứ 20. Ra đời năm đầu tiên của thế kỷ, vật lý đương đại trở thành phần móng rất sâu của kỹ thuật; nó đã giúp kỹ thuật làm nhiều tiến bộ bất ngờ và không ngừng, nhanh đến độ khiến cho ta chóng mặt, xâm nhập mọi khía cạnh của cuộc sống hàng ngày, tin học, điện tử, ... như máy vi tính mà tôi đang dùng để đánh máy đây có lẽ nhanh, khỏe và nhẹ hơn máy vi tính đã dùng để điều khiển phi thuyền Apollo đáp xuống mặt trăng rất nhiều lần!

Ngoài ra, thế kỷ của chúng ta còn chứng kiến biết bao nhiêu thành quả khác của trí tuệ con người cùng những ứng dụng thực tiễn của nó, trong nhiều lĩnh vực khác nhau: vòng xoắn kép DNA, những khảo cứu về di truyền, bản đồ cấu trúc *gene* của sinh vật, khảo cứu về tế bào gốc cùng những phương pháp trị liệu tân kỳ trong y học, ta khó mà kể hết. Có một số

khảo cứu mà chúng ta đang thực hiện, nhất là những khảo cứu về sinh học, có thể chúng sẽ trở thành những quan ngại lớn, dễ khiến những thể hệ tương lai sẽ phải rên than “lầm thế kỷ” và rất có thể họ sẽ có lý. Thí dụ đã biết, thuốc bột trừ sâu DDT có một thời được coi là sản phẩm cứu tinh của nhân loại; ngày nay, nửa thế kỷ sau, nhiều nơi trên thế giới vẫn còn phải tìm cách hạn chế những độc hại của nó. DDT không thể so sánh với những tiến bộ hiện nay về sự nguy hại cũng như về ảnh hưởng.

Sau cùng, là một nhân chứng nhưng đồng thời cũng là một người sinh trưởng và lớn lên tại Việt Nam, đã sống qua trong phần đầu của cuộc chiến dài 30 năm. Ba mươi năm! Ngót một phần ba của thế kỷ, tôi không muốn bỏ qua không nói đến cuộc chiến này. Rồi đây, lịch sử sẽ tự thanh lọc, ồn ào chính trị sẽ lắng dịu, hận thù, ân oán cá nhân, với thời gian, sẽ không còn là yếu tố đáng kể, lịch sử sẽ chỉ đơn giản ghi lại đó là một cuộc chiến chống ngoại xâm, gian khổ như bao cuộc chiến chống ngoại xâm khác. Có điều khác là cuộc chiến này dài hơn, tàn khốc hơn, quân thù cường bạo hơn tất cả những cuộc chiến chống ngoại xâm của những thế kỷ trước cộng lại và, cũng như những lần trước, dân tộc ta đã khắc phục được những thử thách ấy. Chiến tranh, chém giết không là những điều ta mong muốn hay để cho ta tự hào nhưng nó đã xảy ra, do ngoại bang mang đến. Ở đây, ta ghi nhận.

Nhìn lại, thời đại của chúng ta cũng cho chúng ta nhiều trăn trở, nhưng trong đời sống không có gì hoàn toàn, ta đã sống, đã thấy tận mắt những thành tích siêu việt, những công trình đẹp đẽ. Và rồi cả những người khổng lồ, như Planck, trong thực tế là con người tao nhã, ngay cử chỉ của ông khi dè dặt đưa ra khái niệm lượng tử có khả năng làm thay đổi cả trật tự trong đời sống, có lẽ không phải vì nghi ngờ mà là vì tính khiêm nhường, đầy nhân bản sẵn có trong một con người lương thiện. Tôi muốn nói thế kỷ của chúng ta, quả thật, khá đáng sống!

Gatineau 30 tháng Chín 2008

MAI NINH*

DÒNG SÔNG BAO LA

Abstract: A memory of the path to Physics by a high school pupil who loved Humanities but finally chose Science when she got a fellowship to study in French universities. In the course of her studies, she became acquainted with a professor who passionately discussed all about fundamental questions in Physics and Philosophy. Then, she started doing scientific researches in quantum physics. Her interests spanned from superconductivity, spintronics to nanoscience. Her last subject deals with the absence of antimatter in the Universe.

Tôi chỉ thật sự thích vật lý vào năm thi bằng cử nhân. Hai năm đầu trên băng ghế một giảng đường chứa hơn bốn trăm sinh viên dự bị lý-hóa, tôi học thì có học, hiểu thì cũng tạm hiểu - phải vào thư viện tìm sách đọc thêm - làm bài tập và vào phòng thực nghiệm cũng khá đều đặn. Sinh viên du học với học bổng bị đề trên vai một thứ bốn phận nặng hơn bình thường. Trước mặt ông Tuỳ viên Văn hóa ở toà Đại sứ Pháp, tôi cũng như các bạn cùng trường hợp phải nghe thêm một câu mà dặn dò thì ít, đe dọa nhiều hơn: nếu thi hỏng hai năm liền sẽ bị cúp học bổng và “cho về nước”. Thời ấy, tôi còn nhiều hiếu thắng của tuổi trẻ, không muốn bị ai “cho về nước”, tự nhủ sẽ chính mình quyết định một khi học xong như đã hứa với mẹ, một người mẹ phải dẫn lòng để đưa con độc nhất đi xa vạn dặm.

Bản tính thích xã hội văn chương hơn khoa học nhưng tôi vẫn theo bạn toán thời trung học, do bạn bè thân đều chọn bạn này. Một cách khác, tôi quý bạn nên đi theo. Cũng nhờ bạn mà thời đầu khi sang xứ người tôi dần dần vượt qua những khó khăn ngôn ngữ và thiếu sót kiến thức khoa học, so với đa số bạn bè tây đầm cùng lớp ở đất mới này. Và cũng do bạn, nhờ thầy, tôi bắt đầu yêu khoa học nói chung, vật lý nói riêng.

* Docteur es Sciences, CNRS – France.

Tôi đã may mắn có được một người bạn Pháp tử tế thông minh nhận làm bạn đồng song trong giờ làm thực nghiệm. Tử tế, không bao giờ anh ta tỏ vẻ khó chịu trước trăm câu hỏi của tôi, nhiều câu chẳng liên quan gì đến thí nghiệm đang thực tập. Lại còn giảng giải thêm y như một người anh cả trước cô em út trong nhà, dù chỉ hơn tôi một tuổi. Dĩ nhiên tầm vóc cao lớn và ngôn ngữ cho anh ta sự vững vàng ấy trước một cô sinh viên ngoại quốc bé nhỏ, ngơ ngàng. Thông minh, anh ta không học gạo mà biết cách chỉ giữ trong đầu những điểm chính yếu. Tôi từng cười chế: “Moa” bảo “toa” khôn, chẳng phải qua cái gì lớn lao mà chỉ vì “toa” biết hết nhược điểm của “moa”.

Buổi trưa đầu tháng Sáu trên đồi cỏ khuôn viên đại học, bọn chúng tôi ngồi ôn bài thi cuối năm thứ hai dự bị. Nhìn các nhành hoa đại phơn phớt húng nắng sau suốt một mùa đông giá và những ngày xuân mưa phùn ử ử, tôi nhớ nắng quê nhà hơn bao giờ, rồi lại lo xa. Quay sang nói với cô bạn đầm khà thân và anh ta rằng tôi không biết năm sau ra sao, nếu thi đậu tôi sẽ tiếp tục học cử nhân hay xin đổi sang học được như một số bạn người Việt đã làm. Họ cho rằng theo ngành ấy chỉ cần giỏi học thuộc lòng, và như mẹ tôi gửi thư sang nhắn nhủ: Liệu con thích nghề kỹ sư không? Được sĩ hợp hơn với phụ nữ. Cứ tưởng than thở vậy cho vui, không ngờ anh bạn trợn mắt ngó tôi và phán: “Toa tưởng mình có nhiều trí nhớ lắm sao!”

Ngày kết quả vừa niêm yết, tôi khuân đi trả anh ta mấy cuốn sách đã mượn và từ giã nhau cho một cuộc nghỉ hè háo hức. Trong niềm vui chắc chắn sẽ được chính phủ Pháp cấp vé may bay cho về thăm gia đình bè bạn, hồn tôi bay bổng, nhưng anh kéo tôi về thực tại với một giọng già dặn: “Có bao giờ khi ngồi học, toa nghĩ đến quá trình, chuyển biến của các phát minh khoa học, đến những lập luận dẫn tới các phát minh ấy, nhất là về vật lý không? Hay toa chỉ biết cho vào đầu những kết quả của chúng bằng cách ghi nhớ phương trình công thức mà thôi?” Mới nghe câu hỏi, tôi tưởng anh ta chê hay trách móc, giương mắt nhìn thẳng vào bạn mình. Nhưng anh không để ý đến nét mặt người đối diện cũng chẳng đợi tôi trả lời, đã nói luôn rằng đấy là điều anh ta tự đặt ra để hỏi chính mình từ một thời gian nay.

Tiếc là người bạn tốt ấy không tiếp tục ngồi trên băng ghế giảng đường cùng tôi, tựu trường niên học mới tôi được chọn vào trường kỹ sư, còn anh ta đổi đi thành phố khác. Nhưng những trao đổi với anh làm tôi suy ngẫm và mở đường, trước nhất cho sự tiếp cận với vật lý, rồi sau đó đi theo ngành

ngiên cứu của mình. Học để hiểu đại khái hiện tượng khoa học và thuộc công thức, biết cách áp dụng chúng chỉ là để thi đậu lên lớp. Nhưng muốn yêu cái mình học thì bạn tôi bảo phải có óc tò mò, tìm hiểu ngọn ngành mới thấy thích thú.

Sau năm cử nhân, sinh viên lớp *maitrise* (một năm sau cử nhân, theo học trình nước Pháp thời ấy) chúng tôi học vật lý với một ông thầy vốn là nhà khoa học tài danh nhưng không nổi tiếng như một người thầy giỏi. Sinh viên chới với sau những giờ dạy của ông, tất cả đều phải chạy vào thư viện tìm sách đọc thêm hay đợi đến những buổi làm bài tập với giảng viên. Không viết dàn bài trên bảng đã đành - sinh viên ở trình độ này hẳn khỏi cần - ông lại ít khi ghi rõ các công thức, phương trình, thẳng hoặc ông có viết gì trên ấy thì chữ nhỏ li ti. Ông luôn bước vào lớp với một chồng sách nặng khệ nệ trĩu hai cánh tay, rồi vừa nói thao thao vừa giở một số trang ra chỉ cho chúng tôi những hình ảnh. Khi thì hình các thí nghiệm, khi hình các cấu trúc vật thể, lúc đường biến thiên giữa hai thông số, hoặc chân dung vài nhà bác học. Hàng ghế đầu cách ông ít nhất hai thước, bọn học trò nào thấy gì. Chúng tôi có kêu lên thì ông gục gặc đầu xin lỗi, xích lại gần một tí, nhưng rồi buổi giảng sau vẫn vậy. Suốt năm chúng tôi ngao ngán, tuy thế tính ông rất dễ thương. Nhiều lần vừa vào lớp, đặt chồng sách xuống, ông xoa tay, ngược mắt nhìn đám sinh viên: - Các anh chị có cần hỏi gì không? Tất cả im lìm. Ông gật gù: - Như thế tôi có hai kết luận, một là các anh chị lười chưa xem lại của lần trước, hai là tôi giảng quá rõ ràng. Chúng tôi chỉ nháy mắt ngó nhau. Nghĩ lại, mấy mươi năm trước, sinh viên tây cũng còn sợ thầy ra gì, dù buổi ấy có nhiều đứa đã rất nhiệt tình trong cách mạng tháng Năm 1968.

Không ngờ, chính tôi lại là người nói với ông sự thật. Vào kỳ vấn đáp, tôi bốc nhầm một đề tài mà tôi nhớ rõ là bữa ông dạy xong, đi ra khỏi giảng đường chúng tôi cùng nhìn nhau lắc đầu. Nó lại nằm trong những cua cuối của niên khóa. Khi ôn thi, chẳng còn thời giờ nên tôi đành bỏ qua. Lúc đến phiên tôi lên bảng, ông hỏi ngay: - Sao không thấy cô sửa soạn câu trả lời? Tôi cúi đầu ngượng ngập: - Khi ông giảng về đề tài này, bữa đó, tôi không hiểu gì cả. Ông rất ngạc nhiên: - Thế mấy người trong lớp thì sao? Tôi đành đáp: - Tôi không biết chính xác, nhưng những bạn tôi quen đều vậy. Ông thở dài bảo: - Thôi, cô cứ chọn chương nào cô hiểu. Khi tôi mở cửa bước ra, ông dặn theo: - Bữa nào đến văn phòng gặp tôi.

Trong khi chờ đợi kết quả chúng chỉ Vật lý ấy, tôi vừa thắc thòm vừa e

ngại không hiểu ông thầy muốn nói gì với mình. Cuối cùng, sau hôm gặp ông tôi đã thích thú khám phá ra một người thầy lạ lùng, ngoài tưởng tượng. Cứ ngỡ ông sẽ quay lại với đề tài mà tôi bị bí bữa thi vấn đáp hay hỏi thêm về cách giảng bài của ông trong lớp. Nhưng không, chỉ sau vài trao đổi thông thường, bỗng nhiên cao hứng, ông vui thú nói về con đường đi đến với khoa học, với vật lý. Từ những suy ngẫm mang tính triết lý khoa học, ông tung mình vào những định luật chế ngự không gian vũ trụ rồi rớt xuống đời sống con người trên Trái đất. Rồi cũng từ con người ông trở lại với vật lý. Bước khỏi văn phòng ông, tôi bật cười một mình, thấy cái lỗ đen hôm thi vấn đáp vẫn tối mịt mùng, nhưng có một thúc đẩy nhóm lên khiến tôi quyết định phải dành thời gian về lại/ngẫm lại con đường đã qua để xem mình đã học/tiếp cận với Vật lý như thế nào.

Tôi đã làm việc ấy sau tháng hè về thăm quê nhà rồi trở sang Pháp. Nhưng điều làm tôi thích thú không phải là con đường tôi đi - dĩ nhiên thôi - mà là biến chuyển nhanh chóng của vật lý từ cuối thế kỷ XIX trở về đây. Nó toả ra sức hấp dụ lạ lùng khi tôi ngồi lại làm một đúc kết tổng hợp cho mình về quá trình suy luận và khám phá của một số khoa học gia. Vào thời điểm ấy, khi đa số các nhà Vật lý cho rằng họ đã hiểu hết về vật thể, hay nếu không, chỉ còn thiếu vài chi tiết mà thôi, thì bỗng nhiên năm 1900 Max Planck trong cuộc nghiên cứu hoàn toàn lý thuyết đã khám phá ra điều cốt lõi của khoa học lượng tử: năng lượng không phát ra một cách liên tục (mang tính chất sóng) như vật lý cổ điển đã quan niệm. Nói một cách khác, ông cho rằng năng lượng bức xạ là những chùm hạt “quanta” (số nhiều của “quantum”). Ở thời thượng cổ Hy Lạp, nguyên tử được xem là một đơn vị nhỏ nhất bất- khả-phân (từ chữ Hy Lạp “atomos”), nhưng đến cuối thế kỷ XIX, những thí nghiệm của Ernest Rutherford cho thấy nguyên tử là một kết hợp giữa các proton và electron. Quantum của Max Planck giờ mới là đơn vị nhỏ nhất bất-khả-phân ấy. Phát hiện về sự nguyên-lượng-hóa các trao đổi năng lượng này của ông đã khởi nguồn cho những công trình nghiên cứu của nhiều khoa học gia khác như Einstein, de Broglie, Schrödinger, Heisenberg... về tính nhị nguyên hạt/sóng, phương trình sóng, nguyên lý bất định... Đặc biệt, sự tương quan giữa phát hiện của Planck với “hiệu ứng quang-điện” đã đưa đến khái niệm “quang tử” mà Einstein sáng chế ra năm 1905 và đoạt giải Nobel Vật lý mười mấy năm sau.

Điều khiến tôi thú vị là nếu khởi đầu Einstein không hề tin vào sự hiện hữu của các hạt và đã công nhận là mình không hiểu nguyên nhân của sự

chuyển năng lượng không liên tục vốn trái ngược với thuyết liên tục của điện-từ-trường, thì sau đó, qua khám phá về quantum của Planck, Einstein đã giải thích được những kết quả ông thu nhận từ công trình nghiên cứu về “hiệu ứng quang-điện” ấy.

Khoa học vật lý cứ như thế xuất hiện dần trải trong đầu cô sinh viên bé nhỏ là tôi như một con sông bao la không thấy bờ bên kia, càng lúc càng dồn dập cuốn rút. Một cánh lá nhỏ xíu rơi vào đó lúc nào không hay.

Gần đây, những nhà khoa học quan tâm tới ngành vật lý trong nước Pháp nhận ra sinh viên không còn tha thiết theo học, các nghiên cứu viên bỏ mặc hoặc đi làm vật lý ở một vài quốc gia khác như Hoa Kỳ, Trung Quốc, Nhật Bản, những nơi mà ngành này là một trong các trung tâm điểm của chiến lược mở mang khai phá. Để lôi kéo họ trở lại, nhân dịp vinh danh “Năm Thế giới về Vật lý - 2005” nhiều chương trình, hội thảo đã được giới quan tâm ấy tổ chức trên toàn nước Pháp. Chủ tịch Hàn Lâm viện về Khoa học và cũng là nhà nghiên cứu cơ học lượng tử, Edouard Brézin, tuyên bố rằng: “Vật lý hẳn là một ngành khoa học cơ bản, không chỉ cho kiến thức của chúng ta về thế giới - còn lâu lắm chúng ta mới đực được bức màn bí mật của vật chất và vũ trụ - nó cũng đem đến vô số ứng dụng cho đời sống hàng ngày”. Hẳn, thế giới vật chất còn chứa vạn điều ẩn mật. Biết bao nhiêu lý thuyết đã được đưa ra ngõ hầu cung ứng cho con người những giải đáp, tuy trong đó có nhiều trả lời sai trật nhưng chính chúng góp phần làm cho khoa học tiếp tục đi tới. Có người còn bảo rằng ngay cả các lý thuyết hiện đại như thuyết tương đối, lượng tử đều giản dị là những điều cho đến nay chưa bị phản bác mà thôi.

Còn về ứng dụng vào đời sống thường nhật của con người, những thành quả nghiên cứu của vật lý và các đóng góp của kỹ thuật tối tân trong thế kỷ XX vừa qua cho đến nay đã đem lại những tiến bộ thật quan trọng trong rất nhiều lĩnh vực: điện tử, kỹ thuật truyền thông, công nghệ nano, y khoa, vi tính, khí tượng thời tiết...

Chẳng hạn khoa học nano đã trở thành một điều cụ thể từ cách đây khoảng hơn 25 năm, nhờ sự sáng chế ra kính hiển vi điện tử cho phép quan sát trạng thái, vị trí, cách xếp đặt các phân tử, nguyên tử, ion của vật liệu trong những môi trường tiếp cận khác nhau. Rồi sau đó, người ta có thể biến hóa môi trường ấy bằng cách thay đổi nhiệt độ, áp suất, thành phần hóa học, điện từ trường v.v... để các phân tử trong vật liệu ấy chuyển đổi vị trí, các ion thay hóa trị tạo thành một cấu trúc như ý muốn, đưa đến một

sản phẩm mới có tính chất vật lý đặc thù hoặc có mức độ áp dụng kỹ nghệ cao hơn. Vật liệu mới ở tầm mức nano ($1\text{ nm} = \text{một phần tỉ mét}, 10^{-9}\text{ m}$) như thế đang được khai thác ráo riết trong nhiều phạm trù của đời sống hàng ngày.

Thí dụ, trong ngành thực phẩm, các nhà Hóa học Hoa Kỳ đã chế ra các “bọt nano” (nanobubbles); chúng được bọc trong lớp vỏ mang cấu trúc riêng biệt có khả năng kháng cự tác hại của áp suất bên ngoài. Chất bọt nano này sẽ giúp bảo toàn thực phẩm và giữ được hương vị chúng lâu dài. Theo giới quan sát các tiến triển kỹ nghệ, chỉ trong vòng vài ba năm nữa thôi những nước Á châu với ít nhất phân nửa dân số toàn cầu sẽ là một thị trường lớn cho ngành thực phẩm nano.

Các ống than nano đã được đưa vào thử nghiệm y khoa trong nghiên cứu chữa trị ung thư bằng phương pháp hóa học. Một nhóm nghiên cứu viên của đại học Texas - Hoa Kỳ đã làm thử nghiệm: cho thêm ống than nano vào một đĩa cực nhỏ (khoảng hai lần bé hơn một hồng huyết cầu) rồi chích đĩa ấy vào một môi trường cấy tế bào. Sau vài giờ đĩa sẽ vỡ, tiết ra các hóa chất nó chứa đựng. Các ống than sẽ ngấm vào tế bào và tác dụng vào đúng những vị trí cần thiết. Điều sau cùng này là một bước tiến quan trọng so với cách hóa học trị liệu từ trước đến nay vốn chưa được hiệu quả lớn và có thể gây tác dụng xấu cho những tế bào lành mạnh chung quanh bứu ung thư. Ống than nano cũng sẽ có ứng dụng hiệu quả trong xây dựng nhờ chúng cứng rắn hơn thép 100 lần và nhẹ hơn khoảng 10 lần. Về năng lượng, người ta đang tính chuyện phủ ngoài các toà nhà bằng những lớp vật liệu nano để làm công cụ tạo năng lượng mặt trời thay cho điện.

Trả lời câu hỏi những vật dụng gì trong đời thường đã tập hợp nhiều thành quả của vật lý? E. Brézin không ngần ngại cho rằng đây là điện thoại và máy vi tính di động. Đầu đọc của chúng là một ứng dụng của spin điện tử. Và có thể trong tương lai chẳng mấy xa, người ta sẽ thấy xuất hiện máy vi tính nano. Không gian sẽ mở rộng mênh mông, còn thời gian càng thu ngắn lại.

Cách đây hơn 12 năm, khi đọc thấy tin một thí nghiệm do 23 nhà nghiên cứu Vật lý Ý và Đức với Walter Oelert là người hướng dẫn, thực hiện tại Trung tâm Nghiên cứu Hạt nhân châu Âu (CERN, Genève), đã cho

ra đời 9 phản nguyên tử hydrogen¹ đầu tiên, thì tôi lại lan man tự hỏi: Liệu chắc rằng phản vật chất và vật chất có những phản ứng hoàn toàn khác nhau dưới tác động của các định luật vật lý? Phản vật chất đã có mặt ngay từ thời Big Bang và bị triệt tiêu từ trong trứng nước? hay còn ẩn náu nơi nào trong cái vũ trụ xem chừng vẫn tiếp tục bành trướng nhưng còn đầy bí mật này. Và giả dụ một ngày kia, dưới tác dụng biến đổi của áp suất, nhiệt độ, trường gia tốc, trường hấp dẫn v.v... của vũ trụ, chúng nó đầu ra rồi đụng độ với vật chất thì khi ấy sự nổ bùng của phản ứng hủy diệt, theo quy định vật lý mà ta biết, sẽ đưa đến hậu quả khủng khiếp ở mức độ khó lường nào?

Bao nhiêu năm rồi ghé giảng đường, bây giờ thẳng hoặc, trong đôi phút thư thả ngẩng nhìn bầu trời cao, vẫn như ngày xưa tôi còn đầy thắc mắc. Năng lượng tới từ đâu đến? Đã có những chứng nghiệm thực tế về các hạt quang tử vượt quá vận tốc ánh sáng mấy lần nhờ tác dụng của “hiệu ứng đường hầm” thì nay, nếu tin vào Einstein: khi một vật đi nhanh hơn ánh sáng là nó trở ngược thời gian, ta sẽ đặt câu hỏi: Vậy bao giờ con người có thể bắn tín hiệu về quá khứ? Và những người - người thường hay khoa học gia - quan tâm đến vũ trụ, vật chất vẫn thấy con sông ấy mãi rộng bao la, chẳng có bến bờ.

Caen, tháng Bảy 2008

¹ Cấu trúc của hydrogen: một electron (e^-) quay chung quanh một proton (p^+). Phản nguyên tử hydrogen là một nguyên tử trung tính, kết hợp của một phản electron (e^+) quay quanh một phản proton (p^-).

TRẦN HÀ ANH*

PHÁT MINH CỦA PLANCK VÀ MỘT SỐ BÀI HỌC BỔ ÍCH CHO CHÚNG TA

Abstract: This paper recalls briefly the edification process of quantum theory beginning from the papers presented by Max Planck in the last quarter of 1900. The time devoted for quantum theory to fully convince XX-century physicists had necessitated more than 25 years, and Planck, due to his very special behavior, was among the last ones to be convinced. From the history of quantum theory discovery, the author tried to draw some useful lessons to be addressed to researchers as well as to administrators for creating favorable conditions to get scientific discoveries: a good choice of research subjects; a doubtful spirit; a warm passion and a high concentration; a favorable research environment.

Trong mấy năm gần đây, các nước khắp nơi trên thế giới đã lần lượt tổ chức lễ kỷ niệm 100 năm thuyết lượng tử (1900-2000), 100 năm phát minh thuyết tương đối và “năm thần kỳ” của Albert Einstein (1905-2005), rồi 150 năm ngày sinh của Max Planck (1858-2008), nhà vật lý người Đức được xem là người khai sáng thuyết lượng tử. Thuyết lượng tử cùng với thuyết tương đối được nhìn nhận là những phát minh vĩ đại nhất về vật lý trong thế kỷ XX, mở đầu cho kỷ nguyên của vật lý hiện đại, là các mốc để phân biệt vật lý hiện đại với vật lý học cổ điển thời tiền - lượng tử.

Khi các công trình nghiên cứu chứa đựng những ý tưởng độc đáo, phá vỡ các quan niệm vật lý đương thời được Planck và Einstein lần lượt công bố, ý tưởng của các nhà phát minh này không phải đã được đồng đảo nhà vật lý chấp nhận ngay. Tuy nhiên, nếu so sánh giữa hai học thuyết, thì thuyết lượng tử còn gặp nhiều khó khăn hơn để thuyết phục các nhà vật lý,

* Tskh Vật lý Hạt nhân, nguyên Viện trưởng. *Viện Nguyên cứu Hạt nhân Đà Lạt*. Câu lạc bộ Khoa học và Kỹ thuật NVNONN.

nhất là để thuyết phục hoàn toàn bản thân Max Planck. Đây là một nghịch lý cần được giải thích.

Chúng ta hãy tìm hiểu tính cách của Planck và nhắc lại quá trình hình thành của thuyết lượng tử [4-7], để từ đó thấy được một số nét điển hình về sự thai nghén và ra đời của phát minh vật lý vĩ đại đó, và để rút ra một số bài học về sự phát minh trong khoa học.

Planck sinh ra ngày 23/4/1858 trong một gia đình trí thức truyền thống của nước Đức, nhiều đời nối tiếp có người học hành thành đạt và chiếm được địa vị cao trong xã hội. Truyền thống gia đình và quá trình đào tạo đã uốn nắn tư tưởng của Planck theo một cách tư duy bảo thủ, với đặc điểm cơ bản là cho rằng các thể chế chính trị cũng như các thành tựu khoa học của thời bấy giờ hầu như đã hoàn hảo. Trong cuộc sống, ở Planck thường thể hiện hai khuynh hướng tư tưởng xung khắc trong một con người, một là tư tưởng bảo thủ, hai là một niềm tin sắt đá vào các lập luận logic của khoa học. Planck có thể chọn lựa theo đuổi nghề âm nhạc vì những năng khiếu đã biểu lộ ở thời trẻ tuổi, tuy nhiên rốt cuộc đã chọn ngành vật lý lý thuyết, để giúp mình giải quyết sự đam mê khám phá và để thấu hiểu các bí mật kỳ thú của thiên nhiên. Tuy nhiên, Planck hầu như chỉ muốn dừng lại trong khuôn khổ của vật lý cổ điển và hoàn toàn không có tham vọng sáng tạo ra một học thuyết vật lý mới. Bởi vậy, trong ngành vật lý, nhiều người cho rằng Planck là một nhà cách mạng bất đắc dĩ.

Trong những năm đầu của sự nghiệp nghiên cứu vật lý, Planck đi vào ngành nhiệt động học, và đã có một số công trình nghiên cứu được đánh giá cao. Tuy nhiên, năm 1894 khi đi sâu nghiên cứu về vấn đề phát bức xạ của vật đen phụ thuộc vào tần số của bức xạ, Planck đã gặp phải một vấn đề mà vật lý lý thuyết thời bấy giờ chưa giải thích nổi, đó là việc công thức Wien về bức xạ của vật đen chỉ đúng trong vùng tần số cao, còn trong vùng tần số thấp thì hoàn toàn không phù hợp với thực nghiệm. Công thức Wien dựa trên cơ sở vật lý được công nhận thời bấy giờ là sự phát xạ (và/hoặc hấp thụ bức xạ) của vật đen diễn ra liên tục. Khi đi sâu nghiên cứu vấn đề này, Planck đã đạt được một công thức nội suy hoàn toàn phù hợp với thực nghiệm (sau này được gọi là định luật Planck về bức xạ vật đen) nhưng để lý giải kết quả này đã buộc phải dựa vào giả thuyết theo đó sự phát xạ của vật đen diễn ra một cách rời rạc (giả thuyết quanta) chứ không phải liên tục như mọi người thường nghĩ ở thời bấy giờ. Planck đã biểu diễn đơn vị năng lượng rời rạc đó là $E = hf$, trong đó f là tần số của bức xạ, và h là một hằng

số (sau này mang tên là hằng số Planck).

Planck đã công bố các kết quả nghiên cứu của mình vào tháng 10 (công bố công thức bức xạ) và tháng 12 năm 1900 (công bố công thức $E=hf$ để suy diễn công thức trên), và bản thân tác giả cũng không ngờ rằng công trình sau này lại mang một ý nghĩa vô cùng quan trọng đối với ngành vật lý. Lúc bấy giờ, Planck cũng chỉ nghĩ rằng đây là một thủ thuật toán học cần thiết để lý giải một công thức phù hợp với thực nghiệm, chứ chưa tin rằng giả thuyết mà mình đã đưa ra là một thực tế của vật lý. Phải chờ đến năm 1905, khi Einstein đưa ra bài báo trên tạp chí *Niên giám Vật lý (Annalen der Physik)* về tính chất hai mặt sóng - hạt của ánh sáng, thì các nhà vật lý mới thấy rõ hơn về giá trị của công trình mà Planck công bố 5 năm trước. Trong khi đó, Planck vẫn miệt mài tìm cách giải thích vấn đề theo khuôn khổ của vật lý cổ điển, nhưng không thành công. Planck đã im hơi lặng tiếng trong 6 - 7 năm liền không viết thêm gì về thuyết quanta. Phải chờ thêm khoảng hai chục năm nữa, khi một số nhà vật lý đã cơ bản hoàn thành xây dựng ngành cơ học lượng tử và đã xác nhận bằng thực nghiệm sự tồn tại của photon (hạt ánh sáng), thì Planck mới được thuyết phục hoàn toàn về bản chất vật lý của giả thuyết mà mình đã sử dụng để giải thích về bức xạ của vật đen.

Tổng thời gian từ lúc Planck công bố kết quả nghiên cứu đến lúc cộng đồng các nhà vật lý được hoàn toàn thuyết phục về giá trị của công trình nghiên cứu đó, cũng là thời gian cần thiết để Planck được “tâm phục” về thuyết lượng tử do chính bản thân mình sáng tạo đã phải mất đến trên 25 năm.

Nhưng một số không ít các nhà vật lý thì đã được thuyết phục nhanh hơn. Năm 1918 Planck đã được đề nghị và đã nhận giải Nobel vật lý một năm sau (1919). Một số nhà khoa học khác thì cho rằng Einstein mới là người có công nhất đối với sự hình thành của thuyết lượng tử. Phải nhìn nhận Einstein quả là một người có công lớn, vì đã ủng hộ rất sớm các ý tưởng của Planck và đã có nhiều công trình nghiên cứu khác về lượng tử có tính cách thuyết phục; cũng như Planck đã có công lớn vì đã ủng hộ Einstein khi bài báo về thuyết tương đối được công bố năm 1905. Dù tuổi tác có chênh lệch nhau (Planck hơn Einstein 21 tuổi), nhưng hai nhà vật lý đã có mối quan hệ mật thiết trong công việc chuyên môn, và thân thiết với nhau trong cuộc sống. Tuy nhiên, muốn hay không, Planck vẫn là người đã đưa ý tưởng về “quanta” ánh sáng đầu tiên, cho nên việc gán cho Planck vai trò người cha sinh của thuyết lượng tử cũng là phù hợp với lịch sử phát

triển của ngành vật lý học.

Qua câu chuyện lý thú này, nhìn từ góc độ của người sinh sau đẻ muộn, chúng ta có thể thấy nổi gian truân của những phát minh khoa học. Sau đây, là một số vấn đề gắn với sự phát minh khoa học qua bài học kinh nghiệm của Planck và những nhà phát minh khác. [1-3].

Không phải trong đời, mọi nhà vật lý đều có những phát minh mang ý nghĩa đột phá như Planck hoặc Einstein. Nhưng với bản lĩnh của mình, các nhà vật lý vĩ đại này đã chọn được những vấn đề then chốt cần giải quyết, để khi thành công, thì công trình của họ sẽ mang tính đột phá để đẩy trình độ phát triển vật lý của loài người lên một bước có ý nghĩa. Những công trình nghiên cứu khác không phải là vô ích, chúng cũng đóng góp vào sự hiểu biết ở phạm vi hạn chế hơn, như thể là góp những viên gạch vào tòa lâu đài vật lý của loài người. Tuy nhiên, việc chọn vấn đề nghiên cứu giữ một vai trò quan trọng trong sự thành công hay thất bại của một nhà khoa học. Vấn đề đó nên thuộc một lĩnh vực đang sôi động, có nhiều người quan tâm thì ắt là tốt hơn một lĩnh vực “chết” hoặc quá trầm lặng. Cần có sự đánh giá, vấn đề đó, nếu giải quyết được, thì ý nghĩa của nó sẽ như thế nào?

Khi khởi đầu công việc nghiên cứu, nhà vật lý phải tích lũy được sự hiểu biết sâu về những vấn đề có liên quan, và đi vào xem xét các vấn đề đó, kết hợp giữa sự tin tưởng và sự ngờ vực. Vì không phải mọi vấn đề đều đã được giải quyết trọn vẹn, có khi nó chỉ mới được giải quyết một phần và ẩn chứa những điểm yếu cần được đào sâu thêm. Chính sự ngờ vực sẽ giúp nhà vật lý lật đi lật lại các vấn đề cần nghiên cứu và phát minh được những nội dung mới trong quá trình nghiên cứu của mình. Chúng ta có thể lấy thí dụ trong trường hợp của Planck, khi nghiên cứu về quy luật bức xạ của vật đen, với khởi điểm là công thức của Wien. Công thức đó có một vùng không phù hợp với kết quả thực nghiệm. Công thức đó dựa trên cơ sở cho rằng sự phát bức xạ của vật đen là liên tục, là một giả thuyết đang được chấp nhận rộng rãi. Nhưng nếu giả thuyết đó đúng, thì công thức Wien không thể sai so với thực nghiệm. Vậy dù ban đầu đã tin vào giả thuyết bức xạ liên tục của vật đen, nhưng sau đó Planck buộc phải nghi ngờ giá trị của giả thuyết ấy, và cuối cùng phải dựa vào một giả thuyết về bức xạ rời rạc.

Nhà vật lý phải có sự tập trung cao độ trong việc nghiên cứu của mình. Planck là người đã đạt được đỉnh cao trong sự tập trung và đam mê đó. Nhà nghiên cứu không thể bằng lòng với một lẽ lười làm việc theo kiểu công chức, mà phải hết sức đam mê, hết sức tập trung vào công việc nghiên cứu, phải

trăn trở, thao thức về vấn đề đang thử thách sự sáng tạo của mình để tìm ra được những giải pháp cho vấn đề đặt ra. Ở đây, phải nói đến sự cần thiết tạo ra một môi trường thuận tiện cho công việc nghiên cứu, cho phép người làm công tác nghiên cứu khoa học không phải lo nghĩ gì khác, đặc biệt về những vấn đề vật chất của cuộc sống, ngoài việc tập trung cho nghiên cứu, và có đủ điều kiện về cơ sở vật chất để đi sâu vào khám phá, tìm tòi, thỏa mãn niềm đam mê lớn nhất là đi tìm lời giải cho những vấn đề mà đòi hỏi của sự tiến bộ đang đặt lên vai mình.

Môi trường đó phải là một môi trường thân thiện, trong đó các nhà khoa học có tinh thần hợp tác, nâng đỡ nhau, động viên cổ vũ cho nhau, sẵn sàng góp với nhau những ý tưởng xác đáng để cho công việc nghiên cứu được tiến triển như mong muốn. Phải nói rằng mối quan hệ giữa Planck và Einstein, hai nhà vật lý lý thuyết trong những nhà vật lý có tầm cỡ nhất ở đầu thế kỷ XX, là thí dụ điển hình về sự hợp tác hiệu quả giữa các nhà khoa học. Không khí thân thiện và phẩm chất của các thành viên cũng như tinh thần hợp tác trong một nhóm nghiên cứu đương nhiên là cần thiết, nhưng để kích thích sự cạnh tranh lành mạnh và nâng cao chất lượng nghiên cứu, sự giao lưu giữa những nhà khoa học hoạt động ở những vị trí khác nhau trên thế giới cũng là rất bổ ích. (Và ngày nay sự giao lưu đó lại rất thuận lợi với sự phát triển không ngừng của mạng Internet)

Môi trường đó phải là một nơi phát huy được sự sáng tạo. Công việc nghiên cứu nhằm mục đích phát hiện ra cái mới, bằng thực nghiệm, bằng các lập luận lý thuyết, và cái mới không thể nảy sinh nếu các nhà khoa học đi trở lại con đường mòn, lặp lại những thí nghiệm cũ, sử dụng những lập luận và những phương pháp cũ. Phát minh cái mới đòi hỏi phải có cách làm việc mới. Sáng kiến cần được khuyến khích mạnh mẽ trong một môi trường nghiên cứu khoa học. Nơi đây, những bậc lão thành, những người có trách nhiệm nên phát huy không khí dân chủ, khuyến khích những ý tưởng mới và không nên áp đặt những quan điểm của mình đối với các thành viên khác của nhóm nghiên cứu. Các ý tưởng mới được sàng lọc và sẽ được công nhận giá trị qua kiểm nghiệm thực tế, chứ không nên dễ dàng loại trừ với những lập luận dựa trên kinh nghiệm đơn thuần của những bậc đàn anh, đi trước.

Sự công nhận công trình nghiên cứu xứng đáng mang tên gọi là một phát minh, sự đánh giá tầm quan trọng của một sáng kiến mới không phải là một điều đơn giản. Phát minh của Planck là một ví dụ điển hình. Như đã

nói trên, thuyết lượng tử đã mất hơn 25 năm mới thuyết phục được mọi người, kể cả người sáng tạo ra nó. Phát minh là mang lại một cái mới, xưa nay chưa ai nghĩ đến, chưa ai biết, cho nên có nhiều khả năng gặp phải sự chống đối của những người đã quá quen suy nghĩ theo kiểu cũ. Phải thuyết phục họ bằng mọi lý lẽ, mọi bằng chứng thực nghiệm, nhưng như Max Planck đã viết, có trường hợp không có cách gì thuyết phục họ được, chỉ còn có nước chờ... một thế hệ tiếp theo, những người này ít bảo thủ hơn và thường cởi mở hơn đối với những ý tưởng mới. Do đó, nhà nghiên cứu phải kiên trì bảo vệ quan điểm của mình, trên cơ sở bảo đảm sự minh bạch và trung thực về khoa học. Với tính cách của mình, Planck sau khi phát minh sự cần thiết của giả thuyết quanta, đã mất nhiều năm để tự thuyết phục và cho người khác thuyết phục mình, để rồi chứng kiến sự thành công rực rỡ của thuyết lượng tử trong thời gian cuối của cuộc đời biết bao sóng gió nhưng cũng hết sức vẻ vang của mình.

Trên đây là một vài trong số những bài học mà Planck và những nhà khoa học lớn trong thế kỷ XX đã để lại cho chúng ta. Khi xem xét các bài học ấy, có thể thấy là chúng có giá trị phổ quát, và đặc biệt cần được tiếp thu đối với Việt Nam ngày nay, với hiện trạng nghiên cứu khoa học chưa phải đã có nhiều thành tích lắm. Những bài học đó có thể áp dụng cho cá nhân những nhà khoa học, cũng như cho những nhà quản lý đất nước, đặc biệt những nhà quản lý về khoa học và công nghệ.

Đây là một số suy nghĩ của tôi nhân chuẩn bị bài viết để tham gia vào tập *Max Planck - người khai sáng thuyết lượng tử*, hy vọng nhận được sự chia sẻ và đồng cảm của các nhà khoa học và bạn đọc.

Tài liệu tham khảo:

- [1] Creativity, Innovation and Problem Solving - Some Guidelines with Linked Historical Examples www.quantumbooks.com/Creativity.html
- [2] Invention <http://en.wikipedia.org/wiki/Invention>
- [3] Creativity <http://en.wikipedia.org/wiki/Creativity>
- [4] Max Planck
http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1918/planck-bio.html
- [5] Max Planck
<http://www.rssd.esa.int/index.php?project=PLANCK&page=mplanck>
- [6] Max Planck: the reluctant revolutionary
<http://physicsworld.com/cws/article/print/373>

[7] Quantum Theory: Max Planck

<http://www.spaceandmotion.com/quantum-theory-max-planck-quotes.htm>

PHAN HUY ĐƯỜNG*

THÁI ĐỘ KHOA HỌC TRONG KIẾP NHÂN VĂN*

Abstract. Les découvertes de la physique contemporaine nous aident à éliminer de notre pensée maints préjugés coriaces de la philosophie et de la culture. Néanmoins, le savoir des physiciens se limite aux relations quantitatives entre les êtres matériels à l'intérieur du monde matériel dont l'homme fait partie. Mais l'homme est aussi un être tri-dimensionnel, l'unité mouvante de la matière, de la vie et de la culture. Aussi, s'il faut faire confiance au savoir des physiciens dans leur domaine de compétence, il vaut mieux conserver un peu de philosophie, voire de poésie dans nos relations globales avec le monde, avec Autrui. Dans ces relations, il existe à travers le temps des "évidences" incontournables qui ne relèvent pas de la science. Elles s'expriment spontanément dans les langages que nous utilisons pour penser le monde. S'il convient de purger notre langage de tous ses concepts douteux, nous ne devons en aucun cas le réduire et l'enfermer intellectuellement dans les carcans de l'infiniment grand et de l'infiniment petit de la physique contemporaine. Car nous existons, vivons, pensons, agissons, voire nous aimons dans un monde aux échelles humaines, au-delà duquel il n'y a ni pensée ni science.

(...) Ý nghĩa và giá trị của vật lý ở chỗ nó giúp chúng ta khám phá ra những sai lầm của triết học bằng cách cho chúng ta thấy rằng "một số khẳng định có tham vọng

* Informaticien, écrivain, philosophe, traducteur littéraire, Antony, France.

* Cảnh báo: tôi không có kiến thức khoa học về vật lý, nói chỉ đến vật lý lượng tử. Tôi chỉ lỡ mê một số tác phẩm do các nhà khoa học viết để trình bày kiến thức của họ cho kẻ ngoại đạo, đặc biệt khi họ bàn về kiến thức liên quan tới những khái niệm phổ biến trong triết học. Quan điểm *riêng* của tôi về những khái niệm như "sự thật", "khoa học", "sự thật khoa học", "sự thật khách quan" và một số khái niệm kinh điển trong triết học như không gian, thời gian, vật chất, vật thể, thực thể, sự vận động, hành động, v.v... cũng như phương pháp suy luận biện chứng, đã được trình bày trong hai quyển *Penser librement* (Chronique sociale, Lyon, 2000) và *Tư duy Tự do*, (Nxb Đà Nẵng, 2006). Xin lỗi độc giả, tuy dùng tới, tôi không thể trình bày lại trong bài này.

có giá trị triết thực ra chẳng có giá trị gì cả".

(...) Vật lý phá tan một số thành kiến trong tư duy triết và trong tư duy thông thường, nhưng không tự khẳng định như một triết lý. Nó chỉ sáng tạo ra những cách nói chéo để tạm thời điều trị sự thiếu hụt và bất lực của những khái niệm truyền thống, nhưng nó không đặt ra những khái niệm đương nhiên¹. Nó khiến khách triết học, buộc triết học phải nghĩ ra những khái niệm có giá trị trong bối cảnh của chính nó.²

Merleau-Ponty

¹ "Concepts de droit" có nghĩa: tự nó có quyền được coi như là khái niệm. Ôi, từ khi có ai đó (Kant? Rồi Deleuze) tuyên bố rằng: triết lý là lao động sáng tạo *khái niệm*, triết gia cứ tưởng "khái niệm" là cái gì ghê gớm lắm tuy xét cho cùng nó cũng chỉ là một ngôn từ thôi, và *mọi* ngôn từ đều là khái niệm: "cái bàn", chẳng khác gì "hạt nguyên tử", đương nhiên là một khái niệm, nó có thể là gì khác? Khái niệm, xét cho cùng, là quan hệ giữa người với người được vật thể hóa bằng một âm thanh hay một ký hiệu. Ngoài quan hệ ấy, trong vũ trụ làm gì có gì gọi là khái niệm?

Theo tôi: triết lý là suy luận để cải tạo những khái niệm sai, mơ hồ hoặc quá thô sơ, giảm bớt thành kiến cổ lỗ sĩ trong quan hệ giữa người với người, mở đường cho một nhân giới cởi mở, đúng đắn và, nếu có thể, triu mến hơn. Thế thôi. Trong triết có những vấn đề mà hiện nay khoa học chưa thể với tới được, chưa kể tới những vấn đề mà khoa học không thể với tới được, nhưng vẫn là môi trường sống có nhân cách, môi trường làm người của ta hôm nay.

² PHĐ dịch nghĩa, không dịch văn, những câu:

"(...) le sens de la physique est de nous faire faire des "découvertes philosophiques négatives[*]" en montrant que "certaines affirmations qui prétendent à une validité philosophique n'en ont pas en vérité".

(...) La physique détruit certains préjugés de la pensée philosophique et de la pensée non philosophique, sans pour autant être une philosophie. Elle se borne à inventer des biais pour pallier la carence des concepts traditionnels, mais elle ne pose pas de concepts de droit. Elle provoque la philosophie, la pousse à penser des concepts valables dans la situation qui est la sienne." [MP]

☛ Merleau-Ponty emprunte cette expression (et la citation qui suit) aux physiciens London et Bauer [Ln&B].

Aux contraires, Jean-Marc Lévy-Leblond, NRF essais, Éd. Gallimard, 1996, tr. 15-16.

Nói toạc móng heo thì thế này: triết gia truyền thống thường suy luận với nhiều khái niệm tưởng chừng là những sự thật vĩnh cửu rất siêu nhưng thực tế thì chẳng có giá trị gì cả. Thí dụ như khái niệm không gian và thời gian của Kant hay quan hệ giữa hai khái niệm ấy của Hegel. Bọn vật lý chúng em xin thưa với các đại gia: trong lĩnh vực hành động cụ thể của chúng em ngày nay, các khái niệm ấy sai bét! Vậy các đại gia ráng tìm ra khái niệm mới phù hợp với hoàn cảnh hành động này vì nó có thực, chứng minh và thể nghiệm được, và nó thực sự đã tác động vào đời sống hằng ngày của người đời.

Điều này "đúng / sai" như thế nào, trong bối cảnh nào, với giới hạn nào, ta không bàn ở đây. Chỉ cần biết nó có thực và chính đáng, không thể làm ngơ được.

Vì, đúng thế, trong nghĩa nào đó, "khoa học không suy nghĩ" - chính điều ấy là bí quyết giải thích sự hữu hiệu của nó. Khoa học cố gắng rất lớn để khỏi phải suy nghĩ, bằng cách tạo ra những máy biểu tượng hình thức lỗi lạc để chúng gánh vác những khó khăn và mệt nhọc của tư duy, y như máy móc trong nhà và trong công nghiệp thay thế và kéo dài khả năng giới hạn của thân xác chúng ta.¹

J-M Lévy-Leblond

Chúng ta phải biết, chúng ta sẽ biết.

(Wir müssen wissen, wir werden wissen.)

David Hilbert

Tuyên ngôn bất hủ này của Hilbert đã được khắc trên bia mộ ông ở Göttingen.

Thú thực, do căn bệnh cổ hữu của người dịch văn chương, bệnh suy diễn, tôi có khuynh hướng dịch thành: "Chúng ta phải hiểu, chúng ta sẽ hiểu." Tôi không dám. Nhất là trong Kỷ yếu kỷ niệm ngày sinh nhật của Max Planck.

Với nhà toán học cỡ David Hilbert, biết chung chung qua ngôn từ thường ngày, qua những ý chung, chẳng thể coi là kiến thức khoa học. Với nhiều nhà khoa học, ta chỉ thực sự "biết" những gì ta đã "hiểu". Nghĩa là:

¹ Car, il est vrai, en un certain sens, que "la science ne pense pas" – c'est même le secret de son efficacité. La science fait un effort considérable pour ne pas penser, en mettant au point de remarquables machines symboliques et formelles qui prennent en charge les difficultés et les fatigues de la pensée, tout comme nos machines domestiques et industrielles viennent relayer et prolonger nos capacités physiques limitées.

Aux contraires, J-C Lévy-Leblond, Gallimard, 1996, trang 16.

Lévy-Leblond là Giáo sư Vật lý và... triết lý khoa học (*épistémologie*). Đụng tới khoa học, tôi thích đọc tác phẩm của các nhà khoa học đích thực: họ không chỉ có kiến thức vững vàng và chính xác về khoa học, có người còn có văn hóa đầy mình, đặc biệt trong lĩnh vực triết lý khoa học từ cổ tới kim. Ý của Lévy-Leblond thế này. Những kiến thức khoa học đã được khẳng định rồi thì ta có thể thoải mái dùng – trong bối cảnh mà chúng có giá trị –, những phương trình toán biểu hiện chúng, không cần kiểm soát lại, càng không cần tính toán lại từng bước từ đầu, mất công tốn sức một cách vô bổ, cứ việc đưa cho máy tính gánh vác hộ. Còn phát huy kiến thức khoa học lại là chuyện khác, chẳng dễ tí nào, có khi suy nghĩ nát óc vẫn không nhích lên được nửa bước.

Dường như đối với kiến thức triết học thì... ngược lại. Trong triết học, không có khái niệm nào có thể nhắm mắt tin được, luôn luôn phải đặt lại vấn đề ngay từ ban đầu. Phải chăng vì thế có những ý tưởng cổ lỗ sĩ hàng nghìn năm mà hôm nay vẫn chưa chịu chết? Phải chăng vì thế, ở đời, triết gia thì hàng hà sa số, nhưng triết lý mở ra một thời đại tư duy mới thì cực hiếm.

chứng minh được rằng điều ấy *đúng hay sai*, thế thôi¹. Chỉ ít cũng phải khẳng định một cách không phủ nhận được, ở mức độ chính xác nào đó, rằng nó đúng trong một hoàn cảnh cụ thể, rõ ràng, kiểm soát được. Những thứ còn lại, ta biết vậy vậy, thế thôi, chẳng thể nhắm mắt tin cần được.

Trong tiếng Pháp, *động từ* "biết" có hai nghĩa: biết chung chung, đại khái rằng²... và hiểu biết khoa học. Người Pháp còn danh từ hóa *quan hệ hiểu biết*, biến nó thành khái niệm hình thức: *le Savoir*, "Kiến Thức" hay "Tri Thức". Đương nhiên, "Kiến Thức" hay "Tri Thức" vẫn mang trong mình hai bộ mặt trên của quan hệ hiểu biết. Nhưng dưới dạng danh từ, khái niệm, nó có vẻ nói đến một cái gì *tự nó có thực*. Viết chữ hoa khiến nó long trọng, trang nghiêm, đáng tin cậy như một Sự Thật... có tầm cỡ, "có giá trị triết".

Niềm tin nhập nhằng ấy đã từng và vẫn đang lan tràn vào triết học, văn học, thậm chí thơ văn. Nó đã khiến nhiều triết gia, nhà tư tưởng, nhà lý luận văn học đam mê đeo đuổi Sự Thật và thường nghĩ rằng tư tưởng, ý tưởng, kiến thức của chính mình biểu hiện Sự Thật. Đã từng có không ít nhà thơ, nhà văn, nhà lý luận văn học, triết gia, tự khoác cho mình nhiệm vụ tìm kiếm và nói lên Sự Thật, nhất là Sự Thật Khách Quan, Sự Thật Khoa Học, Sự Thật Lịch Sử, Sự Thật Của Con Người, v.v... Khi họ có trong tay ít nhiều quyền lực, có người không chỉ nói thôi, còn thẳng thừng dạy dỗ, giáo dục, cải tạo, hướng dẫn, kể cả bằng cưỡng ép đủ kiểu, người đời đi theo Chân Lý. Điều ấy đã gây những tai họa kinh hoàng nào trong thế kỷ 20, ai cũng biết. Điều ấy đang gây những tai họa kinh hoàng nào hôm nay, cứ nhìn tình hình điên loạn đẫm máu của thế giới thì thấy.

Thí dụ niềm tin xưa vào Sự Thật *của* Lịch Sử dựa trên kiến thức Khoa Học về những Quy Luật Khách Quan *của* Lịch Sử.

Hay niềm tin "Hiện Đại" vào những Quy Luật *của* Kinh Tế Thị Trường Toàn Cầu Hóa, được chứng minh bằng vô vàn phương trình toán rất siêu³, nhưng chưa bao giờ tiên đoán được những khủng hoảng vừa qua và sắp tới của kinh tế thị trường, chẳng bao giờ đếm xỉa tới thân phận của hàng chục

¹ Chứng minh rằng một điều gì đó... sai, quan trọng không thua gì chứng minh được rằng nó... đúng. Chứng minh rằng một điều gì đó nằm ngoài khả năng chứng minh đúng/sai của hệ lý luận mình đang vận dụng thì càng tuyệt!

² *Mon père ne savait pas tout, mais il savait un peu de tout. Cha tôi không biết mọi chuyện nhưng cũng biết một tí về mọi chuyện.* Một giá trị văn hóa phổ thông, *culture générale*, của Pháp hồi đầu thế kỷ 20, trước hai cuộc tàn sát khổng lồ mỹ mãn mà nền văn hóa ấy cho tới nay vẫn không hiểu nổi. Theo trí nhớ tồi tệ của tôi. Của nhà văn nào, tôi không nhớ nữa.

³ Đối với kinh tế gia và người đời thường, nhưng đối với toán gia thực thụ thì...

hay trăm triệu người đời cả... Và, quan trọng hơn, *chưa bao giờ* vạch được cho người đời một hướng đi hữu hiệu tới một thế giới *nhân bản hơn ngay trong đời họ*.¹

Trong lĩnh vực thơ văn, có thể tiểu lâm hơn, nhờ thể cũng ít tổn xương máu hơn, nghệ thuật thôi mà, ghê gớm đến mấy vẫn thua xa hai quả bom nguyên tử giội xuống Hiroshima và Nagasaki.

Cách đây không lâu đến nỗi, tôi đưa một nhà thơ Việt Nam tới Grenoble nói chuyện. Chàng nổi tiếng đã từng đổi mới thơ Việt Nam và đã phải trả giá nặng hàng chục năm. Chàng nổi tiếng có kiến thức sâu rộng về văn học, triết học Tây Âu. Chàng sử dụng sành tiếng Pháp tới mức đã tự dịch thơ của mình qua tiếng Pháp, nói chuyện với độc giả bằng tiếng Pháp, thao thao bất tuyệt về *Nguyên lý bất định*² của Heisenberg trong thơ, quan điểm về thơ và triết lý của chàng. Tôi sững sờ. Có thể vì tôi dốt, không hiểu gì cả về nguyên lý rắc rối này. Lúc giải lao, tôi kéo chàng ra ban công, bỏ nhỏ: ông ơi, nói vừa vừa thôi, đây là thành phố đại học, nôi khoa học hạng nhì của Tây đó; đám làm vật lý ở đây trình bày nguyên lý này bằng phương trình cho phép chúng nó tính toán và tiên đoán rất chính xác kết quả hành động của chúng nó vào vật chất, thế thì còn bất định gì nữa! Nếu tự do của con người dựa vào sự bất định vật lý kiểu ông thì chúng nó chẳng có đứa nào tự do cả, nói chuyện với chúng nó làm gì: dù chưa được giải Nobel Vật lý, điều gì chúng nó chưa tính toán được, chúng nó chưa tin là đúng, chưa tin là có thực. Chúng nó đã tính toán được, chẳng còn gì bất định cả. Tự do của chúng nó khác tự do của người đời ở đó. Chàng mỉm cười, nhìn tôi tội nghiệp. Và chàng tiếp tục thao thao bất tuyệt về tính bất định của đủ thứ linh tinh, nhất là của chữ nghĩa, nhất là chữ nghĩa của chàng, nhất là trong thơ và tư tưởng của chàng. Tôi vốn dị ứng với thơ. Hôm ấy, tôi càng dị ứng với thơ hơn bao giờ hết. Thế mà tôi vẫn, khi tội nghiệp chính mình, yêu... thơ, trong mọi hình thái. Khổ thật...

Điều tôi thích nhất khi tôi cặm cụi, âm u đọc các nhà khoa học bàn

¹ Không hoàn toàn "đúng" – *nếu ta chỉ muốn thấy* kết quả cuối cùng của từng giai đoạn phát triển kinh tế ở một số nước như Trung Quốc hôm nay chẳng hạn. Nhưng nhìn toàn bộ quá trình phát triển ấy thì kinh hoàng: tàn nhẫn không thua gì thời tích lũy vốn tư bản ban đầu tại các nước tư bản ở Tây Âu và thuộc địa cũ và mới của họ. Cần gì toán học hiện đại để bắt chước tư bản Tây Âu ở thế kỷ 19 và thành công như họ đã từng thành công? Ai không tin, cứ đi hỏi 350 triệu "lao công" Tàu hiện nay thì biết. Chẳng khác phu đồn điền cao su ở Việt Nam thời thực dân bao nhiêu.

² *Principe d'incertitude* hay *Principe d'indétermination*.

ngang tầm người về kiến thức và niềm tin của họ trong lĩnh vực sở trường của họ, là họ cũng có lúc khắc khoải như ai. Tôi dốt khoa học. Tôi chia sẻ nỗi khắc khoải *làm người có ý thức khoa học* của nhà khoa học cũng như tôi chia sẻ - hão tới mức nào, tôi không biết, người đời sẽ dạy tôi thêm, đều đều, than ôi - khắc khoải làm người của nhà văn. Bất cứ ai biết khắc khoải làm người kiểu này kiểu nọ, tôi đều yêu mến, dù chưa đồng ý tôi vẫn có thể đồng tình. Xin bạn đừng hỏi tôi: anh làm người như thế nào? Tôi không trả lời được. Hiện nay, tôi chỉ biết hành văn thôi. Nếu đó cũng là một cách làm người mà người đời chấp nhận được, tôi mãn nguyện.

Trong Wikipedia, tất nhiên không thể coi như nguồn tham khảo có giá trị khoa học, tôi thấy một điều về Max Planck, không biết đúng sai thế nào, nhưng là đề tài đáng suy ngẫm.

Ban đầu, Planck khước từ mô hình nguyên tử về khí của Maxwell và Boltzmann. Đối với ông, thuyết nguyên tử sẽ có ngày sụp đổ trước giả thuyết cho rằng vật chất liên tục (*continu*). Ông thuận theo thuyết nguyên tử từ những năm 1890 khi nó đã trở thành hiển nhiên.

Năm 1899, ông tạo ra những hằng lượng của Planck (h) và của Boltzmann (k), đồng thời với khái niệm *quanta* [...] Planck khó chịu khi phải công nhận sự đúng đắn của giả thuyết của chính mình vì nó khiến cho vật chất trở thành "gián đoạn" (*discontinu*).¹

Ra thế. Nhà bác học được giải Nobel vật lý nhờ một khái niệm mình phát minh ra, khái niệm cho phép giải đáp một vấn đề nan giải trong thời đại của mình, mở đường cho cả một thời đại mới của vật lý, lại không hài lòng với kiến thức mình khẳng định được vì nó "phủ nhận" niềm tin cố hữu của mình, cũng là niềm tin phổ biến từ lâu của nhiều người đời. Và, rất lâu, chính ông chỉ tin nó là một "cái mẹo toán" thôi.

"Gián đoạn" - "Liên tục", cặp phạm trù tương phản kinh điển trong tư duy triết, như bao cặp phạm trù tương phản khác đã từng ám ảnh tôi biết bao năm trời! Phải viết xong quyển *Penser librement* tôi mới tạm yên, cảm tưởng rằng mình đã tìm được một cách tiếp cận và suy luận tạm chấp nhận

¹ "Planck rejette, dans un premier temps, le modèle atomiste des gaz de Maxwell et Boltzmann. Pour lui, la théorie atomique s'effondrera à terme en faveur de l'hypothèse de la matière continue. Il se rallie devant l'évidence à l'atomisme à partir des années 1890."

En 1899, il introduit les constantes de Planck (h) et de Boltzmann (k) en même temps que la notion des quanta [...] Planck a du mal à accepter sa propre hypothèse, rendant la matière "discontinue".

được về những "mâu thuẫn" kiểu ấy. Riêng về vấn đề này, "vật chất gián đoạn hay liên tục?", tôi đại khái an ủi mình như sau. Điều ta *gọi là* "vật chất", "thế giới vật chất", "vũ trụ", "là" *một* tổng thể động, *một* hệ thống *quan hệ* năng động giữa tất cả những gì ta có thể tiếp cận được bằng giác quan của ta hay máy móc ta sáng tạo để quan sát *và biểu hiện chúng* dưới dạng giác quan của ta tiếp cận được, dù chỉ là một chuỗi... số! Trong tổng thể động ấy, *có chính chúng ta*. Nhưng chính ta lại là một tổng thể hơi khác những vật thể khác trong vũ trụ ở điểm này: ta là thể thống nhất năng động của vật giới, sinh giới và văn hóa. Ở phẩm chất cuối cùng này, ta vừa là chính ta vừa là toàn bộ những người đã sáng tạo những ngôn ngữ ta dùng để tư duy, kể cả ngôn ngữ toán và... tiếng Việt, thậm chí tiếng Ziaio Chi, vì lý do đơn giản này: ít nhất 99,99% ngôn từ và, qua đó, những ý tưởng, trong đầu ta đều do tha nhân mang lại cho ta. Phải thế ta mới có thể "hiểu" được vật chất¹. Phải thế ta mới có thể suy diễn ra khả năng có thực của nhiều vật thể hay sự kiện ta chưa hề "thấy" bao giờ. Phải thế mới có thể có một điều gì *gọi là* sự thật khoa học vì ngoài quan hệ tổng hợp của chúng ta với thể-giới², thế giới vật chất *tự nó không có* Sự thật, *không có* Khoa học³. Điều có thực, liên tục, "vĩnh cửu" là những quan hệ - trong đó có ta - mà ta biết hay chưa biết: trong vũ trụ không có gì biệt lập, không có gì tự hiện thực từ hư vô - kể cả ta. Tất cả đều là hậu quả của một quá trình vận động. Trong vật giới chỉ có một loại quan hệ thôi: quan hệ về lượng, và quan hệ ấy có không-thời gian tính⁴. Tất

¹ Tất nhiên, "hiểu" là một *quá trình* bất tận. Marx và Engels đã vạch rõ từ lâu.

Xin "trích" theo trí nhớ tồi tệ của tôi, ý bất hủ này: *La contradiction entre le caractère limité de nos connaissances et notre capacité infinie à connaître se résout dans le développement infini du Savoir. Mâu thuẫn giữa tính giới hạn của kiến thức của chúng ta và khả năng hiểu vô tận của chúng ta tự giải quyết qua sự phát triển vô tận của Kiến Thức*. Với ngôn ngữ triết của thế kỷ 19 tại châu Âu, hành văn biện chứng đến thế là cùng!

Dĩ nhiên, "bất tận" trong nhân giới. Bản thân nhân giới bất tận hay không, phải diên diên mới dám khẳng định (PHH).

² Quan hệ chung của chúng ta với vật giới và với nhau trong tư cách người.

³ Xem lập luận chi tiết trong *Penser librement* hay *Tư duy tự do*.

⁴ Đây là nguyên lý nền tảng của triết lý duy vật biện chứng của *Marx và Engels: Thoát tiên có vật chất năng động (matière en mouvement)*. Vật chất đã tự nó năng động thì tự nó cũng là không-thời gian. Khi ta đọc hai triết gia này xuyên qua những khái niệm "không gian", "thời gian", "hiện tượng" và "vận động" của Kant, ta hiểu ai khác, không hiểu họ vì họ không chỉ phủ định Kant thôi mà còn phủ định luôn cả Hegel nữa. Trên cơ sở ấy, họ cho rằng điều duy nhất đáng tìm hiểu là: những quy luật chung nhất của sự vận động, từ hình thái thô sơ nhất, hình thái vật thể, tới hình thái phức tạp nhất: tư duy. Và vay

cả những hình thái "cụ thể" của vật chất đều có thể quy về vài hình thái cơ bản chung. Chính vì thế ta có thể nêu chúng trong một phương trình toán!¹ Trong vận động liên miên bất tận của những quan hệ ấy, có lúc có trạng thái tương đối "cân bằng" cho phép những vật thể "cụ thể" hình thành và tồn tại một cách tương đối "ổn định" *đối với* nhân quan trực tiếp hay gián tiếp của ta. Có lúc, những quan hệ ấy đột ngột tạo sự trao đổi năng lượng giữa hai vật thể khiến cả hai có thể biến dạng *đối với* nhân quan trực tiếp hay gián tiếp của ta. Theo kiến thức của chúng ta *hôm nay*, nhờ Planck, lượng năng lượng có thể trao đổi được giữa những vật thể không thể nhỏ hơn h . Thế thôi. "Vật chất liên tục", "vật chất gián đoạn" chỉ là cách phát ngôn hàm hồ, thiếu chính xác của triết gia, người đời thường và, dường như, của nhiều nhà vật lý không phải loại xoàng! "Sự liên tục", "Sự gián đoạn" còn hão hơn nữa.

Thế mà ta cứ cần đến chúng khi ta tư duy. Đâu phải vô cớ. Đôi khi ta nghiệm sinh một cách hiển nhiên, chắc chắn, không gì phủ nhận được², kể cả vật lý hiện đại, rằng đời ta y như một chuỗi gián đoạn vô lý, vô tình, đau điếng.

Nhờ thế mà có... Thơ:

"Tình chỉ đẹp những khi còn [ô hô ai tai!!!] *đang dở*"...

Nó mà hết *liên tục* đang dở, nó biến quách đi cho ta đỡ khổ, chứ nó lại đột ngột *gián đoạn*, chỉ vì một "*quantum*" ngộ nhận, đau *đứt người* đó, người ơi. Ừ mà đứt được, còn đỡ đỡ, chứ nó cứ dai dẳng liên tục hành hạ mình thì *chết* người ta... *Thật* vậy. Vì sao? Vì *ta tồn tại, sống, suy nghĩ, hành-dộng*, thậm chí yêu yêu, trong thế giới trung mô. Thế giới ấy mà không gián đoạn, không thể có thân xác của chính ta. Thế giới ấy mà không liên tục, không có gì có thể hiểu được, kể cả em yêu, kể cả chính ta. Nhưng bảo nó "*là*" cả hai, ta... điên đầu: zậy mà hỏng phải zậy! *Ở đó*, vật giới có sự liên tục - gián đoạn *đặc thù* (của) nó. Sinh giới và thế giới tinh thần cũng vậy, và cũng chẳng dễ hiểu tí nào. Trong khi chờ đợi có người tạo ra những khái niệm, phương pháp suy luận và ngôn ngữ thích ứng, giúp ta *hiểu cả ba món liên tục - gián*

mượn, một cách khá gượng gạo, ba quy luật của phép biện chứng của Hegel. Tôi đã phân tích vài thí dụ cụ thể trong Tư Duy Tự Do.

¹ Một phương trình vật lý là một quan hệ về lượng giữa những vật thể, một sự bằng nhau, hơn kém nhau, một sự đồng nhất về bản chất mặc dù những hình thái cụ thể khác biệt qua đó ta cảm nhận chúng. $E=Mc^2$ có nghĩa: không có sự khác biệt về bản chất giữa những cái ta gọi là khối lượng hay năng lượng "của" một "vật thể".

² *Evidence* kiểu Descartes.

đoạn này và quan hệ giữa chúng ở ngay ta, đành sống sao để đừng gây đau khổ cho người khác và nếu không tránh được thì nên ít ít thôi. Vì thế, đời nay, tôn giáo (hiền từ), triết lý (tĩnh táo), thơ văn (đậm nhân tình) vẫn cần thiết cho cuộc nhân sinh.

Trong cõi nhân gian bé tí này, tu Tiên tu Phật mãi, hình như cũng có ngày đắc đạo. Nhưng dường như chưa ai đắc đạo nhờ tu Toán. Chẳng ai sống mãi với phương trình được. Còn phải ăn, phải yêu nữa chứ! Không thì sống sao được, nói chi là suy nghĩ? Lúc đó, bắt buộc phải trở lại đời thường, sống với ngôn ngữ thường ngày của người đời. Những nhà vật lý cũng thế thôi. Nhưng họ sử dụng ngôn ngữ thường ngày thậm trọng biết bao!

Bohr đã từng nói với Heisenberg¹: thực ra tôi nghĩ rằng mấy bức hình nguyên tử [như một hạt nhân với một vài *électrons* dao động chung quanh] *chỉ là một cách mô tả* kinh điển thuận tiện nhất, *thế thôi*.

Ồi, những gì ta *tận mắt thấy* trong kính hiển vi điện tử có thể không có thực hay sao? Ừ, vậy đó! Chính Bohr đã nói vậy mà.

Einstein lại nói với Heisenberg: "Về nguyên tắc thì thật là sai lầm nếu xây dựng một lý thuyết chỉ dựa trên những đại lượng quan sát được. Chính lý thuyết quyết định về cái mà người ta có thể quan sát được."² "Chủ quan", "duy tâm" đến thế là cùng! Và Einstein định nghĩa *hành động quan sát* như sau: "Quan sát nghĩa là *thiết lập một quan hệ* giữa một hiện tượng và sự thực hiện hiện tượng đó [qua hành động] của ta."³

Heisenberg lại cho rằng tên "*principe d'incertitude*" không phù hợp với phát minh của ông.

J-M Lévy-Leblond thẳng thừng:

Dựa vào một phát biểu đúng trong khung cảnh đặc thù và giới hạn của một lý thuyết vật lý - lượng tử, trong trường hợp này - để ngoại suy trong những hoàn cảnh hoàn toàn khác về bản chất, là chuyện nguy hiểm và thường thường có tính chất lạm dụng. Sự lạm dụng ấy gần như sự gian lận

¹ "A vrai dire, je pense que ces dessins d'atomes sont ce qu'il y a de mieux comme images classiques, mais rien de plus."

Werner Heisenberg, *La grande Unification*, Seuil, 1991, tr. 85

² Einstein, Nguyễn Xuân Xanh, NXB Tổng hợp Tp Hồ Chí Minh – 2007, trang 260.

Tôi đã "giải thích" ý "quái gở" này trong hai quyển sách đã nêu.

³ Il raisonnait ainsi: "Observer signifie établir une relation entre un phénomène et notre réalisation du phénomène."

Werner Heisenberg, *La grande Unification*, Seuil, 1991, tr. 89.

khi, như trong trường hợp này, bản thân sự phát biểu ban đầu¹ đã quá đối nhập nhằng. Đúng vậy, chúng ta dứt khoát phải dẹp cách gọi thông thường "bất định" đối với những gì mà cho tới đây chúng tôi gọi là, bằng một từ cổ ý mập mờ, sự "lờ mờ" của những đại lượng vật lý như vị trí và tốc độ.²

Chính Einstein đã công nhận rằng từ "tương đối", do chính ông phổ biến, không chính xác tí nào³. Có thể còn ngược lại: nếu⁴ những lượng ta đo đếm được đều "*tương đối*" đối với một hệ quy chiếu, có những hệ quy chiếu tương đương (*classes d'équivalence*) trong đó người ta vẫn có thể, từ lượng được đo đếm trong hệ quy chiếu này mà suy tính ra lượng sẽ đo đếm được trong hệ quy chiếu khác. Điều đó khả thi vì trong vũ trụ có một hằng lượng... *tuyệt đối* và bất biến trong mọi hệ quy chiếu! Đó là tốc độ của ánh sáng. Nền tảng của lý thuyết "tương đối" là một niềm tin... tuyệt đối! Đường như gần đây, niềm tin tuyệt đối ấy đã bắt đầu... tương đối!

Thế mà chúng ta cứ bừa bãi "tương đối" với nhau. Trong tranh luận thường ngày, chắc bạn đã từng nghiệm sinh điều này: khi người đối thoại với bạn tuyên bố "mọi chuyện cũng tương đối thôi" thì chẳng còn gì đáng nói với nhau nữa. Điều đó thể hiện niềm tin tuyệt đối này: con người không thể hiểu nhau bằng ngôn ngữ, kể cả tiếng Việt. Thế thì nó có thể hiểu nhau bằng cái quái gì? Cái tát, giọng ngọt, ve vuốt, hôn? Thế thì nói chuyện với nhau, triết lý, hành văn, làm gì cho một xác? Chán thật...

¹ Tên do chính những nhà khoa học đã dùng để nêu danh lý thuyết ấy cho người đời thường. PHD.

² Il est toujours risqué, et le plus souvent abusif, d'extrapoler un énoncé valide dans le cadre spécifique et restreint d'une théorie physique – quantique en l'occurrence – à des situations d'une nature toute différente. L'abus confine à l'escroquerie quand, comme ici, l'énoncé initial est lui-même plus que douteux. C'est qu'en effet on doit absolument révoquer l'appellation commune d' "incertitude" appliquée à ce que nous avons jusqu'ici dénommé, d'un mot volontairement vague, le "flou" des grandeurs physiques de position et de vitesse. (*Aux contraires*, J-M Lévy Leblond, Gallimard, trang 190).

Cà khía chữ nghĩa với ông này thì mệt lắm đấy. Ít ai sử dụng tiếng Pháp một cách rõ ràng, mạch lạc, chính xác và chặt chẽ như ông trong tác phẩm này. Nhưng đọc sách của ông thì mê tới. Trong quyển sách này, những trang 184-188 duyệt sơ qua những lạm dụng "nguyên lý bất định" của các triết gia, lý thuyết gia trong khoa học nhân văn, nhà lý luận văn học, nghệ sĩ và... chính khách (Valéry Giscard d'Estaing, cựu Tổng thống Pháp, cựu học sinh trường Polytechnique).

³ *Aux contraires*, J-M Lévy Leblond, Gallimard, trang 130. Những nhà vật lý đời nay thích gọi nó bằng "*nguyên lý bất biến (không-thời-gian)*", "*principe d'invariance (spatio-temporel)*"! Thế thì còn "tương đối" nổi gì?

⁴ Nói một cách khôi khôi, không chính xác theo chuẩn khoa học.

Hiện nay, chỉ trong khoa học người ta mới *biết tranh luận* với nhau cho tới lúc (tạm thời) ngã ngũ: có hai hằng lượng "đúng" là hằng lượng của Planck và tốc độ của ánh sáng. Chấm... chưa hết! Nhưng tạm thời dùng được cho vô số việc bổ ích trong khoa học và đời thường. Ngã ngũ rồi, người "thắng" người "thua" đều hả dạ, quý trọng nhau: họ đã *được cho không* nhau những điều đáng cho, đáng nhận.

Than ôi, ở đời dường như chẳng có hằng lượng nào giúp người ta *được cho không* nhau chút tình, giúp người ta *biết yêu* nhau. Thôi thì tạm dùng một "hằng lượng" đặc thù, cũ kỹ, mơ hồ, kì dị, làm điểm tựa chung cho tất cả các nền văn minh, bất kể chúng khác nhau thế nào trong không gian và qua thời gian: tình người. Không có nó, chẳng thể có bất cứ nền văn minh nào. "Hằng lượng" đó tự nó bất biến, tuyệt đối không thua gì hằng lượng của Planck hay tốc độ của ánh sáng: nó *không* thuộc loại quan hệ về lượng, không đo đếm được với bất cứ đơn vị đo lường nào của vật lý kinh điển cũng như vật lý lượng tử và tương đối. Bạn mà lỡ được em yêu "tương đối" yêu, dĩ nhiên nhiều hơn một *quantum*, bạn hiểu liền, chẳng cần đến phương trình toán cao siêu nào cả. Bạn mà đột ngột bị em yêu "tuyệt đối" yêu, vì một *quantum* gì đó mà chính bạn cũng không ngờ tới, bạn cũng hiểu liền, sướng mê tơi, chẳng thèm biết tới gì khác.

Những nhà khoa học vật lý¹ cẩn trọng như thế đối với ngôn ngữ thường ngày của chính họ. Vậy, chúng ta, những người sống *nhờ* chữ nghĩa² hay/và *vì* chữ nghĩa³, chúng ta nên ứng xử thế nào với chữ nghĩa của chính chúng ta? Nhất là khi chúng ta thò bút viết những cụm từ như "Sự thật", "Khoa học", "Sự thật khoa học", "Sự thật khách quan", "Quy luật", "Tương đối", "Tuyệt đối", "Liên tục", "Gián đoạn", "Bất định", *et tutti quanti*,

¹ Một lĩnh vực "nhỏ" thôi của con người trong kiếp nhân sinh, tuy nó đã chi phối hằng ngày toàn bộ cuộc sống của chính ta, cũng như điện nước và cơ giới cách đây không lâu. Quen dùng rồi thì chẳng còn thấy ghê gớm nữa. Không có nghĩa là những nhà lãnh đạo các quốc gia, nhất là còn đang chậm tiến, có quyền coi thường chuyện phát huy kiến thức khoa học và trí tuệ nói chung của dân chúng để, dựa vào nó, phát triển nhanh và lâu bền mọi lĩnh vực khác của đời sống xã hội. Trong lĩnh vực này, chậm một ly, tụt hậu nghìn dặm. May thay, trong lĩnh vực này, có thể "đốt giai đoạn" được. Cứ coi Nam Hàn thì thấy. Lévy-Leblond cũng có lý: để tiếp thu và sử dụng kiến thức khoa học, chỉ cần học và tin thôi, không cần phải suy nghĩ hung cho lắm; để phát minh khoa học thì... không đơn giản như thế!

² Trí thức đủ ngành nghề và chính khách.

³ Nhà thơ, nhà văn, triết gia *et tutti quanti*.

và, tiểu lâm hơn: "*phải*"!¹

Có lẽ, chí ít, ta nên học hai thái độ này của các nhà khoa học.

1/ *Trong quan hệ của ta với vật giới*, ta nên tin kiến thức khoa học của họ hơn tin ý chí của chính mình. Đào non và lấp biển (thứ thiệt) mà chỉ có quyết chí thôi, chẳng bao giờ làm nên cả. Nhưng có chút khoa học và có đủ phương tiện kỹ thuật thì làm được. Có thêm tí tiền nữa, càng đỡ mệt - nếu biết tiêu cho đáng, nhưng điều ấy đòi hỏi kiến thức khoa học! Tuy vậy, trước khi làm, nên tham khảo ý kiến của những nhà khoa học trong lĩnh vực môi trường. Vật chất là một và liên tục qua sự gián đoạn mà!

2/ *Trong tất cả quan hệ khác* của ta với người đời, *nên biết sợ*, biết khắc khoải trước khi khẳng định bất cứ điều gì, quyền gì. Cơn hạ hê đặc chí kéo dài hôm nay (liên tục) có thể đột ngột (gián đoạn) biến thành cơn giãy giụa nhục nhằn của ngày mai. Triết lý duy vật biện chứng kinh điển gọi món này là: lượng biến thành chất. Lượng đó đã lớn hơn h của Planck thì điều ấy khả thi. Than ôi, trong thế giới trung mô, mọi hành động của ta, kể cả đọc diễn văn hay viết bài này thôi, đều huy động một lượng năng lượng lớn hơn h .

Dù sao, sợ đến mấy, cũng phải hành động. Không làm gì cũng là hành động rồi mà, người đời đâu tha cho ta điều ấy! "*Trong khi con tôi giãy chết, van lơn cầu cứu, anh chị nữ lòng ngoảnh mặt đi à?*" Vậy, cứ hành động một cách có ý thức, nhất là ý thức khoa học khi nó cần thiết, nhưng nên hành động một cách thận trọng, nhất là khi... viết văn, trong bất cứ lĩnh vực nào, dưới bất cứ thể loại nào.

Đã hành động vào thế giới chung của loài người, ắt phải quan hệ với người khác.

Đối với nhà khoa học *chân chính*, ta nên quý trọng kiến thức và yêu mến *sự trung thực của họ đối với ta và người đời*. Họ sẽ không *lừa* ai, *nói dóc* với ai về quan hệ giữa vật thể với vật thể, giữa người với vật giới. *Sự thật khoa học nghĩa là thế... thôi*. Nó vô cùng quý báu vì đã có biết bao nhà khoa học đích thực, thậm chí đã được giải Nobel, đã từng *lừa* người đời, *nói dóc* với người đời vì đủ thứ lý do. Chưa kể những người rất thật thà khẳng định đủ thứ chuyện không tùy thuộc kiến thức khoa học hiện có của họ ngay trong lĩnh vực kiến thức của họ. Trong trường hợp ấy, đừng vội bốc đồng. Tinh thần khoa học cũng là vậy.

¹ Ôi, chỉ trong bài này thôi, tôi đã dùng từ "phải" 31 lần! Bốn lần đáng nghi ngờ nhất lại thể hiện niềm tin của chính tôi. Chán thật...

Đối với nhà thơ, nhà văn, nhà lý luận văn học, triết gia, *et tutti quanti*, thì... ngược lại! Yêu thơ văn, suy luận của họ vì nó đáp ứng nhu cầu làm người hiện nay của ta, cứ thoải mái... yêu. Và nên yêu... hết mình! Khi tự mình thấy... đáng yêu. Chẳng chết đâu và, bình thường, chẳng hại ai cả. Có khi còn thích thú nữa. Nhưng đừng chờ đợi ở họ bất cứ sự thật khoa học nào cả. Do đó, yêu thì cứ yêu, nhưng đừng vội tin, nhất là khi phải hành động.

Đối với đa số chính khách đời nay, chẳng nên tin, yêu điều gì cả ngoài điều này: chính sách anh đang chủ trương *và* hành động thiết thực của anh để thực hiện nó phù hợp với nhân cách của tôi, đồng bào tôi, người đời lương thiện hay không? Thế thôi. Nếu phù hợp, tôi sẽ cùng anh hết mình đấu tranh cho nó. Nếu không, *you profit, I don't work for*¹.

Xin chấm dứt bài này bằng câu chuyện dụ dằng êm ả zui zui. Hiện tượng này hình như phổ biến: vợ chồng thích cãi nhau kịch liệt trong lúc... lái xe. Một người lái, một người "chỉ đạo". Sao lái nhanh thế, chậm thế? Sao lại rẽ mà không đi thẳng? Không thấy bảng chỉ đường ấy à? Rẽ vào đây, đây này, đây này... Dĩ nhiên, người lái xe liền rẽ vào đường... khác. Nó mà nhìn ngón tay chỉ đường của người chỉ đạo, nó có thể gây tai nạn giao thông ngay, bỏ mạng hay giết người liền! Hai người không chỉ có hệ quy chiếu "tương đương". Ngồi cạnh nhau và di chuyển trong không gian với cùng tốc độ mà người ta cảm nhận không gian và thời gian khác nhau đến thế! Vì sao? Vì hành động trong nhân giới, tuy phải có kích thước vật chất mới có thực, rất khác quan hệ giữa sự vật với sự vật trong khoa học vật lý. Vậy, trong khi chưa có kiến thức hoặc thời giờ để quy tất cả về một hệ quy chiếu tuyệt đối, ta nên chấp nhận rằng, khi hành động, mỗi người là một hệ quy chiếu cá biệt, không thể phủ nhận được và, bình thường, cũng đáng tin, có lúc còn đáng yêu nữa, cứ để nó lái xe như nó thấy phải lái, miễn sao đừng đâm chết ai hay/và giết chính mình là được được rồi.

Trong hành động thường ngày, ta nên tập nhìn đời theo hệ quy chiếu của người khác. Sự gián đoạn ấy với chính mình cần thiết cho sự liên tục sống ôn hòa với nhau trong kiếp nhân sinh. Biết đâu ta sẽ nói chuyện được với nhau "tối cùng" và "hiểu nhau"... hơn, một tí? Biết tạm quên mình một tí (nhưng đừng bao giờ quên luôn nhe, kinh hoàng lắm đấy), biết nhìn đời một khắc trong hoàn cảnh và theo thể nhìn của tha nhân, là một nền tảng

¹ *You come, you profit, we all prosper* By Hu Xiao (China Daily) Updated: 2005-05-17 06:52
http://www.chinadaily.com.cn/english/doc/2005-05/17/content_442834.htm

cơ bản của tình người, của văn hóa. Đó là niềm tin tuyệt đối ngớ ngẩn, dại dột của tôi.

Trong kiếp nhân sinh, mỗi người là một hệ quy chiếu đặc thù, "biệt lập". Ngoài... ngôn ngữ vốn là chất người chung nhưng vẫn có âm hưởng, thậm chí ý nghĩa dị biệt trong từng người! Vì dù chúng ta nên người trong "cùng hoàn cảnh", chẳng ai nên người y hệt ai cả, nhất là ở thời loạn ly, chinh chiến, di cư, di tản, di dân, ở thời khủng hoảng xã hội, niềm tin, văn hóa. Thế mà ta vẫn có thể "hiểu nhau", tin nhau. Chí ít, lâu lâu, cũng có thể yêu nhau tí ti. Giải thích điều này thế nào đây? Có thể sẽ không bao giờ giải thích được một cách khoa học. Nhưng vẫn có thể nói cho nhau... nghe được được. Tôi tin vậy nhưng không chứng minh được. Dù sao tôi đã biết: đam mê quá đà, dễ bị lợi dụng; *quá* ham "có lý", có thể đánh mất tình người ở mình như chơi; hiểu nhau, dù chỉ một tí, dù chỉ một khắc, dù tương đối thôi, mãi mãi là khát vọng của *con của người*.

Thôi thì đành triết lý và... hành-văn!

2008-08-31

PHD

ĐẠO LÝ VÀ TRÁCH NHIỆM XÃ HỘI: KHOA HỌC-KỸ THUẬT NHÌN TỪ MỘT GÓC ĐỘ NHÂN VĂN

Abstract: Safeguarding the right to think freely and the scientific truths belong certainly to ethical attributes of scientist. Being against any form of destruction of mankind, either at the present time or for future generations, either directly through nuclear bombs or indirectly through destroying the natural environment, and behave positively so as to preserve human dignity in a large sense, are the prominent traits of a basic ethics of Science and Technology viewed from a human standpoint.

Tóm lược: Giữ quyền tư duy và tôn trọng sự thật, trước tiên đối với bản thân và sau là xã hội, chắc hẳn là một thuộc tính đạo lý (ethical attribute) của những nhà khoa học. Đối với xã hội, chống lại mọi hủy diệt con người, ngày hôm nay hay trong mai sau, trực tiếp bằng bom N, bom H hay gián tiếp bằng phá hoại môi sinh, và làm sao không xâm phạm nhân phẩm, theo thiên ý, là những nét nổi cộm của một nền đạo lý cơ bản của khoa học-kỹ thuật nhìn từ một góc độ nhân văn.

1 - Nhận lời đề nghị đóng góp như một *nhà văn* vào Kỷ yếu Max Planck nhân 150 năm ngày sinh của nhà khoa học lừng lẫy này¹, câu hỏi đầu tôi tự

* Tên thật của tác giả là Nguyễn Mạnh Hùng, Giáo sư Kinh tế học, Đại học Laval, Quebec, Canada.

¹ Max Plank Society (MPS) là tên cho một tập hợp “hoành tráng” hơn 80 Viện nghiên cứu ở Đức, gồm 12.000 thành viên, 9.000 nghiên cứu sinh cấp tiến sĩ, hậu tiến sĩ, và những cộng tác viên khoa học khắp thế giới. MPS đặt trọng tâm trên 3 ngành: Sinh học và Y khoa, Vật lý, Hóa học và Kỹ thuật, Khoa học nhân văn. Mỗi năm, MPS công bố 12.000 báo cáo khoa học, sách, tài liệu hội thảo... sau kiểm duyệt chất lượng khoa học (peer review). Để có một ý niệm về hoạt động của MPS, xin tham khảo <http://www.mpg.de/english/aboutTheSociety/index.html>. Trong bài này, tôi chủ ý dùng

đặt cho mình là khoa học và văn chương có tương quan nào không, và có thì tương quan đó như thế nào. Trả lời, dĩ nhiên tương quan thì có, vì hai phạm trù đó đều xuất phát từ trí tuệ con người và đều là sản phẩm của văn hóa, tức trải qua một quá trình con người đã sống thành xã hội và cùng kinh qua những lớp trầm tích của dòng lịch sử. Nhưng khó hơn, tương quan đó như thế nào? Tri thức khoa học dựa trên phương pháp nghiêm túc, “nói có sách mách có chứng”, rõ là đóng góp cụ thể rất nhiều vào đời sống tinh thần và vật chất của cả nhân loại chứ chẳng “bay bổng” như văn chương để “mua vui cũng được một vài trống canh”. Mua vui, nếu hiểu văn chương chỉ là thế, thì tương quan nói trên đâm ra dễ liệt kê. Đầu tiên, từ văn chương giả tưởng, phương Đông có *Tây Du ký* từ lâu, vòng Kim Cô đặt trên đầu Tôn Hành Giả có phép rút lông thổi để thành trăm Tôn Hành Giả khác “nguyên bản”. Phương Tây, trào lưu khoa học giả tưởng đã xuất bản hàng chục ngàn tác phẩm từ thời Jules Verne, cứ nhìn kệ sách những nhà sách lớn để lác đác kinh hoàng. Còn cần “bác học” và “kinh điển” hơn, thôi thì kể trào lưu văn chương Hậu hiện đại made in U.S.A thập niên 60-70, với nào là hỗn mang (chaos), bất định (indeterminism), hệ động phi tuyến (non-linear dynamics) phức hợp đến độ cái cánh bướm đập nhẹ ở Bắc Kinh mà gây lên cuồng phong bóc lột mảng duyên hải vùng Florida¹, và rồi biến thái ngoặt (bifurcation), tính bất liên tục các quy trình động... Tóm lại, chuyện vừa kể là chuyện văn chương “cầm nhảm” những khái niệm vật lý và toán học nửa thế kỷ trước, đúng kể ra chỉ “mua vui” thôi cũng là phải đạo, dẫu thế có thể gây dị ứng với những nhà văn duy hình thức đến mức bất chấp nội dung! Và nhắc, thật ra cứ đọc từ Cervantes, Goethe, qua Diderot, rồi Proust, Kafka... chúng ta sẽ tìm thấy dấu vết “vật lý” cách tiếp cận thời gian và không gian, chẳng phải đợi đến các nhà văn hậu bán thế kỷ XX lập thuyết.

Trong khi cân nhắc chuyện mua vui, không biết thế nào mà tôi hỏi tưởng một ông bác già. Ngày tôi còn ở độ thiếu thời, cứ mỗi lần bác tôi đuổi lý với đám con cháu, ông lại thì thào bằng tiếng Pháp một câu của Rabelais, rằng “... science sans conscience n'est que ruine de l'âme”. Chúng tôi quay

nguồn tài liệu trên mạng, đặc biệt nguồn wikipedia, để các bạn trẻ trong nước dễ dàng tìm kiếm như những tài liệu sơ yếu.

¹ Ý lấy theo “hiệu ứng cánh bướm” trong khí tượng học, cụm từ chỉ ra một sự thay đổi vô cùng nhỏ những điều kiện ban đầu của một hệ thống động có khả năng, ở dài hạn, gây ra những biến động vô cùng lớn (xuất phát từ H. Poincaré trong bài toán chuyển động của hệ ba vật thể (problème des 3 corps) từ cuối thế kỷ 19), thậm chí cả khả năng gây hiện tượng hỗn loạn (chaos). Tham khảo http://en.wikipedia.org/wiki/Butterfly_effect

đi dấu những nụ cười chiến thắng, hiểu ông nhắc “khoa học vô lương tâm chỉ là sự đổ nát của tâm hồn” chỉ có ý trách chúng tôi thiếu “lẽ nghĩa” dăm lý luận với các bậc trưởng thượng mà thôi. Lớn lên, có thêm dăm ba kiến thức cứ gọi tạm là khoa học, câu nói vẫn ám ảnh tôi. Khoa học tập hợp những kiến thức khách quan, kiểm nghiệm được, không đèo bồng gánh nặng ý thức hệ, chủ nghĩa, tôn giáo... thì...vô lương tâm là gì mà dẫn đến đổ nát của tâm hồn? Lương tâm và tâm hồn chắc không phải là thuộc tính của khoa học. Phải chăng đó chỉ có thể là của người sử dụng khoa học qua hình thái kỹ thuật? Như thế thôi, hẳn những nhà khoa học - tức những người nghiên cứu tìm tòi kiến thức khách quan nói trên - đều vô can? Họ không có khả năng dự tưởng được, hoặc chẳng quan tâm đến, những áp dụng kỹ thuật? Và giả thử họ quan tâm, thì họ làm sao can thiệp được vào sự sử dụng kiến thức mà không gây ra những đổ nát của tâm hồn?

2 - Từ chủ tâm mua vui, tôi lần thần tự đặt cho mình một số câu tôi vừa hỏi, và oan gia ơi hỡi oan gia, chúng đều là những câu hỏi chẳng thể mang lại chút vui nào. Sinh ra, tôi vừa cất tiếng khóc chào đời đã phải tản cư, chạy loạn, rồi diệt Phát xít, phát cờ cách mạng mùa Thu, sau đến đuổi thực dân, đánh đế quốc, và cuối cùng là chống bành trướng. Tức là, xa hay gần, ít hoặc nhiều, tôi chỉ có thể là một thứ phó phẩm của chiến tranh, bắt đầu với hai quả bom nguyên tử *fat man* và *little boy* nổ trên đầu những con người sống ở Hiroshima và Nagasaki. Robert Oppenheimer, Giám đốc Dự án Manhattan¹ trong Chiến tranh Thế giới thứ II, phát triển các loại vũ khí hạt nhân đầu tiên tại phòng thí nghiệm bí mật Los Alamos. Được biết đến như là "cha đẻ của bom hạt nhân", lần đầu khi thử cho nổ ở Alamogordo, Oppenheimer nhắc kinh Bhagavad Gita: “Vòng sáng một ngàn thái dương nổ bùng trong trời, như ánh rực rỡ của một cái gì thật bé nhỏ. Bây giờ, Ta là sự Chết, là sự vỡ vụn của cả thế giới.”. Trước khi thả bom ở Hiroshima và Nagasaki, Oppenheimer nhiều lần đến gặp Truman, Tổng thống Mỹ, và tỏ ra do dự đến độ Truman phải bảo tùy viên: “Lần sau thôi không cho hắn gặp, hắn cứ cuống quýt bàn ra nói vào. Bảo với hắn là hắn làm bom, nhưng người quyết định thả bom là ta!”. Oppenheimer ân hận khi thấy sức giết người khủng khiếp của hai quả bom, sau chống cuộc chạy đua vũ khí hạt nhân với Liên Xô thời chiến tranh lạnh. Còn Albert Einstein, ông than rằng sợ Đức Quốc Xã có thể làm ra bom nguyên tử trước phe Đồng Minh nên đã mắc sai phạm ký tên vào thư gửi Roosevelt, tổng thống tiền nhiệm vào cuối

¹ http://vi.wikipedia.org/wiki/Robert_Oppenheimer.

những năm 30, ủng hộ việc nghiên cứu vũ khí hạt nhân. Sau, một nhà báo hỏi: “ông đoán khi nào thì sẽ có Thế chiến lần thứ ba?”, Einstein đáp, với tính hài hước rất đen nhưng cực kỳ trí tuệ: “tôi không rõ, nhưng điều tôi biết là sẽ không bao giờ có Thế chiến lần thứ tư!”. Ngày 9 tháng 7 năm 1955, Einstein và Bertrand Russell ra một tuyên ngôn¹ tập hợp chữ ký 12 người trong đó có 11 nhà khoa học đã từng được vinh thưởng giải Nobel. Gửi đến Hạ viện Quốc hội Mỹ, bản tuyên ngôn² kết thúc bằng một quyết nghị tạm dịch như sau:

“Đa phần chúng ta cảm nhận đều không đứng trung lập, nhưng, như những con người, chúng ta phải nhớ rằng nếu tranh chấp giữa bên Đông (*ý nói khối Xô viết*) và bên Tây (*ý nói khối Tây phương*) không thể giải quyết một cách nào đó mang lại thỏa nguyện cho tất cả, Cộng sản hay không-Cộng sản, người châu Á, châu Âu hay châu Mỹ, thì sự tranh chấp đó không được giải quyết bằng chiến tranh. Chúng tôi mong muốn điều này được thông báo, ở cả Đông lẫn Tây. Trước mặt chúng ta, nếu chúng ta chọn đúng, là tiến trình tới hạnh phúc, tri thức và sự minh triết. Lẽ nào, thay vì thế, bởi không thể quên được những tranh chấp, chúng ta lại chọn sự chết? Chúng tôi, như những con người kêu gọi con người: Hãy nhớ lấy nhân loại, và quên những điều khác còn lại. Nếu làm được vậy, con đường mở ra đến Thiên Đàng; nếu không, trước mặt chúng ta là đại họa của cái Chết toàn

¹ <http://www.pugwash.org/about/manifesto.htm>

² Most of us are not neutral in feeling, but, as human beings, we have to remember that, if the issues between East and West are to be decided in any manner that can give any possible satisfaction to anybody, whether Communist or anti-Communist, whether Asian or European or American, whether White or Black, then these issues must not be decided by war. We should wish this to be understood, both in the East and in the West. There lies before us, if we choose, continual progress in happiness, knowledge, and wisdom. Shall we, instead, choose death, because we cannot forget our quarrels? We appeal as human beings to human beings: Remember your humanity, and forget the rest. If you can do so, the way lies open to a new Paradise; if you cannot, there lies before you the risk of universal death.

Resolution:

We invite this Congress, and through it the scientists of the world and the general public, to subscribe to the following resolution:

"In view of the fact that in any future world war nuclear weapons will certainly be employed, and that such weapons threaten the continued existence of mankind, we urge the governments of the world to realize, and to acknowledge publicly, that their purpose cannot be furthered by a world war, and we urge them, consequently, to find peaceful means for the settlement of all matters of dispute between them."

diện:

Quyết nghị:

Chúng tôi khẩn cầu Hạ viện, và qua đó những nhà khoa học trên toàn thế giới cũng như toàn thể công chúng, tán thành quyết nghị sau: Tin rằng chiến tranh thế giới trong tương lai tất vũ khí hạt nhân chắc chắn sẽ được sử dụng, và vì loại vũ khí này đe dọa sự tồn tại của cả loài người, chúng tôi khẩn thiết yêu cầu mọi chính quyền trên thế giới ý thức và công bố trước dư luận rằng những khí giới này sẽ không được sử dụng trong chiến tranh, và sẽ tìm những phương cách hòa bình để giải quyết mọi tranh chấp khác biệt.”

Tuyên ngôn vừa trích dẫn chứng tỏ *những nhà khoa học không thể coi mình vô can trong những áp dụng kỹ thuật mà cơ sở là tri thức khoa học. Họ đều có khả năng dự tưởng những áp dụng đó*, ít là trong khả năng làm bom H, và họ đã can dự vào tiến trình lịch sử đưa đến kết thúc Thế chiến II. Sự đổ nát tâm hồn, chắc có, và có lẽ nó là một động lực tạo ra tuyên ngôn Einstein-Russell. *Nhưng phải nói, điều họ làm được chỉ là cảnh báo dư luận công chúng. Thế thôi. Còn lại, mọi quyết định cụ thể đều do những nhà chính trị khu xử thông qua những cơ chế quyền lực. Nhớ lại câu nói xanh rờn của Truman, “ người quyết định thả bom là ta!”*. Nhưng thói thường là vậy. Nhà chính trị nào mà chẳng khéo léo lấy phiếu giữ quyền lực mà bằng đủ thứ ngôn từ tẩm đường như nào là dân chủ, nào là tự do. Nhưng họ ít khi nhạy cảm với thân phận những con người bằng xương bằng thịt, nhất là những con người nạn nhân tít tắp cách họ cả một đại dương.

3 - Nói đến Thế chiến, có lẽ trong Kỷ Yếu này ta nên nhắc đến một vai trò khá đặc biệt của Max Planck. Khi Đức quốc xã lên nắm quyền năm 1933, Planck đã 74 tuổi, quản nhiệm viện Kaiser Wilhelm-Gesellschaft (KWG) là tiền thân của Max Planck Society sau này. Chứng nhân những kỳ thị chủng tộc đi đến bãi nhiệm những đồng nghiệp gốc Do Thái, Planck kêu gọi mọi người kiên trì tiếp tục làm việc, ở lại nước Đức chứ đừng bỏ đi, hy vọng tình thế chính trị sẽ tốt đẹp sáng sủa hơn. Planck bất đồng ý, nhưng không công khai chính thức chống cách thức cư xử kỳ thị của Nazi, ngoại trừ một trường hợp đơn lẻ là nhà Hóa học F. Haber mà Planck đề đạt thẳng với Hitler nhưng không kết quả. Planck tổ chức một buổi lễ vinh danh Haber khi ông này chết ở ngoại quốc trên đường lưu vong năm 1934, bí mật thu dụng những đồng nghiệp gốc Do Thái tiếp tục công việc ở KWG, và năm 1936 bị áp lực không cho ứng cử chức chủ tịch KWG nhiệm kỳ sau. Chính

quyền Đức quốc xã điều tra gốc gác Planck, và chỉ tìm ra ông là người có 1/16 máu Do Thái. Năm 1938, Viện Hàn lâm Phổ bị khống chế, Planck phản đối bằng cách từ chức danh vị chủ tịch. Planck tiếp tục cho xê-mi-ne, đặc biệt về tương quan giữa Khoa học và Tôn giáo. Lạc quan, và khá "quốc gia chủ nghĩa", Planck sống chết với đất nước ông, viết: "Trong tôi, một ước muốn sôi bỏng là kiên trì trải nghiệm cuộc khủng hoảng này và sống đủ thọ để có thể thấy một bước ngoặt, bước đầu của một tiến trình thăng tiến mới".¹

Planck bị thế quyền o ép ne nẹt, nhưng chưa bao giờ tính mạng bị đe dọa. Và không bị thần quyền ở Roma chất củi thiêu sống như Giordano Bruno 608 năm trước, trước khi lửa bén vào thân vẫn ngang tàng nói: " khi tuyên án giết ta bay chắc sợ hơn là ta nghe bản án các ngươi!". Bruno sinh năm 1548, tu dòng Đa Minh, thành linh mục nhưng sau đó bị rút phép thông công ba lần với ba Nhà Thờ khác dòng (Calvinist, Lutheran, Catholic), tù 8 năm trước khi bị hành hình, thời dị giáo mang "tội" cho rằng thể giới là thể giới vật chất trong một vũ trụ vô tận, chấp nhận hệ lý Copernic, đi ngược lại luận thuyết của thần quyền thời Trung Cổ khẳng định Trái đất là trung tâm vũ trụ. Bruno lang thang đó đây suốt đời, từ Ý sang Pháp, Anh... rồi cuối cùng quay lại và bị bắt ở Ý. Trong một chừng mực nào đó, Bruno, đầy cá tính của một người dám chết để bảo vệ tư duy độc lập và tự do, mở đường cho Galileo Galilei ², trẻ hơn 20 tuổi, kẻ đặt nền móng thực nghiệm cho khoa Vật lý Thiên văn. Không bị thiêu sống nhưng chẳng thiếu phần vất vả, Galilei ³ sinh ở Pise năm 1564, học và sau dạy tại Đại học Padoue (1592-1610) những môn như Cơ học, Toán, Thiên văn. Là một nhà phát minh xuất chúng (thước tính, com-pa, nhiệt kế...), cái nghiệp của ông dính với kính Viễn vọng ông sáng chế ra, phóng đại được 20 lần, cho phép quan sát mặt trăng. Ít lâu sau, ông khám phá ra giải Ngân hà, tìm thấy 3 ngôi sao quanh Jupiter, rồi sau thành 4, cho phép suy rằng hệ Jupiter với vệ tinh bay quanh có thể là mô hình cho Thái Dương hệ, đi ngược lại luận thuyết của Aristotle, cho rằng những tinh tú xoay quanh Trái đất. Dựa trên quan sát mắt thấy được, thần quyền xưa nay rêu rao nhờ ơn Thiên

¹ Theo <http://en.wikipedia.org/wiki/Planck>, " In 1942 he (M Planck) wrote: "In me an ardent desire has grown to persevere this crisis and live long enough to be able to witness the turning point, the beginning of a new rise."

² Jean-Marc Levy-Leblond, " La flamme de Bruno", L'Alliage, no 40, <http://www.tribunes.com/tribune/alliage/>.

³ http://en.wikipedia.org/wiki/Galileo_Galilei

Chúa “ biết hết, hiểu hết ” thật khó phản biện. Năm 1613, Galilei khẳng định là trong phạm trù Vật lý, Thánh Thư (Ecritures Saintes) không có thẩm quyền phán đoán đúng sai, Chế độ kiểm duyệt bắt đầu, Tòa dị giáo năm 1616 cáo buộc lý thuyết Copernic là tà giáo, nếu giảng dạy thì chỉ được nêu lên như một giả thiết. Galilei tiếp tục bị những người tin vào thuyết Trái đất là tâm điểm của Aristotle tấn công, nhưng cho đến năm 1632, khi ông xuất bản cuốn “ Đối thoại trên hai hệ thống thế giới ” thì lại tạo xì-căng-đan. Giáo tòa kết ông tội tuyên truyền cho hệ Copernic, án tù chung thân nhưng may Giáo hoàng Urbain VIII giảm xuống chỉ bắt quản thúc tại gia, nhưng tác phẩm thì bị cấm lưu hành. Galilei sau mù, mất năm 1642, thọ 78 tuổi. Cuốn sách bị cấm sau ảnh hưởng đến phương pháp luận khoa học một cách quan trọng. Có thể nói Galilei là người đặt nền móng cho công cuộc khai sáng vào thế kỷ 18, chẳng những chỉ trên phương pháp khoa học mà còn cả trên Triết học, với tư duy duy lý của Descartes, phương pháp thực nghiệm của Bacon... Giáo hoàng Benoit XIV cho phép in toàn bộ tác phẩm của Galilei năm 1741. Và thuyết Nhật tâm - Trái đất quay quanh Mặt trời - theo Copernic được chính thức phổ biến năm 1757.

Thần quyền ở Âu Châu trung cổ, và thế quyền với cung cách toàn trị ở mọi nơi cho đến sau này, đều tìm cách chi phối tư duy tự do, nhất là bất cứ gì có thể phương hại đến những quan điểm chính thống luôn được mang ra quy chiếu. Từ Bruno qua Galilei đến Descartes với khẳng định “ Tư duy, tức là tôi tồn tại ” (Cogito, ergo sum), không điều gì được xem là chân lý cho đến khi nền tảng để tin rằng nó đúng được thiết lập. Để tư duy tự do, những nhà tư tưởng kiệt xuất vừa kể đều phải trả giá, người trên giàn thiêu, người trong tù ngục, nhưng không có họ, chắc chắn nền khoa học chúng ta đang thụ hưởng thành quả hẳn chậm lại vài chục cho đến cả trăm năm. Đối đầu với quyền lực thường lạm danh *chúng ta*, cả Bruno lẫn Galilei giữ quyền tư duy bởi họ tin vào cái *tôi* chẳng chỉ của họ mà của toàn nhân loại. Và chỉ sự thật có cơ sở lý thuyết cũng như thực nghiệm mới thực sự kết hợp những cái *tôi* thành *chúng tôi* trong đồng thuận, không phải là cái *chúng ta* ồn ào hung hăng. Thời Planck, cái ồn ào hung hăng đó tung hô tính thuần chủng *aryan*, cơ sở để Nazi gây thế chiến và tìm cách diệt chủng Do Thái. Ở vị thế của mình, Planck không chấp nhận có một nền khoa học dựa vào thuộc tính chủng tộc bất kể là *aryan* hay gì khác, từ chức Chủ tịch Viện Hàn lâm để phản đối sự can thiệp thô bạo có tính giáo điều của thế quyền vào hoạt động tri thức vốn cần độc lập và tự do. May mà ông đã luống tuổi, và chỉ có

1/16 máu Do Thái. Nếu không, chẳng biết chừng ông đã được an bài trong lò thiêu ở Auschwitz bên Ba Lan! *Giữ quyền tư duy và tôn trọng sự thật, trước tiên đối với bản thân và sau là xã hội, chắc hẳn là một thuộc tính đạo lý (ethical attribute) của những nhà khoa học.*

4 - Sự thật khoa học không phải không gây tranh cãi. Trong văn hóa Đông Á, ta có câu “ cách vật trí tri”. Ngoại giới vật thể (xin tạm gọi vật giới, là tự nhiên, hay thiên nhiên, tùy ngữ cảnh) là khách thể, và nhà khoa học, chủ thể, quan sát nó hầu tìm ra bản thể và những quy luật vận hành. Tương quan chủ thể và vật giới là nội hàm một cuộc đối thoại ¹ kỳ thú giữa hai nhân vật lẫy lừng cùng đoạt vinh dự Nobel trong hai lĩnh vực, một bên là Tagore (T) người văn hóa Nam Á, bên kia Einstein (E), thành phẩm ưu việt của văn hóa Tây phương. Einstein cho rằng tri thức khoa học không tùy thuộc vào người quan sát, phản bác luận điểm mũi tên thời gian là không đảo ngược được, không chấp nhận nguyên tắc bất định (vì Thượng đế không đổ xí ngẫu). Tagore khác. Xin lược dịch (tức khá thô thiển) một số trao đổi giữa họ với nhau:

T: ... Khoa học quan tâm đến những gì không liên quan với những cá nhân, làm nên thế giới vô nhân tính của Sự thật. Tôn giáo hiển lộ những Sự thật đó và kết buộc chúng vào những nhu cầu sâu thẳm của chúng ta. Ý thức về Sự thật từ đó mang ý nghĩa phổ quát. Tôn giáo đặt Giá trị vào Sự thật, và chúng ta biết Sự thật là cái Thiện qua sự hòa đồng của chúng ta với nó.

E: Như vậy Sự thật, hay Cái Đẹp, không độc lập với con người?

(...) Nếu không có con người, tháp Apollo không còn đẹp nữa?

T: Không!

E: Với cái Đẹp, tôi đồng ý, nhưng không đối với Sự thật.

T: Tại sao không? Sự thật cũng thông qua con người.

E: Tôi không thể chứng minh quan niệm của tôi, nhưng đó là “tôn giáo” cho tôi.

T: Cái Đẹp là lý tưởng của sự Hòa đồng toàn hảo trong bản thể vũ trụ vạn năng, Sự thật là tri thức toàn hảo của Trí tuệ trong vũ trụ đó (...). Sự thật, là Một với bản thể Vũ trụ, phải mang nhân tính. Sự thật được trình bày như Khoa học qua quá trình logic - tức qua một bộ phận trí năng - tức cũng từ con người. Trong Triết học Ấn, Brahman là Sự thật Tuyệt đối, không thể

¹ http://www.mukto-mona.com/Articles/einstein_tagore.htm.

quan niệm được với những trí tuệ cá nhân cá biệt qua ngôn từ mà chỉ có khả năng hiển hình qua sự hòa đồng cá nhân vào cái vô cùng. Sự thật đó không thuộc Khoa học. Bản thể cái Sự thật chúng ta đang tranh luận chỉ là Sự thật bề ngoài, cái có vẻ thật đối với trí tuệ con người, tức mang nhân tính, và cũng có thể chỉ là *maya*, hay ảo tưởng. (...)

Hiển nhiên, khác biệt vừa nêu ra giữa hai bộ óc kỳ vĩ của nhân loại là những khác biệt văn hóa trong phạm trù *tâm linh* của con người đối mặt với vật giới.

Tôi không còn nhớ xuất xứ, nhưng tin chắc có một mẫu đối thoại, đại ý khi trả lời câu hỏi về khác biệt căn bản giữa Đông và Tây phương, Einstein nói: "Tây phương chúng tôi *chinh phục thiên nhiên*" thì Tagore thốt "Quả thật là một ý nghĩ quá kỳ quái!". Ba mươi năm sau tôi mới nghĩ ra, Einstein cứ làm như con người - bạn, tôi, và chúng ta - không phải là một bộ phận của thiên nhiên, ở ngoài, và là kẻ đi chinh phục. Mặc dù, nói như Planck, trong cuộc chinh phục bằng trí tuệ này, thiên nhiên luôn là điều bí ẩn, bởi con người, cũng là thành tố của thiên nhiên, chính là điều bí ẩn nhất. Nhưng cách nhìn đi chinh phục dẫn đến hành vi chinh phục, và nền Khoa học Âu-Mỹ, kế thừa Babylonne, rồi Khoa học Hy Lạp, Khoa học Ả Rập đã, qua Kỹ thuật, mang khoa học vào đời sống với những tiến bộ "vật thể" không thể phủ nhận được. Nhân loại chúng ta đã "nói dài" được bước chân, nay lên sao Hỏa, đi máy bay, ô tô, nước nghèo thì xe máy, xe đạp. Nhân loại chúng ta ở những nước tân tiến đã nâng tuổi thọ 30% hơn tuổi thọ cách đây chỉ vài chục năm, qua mạng internet liên lạc với nhau chỉ vài phút đầu cách một đại dương, còn hơn chuyện *Phong Thần* miền Đông Á... Trong khi đó, cách nhìn của văn hóa Nam Á - con người hòa đồng với thiên nhiên trong vũ trụ vạn năng - thì ai nấy vẫn đọc kinh cầu Brahman và tẩy rửa trên sông Hằng hằng năm, dập dềnh với những vòng hoa lênh bênh trên sóng nước, tuổi thọ tương đương với người Âu châu hai trăm năm trước, và xã hội thì vẫn 5,7 đẳng cấp với lớp *untouchable* là những kẻ không ai "thèm dây vào". Xin nói ngay, viết như trên không phải tôi báng bổ Nam Á và thừa nhận Âu-Mỹ đâu, chỉ có ý nêu rõ là từ ý đồ chinh phục, qua sử dụng uốn nắn vật giới, khoa học thành kỹ thuật, và kỹ thuật giúp con người vượt thắng những trở ngại và giới hạn vật chất.

Quả Âu-Mỹ đã thực hiện trong thế kỷ vừa qua những *tiến bộ kỹ thuật* thần kỳ. Nó nhanh hơn rất nhiều mức tiến hóa của văn hóa nói rộng, nghĩa là gộp cả những khoa học nhân văn như xã hội-kinh tế, chính trị, tâm lý, mỹ

học... con người có nhu cầu tìm và hiểu. Chính vì thế, *tiến bộ trong khả năng khai thác vật giới tạo ra một thế mất cân bằng với phần tâm linh hiện tồn trong thế giới con người, và phải chăng điều mà Rabelais gọi là sự đổ nát của tâm hồn là một trong những hệ quả của lương tri*. Trong “*Human Use of Human Being*”(1950)¹, cha đẻ của Cybernetics là Norbert Wiener luận về tiến bộ kỹ thuật, cho rằng mỗi tiến bộ đều tự tạo ra những giới hạn và vấn đề kỹ thuật mới, và cứ thế trong một vòng xoay không ngừng. Chẳng hạn, có thang máy mới làm World Trade Center cao hàng trăm tầng, đi chân lên xuống không nổi, và khi, với một xác suất nào đó, “mất” điện thì phải xoay xở thế nào, với phương tiện gì... Nhưng còn cái xác suất “khủng bố” Al Qaïda cách đây dăm năm đến từ sa mạc Trung Đông thì sao?. Đây không là một vấn đề kỹ thuật, mà là một vấn đề chính trị-xã hội giữa những con người với nhau, dẫu từ châu lục này sang châu lục khác. Vì thế, đánh giá tiến bộ kỹ thuật, khó có thể bỏ qua những yếu tố không chỉ kỹ thuật mà còn bao gồm cả những thuộc tính nhân văn. Khi thế giới “toàn cầu hóa” thành một cái làng, không chỉ hàng hóa luân lưu mà còn những giá trị phi vật thể. Một khi những ý niệm của con người về công chính bị trù dập, bạo lực - cách hành xử tuyệt vọng của nạn nhân - thành rào cản tiến bộ. Phần bản năng hủy diệt (theo Freud²) lên ngôi, nhân loại lại thêm một lần dẫn mình vào những ngõ cụt.

5 - Khoa học-kỹ thuật (có thể dùng để dịch chữ *technoscience* hiện nay thành thông dụng) không thể tách khỏi toàn thể môi trường xã hội -chính trị- kinh tế. Nó là một sản phẩm văn hóa và lịch sử. Tiến bộ ở thì hiện tại được xây dựng từ những thành tựu tri thức quá khứ, đến từ mọi nguồn, và vì thế nó mang thuộc tính nhân loại. Sử dụng nó, tương lai sẽ được xác định, nhưng chính những tiến bộ đó cũng tạo ra những vấn đề nan giải, lắm khi là những vấn nạn khổng lồ. Vấn nạn tôi xin đề cập tới là môi sinh trong thiên niên kỷ 21 này. Vào năm 1972, Câu lạc bộ Roma đã cho công bố một tường trình được họ bảo trợ. Dựa trên phương pháp mô phỏng do một nhóm khoa học gia ở MIT tiến hành, tường trình này giống tiếng chuông cảnh báo³ về sự sử dụng đại trà quá mức tài nguyên thiên nhiên và độ tăng

¹ <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/643306/Norbert-Wiener#>
hay http://en.wikipedia.org/wiki/Norbert_Wiener

² Why war? (trao đổi giữa Freud và Einstein năm 1933)
www.scu.edu/ethics/publications/submitted/jontepace/whywar.html

³ Meadows et.al, *The Limits to Growth*, 1972, NY Universe Books

trường dân số đáng kể trên thế giới sẽ không cho phép kinh tế toàn cầu tiếp tục phát triển ở mức độ trung bình kể từ đầu thế kỷ. Lượng sử dụng những tài nguyên không tái sinh (quặng mỏ, dầu lửa) trong 50 năm đầu thế kỷ 20 gấp gần năm trăm lần tổng số sử dụng trên toàn Trái đất từ xưa đến nay. Nhiều tài nguyên khả sinh như tài nguyên rừng, biển... có nguy cơ tận diệt một cách không đảo ngược được, ô nhiễm không khí và nước vào mức báo động, đất đai nhiễm độc vì phân hóa chất khiến sản xuất nông nghiệp có nguy cơ suy thoái nặng nề, v.v... Sau những cảnh báo đó, khủng hoảng dầu lửa lần thứ nhất với giá dầu thô đột tăng mười, rồi 2,3 mươi lần, khiến vấn đề sử dụng tài nguyên được mang ra mổ xẻ trong bối cảnh tăng trưởng kinh tế. Sử dụng hẳn phải tối ưu, nhưng với tiêu chí nào?

Đầu thế kỷ 18, D. Hume (1711-1776) đề ra nguyên tắc duy nhân (principle of humanity) như cơ sở của đạo lý xã hội. I. Kant (1724-1804) đưa ra luận đề¹ "Hãy hành xử, ở vị thế của mình cũng như ở vị trí người khác, với nhân loại như một cứu cánh và không bao giờ chỉ như một phương tiện". Ít lâu sau, J. Bentham (1748-1832) cho rằng hành vi và tác động nào mang lại lượng phúc lợi cho tổng số cá nhân tạo ra xã hội là có đạo lý. J. S Mill (1806-1873) đi một bước xa hơn, đòi hỏi tiêu chí vi (duy) lợi (utilitarianism) phải áp dụng cho mỗi một cá nhân, không chỉ quan tâm đến lượng mà đề cao phẩm chất, và cho rằng sự hòa đồng (harmony) trong xã hội cũng là một điều kiện, và là một tiêu chí cho đạo lý. Mô hình vĩ mô kinh tế về tăng trưởng đã sử dụng những tiêu chí này cho đến đầu những năm 70, không chú ý đến những ngoại tác (externality), thí dụ như chẳng thể xác định ai tư hữu không khí, nguồn nước, những mỏ dầu xuyên qua hoặc nằm trên ranh giới những quốc gia, những bầy cá voi trên đại dương... Và "*cha chung không ai khóc*", mạnh ai nấy cứ thế mà tranh tiên đoạt lợi, đưa đến sử dụng quá lộ tài nguyên thiên nhiên. Dĩ nhiên tạo ra kỹ thuật tân tiến với hiệu năng lớn, nhưng khoa học-kỹ thuật tự thân vô tội. Vấn đề là ai sử dụng nó. Ai? Họ là - tôi chỉ lập lại một điều hiển nhiên - những tập đoàn tư bản trong những quốc gia tiên tiến, tập hợp được tài lực, vật lực và trí lực để sản xuất với mục đích kiếm lợi nhuận càng nhiều càng nhanh càng tốt. Trong bối cảnh những xã hội "tiêu thụ", hàng hóa phải luân lưu, làm là tính ngay đến tiết độ phế thải chứ không cứ làm cho bền, cho có khả năng tái tạo (recycle), và mang

và http://en.wikipedia.org/wiki/Limits_to_Growth

¹ "Act so that you treat humanity, whether in your own person or that of another, always as an end and never as a means only"

rác tiêu thụ đổ vào “thế giới thứ ba” nghèo nên chấp nhận chứa rác với giá rẻ. Ô nhiễm cũng vậy. L. Summer, khi còn phụ trách Ngân hàng Thế giới, lỡ mồm gây xấc xược khi tuyên bố cứ chuyển những kỹ nghệ gây ô nhiễm sang châu Phi, nơi không khí trong lành còn nhiều chứ không “quý hiếm” như ở những nước phát triển cao, phải từ chối. Khả năng phát triển với mức độ 4, 5% của những nước tiên tiến không thể duy trì mãi được. Vậy phải làm sao đây khi môi trường suy thoái đến độ *đe dọa sự sống còn của nhân loại, nhất là của những thế hệ trong tương lai*? Tầng ozon bị thủng. Hiệu ứng “nhà kính” do lượng thải CO₂ quá lớn tạo ra thay đổi khí hậu mà tác động sẽ vô cùng tai hại, khó đảo ngược¹. Năm 1988, UNEP và WMO thiết lập IPCC² tập hợp hàng trăm khoa học gia điều nghiên hậu quả sự cố thay đổi khí hậu, dẫn đến thành lập UNFCCC, ký kết quy ước Rio de Janeiro (1992) và sau là công ước Kyoto (1997)³.

Vào đầu thập niên 90, biết không thể tiếp tục tăng trưởng kinh tế về lượng, người ta đề cập đến phát triển bền vững. Một định nghĩa có nhiều đồng thuận, bền vững là phát triển thế nào mà không phương hại đến khả năng phát triển của những thế hệ tương lai. Tuyên bố Johannesburg năm 2002 về phát triển bền vững qua một hội nghị thượng đỉnh⁴ khẳng định điều 3, xin (lược) dịch ý, “... lớp Trẻ trên thế giới nói rõ rằng tương lai thuộc họ, và yêu cầu tất cả chúng ta bảo đảm qua hành động rằng họ sẽ không phải thừa kế một thế giới mất *nhân phẩm* do nghèo đói, do môi sinh hủy hoại với phương cách phát triển không bền vững”. Không chỉ chống lại những hủy diệt con người đương thời với bom hạt nhân như tuyên ngôn Einstein-Russell đề ra, những nhà khoa học đương đại vận động *công luận thế giới*, cùng với những tổ chức dân sự gây áp lực lên những chính quyền dẫn đến hội nghị thượng đỉnh ở Johannesburg. Làm như vậy, những nhà khoa học-kỹ thuật biểu lộ hành vi chống lại sự hủy diệt môi sinh chắc chắn rồi sẽ dẫn đến *sự hủy diệt của những thế hệ tương lai*. Đó là những lớp người

¹ http://en.wikipedia.org/wiki/Climate_change

² Intergovernmental Panel for Climate Change, xin tham khảo <http://www.ipcc.ch/about/index.htm>

³ http://en.wikipedia.org/wiki/Kyoto_Protocol.

⁴ <http://www.un-documents.net/jburgdec.htm>. Điều 3: At the beginning of this Summit, the children of the world spoke to us in a simple yet clear voice that the future belongs to them, and accordingly challenged all of us to ensure that through our actions they will inherit a world free of the indignity and indecency occasioned by poverty, environmental degradation and patterns of unsustainable development.

chưa sinh ra, nhưng cũng có quyền sống, cái quyền tối thượng của con người, quyền phải được ghi nhận và tôn trọng ngay bây giờ. Đi ngược đường với những thế lực khổng lồ trực lợi trước mắt như đám tài phiệt dầu lửa, đám chủ nhân ông kỹ nghệ xe hơi... là một hành vi có đạo lý. Và chỉ nghĩ đến quyền lợi riêng tư, nước Mỹ trách nhiệm đến 60% lượng khí thải gây thay đổi khí hậu từ chối không ký kết công ước Kyoto, mặc dù công luận đã cáo buộc thái độ vị kỷ này một cách gay gắt.

6 - Chẳng những chống hủy diệt ở thì hiện tại và tương lai, tuyên bố Johannesburg đã lên tiếng đòi hỏi thế giới này phải là một thế giới trong đó nhân phẩm phải được tôn trọng. Đây là một khía cạnh đạo lý. Và đạo lý trong phạm trù khoa học-kỹ thuật (ĐLKH-KT) ngày nay thành một bức xúc quan trọng. Mỗi quốc gia đều có những hội đồng thẩm định vấn đề này. Unesco thành lập Chương trình ĐLKH-KT năm 1988, rồi một Ủy ban toàn cầu (COMEST) về mặt này ra đời năm 2002¹, đánh dấu sự quan tâm hàng đầu nhằm xác định những “luật chơi” trong KH-KT. Dịch từ chữ *human dignity*, *nhân phẩm* hằn rộng hơn là chỉ chuyện sống với đói nghèo, với môi sinh tàn hủy vì phát triển kinh tế “hoang dã” qua cuộc chạy đua truy tìm lợi nhuận ngắn hạn bất kể tác động lên tương lai. Năm mươi năm qua, những thành tựu và tiến bộ trong sinh học và y học khiến hai chữ *nhân phẩm* trở thành một khái niệm khá khúc mắc. Tôi xin đặc biệt quan tâm đến khoa học-kỹ thuật trong ngành *human genetic engineering*² mà đối tượng là nghiên cứu những thao tác trên *gen* (DNA), yếu tố di truyền cơ bản mang trong nó những thông tin quan trọng liên hệ đến quá trình cũng như khả năng tiến hóa sinh học của mỗi con người. Thao tác trên *gen* (*genetic manipulation*) đã chứng minh hiệu quả trong nông nghiệp và kỹ nghệ thực phẩm với những GMO (*genetically modified organism*). Kiến thức về hệ genome và khả năng tái cấu ADN (*recombination*) cho phép đưa vào cơ sinh những *gen* mới để tạo ra những đặc thù (*trait*), chẳng hạn như khả năng chống sâu rầy của cây nông nghiệp, khả năng sinh sản (bò đẻ cứ 3 tháng 1 lần, gà cho 10-15 quả trứng mỗi 2 ngày, v.v...) Mặt tích cực: viễn tượng giải quyết vấn đề thực phẩm trong một thế giới với dân số ngày càng lớn. Mặt tiêu cực: sản phẩm “thiên nhiên” đã trải qua một quá trình lựa-thải rất lâu, và tác động của chúng trên con người đã rõ, trong khi những sản phẩm GMO có thể tạo ra những rủi ro mà hậu quả không thể lường được. Trong một số tiểu bang

¹ www.unesco.org/shs/est

² http://en.wikipedia.org/wiki/Human_Genetic_Engineering

Mỹ, ở Canada, và ở Úc, sản phẩm GMO gây tranh cãi, có nơi bị cấm hẳn.

Thao tác gen trên con người thì sao? Mặt tích cực: có thể dùng kỹ thuật này để chữa bệnh và trị liệu trong y học, khai mở những tiềm năng chữa và ngừa bệnh từ ngay trong cấu trúc cơ bản nhất của con người. Mặt có khả năng tiêu cực hiện đang gây những cuộc tranh luận gay gắt trên khá nhiều điểm, nhưng tôi xin khoanh vùng trong hai vấn đề. Thứ nhất, chất liệu thao tác gen từ đâu ra? Đó là những tế bào gốc, và sau kinh nghiệm tái cấu con cừu Dolly¹, người ta biết những tế bào lấy từ trạng bào thai sẽ hữu hiệu hơn. Lấy tế bào, là xâm phạm vào đời sống ở dạng tế bào. Con người có cái quyền ấy không? Được coi là đời sống bắt đầu từ dạng nào? Trong chuyện phá thai, có dư luận coi đó là hủy diệt đời sống, có nơi coi như chấp nhận được khi thai nhi được 3 tháng, có nơi nói ra đến 4, 5 tháng. Nếu phục vụ con người qua y học, vấn đề thứ nhất này không khó giải quyết: người ta có thể tìm gen "lành" của bệnh nhân để chữa trị chính người đó, và như thế không xâm phạm đến những đời sống khác. Nhưng đâu có phải chỉ có chuyện phục vụ kia. Vấn đề thứ nhì, quan trọng hơn, là từ thao tác gen đến khả năng (hiện chỉ mới có tính "lý thuyết") tái cấu (cloning) những sinh vật, kể cả con người, thì hệ quả phải tính đến sẽ ra sao? Kỹ thuật chuyển ghép gen (transgenic) là bàn đạp có thể đưa đến khả năng tạo ra những con người thông minh hơn hoặc cơ bắp hơn, hồn nhiên hơn, dễ sai dễ bảo hơn, v.v... Những kẻ theo thuyết ưu sinh (eugenics) cho rằng trên Trái đất "của khó người khôn" mà lại ngày càng đông này, không cần chờ tiến hóa tự nhiên mà con người, qua thành tựu kiểm soát uốn nắn gen, có thể chủ động tạo ra những tiến hóa như mình mong muốn². Trong tác phẩm *Thế giới tuyệt hảo* (1932)³, Aldous Huxley công hiến một tiểu thuyết giả tưởng với những dự phóng có tính tiên tri hiện thực. Ông miêu tả thế giới trong đó con người thụ thai trong ống nghiệm, trẻ thì học qua cách thôi miên trong mơ, khi trưởng thành sẽ được xếp vào năm đẳng cấp: Alpha, lớp đặc tuyển sẽ lãnh đạo, to, khỏe, đẹp và thông minh; Beta, lớp lao động trí tuệ đảm trách những việc quan trọng; Gamma là lớp lao động bình dân; Delta và Epsilon là thành phần lao động cấp thấp, chuyên làm những việc cực nhọc, được chế tạo với lập trình khiến chúng xấu xí, ngu độn, dễ sai bảo... Ngoài

¹ [http://fr.wikipedia.org/wiki/Dolly_\(brebis\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Dolly_(brebis))

² <http://www.whatwemaybe.org/txt/txt0000/Glad.John.2008.FHE.Meisenberg-abridgement.en.pdf>

³ http://en.wikipedia.org/wiki/Aldous_Huxley
và http://fr.wikipedia.org/wiki/Le_Meilleur_des_mondes

ra, còn đám thổ dân hoang dại (là con người đương đại sống sót sau “cuộc chiến 9 năm”), sống bên lề trong những trại tập trung. Trong thế giới tuyệt hảo, gia đình, tình yêu, hôn nhân là những cấm kỵ, đàn ông đàn bà chỉ có quan hệ sinh dục với nhau trong những thời hạn ngắn (vài tuần), được chế tạo như những người tiêu thụ trong xã hội. Cô đơn là một thái độ cá nhân đáng ngờ, và yếu tố kết hợp xã hội là *soma*, ma túy được phát hàng ngày sau giờ lao động, uống vào con người sẽ chìm đắm trong một giấc mơ địa đàng, vì thế không ai bất hạnh, không ai đòi hỏi gì. Thế giới tuyệt hảo là mẫu mực lý tưởng một xã hội toàn trị mang bộ mặt dân chủ, một thứ ngục tù mà kẻ bị giam giữ không hề có ý định đào tẩu, một chế độ nô lệ mà kẻ nô lệ hạnh phúc vì nhu cầu tiêu thụ được đáp ứng và *tưởng* mình sống trong địa đàng. A. Huxley miêu tả xã hội này qua một đối thoại giữa Nhà Tổng Quản chế với một Người Bất Đồng Chính Kiến (lược dịch):

- Lớp ưu việt đặc tuyển chỉ là lớp trên tầng băng. Tám phần chín nằm ở dưới (...)

- Nhưng những người này làm sao hạnh phúc được? Lao động cực nhọc như khổ sai...

- Họ không thấy vậy. Ngược lại, họ thích thế. Một đời sống dưới băng nhẹ tênh, giản dị như con trẻ... Không cố gắng quá sức, 7 giờ rưỡi lao động, sau là có *soma*, thể thao, rồi quan hệ tình dục không ai kiểm soát hạn chế... Họ đòi hỏi gì hơn được.

- (...)

- Sách Shakespeare bị cấm bởi cổ lỗ. Ở đây, chúng ta không chấp nhận chuyện đời xưa. Chúng ta chỉ thích những gì mới mẻ...

- Chuyện xưa nhưng vẫn hay đẹp thì sao?

- Hay đẹp thì càng cấm, chúng ta không để ai sao lãng với những cái mới.

- Cái mới đôi khi rất xuẩn ngốc, chẳng hạn như phim máy bay trực thăng quần thảo hàng đàn, hay người ta hôn nhau... như những con khỉ!

- Khỉ là một loài vật dễ thương...

- (...)

- Thế giới ngày nay đã ổn định. Con người hạnh phúc, có những điều họ muốn, và không bao giờ muốn những điều họ không thể có... Họ được điều kiện hóa đến mức họ cứ thế mà hành xử, và nếu trục trặc gì thì đã có *soma*... Chẳng phải chỉ Nghệ thuật là không tương thích với Ổn định, mà còn cả Khoa học nữa. Sự thật luôn luôn là một đe dọa, Khoa học, một nguy

cơ công cộng... Chúng ta phải xiềng xích và khóa hòng nó (...) Khoa học đã cho nhân loại một cân bằng ổn định nhất trong lịch sử. Chúng ta không thể để chính Khoa học phá hủy triết tiêu thành tựu của nó. Đó là lý do tại sao chúng ta phải cảnh giác hạn chế khoanh vùng những lĩnh vực nghiên cứu. Chúng ta chỉ cho phép nghiên cứu những vấn đề bức bách trước mặt... Phần còn lại, phải ngăn chặn!

Về khả năng tái cấu một sinh vật, kể cả con người, kỹ thuật *nano* (nghe nói) cho phép làm những bước tiến cực kỳ quan trọng. Viễn tượng người thay Thượng Đế vạn năng "sáng tạo" ra chính con người không phải là ảo tưởng. Như thế, các vị Tổng Quản của thế giới tuyệt hảo có thể từ một tế bào M. Planck tái cấu ra M. Planck toàn thể. M. Planck ở đẳng cấp Alpha sẽ bắt tử, đời đời được tái cấu, và cứ tiếp tục phát triển tiến hóa. Rồi đến Einstein, Heisenberg, Louis de Broglie... Xã hội, a ha, trong tương lai sẽ toàn những vị minh triết. Nhưng... nhưng giả thử các vị Tổng Quản nói trên quyết định tái cấu chính họ, và những nhân vật như Tần Thủy Hoàng, Hitler, Stalin... để có một tập đoàn ổn định và bất tử... thì ôi thôi, nhân loại - nhất là từ đẳng cấp Beta xuống đến Epsilon - sẽ đi về đâu nhỉ?

Nhân phẩm trong trường hợp con người có thể tái cấu một cách nhân tạo sẽ là gì? Mỗi một con người, trước nay do Đấng Tạo hóa sinh thành, là một thực thể *đơn biệt*, đến từ một bản giao hưởng huyền diệu của hợp phối những tình cờ - từ xác thịt đến tâm linh - khiến cái tôi mỗi người có chút gì như thiêng liêng. Sự tồn tại của nó là âm hưởng bức thiết của sự tồn tại của mọi vũ trụ ngoại giới không thể kiểm soát và vận hành do ý chí con người. Tính đơn biệt, là một, là độc nhất đó, sẽ làm gì còn hiện hữu khi, với kỹ thuật tái cấu, phòng thí nghiệm có thể sản xuất hàng trăm phó bản in hệt nhau của một cá nhân, từ nay và, thật ghê rợn, cho đến đời đời. Bất tử, vách ngăn tiến hóa, là cái chết miên viễn của con người nói riêng, và của sự sống nói chung. Đèo bòng trên chính nó sự tương-là-nghịch-lý như một công án thiền, kẻ nào mơ giấc mơ Tần Thủy Hoàng sống cho đến ngày tận thế là sống ngay với cái chết như một ám ảnh. Và lại, ai dám bảo trái đất này sẽ tồn tại hai tỉ năm nữa? Ô kìa, thế thiên thu là gì mà đi tìm chuyện trường sinh bất tử? "*Vanitas vanitatum, omnia vanitas*"¹.

7 - Chống lại mọi hủy diệt con người, ở hôm nay hay mai sau, trực tiếp bằng bom N, bom H hay gián tiếp bằng phá hoại môi sinh, và làm sao không xâm phạm nhân phẩm, theo thiện ý, là những nét nổi cộm của một

¹ Huyền hão, huyền hão, tất cả chỉ là huyền hão.

nền đạo lý cơ bản của Khoa học-Kỹ thuật nhìn từ góc độ nhân văn. Tóm gọn, chúng ta cứ theo châm ngôn cũ kỹ hơn 2 ngàn năm trước, rằng việc mình không muốn người gây ra cho mình (hay con cháu mình) thì đừng làm cho kẻ khác (hay con cháu họ): *Kỷ sở bất dục vật thi ư nhân*.

Hơn 70 năm về trước, Huxley đã dự báo cái thế giới tuyệt hảo trong đó Khoa học có thể là một nguy cơ công cộng. Vì thế phải khoanh vùng công việc nghiên cứu vào những sự vụ trước mắt. Chuyện cơ bản ư, thế là bỏ qua. Vì vậy, *chức năng tri thức nhìn tổng quan và toàn diện để có thể phê phán* không còn được động viên, khuyến khích, và hỗ trợ. Hiện nay, có một lớp người "quản lý" khoa học, chuyên việc quy định ưu tiên, mục đích các dự án trong các cơ quan nghiên cứu và đại học để tài trợ. Họ khuyến khích "sự hợp tác" của các công ty tư trong kỹ nghệ, các cơ quan quốc phòng trong chính quyền, và đặt mức "áp dụng thực tiễn" lên hàng đầu. Nhà nghiên cứu khoa học, được chia một công đoạn nhỏ "siêu chuyên sâu" (hyper specialized), hoàn toàn không có thể lúc nào cũng còn một cái nhìn tổng hợp, và như hệ luận, không thể biết "sản phẩm" trí tuệ của mình sẽ góp phần thế nào tạo ra sản phẩm cuối cùng trong một liên kết chằng chịt những kiến thức lẻ tẻ ngắt đoạn. Câu hỏi, làm là làm cho ai? Tác động công việc trí thức của mình trong tiến trình xã hội là gì? Phục vụ ai? Tốt hay xấu? đều là những câu hỏi chẳng mấy ai đáp được mình bạch! Bằng càng cao, chức danh càng lớn thì độ vong thân tha hóa càng ghê. Nghịch lý này ngày càng lớn, và đó là một nỗi khổ tâm của những nhà khoa học có lương tri! Đành rằng tinh thần đi tìm sự thật qua phương pháp khoa học là động cơ, nhưng những câu hỏi có tính đạo lý vừa nêu ra ở trên chắc không hẳn là thừa. Nghĩ cho cùng, khoa học là một bộ môn của văn hóa nói chung: nó là (một) phần Chân, trong toàn bộ Chân-Thiện-Mỹ mà mỗi nền văn hóa trên hành tinh bé nhỏ của chúng ta đều coi như là cứu cánh một xã hội nhân bản. Trong xã hội đó, không phải chỉ có các nhà khoa học, nhà kỹ thuật, nhà văn, nhạc sĩ, họa sĩ... mà còn rất nhiều những con người khác có khả năng cảm nhận và chia sẻ những giá trị phổ cập của chung thiên hạ. *Bộ môn khoa học-kỹ thuật, muốn tránh tác động phi nhân, chỉ có một cách là đưa ra toàn bộ thông tin chân thực trước công luận, biểu lộ mọi khả năng tiêu cực cũng như tích cực công việc truy tìm tri thức và sự áp dụng kỹ thuật của những tri thức ấy trong cõi nhân sinh*. Công chúng - ngày nay là toàn nhân loại - hẳn có khả năng phán đoán với những *cảm thức đạo đức* (moral sentiments) như thế sẽ thêm khả năng là những kẻ quyết định tối hậu. Xin nói ngay, thông tin phải thực sự là thông

tin, nghĩa là không có lẽ bên phải hay lẽ bên trái như nay người ta lu loa. Ép thông tin vào lẽ, bất cứ bên nào, là “giết thông tin”, bởi độ *entropy*¹ sẽ vọt cao lên trong hệ kín, và những thông tin đóng gông vào lẽ chẳng tạo ra được gì ngoài sự hủy hoại lẫn mòn của trí tuệ đóng băng chết cứng.

Nhà khoa học trong xã hội là người trí thức. Một định nghĩa về người trí thức, là kẻ ngoài lĩnh vực chuyên môn, còn có trách nhiệm với xã hội, khi cần thì can thiệp vào sự tiến hóa và điều hành của xã hội đó. Lĩnh vực trực tiếp liên quan đến hoạt động trí tuệ là giáo dục, và ở ta những người trí thức chân chính đều cố gắng đóng góp². Hiện họ đang kêu những tiếng kêu cứu khẩn cấp. Vì thế, tôi nào dám mua vui như cụ Tiên Điền. Và dẫu chẳng đòi vài trống canh, tôi chỉ xin dăm mươi phút của các bạn, nhất là các bạn trẻ, để cùng nhau ngẫm nghĩ về tiền đồ và trách nhiệm những nhà khoa học trên đất nước thân yêu của chúng ta. Tôi xin kết bài tham luận nhỏ này bằng cách lập lại phần cuối câu M. Planck nói, ước ao mình cũng “... sống đủ thọ để có thể thấy một bước ngoặt, bước đầu của một tiến trình thăng tiến mới”.

¹ Điều này khá phổ cập, được ghi nhận trong lý thuyết Thông Tin (Information theory).

² Xin tham khảo Hoàng Tụy, *Nhìn thẳng vào khủng hoảng giáo dục VN*, <http://www.tuanvietnam.net/vn/tulieusuyngam/3949/index.aspx>

NGUYỄN ĐỨC HIỆP*

MAX PLANCK - TỪ LÝ THUYẾT LƯỢNG TỬ ĐẾN NGHỆ THUẬT HIỆN ĐẠI VÀ HẬU HIỆN ĐẠI

Abstract. Max Planck - From quantum theory to modern and post-modernist art

Science and art - two branches of knowledge - can hardly be said to meet and see each other eye-to-eye. However, science in the early and mid 20th century, represented by the advancement and prominent role of Physics, with the development of quantum and relativity theories, had a strong influence on early development of modern art through surrealist artists such as Max Ernst, Roberto Matta, Wolfgang Paalen. The concept of quantum to explain the atomic and sub-atomic world, in which the rules and experiences of the classic objective world do not apply anymore and is nevertheless as real as the later world, had a powerful appeal to avant-guard artists and philosophers of the early 20th century. In 1934, George Bachelard, a French scientist and a philosopher artist, had used the concept of quantum to apply into the development of human thought and consciousness and the history of science, art and knowledge. A concept, which he coined as '*rupture épistémologique*' predated Thomas Kuhn idea of '*paradigm shift*' in scientific thinking 30 years later.

Through Bachelard and many of his surrealist friends, who freely compared the revolutionary ideas of quantum in the sub-atomic world with their revolutionary concept of consciousness representation in painting, poetry and literature, the discontinuity of human culture development over '*obstacles épistémologique*' became one of their core beliefs. The structuralist Louis Althusser, one of Bachelard students, was strongly influenced by Bachelard as well as Althusser' friends and students, the post-modernists Michel Foucault and Jacques Derrida.

* Atmospheric Scientist, Department of Environment and Climate Change, New South Wales, Australia

Hậu hiện đại (post-modernism), thoát thân từ hiện đại (modernism), là triết lý mang tính chất đa dạng, cái nhìn tương đối trong mọi vấn đề và hiện nay được thể hiện trong nhiều ngành nghệ thuật, văn hóa xã hội từ hội họa, kiến trúc, văn học... ở nhiều nước trên thế giới. Ít người trong chúng ta có thể nghĩ rằng Max Planck và thuyết lượng tử (quantum theory) của ông lại có liên hệ đến sự phát triển triết lý và văn hóa ở phương Tây trong thế kỷ 20. Trong bối cảnh của thế giới ngày nay, khoa học, nhất là trong lĩnh vực vật lý, mà nền tảng là thực nghiệm và khách quan đã có những sự va chạm trong lĩnh vực tư tưởng và triết học với nghệ thuật và nhân văn mà cái nhìn tương đối của hậu hiện đại đã chiếm địa vị trọng tâm. Đã có nhiều nhà nghiên cứu cho rằng khoa học và nghệ thuật là hai thế giới với tư duy và văn hóa quá khác biệt khó có sự gặp nhau. Nhưng trong lịch sử trước đây từ cuối thế kỷ 19 đến nửa đầu thế kỷ 20, khoa học và nghệ thuật đã gặp nhau và bổ sung cho nhau trong giai đoạn quan trọng nhất của sự phát triển khoa học bắt đầu từ thời Khai sáng ở thế kỷ 17, đặt nền tảng cho khoa học hiện đại ngày nay: vật lý lượng tử và thuyết tương đối.

Chính sự phát triển của thuyết lượng tử và sau này thuyết nguyên tử và tương đối đã là cơ nguồn thúc đẩy phát sinh những tư tưởng, những nhận thức mới, những đột phá trong lĩnh vực triết lý, văn học, nghệ thuật ảnh hưởng đến những trào lưu hiện sinh (existentialism), siêu thực (surrealism), hiện đại (modernism) và từ đó đến hậu hiện đại (post-modernism) ngày nay.

Khoa học, nhất là vào đầu thế kỷ 20, đã có ảnh hưởng sâu rộng trong nghệ thuật và là khởi nguồn của hứng cảm, suy tư của các triết gia, văn thi sĩ, họa sĩ... Họ dùng những thành quả và những khám phá mới trong khoa học vật lý để dững cảm, tự tin đưa ra những nhận thức hoàn toàn mới đối với vật thể, thế giới chung quanh, thoát khỏi những gò bó mà họ cho là đóng khung, cổ điển và không còn hợp thời với cách mạng mà thuyết lượng tử đã mang lại.

Để có thể hiểu rõ hơn về tiến trình ảnh hưởng của thuyết lượng tử đến văn hóa phương Tây trong thế kỷ 20, ta hãy xem xét tình hình khoa học và tư tưởng trong giai đoạn cuối thế kỷ 19 và đầu thế kỷ 20.

Vật lý cổ điển qua cơ học của Newton và thuyết sóng điện từ của Maxwell cuối thế kỷ 19 hoàn toàn chiếm lĩnh địa vị độc tôn là cơ sở các nhà khoa học dùng để tìm hiểu, phân tích giải thích sự kiện, quá trình của thiên nhiên. Khi Gustav Kirchoff, thầy của Max Planck, nghiên cứu về quang phổ

phát ra từ vật nóng (blackbody radiation) qua thí nghiệm đã chứng minh là năng lượng từ vật đen nóng phụ thuộc vào hai yếu tố, tần số phát xạ và nhiệt độ. Ở nhiệt độ nhất định, năng lượng phát từ vật đen tăng tỉ lệ với tần số ở tần số thấp đến điểm cực tối đa sau đó giảm khi tần số cao hơn. Khi nhiệt độ cao hơn thì đường biểu diễn cũng giống như vậy nhưng cực điểm của năng lượng phát xảy ra ở tần số cao hơn so với nhiệt độ thấp. Kirchoff, năm 1859, sau khi không thể dùng lý thuyết vật lý để chứng minh giải thích phù hợp với kết quả thí nghiệm, đã kêu gọi thách thức các nhà vật lý dùng lý thuyết làm sao chứng minh được phương trình giữa năng lượng, tần số và nhiệt độ của năng lượng phát từ vật đen nóng.

Trong hơn 40 năm, các nhà vật lý từ Stefan, Boltzman (Định luật Stefan-Boltzman) đến Wien (định luật Wien) đã đưa ra các công thức duy nghiệm cố gắng giải thích phù hợp với kết quả thực nghiệm. Mùa thu 1900, sau khi nghe tin định luật Wien, qua kết quả thí nghiệm mới là không còn đúng ở các tần số thấp hơn nữa, Max Planck, trước đây đã quan tâm đến vấn đề trên và qua nhiều năm cố gắng không thành công dùng lý thuyết nhiệt động lực học mà ông chuyên tâm để tìm ra lời giải đưa đến công thức cho hiện tượng phát xạ từ vật đen, đã lập tức trở lại vấn đề bỏ dở trước đây và dùng phương thức giản dị nhất mà sau này Planck cho là may mắn qua trực giác để đưa ra công thức giải thích được thỏa đáng các dữ kiện thí nghiệm phát xạ từ vật đen. Nhưng ông không hài lòng là tìm được đúng phương trình qua suy đoán và trực giác mà theo ông thì nhất thiết phải dựa vào lý thuyết nào đó, như nhiệt động học với entropy, để giải ra nó thì mới toàn vẹn, có cơ sở và chính xác.

Ông đã dựa vào lý thuyết xác suất của Boltzmann về entropy qua sự chuyển động các "hạt" nguyên tử khí về sự liên hệ của entropy với độ hỗn loạn của các hạt tử và để có thể đặt một trị số cho độ hỗn loạn phải tìm cách phân chia năng lượng giữa các dao động phát sinh các tần số ở vật đen nóng. Chính tại điểm này, Planck đã nghĩ ra ý tưởng về các thành phần năng lượng - các mảnh năng lượng, của các dao động mà khi hợp lại sẽ bằng tổng năng lượng phát ra từ vật đen. Cuối cùng ông đã xây dựng và giải ra công thức năng lượng phát ra từ vật đen đặt trên một ý niệm cơ bản hoàn toàn bất ngờ và lạ lùng khi cho rằng năng lượng phát ra không phải liên tục mà là ngắt đoạn, riêng rẽ, từng các gói đơn vị năng lượng gọi là lượng tử (quanta), mỗi lượng tử có năng lượng tỉ lệ với tần số dao động. Một ý niệm cách mạng trong khoa học và tư tưởng mà hệ quả và ảnh hưởng bao

gồm nhiều ngành và hoạt động tri thức trong xã hội con người sau này mà ngay cả Max Planck không dự đoán hết được. Không lâu sau, năm 1905 Einstein đã dùng thuyết lượng tử của Planck để giải thích thỏa đáng hiện tượng quang điện của các tia tử ngoại qua các hạt năng lượng gọi là photon, tạo ra niềm tin về cơ sở cho thuyết lượng tử. Quan niệm của Einstein cho rằng ánh sáng được cấu tạo bằng hạt tử photon với năng lượng lượng tử mà Planck đã tìm ra, trái với quan niệm sóng của ánh sáng thịnh hành qua phương trình Maxwell cổ điển mà nhiều nhà vật lý ứng dụng, là một đột phá trong khoa học.

Sau khi electron được khám phá vào năm 1897 bởi Thompson, và hạt nhân nguyên tử với proton bởi Rutherford và mô hình nguyên tử với các electron chung quanh thì nhiều vấn nạn nảy sinh mà vật lý cổ điển Newton-Maxwell không thể giải thích được: khi electron chuyển động chung quanh hạt nhân thì theo vật lý cổ điển, sóng sẽ được phát ra và vì thế sẽ mất năng lượng do đó sẽ rơi vào hạt nhân. Tại sao chúng không rơi vào hạt nhân nguyên tử?. Thêm nữa khi các phát xạ từ nguyên tử như hydrogen khi chúng bị kích thích thì chỉ có vài tần số rõ rệt được phát ra chứ không liên tục (hiện tượng Balmer).

Để giải quyết khó khăn trên, Niels Bohr đã dùng ý niệm lượng tử của Planck và cho rằng electron không phải có bất cứ một quỹ đạo nào mà chỉ có trên một vài quỹ đạo với trạng thái năng lượng nhất định. Sự thay đổi các tầng trạng thái năng lượng tương ứng với năng lượng chúng hấp thụ hay mất đi qua phát xạ. Tầng năng lượng đầu tiên là tầng có năng lượng nhỏ nhất. Dùng bảng tuần hoàn hóa học của Mendeliev, ông đã giải thích thỏa đáng và xác định được sự phân phối electrons trong các chất hóa học và tại sao chúng lại có những đặc tính hóa học giống nhau trong cùng một cột nhóm trên bảng tuần hoàn. Sau Bohr, Sommerfeld cải thiện mô hình nguyên tử của Bohr thêm vào, ngoài độ lớn của quỹ đạo (n), còn hình dáng quỹ đạo (k) và hướng quay của electron gây ra từ trường (m) cũng chỉ có các trị số nhất định. Pauli bổ túc thành 4 số lượng tử với electron tự quay với động lượng góc hướng kim đồng hồ hay ngược lại (2). Mô hình hoàn tất của Bohr, Sommerfeld, Pauli đã giải thích hết các hiện tượng được biết lúc đó qua các thí nghiệm như Balmer, Zeeman..

Nhưng các hình ảnh quỹ đạo, hướng quay, trục quay... không quan sát được của mô hình trên vẫn còn dựa vào quan niệm, cái nhìn của vật lý cổ điển. Werner Heisenberg cùng với Born và Jordan phát triển lý thuyết cơ

học lượng tử từ đầu dùng toán học xác suất, ma trận (matrix) và các con số lượng tử để giải thích kết quả của mô hình Bohr mà không dựa vào hình ảnh của vật lý cổ điển. Mô hình của Heisenberg được gọi là cơ học ma trận (matrix mechanics) giải thích gọn đẹp quang phổ từ nguyên tử hydrogen qua lý thuyết toán học trong không gian Hilbert mà không cần hình tượng quỹ đạo. Đây là bước ngoặt của ngành vật lý mới, vật lý lượng tử. Sự không hoán chuyển của các ma trận khi dùng toán tử nhân trong thuyết của Heisenberg, như công thức nổi tiếng $pq - qp = -i\hbar/2\pi$ (ma trận động lượng p , ma trận vị trí q , ma trận đồng nhất I , $\hbar$ hằng số Planck), đã làm Heisenberg lo ngại không hiểu và giải quyết ra sao nhưng được Paul Dirac cho là đó chính là đặc tính cơ bản của thuyết lượng tử mới mà thuyết cổ điển đã bỏ sót. Dirac dùng động lực học Hamilton để thiết lập thuyết mới mà Dirac gọi là “đại số học lượng tử” (quantum algebra).

Nguyên lý bất định (Uncertainty Principle) của Heisenberg là hệ quả của sự không hoán chuyển của toán tử nhân trong ma trận mà ông đã đặt ra sau này: trong trạng thái lượng tử, khi được đo lường thì không thể nào định được độ chính xác cao của cả vị trí và động lực của hạt tử (electron) cùng một lúc được. Đây là tư tưởng hoàn toàn trái với sự hiểu biết thông thường của chúng ta trong thế giới hiện thực. Qua vật lý cổ điển, một khi ta biết được vị trí và động lực hay vận tốc của vật thể, ta sẽ tiên đoán được vị trí sau đó. Nhưng với nguyên lý trên, ta không bao giờ xác định được vật thể tương lai sẽ ở đâu dù muốn. Không những nó gây ra câu hỏi và vấn nạn cho các nhà vật lý mà là còn cho nhiều người khác trong lĩnh vực tư tưởng, xã hội, nghệ thuật và triết học về sự bất định của thế giới khi con người tiếp cận với vật thể, đụng chạm với thế giới lượng tử.

Heisenberg và Dirac cùng quan niệm với Bohr trong sự thành lập thuyết lượng tử, dùng lý thuyết dựa chủ yếu trên những biến số cho phép những gì có thể quan sát được qua thí nghiệm, thí dụ như dữ liệu quang phổ phát ra từ nguyên tử. Vị trí của electron, không như tầng năng lượng và cường độ, không quan sát được thì không nằm trong phương trình lý thuyết. Đây là quan điểm của triết học thực chứng mà Bohr là người theo đuổi và chịu ảnh hưởng của Ernst Mach mà ta sẽ bàn sau.

Tuy vậy hai mô hình lượng tử của Heisenberg và Dirac đưa vào đặc tính hạt mà không để ý đến đặc tính sóng của hạt tử. Einstein cho rằng lý thuyết lượng tử chưa đầy đủ, hoàn tất nếu không bao gồm sóng. Louis de Broglie cho thấy sự thể có hai đặc tính, cả sóng và hạt. Năm 1925,

Schrödinger đã dùng kết quả của de Broglie vào vật lý lượng tử với phương trình sóng Schrodinger trên quỹ đạo electron và thiết lập mô hình thứ ba sau Heisenberg và Dirac gọi là “cơ học sóng” (wave mechanics) mang đến hình ảnh trong đầu mà ta có thể hình dung được của vật lý cổ điển, trái ngược với ý niệm của Heisenberg. Phương trình Schrödinger cho thấy các số lượng tử, tầng năng lượng là lời giải của phương trình trong trường hợp sóng đứng. Điều kiện lượng tử ngắt đoạn không liên tục đơn giản phát sinh từ phương trình sóng liên tục. Về phương diện triết học như vậy là sự rời rạc, ngắt đoạn không liên tục chỉ là biểu hiện của trạng thái đặc biệt mà cơ bản vẫn là liên tục không rời.

Einstein cho rằng khám phá của Schrödinger là rất quan trọng, xác nhận sự hồ nghi của ông về tính chất trừu tượng của Heisenberg về lượng tử và dè dặt trước đây ngay cả về lượng tử. Đối với Bohr và Heisenberg thì sóng không “thật”. Vật lý lượng tử lúc này có hai khuynh hướng, Einstein-Schrödinger và Heisenberg-Bohr, cạnh tranh nhau. Theo Kant thì sự hình dung sự thể là một sự trừu tượng hóa hiện tượng mà chúng ta chứng kiến (*‘Erscheinung’*, phenomenon), khác với khả năng hình dung được liên quan đến các đặc tính của vật thể mà tự nó có, dù ta quan sát hay đo lường nó hay không (Kant gọi là *‘noumenon’* hay *‘ding an sich’* tức ‘vật trong vật’ độc lập với quan sát). Trong vật lý Newton ở bối cảnh vĩ mô thì cả hai gần như đồng nghĩa và hiển nhiên nhưng trong thế giới vi mô của vật lý lượng tử thì chúng là hai phạm trù có khác nhau và phân biệt được. Mô hình tiên nghiệm của sự thể khác với “sự thật”, đặc tính thật sự của vật thể mà ta không quan sát được. Nhưng Einstein và Schrödinger không hoàn toàn chấp nhận tính chất quá trừu tượng của cơ học lượng tử Heisenberg. Cả hai mặc dù đồng ý với sự khẳng định của Galileo là “sách của thế giới vạn vật” được viết bằng toán học nhưng cũng nhận ra sự cần thiết, khả năng và công dụng dùng hình ảnh hình dung được trong tư tưởng của các ký hiệu toán học. Tuy vậy, Heisenberg đã đi xa hơn nữa, các nghiên cứu sau này của ông đã đặt nền tảng của các biểu đồ Feynman - hình ảnh tượng trưng qua sự liên kết giữa trực giác và hình ảnh. Ở đây hình ảnh được sinh ra từ toán học của cơ học lượng tử, chứ không phải được trừu tượng hóa từ các hiện tượng mà ta thật sự quan sát (11).

Các mô hình của Schrödinger và Heisenberg-Dirac khác nhau về tiếp cận toán học và về sự diễn giải thế giới vật thể: sóng và hạt, nhưng tương đương nhau. Từ phương trình Schrödinger, ta có thể biến đổi tương đương

với công thức trong cơ học ma trận của Heisenberg-Dirac. Qua nhiều sự tranh luận giữa Schrödinger và Heisenberg, Dirac, Bohr, cuối cùng dẫn đến sự hợp nhất qua nguyên lý được đưa ra gây nhiều tranh cãi và sâu xa nhất về phương diện triết học (ngoài nguyên lý bất định của Heisenberg) là nguyên lý bổ sung (Complementary Principle) của Bohr. Nguyên lý bổ sung của Bohr là cơ bản của Diễn giải Copenhagen (Copenhagen Interpretation) về vật thể trong thế giới lượng tử và thế giới cổ điển mà ta sẽ bàn sau. Diễn giải Copenhagen được đa số các nhà vật lý chấp nhận và hóa giải được mâu thuẫn sự phân cực giữa hai khuynh hướng Einstein-Schrödinger và Heisenberg-Bohr.

Max Planck và Ernst Mach

Trong các năm 1908-1913, Max Planck và Ernst Mach, nhà bác học Áo nổi tiếng, đã có những tranh luận về sự hợp nhất và cái nhìn toàn thể của khoa học về thế giới, hiện tượng thiên nhiên. Mach là cha đẻ của triết lý khoa học thực chứng có ảnh hưởng sâu rộng từ đầu đến giữa thế kỷ 20 mà đa số các nhà vật lý lượng tử sau này đều bị ảnh hưởng, vì thế sự tranh luận giữa Max Planck và Ernst Mach rất thú vị và đáng quan tâm trong bối cảnh khoa học, triết học và nghệ thuật mà ta sẽ phân tích sau.

Mach tin vào sự hợp nhất của khoa học dựa vào nguyên lý giản đơn (principle of parsimony, giống như Ockham razor), tư tưởng, ý kiến giải thích được sự kiện càng giản đơn càng có giá trị và đúng hơn. Ta càng hiểu một hiện tượng thì ta càng giải thích được ngắn gọn. Khoa học là dụng cụ để phục vụ con người, người làm khoa học vì thế phải tự biết vai trò của mình trong xã hội (instrumentalism). Khoa học độc lập với giá trị xã hội chung quanh nhưng mở rộng cho tất cả mọi người và tự do dùng khoa học để đạt mục đích mong muốn.

Đối với Planck thì hiện tượng trong thiên nhiên được chi phối bởi nguyên lý năng lượng và entropy (nguyên lý thứ hai của nhiệt động học) và thiên nhiên thay vì giản đơn có khuynh hướng càng tăng nhiều phức tạp (complex), hỗn loạn (chaos) - nghĩa là entropy tăng. Hoạt động con người, xã hội được chi phối bởi ý tưởng. Khoa học là một lĩnh vực riêng để tìm hiểu nghiên cứu và từ đó thay đổi xã hội con người. Khoa học tách rời ra khỏi sự chi phối của xã hội, chính trị. Xã hội tự nó cần phải nhận thức được giá trị của khoa học (realism). Ta có thể nói Mach tin là khoa học phải thực tiễn, không siêu hình và vị nhân sinh trước tiên trong khi Planck lại tin là khoa

học vị khoa học trước và sau đó nếu xã hội chấp nhận và áp dụng thì mới vị nhân sinh.

Tuy vậy, chính thuyết lượng tử của Planck lại dùng sự giản đơn và gọn nhất là lượng tử, phù hợp với ý tưởng nguyên lý của Mach, để giải thích hiện tượng phát xạ từ vật nóng.

Mach không tin vào thuyết nguyên tử vì chúng không thể được quan sát được với kỹ thuật đầu thế kỷ 20. Mặc dù rất thân thiện và để ý đến thuyết tương đối của Einstein nhưng Mach chống lại thuyết tương đối vì theo Mach thì không có bằng chứng nào để chứng minh được giả thuyết tương đối. Trong cuộc tranh luận và đối đầu giữa Mach và Planck trong nhiều năm, và vào thời điểm thuyết tương đối ra đời, có thể Mach chỉ chú ý đến Einstein vì ông hy vọng là Einstein có thể sau này triển khai một lý thuyết khác về sự liên tục để phủ định lý thuyết ngắt đoạn, nhảy vọt qua lượng tử của Planck. Mặc dù hiện nay không còn ảnh hưởng và được chấp nhận nhưng tư tưởng thực chứng (positivism) của Mach có ảnh hưởng rất lớn đến W. Pauli, E. Schrödinger, N. Bohr, và ngay cả Einstein trong những giai đoạn đầu.

Nhóm Vienna (Wiener Kreis, Vienna circle)

Moritz Schlick, học trò của Max Planck ở Đại học Berlin, được bổ nhiệm giáo sư ở Đại học Vienna vào năm 1922, vị trí mà Ernst Mach, và sau đó Ludwig Boltzman, đã giữ trước đó. Ở Vienna, Schlick đã tập hợp được các nhà triết học và khoa học như Otto Neurath, Rudolf Carnap... thành một nhóm thường gặp nhau và thảo luận về các đề tài khoa học và triết lý. Dựa vào triết lý của E. Mach, nhóm Vienna tin rằng con người và xã hội sẽ tiến và giải quyết được các vấn nạn nếu mọi vấn đề được xét đoán khách quan, quan sát và kiểm chứng được qua khoa học và tất cả những gì siêu hình, không kiểm chứng được là không phải thuộc phạm trù khoa học và chính chúng (siêu hình) trong tư duy của con người đã gây ra nhiều vấn đề và khổ ải trong xã hội.

Khác với Immanuel Kant cho rằng tri thức có được là do từ mô hình vật thể hiện tượng qua kinh nghiệm cảm nhận cùng lý luận tư tưởng với những tri thức tiên nghiệm (a priori knowledge), tức các sản phẩm thuần túy của tư tưởng, thí dụ như thời gian và không gian, trọng lượng, gia tốc, thiên nhiên... mặc dù ta không thể hiểu vật thể “thật” mà tự vật thể ấy có (cái mà Kant gọi là ‘*ding an sich*’ hay ‘vật trong vật’, ‘thing in itself’, vật thể tiên

nghiệm, *transcendental object*. Kant cho rằng vật thể cảm nhận được như cái bàn, đôi giày và ‘vật’ tiên nghiệm, ‘*ding an sich*’, không thấy được như thời gian, vận tốc đều là vật thể). Mach cơ bản không đồng ý có sự phân biệt giữa tri thức từ kinh nghiệm và từ tiên nghiệm mà cho rằng khoa học, tri thức không phải cố định và lúc nào cũng khách quan như ta tưởng mà luôn phải được tự xét lại qua các quan sát, kinh nghiệm mới mà trước đó chưa có. Vật thể “thật” trong vật thể (*ding an sich*) là không quan sát được và vì thế là siêu hình. Không có vật thể “thật” trong vật thể, thế giới vật thể chính là được tạo ra bởi chủ thể. Thế giới vật thể và thế giới chủ thể là một. Vật thể ở đây có nghĩa là một, tập hợp nhiều hay hệ thống các vật thể trong khung không gian và thời gian định sẵn. Khoa học, tri thức là những gì có thể quan sát và đo lường được.

Đây là nền tảng của chủ nghĩa thực chứng (positivism) mà nhà khoa học, triết học Áo Ernst Mach đã đưa ra và nhóm Vienna dựa vào và phát triển thêm mang logic toán học vào tất cả mọi ngành khoa học kể cả ngôn ngữ, mà họ gọi là thực chứng logic (logical positivism).

Theo những nhà theo thực chứng logic thì tất cả các phát biểu khoa học đều liên quan đến ngôn ngữ về những sự thể mà chúng có thể đáp ứng một sự giới hạn nào đó đã được thỏa thuận và nói về những gì có thể quan sát được. Ngôn ngữ quan sát và ngôn ngữ lý thuyết là hai ngôn ngữ khác nhau (7). Văn bản, phát biểu ngôn ngữ có thể được giản đơn ra nhiều phần nhỏ nhất để chúng được kiểm định là có liên hệ với vật thể quan sát được hay không.

Do trọng tâm của thực chứng mà Mach đề ra là sự quan sát của chủ thể và những giới hạn của những gì quan sát, đo lường được, nhiều nhà khoa học trong lĩnh vực vật lý lượng tử rất khâm phục, chịu ảnh hưởng và chấp nhận chủ nghĩa thực chứng của Mach, trong đó có Pauli, Einstein, Schrödinger, Jordan, Bohr. Ở Trung Âu, lúc bấy giờ, là trung tâm của triết học và khoa học vật lý và hóa học, và qua nhóm Vienna đã ảnh hưởng đến các nước khác như Anh, Đan Mạch, Mỹ và Pháp. Đặc biệt ở Copenhagen, thủ đô Đan Mạch, Niels Bohr và J. Jorgensen là hai nhà khoa học và triết học theo thực chứng logic. Niels Bohr đã ủng hộ và diễn giải lý thuyết lượng tử cùng với vật lý nguyên tử, nguyên lý bất định (uncertainty principle) của Heisenberg vào tư tưởng, cách nhìn mới trên thiên nhiên, vật lý rất khác với cái nhìn cổ điển thông thường mà con người mà văn hóa từ thời Phục hưng đến giờ đã điều kiện hóa như là sự kiện, sự thật hiển nhiên. Bohr tin tưởng

là nguyên tử, cơ cấu của mọi vật là có thật, qua các thí nghiệm với rất nhiều bằng chứng dùng máy đo (“measuring devices”) và thuyết lượng tử là dụng cụ, phương tiện giúp chúng ta tiên đoán các hiện tượng quan sát được. Ông không cho rằng có sự hiện hữu của một thực thể nào mà chúng ta không quan sát được hay cảm nghiệm được. Đặc tính của một hệ thống không thể định biết được cho đến khi ta đo lường nó. Trong nhiều thí nghiệm quan sát cho thấy các hạt có hai đặc tính có lúc là hạt và có lúc là sóng.

Đặc tính hạt và sóng của các hạt trong nguyên tử, theo diễn giải cơ học lượng tử của Bohr, hiện diện cùng lúc với nhau, chồng lên nhau (superposition) trong thế giới lượng tử (quantum reality) mặc dù chúng hoàn toàn trái ngược nhau. Khi chúng ta dùng dụng cụ để quan sát các hạt tử trong thế giới lượng tử thì thế giới lượng tử sẽ bị chạm xáo trộn, sụp đổ thành thế giới cổ điển (classical reality) mà chúng ta thường biết và cảm nghiệm với chỉ một trong hai đặc tính này hiện diện mà thôi. Hạt là có thật và sóng thì không “thật”, sóng chỉ là phương tiện toán học đại diện cho sự hiểu biết xác suất của ta về hệ thống. Đây là nền tảng của quan điểm về sự diễn giải của thuyết lượng tử trong thế giới thiên nhiên mà ngày nay chúng ta gọi là Sự diễn giải Copenhagen của cơ học lượng tử (Copenhagen Interpretation of quantum mechanics).

Như vậy theo sự diễn giải Copenhagen, có hai lĩnh vực hay thế giới, thế giới lượng tử và thế giới hiện thực cổ điển. Và ngay lúc khi ta quan sát hay đo thì ta đã tạo ra thế giới hiện thực (cổ điển). Sự diễn giải này được trình bày qua một nghịch lý “Con mèo Schrödinger” theo đó trong một thí nghiệm tưởng tượng (thought experiment) có một con mèo nhốt kín trong hộp có một lọ chứa hơi độc với một hạt tử ở trong hai trạng thái chồng lên nhau của thế giới lượng tử, lọ này sẽ vỡ nếu hạt tử ở trong một trạng thái và sẽ không vỡ khi ở trạng thái khác. Khi vẫn còn kín chưa mở hộp thì cả hai trạng thái đều hiện diện và lọ hơi độc vừa bị vỡ và không vỡ và con mèo vừa chết và không chết. Khi nắp hộp mở ra, sự chồng nhau của thế giới lượng tử sụp đổ thành linh đi đến thế giới cổ điển với một trong hai trạng thái và con mèo sẽ sống nhảy ra khỏi hộp hoặc chết ngay lúc mở. Khi mở ra thì ta không thể nào trở về lại thế giới lượng tử với hai trạng thái nữa.

Gần đây Nadar Katz và đồng nghiệp đã thực hiện một thí nghiệm siêu dẫn qubit đã thực hiện được sự trở về thế giới lượng tử chưa quan sát (với hai tầng năng lượng, cao và thấp) khi thế giới lượng tử gần sụp đổ đến chỉ một tầng năng lượng, tương tự như hé mở hộp nhìn con mèo rồi đóng

nhANH miệng hộp lại (10). Tầm quan trọng về ý nghĩa của kết quả thí nghiệm này rất to lớn, nói lên như vậy là ta có thể xoá bỏ đi hệ quả của quan trắc hay đo đạc lúc trước, trở về lại thế giới lượng tử và quan trắc lại. Tái tạo lại hiện thực lần nữa!. Đây là một bước nhảy quan trọng tiến tới thực hiện được máy tính lượng tử (quantum computer) nhưng lại đặt thêm một vấn nạn về ý nghĩa của hiện thực cho triết học: hiện thực không còn là tất yếu qua các điều kiện hệ quả mà là bất kỳ những dự quả nào mà ta muốn, quyết định và có thể lùi lại thay đổi hiện thực nếu muốn. Thế giới của hiện tượng là hoàn toàn do chủ thể quyết định. Hiện thực không là ‘vật thể ngoài kia’ độc lập nằm ngoài nhận thức mà là do nhận thức tạo ra, như nhà vật lý John Wheeler đã nhận xét. Nhận thức và vật chất, cái nào trước hay có thể nào chẳng vật chất, năng lượng và nhận thức cũng chỉ là một và hoán chuyển nhau? Diễn giải “Nhận thức gây sụp đổ thế giới lượng tử” (Consciousness causes collapse Interpretation) như qua “thí nghiệm tư tưởng người bạn Wigner” (Wigner’s friend thought experiment) khi Wigner hỏi người bạn kết quả ra sao về con mèo Schrödinger để chứng minh nhận thức có vai trò trong thế giới lượng tử và hiện thực là có cơ sở hay nhận thức có thể tái tạo lại thế giới lượng tử?

Mặc dù thực chứng của Mach có ảnh hưởng đến Einstein trong sự hình thành thuyết tương đối và Heisenberg trong cơ học lượng tử nhưng sau này Einstein đã thay đổi và ông đã nói với Heisenberg (5) "Có thể lúc đầu tôi đã dùng lý luận của thực chứng, nhưng giờ đây nó cũng đều vô nghĩa lý... về nguyên tắc thì rất là sai khi cố gắng tạo ra một lý thuyết chỉ dựa vào quan sát mà thôi. Thật ra trong thực tế thì điều trái ngược xảy ra. Chính lý thuyết mới quyết định cái gì chúng ta có thể quan sát."

Hiện nay có nhiều diễn giải về cơ học lượng tử: diễn giải vector trạng thái, các thuyết ẩn biến số (Hidden Variables Theories), bất cổ kết (decoherence). Diễn giải vector trạng thái (state vector), mà đa số các nhà vật lý và sách giảng dạy vật lý dùng, giống như diễn giải Copenhagen nhưng cho rằng sóng là có thật biểu hiện cho hệ thống lượng tử bằng phương trình sóng vector với nhiều xác suất giá trị khác nhau. Khi đo lường quan sát thì vector sóng sụp đổ đến chỉ một giá trị mà ta có thể đo được thôi. Thuyết ẩn biến số cho rằng không có xác suất trong thế giới lượng tử, như Einstein đã nói "Thượng đế không đổ xí ngẫu" và các hạt tử có những trị số nhất định mà các dụng cụ đo lường không thể đo. Cơ học lượng tử chỉ là sự diễn tả xác suất của thuyết chính mà ta chưa biết. Bất cổ kết

(decoherence) cho rằng sóng có thật và dụng cụ đo lường cũng là một hệ thống lượng tử. Khi đo lường, sự tác tương giữa dụng cụ, hệ thống được đo và môi trường sẽ dẫn nhanh chóng liên tục sóng đến một trạng thái bền eigen (eigen state) thuần nhất không hỗn hợp của nhiều trạng thái. Diễn giải bất cổ kết rất phổ thông gần đây trong lĩnh vực tính toán lượng tử (quantum computing).

Vật lý lượng tử và ảnh hưởng trong triết lý và nghệ thuật

Nếu năng lượng không phải là liên tục mà là các bước nhảy hay các ‘*quanta*’ thì các quá trình thiên nhiên, vật thể cũng là các gián đoạn, không liên tục và không định trước được (deterministic). Nếu ngoại suy (extrapolate) ra các lĩnh vực khác ngoài thiên nhiên vật thể thì ngay cả quá trình tiến hóa trong xã hội, tư tưởng con người cũng không phải là liên tục mà là các bước nhảy. Quan niệm nhảy vọt không liên tục, xác suất bất định trước và nhiều trị số có cùng một lúc là một điều không ngờ, khó hiểu nếu dùng lý tính mà ta thường biết và cách mạng trong tư tưởng. Bohr đã nói “Những ai mà lần đầu tiếp cận với thuyết lượng tử mà không bị “sốc” thì thật sự không thể hiểu nó”.

Trước khi có vật lý lượng tử thì mọi sự thể, hiện tượng thiên nhiên đều được mô tả bằng các từ thể nghiệm (empirical). Lý thuyết nguyên tử của Bohr, bất định của Heisenberg, tương đối của Einstein và lượng tử của Planck, Schrödinger cho thấy sự thể thật sự của thiên nhiên cũng nằm sâu, ẩn giấu sau những gì quan sát hay cảm nhận được. Điều này không phải là mới, triết gia Hy Lạp Plato và Plotinus trước đây cũng cho rằng vũ trụ có nhiều tầng hiện hữu, không chỉ gồm có thể giới cảm nhận mà còn có thể giới vượt quá cảm nhận (5).

Không lạ gì mà các nhà nghệ sĩ, nghệ thuật tìm kiếm cái mới đều bị thu hút bởi các ý niệm cách mạng của lý thuyết lượng tử mà Max Planck đã khơi mào.

(a) Max Ernst, Roberto Matta, Wolfgang Paalen - trường phái siêu thực

Chúng ta tin tưởng vào những tri thức lấy từ cảm nhận thay vì tri thức được áp chế từ quyền lực nào đó. Tư tưởng và chủ nghĩa thực chứng lan rộng ở Âu châu đầu thế kỷ 20 cùng với thuyết lượng tử trong vật lý do các nhà khoa học và tư tưởng trong nhóm Vienna truyền bá trong giới trí thức qua những sách vở, khám phá và các bài viết trong các tạp chí. Trong môi trường với nhiều ý tưởng mới như vậy, nghệ thuật và văn hóa Âu châu có

thêm chất liệu mới để phát triển. Người nghệ sĩ, bác học Leonardo Vinci thời Phục Hưng thế kỷ 15 và nhà nghệ sĩ Max Ernst thật ra cũng cùng ý tưởng với thực chứng của Ernst Mach.

Sau Thế chiến thứ nhất, André Breton, người chủ xướng nghệ thuật tranh siêu thực, chịu ảnh hưởng của thực chứng và tâm lý học mới bắt đầu của Freud, năm 1925 đưa ra tuyên ngôn về triết lý nghệ thuật siêu thực. Lúc đầu Breton, trong tuyên ngôn siêu thực, không thích tư tưởng, thái độ quá thực tế của thực chứng đối với quan điểm tưởng tượng của tâm thức mà siêu thực cổ vũ. Nhưng sau này quan điểm thực chứng chống lại siêu hình mà Rudolph Carnap đã phân tích trong các sách của ông về ngôn ngữ đã được nhiều nghệ sĩ siêu thực ngưỡng mộ và vài năm sau tuyên ngôn siêu thực (1935) khi Breton tuyên bố chống lại tâm lý học của Freud mà ông coi là siêu hình, thì chủ nghĩa siêu thực hoàn toàn chấp nhận thực chứng. Sự kết hợp rõ nhất về ảnh hưởng của sự phát triển khoa học qua lý thuyết lượng tử, nguyên tử, triết lý thực chứng và tâm lý học đầu thế kỷ 20 vào nghệ thuật là ở họa sĩ Max Ernst, Roberto Matta và Wolfgang Paalen.

Trong giai đoạn này, sự xuất hiện của nhiều khuynh hướng nghệ thuật khác nhau bắt đầu phát triển mạnh mẽ. Năm 1934, nhà phê bình nghệ thuật Carl Einstein nói về tranh lập thể của Georges Braque. Ông cho rằng trong các tranh trừu tượng lập thể, các hình dạng đều bị vỡ, với nhiều mảnh gián đoạn. Trong sự đổ vỡ của liên tục, ta tìm thấy một thực thể mới phá vỡ chuỗi nhân quả (causality) tương tự như trong khuynh hướng khoa học vật lý từ liên tục cổ điển đến lượng tử. Sự chuyển hướng của nghệ thuật hội họa từ tranh vẽ hiện thực, vật thể cổ điển đến tranh trừu tượng được đẩy bởi cùng một trào lưu tư tưởng, động lực thúc đẩy sự phát triển tiến bộ trong lĩnh vực vật lý và tâm lý (2). Khi Max Planck mở đầu thuyết lượng tử năm 1900, và Einstein thuyết tương đối năm 1905 thì cùng khoảng thời gian ấy Picasso bắt đầu phát triển tranh lập thể, một hướng đi mới trong nghệ thuật. Theo Arthur Miller, vật lý mới đã có ảnh hưởng đến Picasso (11).

Nhà nghệ sĩ Max Ernst, rời Đức sang Paris sống. Sự chán ngán của ông với chiến tranh thế giới thứ nhất, quy ước xã hội và truyền thống đã đưa ông đến gần siêu thực và tâm thức. Qua người nghệ sĩ, tranh thể hiện tâm thức và chính tâm thức đóng vai trò chủ yếu chứ không phải người nghệ sĩ. Ý tưởng về sự thứ yếu của vai trò người nghệ sĩ, không còn là chủ thể nữa, hay để lại dấu ấn nào trên tác phẩm cũng là ý tưởng sau này của triết lý hậu hiện đại: 'cái chết của tác giả'.

Max Ernst thấm nhuần thực chứng của Mach, chối bỏ cái siêu hình vật thể, tri thức tiên nghiệm của Kant, không có khoảng cách giữa thế giới chủ thể và thế giới vật thể, thay thế quan niệm qua thời gian về nguyên nhân và hệ quả bằng ý niệm chức năng trong sự liên hệ giữa các thành phần vật thể.

Dùng phương pháp mới trong hội họa mà Ernst đặt ra gọi là *frottage*, tranh tạo ra qua sự cọ xát với gỗ dùng than đá hay bút chì để tạo ra các mẫu hình tượng ý, rồi sau đó biến đổi thêm để hợp với một ý tưởng nào đó đã định trước, ông đã đi vào lĩnh vực mới mà ông cho là tương tự với vật lý mới của thế giới lượng tử (2)

“Ý nghĩa cách mạng của sự mô tả này về thế giới thiên nhiên mà lúc đầu có vẻ như vô nghĩa được chứng minh cho thấy bằng sự kiện là có những kết quả tương ứng đã được thực hiện trong khoa học vật lý vi mô ngày nay. Sau khi đo đường mà electron di chuyển không có ngoại lực ảnh hưởng, P. Jordan đã kết luận: ‘Nhưng sự phân biệt về sự khác nhau [giữa thế giới ngoại vi và thế giới nội tại] đã bị mất đi một trong những cột trụ bởi sự phủ nhận qua thí nghiệm ý tưởng cho là các sự kiện hiện diện ở thế giới ngoại vi có một sự hiện hữu khách quan độc lập với quá trình quan sát’.



Ernst Max - *Young Man Intrigued by the Flight of a Non-Euclidean Fly*, 1942-47

Trong bài luận văn “Siêu thực là gì?”, Ernst đã dùng lý thuyết của nhà vật lý Pasqual Jordan về sự liên hệ giữa cơ học lượng tử, sinh học và tâm lý học để đưa ra ý niệm về vai trò của người nghệ sĩ trong quá trình sáng tạo. Theo Jordan thì ở tầng quan sát được của thế giới cổ điển (Newton), đặc tính xác suất bất định không nhân quả của các phản ứng nguyên tử, sẽ trung bình hóa ra một nhân quả cơ bản cho các vật vô tri, nhưng với động vật sống, sự bất định không nhân quả của các phản ứng nguyên tử phóng đại lên và giữ nguyên trên tầng vĩ mô sự vận hành của không nhân quả. Vì thế, theo Jordan, ý chọn tự do (free will) mà con người, động vật, thực vật có là tiếng vọng trực tiếp của cùng các thành phần không nhân quả tạo thành

các vật vô tri nhưng lại biến mất đối với vật vô tri khi nâng lên tầng vĩ mô (2). Ernst cho rằng thế giới nội tại và thế giới bên ngoài trong siêu thực sẽ không có biên giới và nhập chung là một. Sự phân biệt giữa chủ thể và vật thể nhòe đi và không còn.

Roberto Matta, họa sĩ người Chile, đến Paris 1935 và sau này New York. Ông thuộc trường phái siêu thực. Octavio Paz đã nói về tranh của Matta và bạn Matta là Duchamp: “trong các tranh siêu thực, một sự biến đổi to lớn đang xảy ra, khởi đầu bởi Duchamp và thực hiện bởi Matta, một sự phối hợp của trường phái gợi dục (eroticism), khôi hài và khoa học vật lý mới”.



Roberto Matta - *Onyx of Electra*, 1944 - Bảo tàng Nghệ thuật Hiện đại, New York.

Matta cho là sự khác biệt giữa ông với các họa sĩ khác trong trường phái siêu thực là ông mang vào các hình ảnh dựa vào ý tưởng của vật lý hiện đại vào tranh mà ông cho là hợp với thời đại hơn các họa sĩ khác. Từ sự diễn giải của ông về hình học không Euclid (non-Euclid) và một thế giới “đổ vỡ” mà vật lý lượng tử và nguyên tử cho ta thấy, Matta đã tìm ra được một ý niệm mới cho nghệ thuật về sự đa dạng, đa chiều và sự mỏng manh của thế giới vật chất chung quanh con người. Các tranh của ông, thí dụ như tác phẩm “*Onyx of Electra*” (xem hình), phản ánh tư tưởng này.

Cái giới hạn trong hình ảnh sự vật dưới nhãn quan của con người được Matta cõi trối cho ta nhận thức một chiều sâu trực giác không Euclide trên tranh khác với thế giới quang học phẳng thông thường. Ông theo chân các nhà vật lý để thử nghiệm và tìm thấy một thế giới, không gian mới mà con người bị giới hạn trước đây không cảm nghiệm được, khác với con mắt bất động, vĩnh cửu và đơn điệu của phối cảnh (perspective) dùng trong thời Phục Hưng cho đến ngày nay. Phương hướng không xác định được trong tranh của ông (chúng ta nhìn lên, xuống hay ngang, dọc?) làm rối loạn thị giác quang, và vì thế dồn hay làm người xem phải trở lại vào trong chính mình.

Breton nói về tranh của Matta (2): “Ông không ngừng mời chúng ta vào *không gian mới* đã cố ý bị phá ra (*rupture délibérée*) từ quan niệm cũ về không gian bởi vì quan niệm này chỉ có nghĩa trong phạm vi phân bố của các vật thể đóng và đơn giản sơ yếu mà thôi”.

Không phải là một phương pháp thiết lập hệ tri thức nào, khoa học hay nghệ thuật, là đúng hơn và triệt tiêu lẫn nhau. Nhưng sự đa dạng của các phương pháp hệ tri thức là điều mà chúng ta nên cố vủ vì chúng thuộc hai phạm trù khác nhau và có thể hỗ tương với nhau. Ta cũng có thể nói rằng vật lý là tri thức kiểm chứng với những dữ kiện cảm nhận (sense-data) và nghệ thuật là tri thức kiểm nghiệm dùng dữ kiện cảm nhận tạo ra từ người nghệ sĩ (8). Wolfgang Paalen, nhà họa sĩ người Áo sống ở Mexico, đã đưa ra chủ trương và ý tưởng “Bổ sung” (“Complementarity”) giữa hai lĩnh vực nghệ thuật và khoa học, dựa vào từ của Niels Bohr đã dùng cho Nguyên lý bổ sung (Complementary Principle) trong vật lý lượng tử về hạt và sóng vào các năm 1942-1944 trong tạp chí *Dyn* do Paalen xuất bản (2). Nghệ thuật chú trọng về phẩm, chất lượng, có cái nhìn toàn thể trong khi khoa học chú trọng về số lượng. Sự lưỡng cực này trong triết lý đã có từ trước trong lịch sử giữa cái nhìn định tính của các nhà triết học Hy Lạp và định lượng từ Galileo hay giữa Goethe về sự nhận thức cảm tính qua tổng thể ánh sáng và Newton về thực nghiệm phân tích ánh sáng qua quang phổ. Paalen cho rằng cả hai cái nhìn mặc dù khác nhau nhưng bổ sung cho nhau trong một lý thuyết tổng thể và vì thế không triệt tiêu và tạo ra sự hiểu lầm lẫn nhau giữa nghệ thuật và khoa học.

“Đối với tôi, dường như chúng ta phải đi đến một ý niệm có nhiều tiềm năng về hiện thực, dựa vào các hướng đi mới của vật lý cũng như của nghệ thuật, một ý niệm mà tôi gọi là *dynatic* (từ chữ Hy Lạp *to dynaton*: sự có thể được). Một lý thuyết về ‘Sự có thể’, qua đó chúng ta hiểu nghệ thuật như phương trình nhịp điệu của thế giới thực thể, nó là một sự bổ sung không thể thiếu được của phương trình logic mà khoa học tạo ra. Bởi vì chỉ có sự hợp tác của hai lĩnh vực thì mới tạo ra được một đạo lý (ethics) mới đánh tan đi cái u tối của siêu hình và tôn giáo”.



Wolfgang Paalen - *L'enclume* (1952) - Frey Norris Gallery

Tuy nhiên Paalen cũng cảnh báo các nghệ sĩ siêu thực về sự lạm dụng các ý niệm vật lý, các từ ngữ ngoài khung cảnh khoa học không đúng vào phạm trù nghệ thuật. Những nhận xét của Paalen rất là tiên tri khi chúng ta được chứng kiến sự tranh luận giữa các nhà xã hội học và khoa học qua sự kiện Sokal vào cuối thế kỷ 20 (4).

(b) Gaston Bachelard - khoa học và thi sĩ

Gaston Bachelard (1884- 1962), giáo sư sử học và triết lý khoa học ở Đại học Sorbonne và cũng là thi sĩ, trong hai tác phẩm nổi tiếng *Le nouvel esprit scientifique* ("Tinh thần khoa học mới") ("The New Scientific Spirit ") (1934) và *La formation de l'esprit scientifique* ("Sự thành hình của tinh thần khoa học", "The Formation of the Scientific Spirit ") (1938) là người đầu tiên cho thấy cơ sở kiến thức, cơ nguồn và đặc tính của sự thay đổi trong sự phát triển khoa học mà mãi 30 năm sau này Thomas Kuhn mới đề ra quan niệm tương tự, qua sự thay đổi mẫu hình (paradigm), bằng tiếng Anh trong tác phẩm *The Structure of Scientific Revolutions* (Cấu trúc các cuộc cách mạng khoa học).

Sự phát triển của thuyết lượng tử trong ba thập niên đầu của thế kỷ 20 từ khi Max Planck khai phá là mầm mống và cơ sở lý luận để Bachelard đưa ra nhận thức và triết lý mới về sự đột phá có tính cách nhảy vọt không từ từ liên tục trong sự phát triển lý thuyết khoa học.

Bachelard cho thấy là trong 2000 năm, hình học Euclid ngự trị và không thay đổi là do sức mạnh của tâm trí, trí óc con người đã không được thể hiện và kìm hãm trong thời gian lâu như vậy. Vượt qua chủ thể và vật thể, khoa học dựa vào đề án (projet). Trong tư tưởng khoa học, suy tư về vật thể bởi chủ thể đều theo dạng của một đề án. Mỗi lý thuyết đều thể hiện sự năng động của trí tuệ con người thiết lập ra lý thuyết đó, có nghĩa là lý thuyết tượng trưng cho sự thay đổi tâm trí con người. Trong sự nghiên cứu phát triển hình thành của lý thuyết khoa học thì vai trò của tâm lý (psychology) trong sự nhận thức của con người là chủ yếu. Bachelard lấy thí

dụ trong sách của Heisenberg về nguyên lý của thuyết lượng tử (Physical principles of the quantum theory), khi Heisenberg đã dùng có lúc thuyết sóng (wave), có lúc thuyết hạt tử (particle) hoàn toàn đối nghịch để giải thích các hiện tượng, bổ sung thuyết sóng khiếm khuyết bằng cách dùng thuyết hạt tử hay ngược lại. Điều này cho thấy là tâm lý con người trong khoa học một khi đối diện với khó khăn qua một niềm tin, thì ngay khi ấy con người sử dụng quan điểm đối nghịch để cố gắng lý giải. Sự ảnh hưởng của diễn giải Copenhagen về thế giới lượng tử đến sự tiếp cận của Bachelard trong vai trò của tâm lý vào sự phát triển khoa học đến đây là rất rõ.

Bachelard cho rằng trong sự tìm hiểu tiếp cận với thế giới, sự tranh luận giữa các phương pháp như thực nghiệm, lý tính, quy nạp, hữu định, vô định... là tất yếu trong quá trình nhận thức và các lý thuyết tạo ra từ các phương pháp sẽ đối chọi nhau hay sẽ đi đến bế tắc không giải thích được các hiện tượng. Cuối cùng tâm trí và nhận thức con người sẽ đi đến một trình độ mới trong những tình huống mới và không ngờ trước được. Đó là sự ra đời của một mẫu hình mới. Mẫu hình này sẽ giải thích và hóa giải các bế tắc của các lý thuyết cũ và tạo ra một tâm tư hay phương pháp nhận thức mới trong tâm lý suy tư của con người. Phương thức suy tư này có thể cần thời gian lâu để biết được và trở thành quen thuộc. Vì thế trong lịch sử khoa học, tiếp nhận tri thức mới đều trải qua những bước nhảy (như lượng tử, quantum) vượt qua hay phá vỡ ("*rupture épistémologique*") những hàng rào chướng vật ngăn cản ("*obstacles épistémologiques*") của tâm lý nhận thức cũ. Tất cả các sự thật mới đều sinh ra trái ngược với sự hiển nhiên. Bachelard không coi sự tiến triển trong lịch sử khoa học là một sự tiến bộ liên tục mà là các bước gián đoạn, nhảy vọt phản ánh qua tâm thức con người vượt qua các rào cản và các lý thuyết mới mở rộng thêm các quan niệm (như thuyết tương đối) và bao gồm các lý thuyết cũ (như vật lý Newton).

Vì cũng là thi sĩ, Bachelard để nhiều thời gian nghiên cứu hình ảnh tưởng tượng trong thơ, mộng ngày trong bối cảnh thế giới hình ảnh, thế giới ý tưởng. Kiến trúc không nên được thiết kế theo lý tính về chức năng của mỗi bộ phận mà phải để tự chúng ta cảm nghiệm trong các thành phần của kiến trúc và chúng cho phép ta để mộng (rêve) ngày. Trong tác phẩm *Lautréamont* nói về nhà thơ siêu thực Comte de Lautréamont (Lucien Ducas) với tác phẩm thơ *Les Chants de Maldoror*, ông đã so sánh nội lực, sức đẩy của hình ảnh, vần thơ với năng lượng, vận tốc, khối lượng của vật

lý. Theo Bachelard thì sự tưởng tượng cách mạng trong thơ của Lautréamont cũng như thuyết lượng tử hay tương đối của Einstein trong vật lý thay đổi, tổng quát hóa và bao trùm vật lý cổ điển. Sức mạnh chuyển hóa của tưởng tượng trong thơ siêu thực cũng giống như sức mạnh chuyển hóa cách nhìn và nhận thức của vật lý mới. Nhiều người không hiểu tại sao chỉ một số họa sĩ, nhà thơ siêu thực hiểu được Lautréamont. Đây không có gì lạ, cũng tương tự như chỉ có một số ít nhà toán học tụ tập chung quanh Einstein vì họ hiểu được thuyết Einstein. Bachelard là gạch nối giữa khoa học và nghệ thuật và như đã nói ở trên có ảnh hưởng quan trọng về tư tưởng trong cả hai lĩnh vực.

Ngoài André Breton, sách *Tinh thần khoa học mới* của Bachelard đã có ảnh hưởng sâu rộng với các nhà thơ, văn và họa sĩ siêu thực như Roger Caillois, Tristan Tzara, Jules Monnerot, Jacques Spitz, Nicolas Calas trong nhóm *Groupe d'Études pour la Phénoménologie* và họ đã trở thành bạn với nhau. Bachelard thường đến quán cà phê Deux Magots ở Paris, nơi các nhà nghệ sĩ siêu thực thường tụ tập, để hàn huyên. Bachelard viết bài về chủ nghĩa siêu thực trong tạp chí *Inquisitions* của nhóm siêu thực và ngược lại Caillois viết trên tạp chí *Recherches Philosophiques* do Bachelard làm chủ bút. Các bài của Spitz, Tzara, Caillois về siêu thực đều dùng ý tưởng vật lý mới mà Bachelard mang vào trong tư tưởng hiện đại.

Ngoài nhóm siêu thực trong *Groupe d'Études pour la Phénoménologie*, những nhà văn, nghệ sĩ chịu ảnh hưởng của tư tưởng Bachelard là Georges Bataille, Louis Aragon, Paul Eluard, Salvador Dali, Denis de Rougement, Pierre Mabilie, René Crevel, Marcel Duchamp, Zdeno Reich... Paul Eluard đã dùng các đoạn văn của Bachelard trong các bài viết trên tạp chí *Minotaure*. Tác phẩm *Au carrefour de l'amour, la poésie, la science et la révolution* (Ở ngã tư của tình yêu, thi ca, khoa học và cách mạng) (1935) của nhà văn René Crevel cho thấy tư tưởng *rupture épistémologiques* của Bachelard áp dụng vào trào lưu văn học Pháp lúc đó. Crevel cũng cố gắng mang tư tưởng, khám phá mới trong vật lý vào lý luận để ủng hộ tư tưởng chính trị duy vật biện chứng và marxist của ông, gọi là xã hội chủ nghĩa khoa học (scientific socialism).

Khuynh hướng tư tưởng của các thập niên 1920, 1930 ở lục địa Âu châu trong nghệ thuật và xã hội là thiên về thực chứng và duy vật song song với sự phát triển khoa học vật lý lượng tử và triết lý thực chứng của nhóm Vienna. Nhấn mạnh vào quan sát, gạt bỏ siêu hình và xóa bỏ sự phân biệt

giữa chủ thể, chủ quan và vật thể, khách quan mà thực chứng và vật lý lượng tử đem lại qua trung gian Bachelard, các nghệ sĩ mà đa số theo chủ nghĩa xã hội hay marxist đã hồ hởi đón nhận. Sau khủng hoảng kinh tế thế giới 1929, chính phủ Leon Blum của mặt trận bình dân cầm quyền ở Pháp được sự ủng hộ và tham gia của nhiều nhà nghệ sĩ và trí thức như nhà vật lý Paul Langevin trong nội các Leon Blum. Sự ảnh hưởng về tư tưởng của nghệ sĩ từ vật lý lượng tử càng sâu đậm.

Nicolas Calas trong tác phẩm *Foyers d' Incendie* cho rằng thái độ chủ quan, biểu hiện trong văn học qua các tác phẩm của James Joyce và Marcel Proust và trong nghệ thuật bởi trường phái ấn tượng (Impressionism), được thay thế bởi ý chí khách quan, vật thể hóa trong nghệ thuật siêu thực. Ông cổ vũ tư tưởng Bachelard chống lại sự đem trở lại tư tưởng Descartes và Bergson của một số nghệ sĩ lấy triết lý Bergson để xây dựng mỹ thuật chủ quan trong phong trào hiện đại (2).

Bachelard có ảnh hưởng đến những triết gia sau này như Louis Althusser trường phái cấu trúc luận (structuralism) và Michel Foucault, Jacques Derrida của hậu hiện đại (post-modernism).

Chủ nghĩa hậu hiện đại

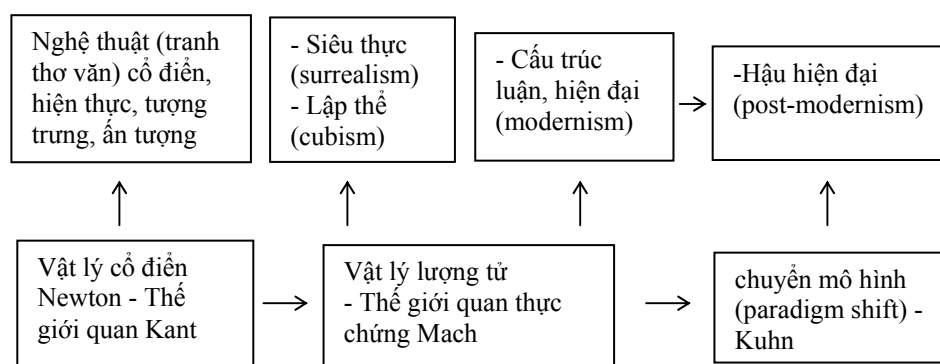
Theo thực chứng thì khoa học hay “sự thật” chỉ có thể có và chấp nhận khi chúng ta có thể quan sát và kiểm chứng được. Hiện tượng có trước và quan sát trước khi ta tìm được lý thuyết hay sự thật khách quan nằm sau giải thích được hiện tượng đó. Nhưng sự thành công của thuyết lượng tử và tương đối cho thấy sự giới hạn của khoa học dựa vào thực chứng. Lý thuyết có thể đi trước và tiên đoán được những hiện tượng có thể xảy ra dẫn đường cho chúng ta thiết lập cơ sở để thấy và quan sát được. Như vậy, một sự thật khách quan có thể được tìm thấy qua lý thuyết và triển khai mà không cần phải có hiện tượng gắn liền trước tiên. Karl Popper đã giải toả được sự hạn chế của thực chứng và cho rằng một tri thức hay lý thuyết được gọi là khoa học khi nó cho ta có nhiều cơ hội để kiểm nghiệm là nó có thể sai và nó phải táo bạo tiên đoán được những hiện tượng chưa được quan sát và kiểm nghiệm. Ông đã thiết lập có hệ thống phương pháp để xác định một lý thuyết được cho là khoa học khác với “ngụy khoa học” qua khả năng phản nghiệm (falsificationism).

Nhưng có thật là đằng sau hiện tượng là luôn có một tri thức, lý thuyết hay một sự thật tuyệt đối khách quan nào đó mà ta nhận thức được và triển

khai giải thích được sự vận hành của hiện tượng không? hay lý thuyết, cái mà ta cho là sự thật khách quan ấy chỉ là sản phẩm của tư tưởng, nhận thức tùy thuộc vào hoàn cảnh và môi trường văn hóa xã hội do con người tạo nên, hay nói khác hơn nó cũng chỉ là một hư cấu, một sản phẩm hiện tượng do chúng ta tạo ra?.

W. Paalen cho rằng sự tưởng tượng tạo ra hiện thực cũng như nó đã được tạo ra bởi hiện thực, chúng ta nên hiểu là các hình ảnh của nghệ thuật không phải là sự thể hiện hão huyền tự đắc của người nghệ sĩ, hay các thiết kế cho các công cụ mà chính là các thiết kế (blueprint) cho chính con người (2)

Hậu hiện đại đi xa hơn nữa và cho là tất cả thế giới chung quanh ta chỉ là hiện tượng và tri thức, cảm nhận về các hiện tượng đều khác nhau ở mỗi người và đều chủ quan, không có tri thức nào là đúng hơn, tất cả đều tương đối. Ý tưởng này rất gần với ý tưởng mà vật lý lượng tử đặt ra về hiện thực (reality) qua vai trò của nhận thức (consciousness) và sự phủ nhận về sự hiện diện của một thế giới vật thể có ý nghĩa nằm ngoài kia độc lập với nhận thức bên trong của chủ thể.



Hậu hiện đại bắt nguồn từ hiện đại và phát triển rộng rãi sau khi Thomas Kuhn đưa ra lý thuyết chuyển mô hình (paradigm shift) về lịch sử phát triển khoa học trong cuốn sách *The Structure of Scientific Revolution*. Nhà văn và triết gia hậu hiện đại, Michel Foucault, trong sách *Les Mots et les choses. Une archéologie des sciences humaines* (1966) đã dùng ý tưởng về sự bất liên tục từ một hệ thống quan niệm xã hội, tư tưởng văn hóa đến một hệ thống khác trong lịch sử, rất giống với ý niệm chuyển mô hình của Kuhn. Michel Foucault chịu ảnh hưởng từ người bạn và cũng là thầy của ông là nhà lý thuyết cấu trúc Louis Althusser nổi tiếng qua sự phân tách cấu trúc

của lý thuyết duy vật của Marx. Như đã đề cập phần trên, Althusser đã dùng lý thuyết và ý tưởng của Bachelard “rupture épistémologique” để phân tách lý thuyết chủ nghĩa. Bức tranh của họa sĩ siêu thực René Magritte *La trahison des images* vẽ một ống điếu thuốc nhưng dưới có viết ‘Ceci n’est pas une pipe’ (‘Đây không phải ống điếu thuốc’), cho thấy hiện thực cũng có thể bị “giả mạo” và bất định, cũng là đề tài về sự vô lý, nghịch lý và phiên diện của hiện thực trong cuốn sách của Foucault *Ceci n’est pas une pipe*.

Nhà hậu cấu trúc luận, Jacques Derrida, được biết nhiều qua ý niệm ‘giải cấu trúc’ (deconstruction), cũng là học trò của Althusser, cho rằng luôn có một sự bất định (undecidable) trong sự chọn lựa để hiểu nghĩa chính xác của một văn bản nào và không có sự khách quan trong lúc đọc văn bản, rất giống với quan niệm bất định (uncertainty) và chủ quan của vật lý lượng tử. Mục đích của giải cấu trúc trong các văn bản là mang đến hay cho thấy tất cả các nghĩa khác có thể tiềm tàng hay bị chôn vùi ngoài cái nghĩa của cấu trúc mà tác giả văn bản muốn xây dựng. Để giải cấu trúc, Derrida dùng ý niệm về sự nhận thức ngôn ngữ, nghĩa qua sự liên hệ với các sự thể khác và ngữ cảnh khác nhau chứ không phải trực tiếp trong một trường hợp mà ông gọi là *differance* (kết hợp của từ *difference* và *deferral*). Trong tác phẩm *La vérité en peinture*, Derrida cũng dùng tranh của Magritte, Van Gogh trong đề tài ‘giải cấu trúc’ (deconstruction) của tranh qua lý thuyết về mỹ thuật của Kant, Heidegger và về sự bất định của ‘sự thật’ qua lá thư của Cézanne nói về sự thật trong tranh và sự thật liên quan đến tranh.

Gần đây, Artigiani đã so sánh sự thay đổi tư duy từ duy lý, khách quan, cấu trúc của hiện đại đến tương đối, chủ quan, giải cấu trúc của hậu hiện đại trong văn học cũng song song và tương đương với sự thay đổi cách mạng trong nhận thức về thế giới thiên nhiên từ vật lý cổ điển Newton đến vật lý lượng tử trong vật lý (12).

Sự khám phá bất ngờ trong vật lý lượng tử về thế giới hiện thực đã đặt ra những câu hỏi sâu xa triết lý về thế giới hiện thực, gây vấn nạn cho triết học và cũng chính vật lý lượng tử có ảnh hưởng hay nói chính xác hơn là đã có tác dụng kích thích sự phát triển trong lĩnh vực văn hóa nghệ thuật cho đến ngày nay. Những câu hỏi về hiện thực là gì, ý nghĩa của thế giới lượng tử liên quan đến hiện thực, vai trò của nhận thức mà vật lý lượng tử đặt ra đã cho thấy là “hiện thực lạ lùng hơn ta nghĩ và hiện thực lạ lùng hơn ta có thể nghĩ đến”, tương tự như nhà vật lý Arthur Eddington đã nói trước đây về vũ trụ (“Not only is the universe stranger than we imagine; it is stranger

than we can imagine.”). Vật lý lượng tử là tiên phong của khoa học ngày nay và tiên phong là những gì mà các tiền vệ (avant-garde) của nghệ thuật luôn luôn đang tay đón nhận.

Tổng luận

Khi Max Planck đặt ra ý niệm lượng tử, ông chỉ xem đó là một phương tiện để giải bài toán khó mà Kirchoff đã đặt ra. Điều quan trọng là ông đã giải thích được sự phát sóng từ vật đen một cách thật chính xác và đầy đủ không ngờ, hoàn toàn phù hợp với dữ kiện thí nghiệm. Ý tưởng lượng tử về sự không liên tục của năng lượng không bận tâm ông. Ông không nghĩ là nó sẽ có những hệ quả lớn lao về tư tưởng và phát triển khoa học vật lý lượng tử và ảnh hưởng vào đời sống con người trong mọi lĩnh vực kể cả nghệ thuật sau này.

Như ta đã thấy thuyết lượng tử của ông sau đó được Bohr mang vào thế giới ở tầng vi mô của vật lý nguyên tử, và từ đó đã đưa đến vật lý cơ học lượng tử với sự đóng góp sau đó của các nhà vật lý như Heisenberg, Dirac. Một sự khám phá thành công nhất về tri thức của ngành vật lý nói riêng và khoa học nói chung ở thế kỷ 20 và cho đến thế kỷ 21 này. Ngoài phương diện khoa học kỹ thuật, kinh tế xã hội, mặc dù không được biết đến nhiều, nhưng ảnh hưởng của nó vào tư tưởng triết học, văn hóa nghệ thuật cũng to lớn không kém như đã mô tả ở trên. Gần đây, đã có các lý thuyết và các nghiên cứu trong lĩnh vực triết học, sinh học lượng tử, tâm lý và vật lý thần kinh cho rằng nhận thức (“consciousness”) phát sinh từ các hiện tượng, quá trình lượng tử trong và giữa các tế bào thần kinh (neuron) trong sinh vật (mô hình Penrose-Hameroff), tức là nhận thức xảy ra sau và qua sự hiện hữu của vật thể và hiện tượng lượng tử (14), cũng như sự đối ngẫu (duality) của vật thể (matter) và tinh thần (mind) là hệ quả của quá trình lượng tử (13).

Cuối thế kỷ 20, tác phẩm “Mây lượng tử” (“Quantum Cloud”) của nhà điêu khắc Antony Gormley được hoàn thành năm 1999 vừa kịp để được đặt dựng kế công trình kiến trúc Millenium Dome tại London, đánh dấu con người bước vào ngưỡng cửa của thế kỷ 21. Thuyết lượng tử đã làm cuộc cách mạng khoa học ở thế kỷ 20 và cũng sẽ mang đến những ứng dụng và ảnh hưởng to lớn cho thế kỷ hiện nay của chúng ta. Nghệ thuật và khoa học không bao giờ gặp nhau trong tư tưởng chăng? Vật lý lượng tử đã chứng tỏ điều này sai và không có cơ sở. Khoa học gia và người nghệ sĩ là bạn đồng

hành trên con đường tiếp cận với thế giới hiện thực, tìm tri thức cùng khai phá sáng tác và làm cuộc sống tâm thức con người có ý nghĩa.

Tài liệu tham khảo:

- (1) Ball, P., Quantum weirdness and surrealism, *Nature*, Vol. 453, 19 June 2008, p. 983-984.
 - (2) Parkinson, G., *Surrealism, Art and Modern Science*, Yale University Press, 2008.
 - (3) Bachelard, G., *The new scientific spirit*, transl. by A. Goldhammer "Le nouvel esprit scientifique", Beacon Press, Boston Massachusetts, 1986.
 - (4) Nguyễn Đức Hiệp, *Triết lý khoa học*, Tạp chí Thời đại mới, tháng 2 2004, http://www.tapchithoidai.org/200402_NDHiep.htm
 - (5) Malin, Shimon, *Nature loves to hide: Quantum Physics and Reality*, a Western Perspective, Oxford University Press, 2003.
 - (6) Barthes, R., *Writing degree zero* (transl. by Annette Lavers, Colin Smith), Hill and Wang, New York, 1999.
 - (7) Faye, Jan, Niels Bohr and the Vienna Circle, 2007, <http://philsci-archive.pitt.edu/archive/00003737/>
 - (8) King, Mike, *From Max Ernst to Ernst Mach - Epistemology in Art and Science*, Research into Practice conference, University of Hertfordshire, July 2002, <http://www.jnani.org/mrking/writings/post2000/ErnsttoMachintro.htm>
 - (9) Evelyn Fox Keller, "Cognitive repression in contemporary physics," 47(8), 718-721 (1979).
 - (10) Merali, Zeega, Reincarnation can save Schrödinger 's cat, *Nature*, Vol. 454, 3 July 2008, pp. 8-9.
 - (11) Ciara Muldoon, Did Picasso know about Einstein?, *PhysicsWorld*, Nov. 2002, <http://physicsworld.com/cws/article/print/11359>.
 - (12) Artigiani, R., From epistemology to cosmology: Post-modern science and the search for new cultural cognitive maps, in 'The Evolution of Cognitive Maps: New Paradigms for the twenty-first century', Edited by Ervin Laszlo, Ignazio Masulli, Gordon and Breach Publishers, 1993, pp. 29-57.
 - (13) Zohar, Danah, *Quantum Self - Human nature and consciousness defined by the new physics*, Harper Perennial, New York, 1991.
- Hameroff, Stuart, Penrose, Penrose, Orchestrated Objective Reduction of Quantum Coherence in Brain Microtubules: The "Orch OR" Model for

Consciousness, In: Toward a Science of Consciousness - The First Tucson Discussions and Debates, eds. Hameroff, S.R., Kaszniak, A.W. and Scott, A.C., Cambridge, MA: MIT Press, pp. 507-540 (1996).

HÀ DUONG TUẤN*

KHOA HỌC LUẬN, TẠI SAO?

Abstract. There is no doubt that science and technology have an important impact on the way man lives and thinks. Yet there is a long-standing gap between "scientific culture" and "humanistic culture", which is even larger in developing countries, where there is no established scientific tradition. This short essay suggests that philosophy of science be taught to undergraduates, both in humanities and science and technology classes, in the hope of contributing, however slightly, to bridging the "cultural gap". From a more practical viewpoint, even though one cannot truly understand science without actually doing scientific work, hopefully philosophy of science could better prepare future scientists for their careers and enhance everyone's perceptions of humanistic and social issues. The philosophy of science curriculum should consist mainly of history of science and technology, which would provide a basis and a parallel approach to different views on science from great scientists and philosophers.

Khoa học luận

Ở đây xin phân biệt khoa học luận với nhận thức luận. Nhận thức luận là một bộ phận nền tảng của triết học, nhằm khảo sát và tư duy tổng hợp về quá trình nhận thức của con người nói chung, trong đó khoa học là một thành phần. Trong quá khứ sự phân biệt này không hẳn rạch ròi, điều mà ta còn thấy qua ngôn ngữ: Trong tiếng Pháp, *Epistémologie* được hiểu là khoa học luận, còn nhận thức luận là *Philosophie de la connaissance*. Trong tiếng Anh thì *Epistemology* lại là nhận thức luận, và khoa học luận là *Philosophy of science*. Epistemology gồm hai gốc Hy Lạp *Epistémè*, dịch là hiểu biết hay là khoa học đều được, vì thời ấy không có phân biệt; và *Logos*, nghĩa rất rộng, có thể dịch là ngôn từ hay tư duy, ở đây cụ thể hơn là một môn học, một luận thuyết.

* Chuyên gia công nghệ thông tin, Paris.

Khoa học luận gồm những tư duy về hoạt động khoa học, nó dần dần hình thành trong suốt thế kỷ 18, sau khi Vật lý học của Newton đã được chấp nhận rộng rãi, đồng thời Toán học, Hóa học, đã phát triển đến một trình độ độc lập với những giả định có tính siêu hình, và hình thành một lớp người được xác định qua hoạt động của họ: các nhà khoa học. Trước đó các nhà khoa học thường tự coi mình như những nhà triết học của tự nhiên. Chẳng hạn tác phẩm nền tảng của cơ học Newton, xuất bản năm 1687, vẫn có tên *Nguyên lý toán học trong Triết lý của tự nhiên...* như vậy cũng có nghĩa họ vừa làm khoa học, vừa làm khoa học luận, không phân biệt rành mạch. Các nhà khoa học luận hiện nay vẫn chỉ phát triển tư duy của mình về khoa học thực nghiệm là chính: vật lý học, hóa học, và gần ta hơn, cộng thêm sinh học. Toán học và luận lý học thì đã được coi như những công cụ tư duy, không có tính thực nghiệm¹. Các ngành khoa học xã hội và nhân văn nói chung không được các nhà khoa học luận đề cập đến kỹ lưỡng, có lẽ vì độ phức tạp của chúng quá lớn, thêm nữa chúng chỉ dựa trên quan sát và tư biện, không dựa trên thực nghiệm.

Do việc có hay không có thực nghiệm làm trọng tài cuối cùng mà một đẳng đi đến được (hoặc tin tưởng sẽ đi đến được, trên các vấn đề còn mở) đồng thuận và thống nhất trên các kết quả cụ thể, phương pháp, và lý thuyết; một đẳng thì, tuy có tính nghiêm túc và chặt chẽ trong phương pháp nghiên cứu, vẫn hình thành các trường phái với những giả định triết học khác nhau và những kết luận khác nhau trên cùng một số vấn đề. Trong nghĩa đó, bản thân khoa học luận cũng không phải là một khoa học chính xác, tuy rằng nó có một phần tương đối khách quan, đó là lịch sử phát triển khoa học, dựa trên đó những trường phái tư tưởng có thể có những giải thích và suy diễn khác nhau, tùy theo quan điểm về nhận thức luận.

Nói cách khác, có thể coi bộ môn khoa học luận vừa như một bộ phận của khoa học xã hội, vừa như một bộ phận của triết học. Cũng chính vì thế, ít ra ở mức độ một giáo trình văn hóa cơ bản cho người có học trong thời đại ngày nay, hạt nhân - chính yếu và vững chắc, được đồng thuận cao - của khoa học luận phải là lịch sử khoa học, bao gồm sự xuất hiện của những lý thuyết, khái niệm, và những quy luật khoa học cơ bản, cùng ảnh hưởng qua lại của chúng với kỹ thuật, công nghệ, và khung cảnh tinh thần

¹ Đặc biệt công cụ tin học, ngoài chức năng tính toán còn có thêm vai trò rất mới, như là một công cụ mô phỏng, một hình thức thực nghiệm "ảo" không thể thiếu cho các ngành khoa học thực nghiệm ngày càng phức tạp.

cũng như vật chất của xã hội. Nằm bên trong lịch sử (tương đối) khách quan này là sự biến chuyển của các lý thuyết và phương pháp luận khoa học¹, mà sự trình bày không thể tách rời khỏi thành phần thứ ba của khoa học luận, là những lập trường tiên thiên về nhận thức luận, về câu hỏi thế nào là sự hiểu biết vững chắc về tự nhiên; chính vì phương pháp luận khoa học là con đường tìm đến những hiểu biết đó. Vấn đề không phải là chọn lựa một quan điểm nhất định nào một cách giáo điều, thí dụ các học thuyết thời thượng của Karl Popper, hay của Thomas Kuhn, hay của một trong nhiều nhà khoa học luận quan trọng khác..., mà là giới thiệu các quan điểm khác nhau, mời gọi sự suy nghĩ riêng của mỗi người qua trình bày và thảo luận.

Khoa học và khoa học luận cổ điển

Có thể nói khoa học cổ điển² ra đời với những bác học nổi bật của thế kỷ 17 như Gallileo Gallilei (1564-1642), René Descartes (1596-1650), Gottfried Leibniz (1646-1716) và nhất là Isaac Newton (1642-1727)... trong đó Descartes và Leibniz còn là những triết gia về nhận thức luận. Nhưng người đặt ra vấn đề có thể nói cơ bản nhất của khoa học luận, ngày nay được gọi là *vấn đề quy nạp*, là David Hume (1711-1776), năm 1739, trong tác phẩm *Luận về bản chất con người (traité de la nature humaine)*, ông hoài nghi về tính chân lý tuyệt đối của các quy luật vật lý: đó chỉ là sự quy nạp từ những nhận thức trong quá khứ rồi tổng quát hóa thành quy luật, thí dụ như quy luật Mặt trời mọc mỗi buổi sáng, không có gì bảo đảm một cách tuyệt đối là ngày mai điều ấy sẽ tiếp tục như thế. Các quy luật khoa học chỉ có tính kinh nghiệm mà thôi. Vào lúc cơ học của Newton đang ở đỉnh cao, khi nhiều người cho rằng các quy luật cơ học là tuyệt đối chắc chắn, luận đề hoài nghi triết học độc sáng và không thể chối cãi này đã "đánh thức tôi tỉnh giấc ngủ giáo điều", theo lời của Immanuel Kant (1724-1804).

Chấp nhận hay không chấp nhận tính bất khả tri của Hume? Và nếu không chấp nhận thì cứu vãn sự xác tín khoa học như thế nào, có thể có một

¹ Ở đây không nói đến những thủ tục chặt chẽ khi tiến hành thí nghiệm hoặc khi viết luận văn trong cộng đồng khoa học, mà sự truyền đạt qua thực tiễn tại một môi trường đại học nghiêm chỉnh là điều cần thiết tối thiểu. Xin hiểu phương pháp luận khoa học trong nghĩa trừu tượng hơn như là những phương châm hay những nguyên tắc tư duy hướng dẫn cho việc nghiên cứu khoa học. Có thể nói đó là những biểu hiện của tinh thần khoa học.

² Sẽ nhường chỗ cho *khoa học hiện đại* với thuyết tương đối và thuyết lượng tử ở đầu thế kỷ 20.

lập trường dung hòa hay không? Có thể bỏ qua câu hỏi này để suy tư về những vấn đề khác có ích hơn hay không?

Có lẽ đây là những câu hỏi cho phép phân biệt và bước đầu tiếp cận những chủ thuyết của các nhà khoa học luận / nhận thức luận trong hai thế kỷ 18 và 19. Ở đây không thể phát triển dù ngắn gọn, chỉ có thể phác họa rất thô thiển về một vài nhà khoa học luận như sau:

Descartes và Leibniz là những người duy lý siêu hình (rationalisme métaphysique), tuy rằng nền tảng siêu hình của hai ông hoàn toàn khác nhau. Họ đều tin tưởng rằng có thể xây dựng triết học và khoa học trên những nền tảng siêu hình đó. Và như thế không có chỗ cho sự hoài nghi của Hume. Sự hoài nghi về những tiên thiên duy lý này đưa những người theo chủ nghĩa duy nghiệm (empirisme, tên gọi mà Kant dùng cho lập trường của Hume) đến việc tôn trọng kinh nghiệm đời thường hơn là lý thuyết.

Kant khẳng định khoa học thường nghiệm là có thể, đồng thời bác bỏ sự xây dựng khoa học trên nền tảng siêu hình. Để làm được việc ấy là quyển I của công trình đồ sộ *Phê phán lý tính thuần túy*¹, mà hệ thống khái niệm có ảnh hưởng rất sâu rộng cho đến nay. Sự cứu vãn xác tín khoa học của Kant dựa trên cái giá phải trả (mà bây giờ vẫn còn thời sự) là chấp nhận tính bất khả tri của bản thể, cùng lúc với việc loại bỏ những xác tín siêu hình ra khỏi khoa học. Khoa học chỉ bàn về những hiện tượng mà thôi, và trong giới hạn đó ông không chia sẻ sự hoài nghi của Hume, mà cho rằng con người có những phán đoán *tổng hợp (tiên thiên)* về thế giới hiện tượng, như không gian và thời gian...

Auguste Comte (1798-1857) thường được gọi là nhà khai sinh cho thuyết *thực chứng* (positivisme). Với ông, tinh thần khoa học đồng nghĩa với tinh thần thực chứng. Comte đề cao hiện thực, nhưng khác với những người duy nghiệm, hiện thực của Comte không phải là những dữ kiện đầu tiên đến từ giác quan, mà là một hiện thực được tổ chức bằng lý trí. Đó là việc Comte đã thực hiện trong tác phẩm bách khoa *Giáo trình triết học thực chứng* (Cours de philosophie positive) viết từ 1830 đến 1842, trong đó các hiểu biết khoa học được sắp xếp thành 6 ngành: Toán, thiên văn, vật lý, hóa học, sinh học, xã hội học. Như thế đủ thấy ảnh hưởng của Comte trong giáo dục khoa học suốt từ thời đó cho đến nay. Và tư tưởng thực chứng vẫn nằm

¹ Bản dịch của Bùi Văn Nam Sơn, Nxb Văn học, 2004.

trong đại đa số các nhà khoa học cũng như khoa học luận hiện đại, dù với những sắc thái tinh tế khác nhau, và nói chung họ không còn giữ niềm tin duy khoa học của Comte.

Ernst Mach (1838-1916) là một nhà vật lý học, chuyển sang triết học theo nghĩa phê phán tinh thần và hoạt động khoa học. Câu của Mach "*nhà bác học phải sử dụng những khái niệm đơn giản nhất để đạt kết quả và loại bỏ mọi thứ mà giác quan không cảm nhận được*" tượng trưng cho cả phần nên cộng và phần nên trừ của ông: Mệnh đề đầu rất sâu sắc và được Einstein nhắc lại nhiều lần, cũng như từ nguyên tắc đó mà những phê phán cơ học Newton của ông đã giúp vào tư duy của Einstein trong thuyết tương đối. Mệnh đề thứ nhì lại quá duy nghiệm, nó khiến ông gạt bỏ thuyết nguyên tử, vì thời ấy không có thí nghiệm nào cho thấy sự hiện diện của nguyên tử, dù gián tiếp hay trực tiếp, mặc dù người ta đã khám phá nhiều hiện tượng hóa học không thể giải thích nếu không dùng đến khái niệm nguyên tử¹.

Khoa học và khoa học luận hiện đại

Vào giai đoạn cuối của nền khoa học cổ điển, những bước tiến của cơ học, nhiệt động học, hóa học, điện từ học, quang học, toán học... khiến cho các ngành này giao thoa với nhau và đặt ra nhiều vấn đề mới. Ngoài vấn đề bức xạ của vật đen và thí nghiệm đo vận tốc ánh sáng của Michelson và Morley, có quan hệ trực tiếp với thuyết lượng tử và thuyết tương đối, có thể liệt kê vài thí dụ nổi bật:

- Phương trình của James Maxwell (1831-1878) năm 1861 đã thống nhất quang học và điện từ học.
- Cơ học xác suất của Ludwig Boltzmann (1844-1906) giải thích được nguyên lý thứ hai của nhiệt động học.
- Sự thắng thế dần của thuyết nguyên tử với John Dalton (1766-1844), quan sát thấy trong các phản ứng hóa học các thành phần chỉ tham gia theo những tỷ lệ nhất định; và với bảng tuần hoàn của Dimitri Mendeliev (1847-1907).
- Đồng thời sự phát triển toán học đặt ra yêu cầu củng cố nền tảng lý luận, thúc đẩy luận lý học hình thức phát triển vượt bậc.

Ngoài ra, ngành Sinh học cũng trải qua một cuộc cách mạng: Thuyết tiến hóa khởi đầu với Jean Baptiste Lamarck (1744-1829). Năm 1809 trong tác

¹ Cần nói thêm đây cũng là lập trường của Planck, cho đến 1914.

phẩm "*triết học động vật*" (*philosophie zoologique*) ông đặt ra giả thuyết động vật biến chuyển từ loài nọ sang loài kia, tuy nhiên giải thích của ông về sự di truyền của các đặc tính mà sinh vật đạt được qua tự thích ứng với môi trường là không đúng. 50 năm sau, Charles Darwin (1809-1882), trong tác phẩm *Về nguồn gốc các loài qua tuyển chọn tự nhiên* (*On the Origin of Species By Means of Natural Selection* - 1859) đưa ra giả thuyết tiến hóa tổng quát hoàn chỉnh và thuyết phục hơn, tuy ông cũng không nói gì về khả năng di truyền. Johann Gregor Mendel (1822-1884) đã khám phá những quy luật di truyền, công bố năm 1865, nhưng công trình của ông bị lãng quên, phải đợi đến những năm 20 của thế kỷ 20 thuyết tiến hóa của Darwin mới được bổ sung bằng đột biến ngẫu nhiên trong di truyền, thành thuyết tiến hóa "tân Darwin" được đồng thuận tuyệt đối trong các nhà khoa học, được giảng dạy (và vẫn được nghiên cứu phát triển thêm) ngày nay. Trong thế kỷ 20 sẽ xảy ra một cuộc cách mạng sinh học vĩ đại nữa: việc khám phá phân tử ADN, nơi ghi lại các thông tin di truyền. Đó là kết quả của một chuỗi dài các thành quả cục bộ, với ba người đột phá cuối cùng là Rosalind Franklin, James Watson và Francis Crick, năm 1953.

Vật lý học và Hóa học của thế kỷ 20 bắt đầu với báo cáo của Planck ngày 14-12-1900 tại Hàn Lâm viện Berlin về tính không liên tục của năng lượng phát ra từ vật đen, mở đầu cho thời đại của cơ học lượng tử; rồi đến những công bố của Einstein: giả thuyết ánh sáng là lượng tử, và thuyết tương đối hẹp năm 1905, thuyết tương đối mở rộng năm 1915; hai lý thuyết này đã mở đầu một kỷ nguyên mới về nhận thức của con người về tự nhiên. Hiển nhiên là khoa học luận từ đó đã đổi mới sâu sắc. Nhưng có lẽ cũng cần nhấn mạnh là điều ấy không phải chỉ vì những kết quả mới đó của khoa học, mà còn vì quá trình chín muồi của nó trong thế kỷ 19.

Nhóm Vienne, gồm nhiều nhà khoa học và nhất là khoa học luận sinh hoạt như một câu lạc bộ từ khoảng 1924 đến trước đệ nhị thế chiến, khi họ vì lánh nạn Đức Quốc Xã nên phân tán đến Anh quốc và Hoa Kỳ; nhiều người trở nên có ảnh hưởng lớn về khoa học và khoa học luận Hoa Kỳ, trong đó nổi tiếng nhất là Gödel, Carnap và Quine. Nhóm này chịu tác động mạnh từ luận lý học hình thức, đồng thời có những đóng góp sâu sắc cho nó, khoa học luận của họ phát triển chủ nghĩa thực chứng bằng cách đào sâu vào tính logic của ngôn ngữ khoa học, được gọi là trường phái thực

chứng luận lý¹ (positivisme logic).

Popper (1902-1994) cũng sinh hoạt tại Vienne thời ấy (sau ông sống ở Anh quốc) nhưng có tiếp cận khoa học luận khác với nhóm Vienne. Popper có ấn tượng mạnh về quá trình Einstein sáng tạo thuyết tương đối và những cố gắng của các nhà vật lý học đương thời để tìm cách kiểm nghiệm nó. Do đó ông không đi tìm những tính chất cơ bản của khoa học trong ngôn ngữ của nó như những người thực chứng luận lý, mà trong sự so sánh giữa lý thuyết với thực nghiệm. Ông vạch ra lần ranh giới nổi tiếng giữa khoa học và phi khoa học: một lý thuyết chỉ được gọi là khoa học khi nó có khả năng tiên đoán và xác định những hiện tượng mới, do đó có tiềm năng có thể bị thực tế thí nghiệm hay quan sát cho thấy tiên đoán đó sai². Từ đó một lý thuyết mới ra đời, và đó là động cơ của tiến bộ khoa học.

Popper đã nêu ra được rõ rệt một tiêu chuẩn để hiểu cho một lý thuyết khoa học tự nhiên, và dù sao nói ra những điều hiển nhiên thì hơn là không nói ra. Lý thuyết khoa học nào chẳng phải là một lý thuyết cho phép tiên đoán những hiện tượng thực nghiệm mới? Và nếu B là hậu quả logic của lý thuyết A thì việc B sai dĩ nhiên dẫn đến kết luận (cũng logic) là lý thuyết A "có vấn đề". Nhưng đó chỉ là bước đầu, chính khi phân tích sâu hơn điều bất thường mới và rất quý giá này, người ta mới cần đến những hướng dẫn phương pháp luận: làm sao khẳng định *hiện tượng B là hậu quả của lý thuyết A*? Khi mà đo đạc các tham số của một hiện tượng là đã sử dụng ngầm khá nhiều lý thuyết khác nhau rồi! Thêm nữa, lý thuyết A là một tập hợp rộng lớn những mệnh đề và quy luật $\{a_i\}$, vậy vấn đề của nó ở đâu?

Imre Lakatos (1922-1974), một học trò của Popper, vừa phê phán vừa hoàn thiện Popper bằng cách đưa ra khái niệm "*Chương trình nghiên cứu*" (*Programme de recherche*), qua đó ông phân biệt, theo đồng thuận của các nhà khoa học trong một tình trạng nghiên cứu nhất định, những mệnh đề và quy luật "chắc chắn" với những mệnh đề và quy luật "mềm" hơn... tập hợp thứ hai này là điều có thể được thay đổi để tiến bộ.

Paul Feyerabend (1924-1994), một học trò khác của Popper, thì tuyên bố thẳng thừng trong tác phẩm *Chống phương pháp* (*Against methods*) sự phá

¹ Với trường phái Vienne thì Thực chứng luận lý và Kinh nghiệm luận lý (empirisme logique) là đồng nghĩa, họ tự gọi bằng cả hai tên. Nhiều tác giả hiện nay lại gọi lập trường này là "tân thực chứng" (neo-positivism).

² Đó là khái niệm *phản nghiệm* (*falsifiability, réfutabilité*), thuật ngữ do người viết bài này đề nghị, dựa trên nội dung của khái niệm để dịch chứ không dựa trên từ nguyên.

sản của mọi cố gắng đi tìm "phương pháp luận" cho sự khám phá khoa học. Qua lịch sử khoa học, ông chứng minh thường những khám phá hay sáng tạo lớn đều vượt ra ngoài phương pháp luận khoa học đương thời, từ đó viết: *làm gì cũng tốt!* (anything goes!)

Kuhn (1922-1996) là nhà khoa học luận thời thượng nhất hiện nay, và tác phẩm nổi tiếng nhất của ông là *Cấu trúc các cuộc cách mạng khoa học* (*The structure of scientific revolutions*), trong đó khái niệm then chốt là khái niệm *paradigma*¹, và *chuyển dịch paradigma*, (*paradigm shift*) bây giờ được dùng khắp nơi, tưởng chẳng cần dài dòng thêm. Thành công của quan điểm của Kuhn chứng tỏ chúng có giá trị cao. Tuy nhiên, Kuhn khá mơ hồ về việc tại sao một paradigma mới lại được tập thể các nhà khoa học trong một ngành lựa chọn, điều này đưa đến cảm tưởng là điều ấy phụ thuộc nhiều vào chủ quan tâm lý, và có tính xã hội, như thể tính khách quan khoa học hóa ra là tương đối.

Những nhà khoa học luận kể trên đều thuộc khối sử dụng tiếng Anh, và đều được biết trên khắp thế giới. Điều này có lẽ không phải chỉ vì giá trị nội tại trong các tác phẩm của họ, sự vượt trội về khoa học, kỹ thuật và kinh tế, của Hoa Kỳ sau chiến tranh thứ hai có lẽ đã làm lu mờ một cách đáng tiếc nền khoa học luận của "châu Âu già nua", trong đó phải kể đến hai người Thụy Sĩ Jean Piaget (1896-1980), Ferdinand Gonseth (1890-1975)... và nhà nghiên cứu sử khoa học và khoa học luận Pháp Gaston Bachelard (1884-1962). Có lẽ những cách tiếp cận cũng như những phát kiến của khối khoa học luận ngôn ngữ Pháp này có thể bổ sung nhiều cho những luận thuyết Áo-Anh-Mỹ nói trên. Có thể nêu một thí dụ: Trong khi cách tiếp cận của các tác giả Áo-Anh-Mỹ là cách tiếp cận ảnh hưởng bởi luận lý hình thức, đặt nặng trên tính cách đồng đại và cấu trúc, thì cách tiếp cận của Bachelard là biện chứng², đặt nặng trên tính lịch đại. Trước Kuhn khá lâu Bachelard đã

¹ *Paradigma* hiện nay đã được dịch là *khuôn mẫu*, *khung mẫu*, *mẫu hình*, *mô thức*, hay *hệ hình* cộng với vài thuật ngữ khác rất thiếu số, trong đó có thuật ngữ "*hệ ý niệm*" mà người viết bài này đã dùng để dịch khái niệm của Kuhn. Chữ này có nhiều nghĩa hơi khác nhau, a) nghĩa cổ Hy Lạp, vẫn còn được dùng trong văn phạm (digma: *cái cho xem*, para: *ở bên cạnh*; tức là *cái mẫu*; hoặc cụ thể trong thủ công, hoặc trừu tượng trong học thuật), b) nghĩa trong thuật ngữ ngôn ngữ học, và c) nghĩa riêng của Kuhn. Do đó xin đề nghị liệt nó vào loại thuật ngữ không nên dịch, và dùng cách viết gốc Hy Lạp của nó.

² Bachelard khẳng định mình là người duy vật, và khẳng định phương pháp luận biện chứng. Ông đồng sáng lập với nhà khoa học luận Thụy Sĩ Fernand Gonseth chuyên san *Dialectica* (năm 1947). Một tác phẩm cuối đời của ông có tên *Chủ nghĩa Duy vật duy lý* (*Le matérialisme rationnel*, 1953).

đề ra khái niệm *gián đoạn nhận thức* (*rupture épistémologique*) tương tự như sự chuyển dịch paradigm nhưng có lẽ còn hoàn chỉnh hơn, vì ông quan niệm sự gián đoạn nhận thức như một vận động biện chứng của nhận thức, nhận thức mới vừa phủ định vừa *bao gồm*¹ nhận thức cũ.

Biện minh cho việc giảng dạy khoa học luận

Trên đây chúng tôi đã phác họa rất sơ sài, trong khuôn khổ một bài viết ngắn, nội dung tổng quát của bộ môn khoa học luận, dựa trên lịch sử khoa học làm nền tảng, trên đó các nhà khoa học luận đã xây dựng những lý thuyết khoa học luận đặc thù của mỗi người; và qua đó chúng ta cũng có thể thấy mối liên hệ hữu cơ giữa sự phát triển khoa học và sự phát triển của tư duy về khoa học. Đến đây xin biện minh rõ hơn cho đề nghị giảng dạy khoa học luận tại những năm đầu của đại học, cho sinh viên của *tất cả* các ngành học.

Nhưng trước hết xin tự đưa câu hỏi phản biện: khoa học luận có thực sự cần thiết không? Tại sao trong nội dung của khoa học không có một mệnh đề nào của khoa học luận cả; và, nếu như chính nhà khoa học luận Feyerabend đã nói "*làm gì cũng tốt*"², thì cứ để các sinh viên khoa học học kỹ về ngành của họ và tự do sáng tạo, chẳng đỡ mắt thì giờ hơn sao?

Không sai! Và cả thế giới đã làm như vậy cho đến cách đây trên dưới chục năm, bộ môn khoa học luận chỉ là một phần nhỏ được giảng dạy trong khoa triết. Trên cả thế giới người ta vẫn chỉ dạy và học những thành quả của khoa học, dạy cái đúng, chứ không dạy cách làm thế nào để tìm ra cái đúng, và nhất là làm gì để tìm ra những cái đúng cần thiết. Sự truyền bá về cách tư duy, về phương pháp, và về tay nghề này hình như chỉ được làm một cách gián tiếp, qua kinh nghiệm của thầy, qua môi trường sống và làm việc... theo đúng câu châm ngôn Pháp "*cứ rèn đi thì sẽ thành thợ rèn*". Phương thức giáo dục này cho đến nay vẫn tỏ ra hiệu quả, ít nhất trong những bộ

¹ Việc *nhận thức khoa học về hiện thực* biến chuyển theo một quá trình biện chứng không có nghĩa là bản thân thế giới hiện thực vật chất cũng biến chuyển theo một quá trình biện chứng, hai mệnh đề này độc lập với nhau. Và có lẽ biện chứng *bao gồm* của nhận thức khoa học là đặc thù.

² Có lẽ cũng phải thêm vào mệnh đề này về thứ hai: *miễn là đạt kết quả chặt chẽ về mặt lý thuyết và có hiệu quả thực tế*! Và tiếp theo đó cũng cần đặt câu hỏi: làm sao có được những con người tự do sáng tạo? Phải chăng họ cũng cần được giúp đỡ vượt qua những rào cản của nhận thức? nghĩa là biết phê phán về những tư duy quá khứ nay đã không còn thích hợp nữa.

môn trừu tượng ít gắn liền với thực tế: “*cứ làm toán đi thì sẽ giỏi toán*” vẫn đúng với những người có khiếu. Về vật lý lý thuyết cũng vậy.

Nhưng trong thời đại ngày nay các vấn đề ngày càng phức tạp và đòi hỏi nghiên cứu liên ngành. Như thế những người cùng nghiên cứu phải nắm bắt ít ra là cái cơ bản trong lĩnh vực của các cộng sự trong ngành khác mình; và họ phải có được đồng thuận tối thiểu về những chuẩn mực khoa học. Thêm nữa, kho kiến thức tích tụ ngày càng nhiều, do đó phải học suốt đời, và tự học là chính; trong điều kiện này cái học về phương pháp ít ra cũng quan trọng ngang cái học về kết quả, và thật sự hai khía cạnh này bổ sung cho nhau.

Sự kiện là việc nghiên cứu khoa học trở nên phức tạp và liên ngành đặt ra một thách đố còn cơ bản hơn, liên quan đến vấn đề hay được gọi là vấn đề *hai nền văn hóa, văn hóa khoa học và văn hóa nhân văn*. Những nghiên cứu về khoa học xã hội, về hoạt động của bộ óc... chính là cần con người ngày mai vượt qua được khoảng cách giữa hai nền văn hóa đó. Chính vì vậy không những khoa học luận cần được giảng dạy cho sinh viên trong các ngành, mà bản thân khoa học luận còn phải được phát triển thêm rất nhiều, vì như chúng ta đã thấy, các nhà khoa học luận cho đến nay chỉ có những đóng góp rất khiêm tốn khi đi ra ngoài lĩnh vực của khoa học tự nhiên. Như thế không phải để hy vọng các ngành khoa học “mềm” trở nên những hệ thống tiên-đề-diễn-dịch “cứng” như toán lý... mà để hy vọng trong nền văn hóa tương lai những người hoạt động trong các ngành khác nhau biết được những phương pháp luận đặc thù của mình, của người, và biết được những giới hạn của chúng. Để cùng có những thái độ mở, cùng nhau “chung sống hòa bình”, và cùng nhau sáng tạo.

Sinh viên đại học tại Âu Mỹ sống hằng ngày trong một truyền thống nghiên cứu khoa học lâu đời, với những bậc thầy có thể đã là các bác học nổi danh vẫn còn đang nghiên cứu tại trường... vì thế giáo dục đại học đảm bảo được sự truyền bá và tiếp nhận tinh thần và phương pháp luận khoa học, qua thực tế nghiên cứu. Mặc dù vậy, bộ môn khoa học luận đang được khuyến cáo đưa vào chương trình đại học của cả các ngành khoa học tự nhiên lẫn khoa học nhân văn và xã hội, và điều này đã được nhiều đại học trên thế giới thực hiện.

Sự truyền bá tinh thần khoa học một cách vô hình từ thầy đến trò như thế rất hiếm tại các nước đang phát triển, và các bậc thầy có thể và có cố gắng làm việc ấy cũng gặp rất nhiều khó khăn, họ thường bị quá tải. Người

ta thường chỉ truyền đạt lại kiến thức sách vở. Đó là một thiệt thòi cho sinh viên của các nước đang phát triển. Trong điều kiện ấy tìm hiểu về lịch sử và phương pháp luận khoa học như một môn học chính quy lại càng cần thiết.