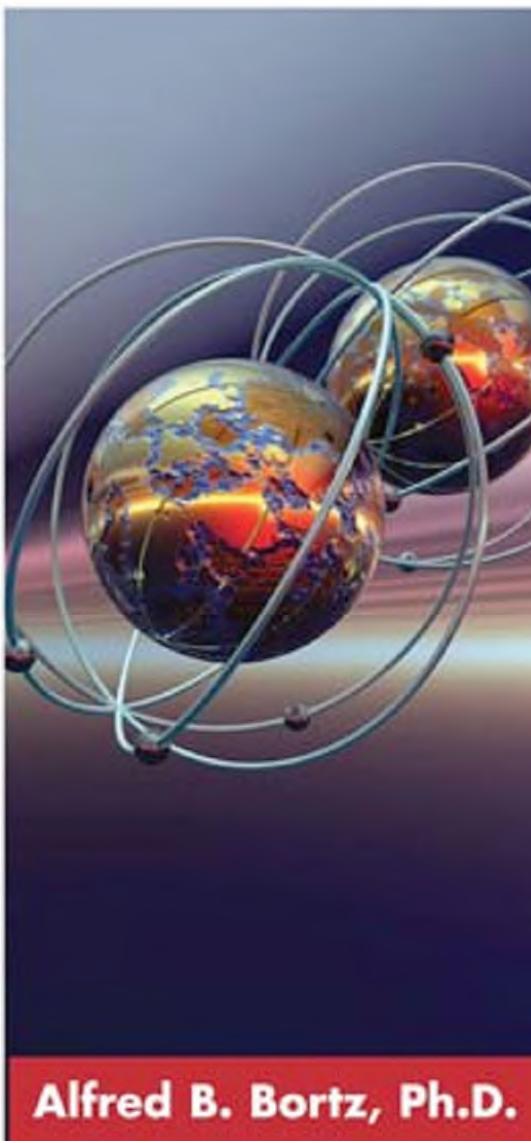


Người dịch: Trần Nghiêm

tranngiem@thuvienvatly.com

# LỊCH SỬ VẬT LÍ

## THẾ KỶ XX



Alfred B. Bortz, Ph.D.

# **Lịch sử Vật lí thế kỉ 20**

**Alfred B. Bortz**

**Trần Nghiêm dịch**





## MỤC LỤC

Lời nói đầu .....	i
Giới thiệu .....	iv

### 1. 1901 – 1910

<b>Bình minh của vật lí học hiện đại .....</b>	<b>1</b>
Những kết quả kì lạ .....	1
Thế kỉ mới, viễn cảnh mới .....	6
Lượng tử và Hiệu ứng quang điện .....	6
Chuyển động Brown và tính xác thực của các nguyên tử ..	8
Thuyết tương đối đặc biệt .....	9
Nguyên tử có thể phân chia được .....	14
Những kỹ thuật, công nghệ và quan sát mới .....	17
Nhà khoa học của thập niên 1900: Albert Einstein (1879–1955) .....	18

### 2. 1911 – 1920

<b>Những quan điểm mới về vật chất .....</b>	<b>20</b>
Khám phá ra hạt nhân nguyên tử .....	20
Mẫu nguyên tử Bohr .....	22
Bên trong hạt nhân .....	24
Các nguyên tử trong chất rắn .....	26
Thiên văn học và Vũ trụ học .....	26
Thuyết tương đối rộng .....	28
Khám phá ra các thiên hà .....	30
Tia vũ trụ .....	32
Những lí thuyết, kỹ thuật và công nghệ mới .....	32
Sự siêu dẫn .....	32
Sự trôi giật lục địa .....	33
Nhà khoa học của thập niên: Ernest Rutherford (1871–1937) .....	34

### 3. 1921 – 1930

<b>Cuộc cách mạng lượng tử .....</b>	<b>36</b>
Từ nguyên tử Bohr đến cơ học lượng tử .....	37
Tìm hiểu vũ trụ lượng tử .....	43
Thuyết tương đối, spin, phân rã beta, và các hạt đã tiên đoán .....	45
Vật lí hạ nguyên tử .....	46
Các sao, thiên hà, và tên lửa .....	47
Nhà khoa học của thập niên - Wolfgang Pauli (1900–1958)	49

#### **4. 1931 - 1940**

<b>Các hạt cơ bản và nền chính trị thế giới .....</b>	51
Bên trong hạt nhân .....	52
Các hạt hạ nguyên tử mới .....	55
Các máy gia tốc hạt .....	56
Phóng xạ nhân tạo và sự phân hạch hạt nhân .....	58
Những phát triển khác trong thập niên 1930 .....	62
Nhà khoa học của thập niên Lise Meitner (1878–1968) ...	64

#### **5. 1941 – 1950:**

<b>Vật lí học trong thời kì chiến tranh .....</b>	67
QED: Điện động lực học lượng tử .....	69
Sự phân hạch hạt nhân, “Nền khoa học lớn”, và Bom .....	72
Tia vũ trụ và các hạt hạ nguyên tử .....	79
Những lĩnh vực vật lí khác trong thập niên 1940 .....	80
Nhà khoa học của thập niên: Richard Feynman (1918–1988) .....	81

#### **6. 1951 – 1960**

<b>Vật lí học và Sự phát triển những công nghệ mới .....</b>	84
Vật lí chất rắn và Công nghệ .....	85
Chất dẫn điện, Chất cách điện và Chất bán dẫn .....	88
Sự siêu dẫn .....	95
Vật lí và công nghệ hạt nhân .....	96
“Vườn bách thú” hạt hạ nguyên tử .....	97
Những phát triển khác trong thập niên 1950 .....	98
Nhà khoa học của thập niên: John Bardeen (1908–1991) 99	

#### **7. 1961 – 1970**

<b>Kỉ nguyên chinh phục và thám hiểm .....</b>	102
Các hạt cơ bản và các lực cơ bản .....	103
Quark mùi và Lực “màu” mạnh .....	107
Quark duyên và lực điện yếu .....	111
Các boson chuẩn, trường Higgs và nguồn gốc của khối lượng .....	112
Các máy dò hạt mới .....	112
Bằng chứng vũ trụ học cho Big Bang .....	113
Nhà khoa học của thập niên: Murray Gell-Mann (1929– ) 115	
Những phát triển khác trong thập niên 1960 .....	117

#### **8. 1971 – 1980**

<b>Bắt đầu một sự tổng hợp mới .....</b>	119
Các quark: từ đáy đến đỉnh .....	120
Các lí thuyết thống nhất lớn .....	122
Sự vướng víu lượng tử .....	123
Các ứng dụng của vật lí và liên hệ với các khoa học khác trong thập niên 1970 ...	124

Nhà khoa học của thập niên: Luis Alvarez (1911–1988) . 128

## 9. 1981 – 1990

Mở rộng tầm ảnh hưởng .....	131
Vật lí hạt cơ bản và Các hiệu ứng lượng tử .....	132
GUT, Lí thuyết siêu dây và Sự lạm phát vũ trụ .....	134
Đôi nét về các sách phổ biến kiến thức vật lí và khoa học trong thập niên 1980 .....	135
Các đột phá trong ngành vật lí vật chất ngưng tụ .....	137
Nhà khoa học của thập niên: Stephen Hawking (1942– )	140

## 10. 1991 – 2000

Các kết nối vũ trụ .....	143
Vật lí hạt cơ bản: Hoàn tất Mô hình Chuẩn .....	144
Những bất ngờ trong vũ trụ học .....	146
Các phát triển khác liên quan đến vật lí trong thập niên 1990 .....	147
Nhà khoa học của thập niên: Leon Lederman (1922– ) ..	148

## Kết luận:

Các thách thức mang tính toàn cầu và vũ trụ trong thế kỉ 21 .....	152
Bản chất của vật chất được xét lại .....	153
“Mọi thứ” là gì? .....	155

## Phụ lục

Bảng tuần hoàn các nguyên tố hóa học .....	157
Các nhà vật lí đoạt giải Nobel .....	160
Thuật ngữ .....	172
Tài liệu tham khảo .....	178

## Lời nói đầu

Thế kỉ 20 đã chứng kiến một sự tăng trưởng bùng phát của khoa học và công nghệ - số lượng nhà khoa học đang làm việc ngày nay nhiều hơn tổng số nhà khoa học trong lịch sử loài người trước đây công lại. Những phát minh mới gồm có tàu vũ trụ, chip máy tính, laser, và ADN tổ hợp đã mở ra lộ trình cho những lĩnh vực mới như khoa học vũ trụ, công nghệ sinh học, và công nghệ nano. Các máy ghi địa chấn hiện đại và tàu ngầm đã cho mang lại cho các nhà khoa học trái đất và đại dương cái nhìn sâu sắc vào những bí ẩn sâu thẳm nhất và tối tăm nhất của hành tinh chúng ta. Những thập kỉ phát triển của khoa học thời tiết, được hỗ trợ bởi những quan sát vệ tinh và mô hình máy tính, giờ đã đưa ra những dự báo dài hạn, mang tính toàn cầu với xác suất đúng rất cao. Lúc mới bắt đầu thế kỉ, khoa học và công nghệ có ít tác động lên đời sống hàng ngày của đa số mọi người. Điều này đã thay đổi hoàn toàn vào năm 2000.

Mục đích của bộ sách *Khoa học thế kỉ 20*, một bộ sách mới gồm 7 tập, là cung cấp cho sinh viên, giáo viên, và công chúng nói chung một nguồn kiến thức dễ đọc, dễ tiếp cận, nhằm tìm hiểu xem khoa học đã phát triển như thế nào, từng thập niên một, trong thế kỉ qua và thử đoán xem nó sẽ phát triển đến đâu trong những thập niên đầu thế kỉ 21. Một người có học qua trường lớp và thông thạo văn học, nghệ thuật, âm nhạc và hiểu rõ giá trị của lịch sử, kinh doanh, và kinh tế, thì cũng phải biết khoa học hoạt động như thế nào, và làm thế nào nó trở thành một bộ phận không thể thiếu trong đời sống hàng ngày của chúng ta.

Sinh viên thường được dạy khoa học từ viễn cảnh của cái đã biết hiện nay. Theo một ý nghĩa nào đó, điều này khá dễ hiểu – có rất nhiều thông tin để nắm bắt. Tuy nhiên, rất thường xảy ra, sinh viên (hoặc giáo viên) có thể hỏi những câu đại loại như “Làm thế nào họ biết được điều đó?” hay “Tại sao họ lại không biết điều đó?” Đây là chỗ một số viễn cảnh lịch sử phát huy tính hấp dẫn. Nó mang lại cảm giác một khía cạnh động của khoa học. Một số cái sinh viên được dạy ngày nay sẽ thay đổi trong vòng 20 năm. Nó cũng mang lại cảm giác nhân bản khi người ta xem xét các nhà khoa học lỗi lạc trước đây đã chiến đấu như thế nào trong thế kỉ qua với số tiền tài trợ ít ỏi hơn, công cụ thô sơ hơn, và các lí thuyết kém phức tạp hơn.

Khoa học khác với những nỗ lực không kém phần quan trọng và thử thách khác của con người là ở phương tiện nghiên cứu của nó – Phương pháp Khoa học – thường được mô tả như sau:

- a) quan sát
- b) lập giả thuyết
- c) thí nghiệm và kiểm chứng
- d) thu nhận kết quả, và
- e) kết luận xem các kết quả và số liệu bác bỏ hay củng cố giả thuyết đã nêu.

Trong thực tế, tiến trình khoa học không phải lúc nào cũng “thẳng”. Nhiều thí nghiệm có liên quan còn có thể được khảo sát để kiểm tra giả thuyết. Một khi một bằng chứng khoa học đã được thu thập và kiểm tra, thì nhà khoa học sẽ đệ trình một bài báo, tường trình công trình mới trên một tạp chí đánh giá ngang hàng. Một biên tập viên chí công vô tư sẽ gửi công trình ấy cho ít nhất hai nhà phê bình (“trọng tài”), những người chuyên môn về lĩnh vực đặc biệt đó, và họ sẽ giới thiệu với vị biên tập viên là bài báo nên chấp nhận, sửa chữa, hoặc từ chối. Vì các chuyên gia phê bình thỉnh thoảng lại là những người đang cạnh tranh của tác giả bài báo, cho nên các tiêu chuẩn đạo đức cao và sự tin cẩn phải được quy định rõ trong tiến trình phê bình.

Nếu một giả thuyết không thể kiểm tra và có khả năng bị bác bỏ bởi thí nghiệm hoặc các phương trình toán học, thì nó không mang tính khoa học. Trong khi đó, trên nguyên tắc, một thí nghiệm có thể bác bỏ một giả thuyết, và không có thí nghiệm xác nhận nào có thể tuyệt đối chứng minh một giả thuyết là “Chân lý”. Tuy nhiên, nếu việc kiểm tra lặp đi lặp lại bằng những thí nghiệm khác nhau do nhiều nhà khoa học thực hiện tiếp tục xác nhận cho một giả thuyết, thì người ta bắt đầu thừa nhận rằng nó là một lí thuyết được chấp nhận rộng rãi. Người bạn tốt nhất mà một lí thuyết có thể có là một nhà khoa học xuất chúng nghi ngờ về nó và đưa nó vào kiểm tra chân thật và nghiêm khắc nhất. Nếu nó vượt qua được những thử thách này và làm đổi ý nhà khoa học đa nghi, thì lí thuyết ấy được củng cố đáng kể. Việc kiểm tra như thế cũng loại trừ các giả thuyết và lí thuyết yếu. Sự xác nhận liên tục của một giả thuyết quan trọng có thể biến nó lên tầm cỡ của một định luật, mặc dù nó vẫn được gọi là một lí thuyết. Một số lí thuyết khi phát triển có thể làm cách mạng hóa toàn bộ khuôn khổ của một lĩnh vực – những lí thuyết này được xem là “mô hình”. Thuyết nguyên tử là một mô hình. Đã phát triển khoảng 200 năm trước, nó là cơ sở để tìm hiểu bản chất của vật chất. Những mô hình khác gồm có như sự tiến hóa, thuyết vũ trụ lớn, thuyết kiến tạo mảng hiện đại (giải thích nguồn gốc của núi non, núi lửa và động đất), thuyết lượng tử, và thuyết tương đối.

Khoa học là một sự nghiệp chung với nhu cầu tự do trao đổi thông tin và hợp tác. Trong khi đúng là các nhà khoa học có những động cơ cạnh tranh mạnh mẽ, nhưng nửa sau của thế kỷ 20 đã chứng kiến khoa học ngày càng trở nên liên ngành. Những bài toán ngày càng phức tạp hơn, với độ bất định ngày càng lớn, đã được xử lý và cho đến nay vẫn thường lảng tránh trước lời giải chính xác.

Trong thế kỷ 20, khoa học đã tìm ra phương thuốc chữa trị bệnh lao và bệnh bại liệt, nhưng những e ngại về “mảng tối” của khoa học (ví dụ như vũ khí hạt nhân) đã bắt đầu lộ diện. Thái độ hoài nghi trước những lợi ích của khoa học và các ứng dụng của nó đã bắt đầu xuất hiện vào nửa sau của thế kỷ 20, mặc dù tác động tích cực hàng ngày của nó lên đời sống của chúng ta ngày càng tăng. Nhiều nhà khoa học cũng nhạy cảm với những vấn đề này. Sau khi bom nguyên tử thả xuống Hiroshima và Nagasaki, một số nhà khoa học lỗi lạc đã chuyển sang nghiên cứu khoa học sự sống, và những người khác thì cho ra đời một tạp chí, ngày nay đã gần 60 năm tuổi, *Bản tin của Các nhà khoa học nguyên tử*, dành cho việc loại trừ mối nguy hạt nhân và tăng cường hòa bình. Năm 1975, không bao lâu sau khi các nhà sinh học phân tử phát triển ADN tổ hợp, họ đã tổ chức một hội nghị ở Asilomar, California, và đặt ra những hạn chế tự nguyện trên những thí nghiệm nhất định. Họ khuyến khích chấp thuận sự sắp đặt trong lĩnh vực mới mang tính cách mạng này. Chúng ta đang sống trong một kỉ nguyên trong đó có những nỗ lực liên tục và đầy sức mạnh nhằm xóa nhòa ranh giới giữa đức tin tôn giáo và khoa học. Một lập luận cho rằng sự công bằng đòi hỏi thời gian như nhau cho mọi “lí thuyết” (mang tính khoa học hay không). Trong mọi thời đại, và đặc biệt trong thời đại ngày nay, các nhà khoa học phải phấn đấu truyền thông với công chúng rằng khoa học là gì và nó hoạt động như thế nào, khoa học tốt là gì, khoa học xấu là gì, và cái gì không phải là khoa học. Chỉ khi đó chúng ta mới có thể đào tạo những thế hệ công dân tương lai và truyền cảm hứng cho các nhà khoa học của tương lai.

Bảy tập của bộ sách *Khoa học thế kỉ 20* nói về những vấn đề cốt lõi sau đây của khoa học: sinh học, hóa học, khoa học Trái đất, hải dương học, vật lí học, vũ trụ học và thiên văn học, và thời tiết và khí hậu. Mỗi tập có một bảng thuật ngữ chú giải. Các chương trong mỗi tập gồm những thành phần sau:

- Cơ sở và viễn cảnh khoa học mà nó phát triển, từng thập niên một, đồng thời cung cấp cái nhìn sâu sắc xem có bao nhiêu nhà khoa học chủ đạo đã góp sức trong từng thập niên ấy.
- Các hình vẽ đen trắng và ảnh chụp.

- Trục biên niên sử thời gian những sự kiện đáng chú ý trong mỗi thập kỉ.
- Phác họa tiêu sử ngắn gọn của những cá nhân đi tiên phong, kể cả trình bày về những tác động của nó đối với khoa học và xã hội nói chung.
- Một danh mục tài nguyên tham khảo.

Trong khi toàn bộ các nhà khoa học đều được liệt kê danh tính chi tiết, chúng tôi không có ngu ý rằng nhất thiết họ phải là “những nhà khoa học vĩ đại nhất của thập niên ấy”. Họ được chọn để đại diện cho nền khoa học của thập niên ấy vì những thành tích xuất sắc của họ. Một số trong những nhà khoa học này sinh ra trong những gia đình giàu có và danh tiếng, trong khi một số khác xuất thân từ tầng lớp trung lưu hoặc lao động, hay cả trong cảnh bần hàn. Trong một thế kỉ đánh dấu bởi hai cuộc chiến tranh thế giới, chiến tranh lạnh, vô số cuộc chiến lớn nhỏ khác, và tội ác diệt chủng không thể tưởng tượng nổi, nhiều nhà khoa học buộc phải chạy trốn khỏi quê hương xứ sở của mình. May thay, thế kỉ qua cũng đã chứng kiến sự tiếp cận ngày càng gần với khoa học và công nghệ đối với phụ nữ và người da màu và, với chút may mắn, mọi rào cản sẽ biến mất trong thế kỉ 21.

Các tác giả của bộ sách này hi vọng quý vị độc giả nhận thức đúng sự phát triển của khoa học trong thế kỉ vừa qua và những thành tựu xuất hiện nhanh chóng ngày nay trong thế kỉ 21. Lịch sử dạy cho những nhà thám hiểm mới của thế giới những lợi ích của việc thực hiện những quan sát thận trọng, theo đuổi những lộ trình và ý tưởng mà nhiều người khác bỏ qua hoặc không dám liều lĩnh xông pha, và luôn luôn nghi vấn thế giới xung quanh mình. Sự hiểu kì là một trong những bản năng con người cơ bản nhất của chúng ta. Khoa học, cho dù được thực hiện dưới dạng chuyên nghiệp hay chỉ là niềm yêu thích, sau hết thảy, là một nỗ lực mang tính người rất cao.

## Giới thiệu

### Cốmáyvũtrụthếkỉ19

Vào giữa thập niên 1890, các nhà vật lí – các nhà khoa học nghiên cứu vật chất và năng lượng – đã nhìn về thế kỉ 20 với niềm kiêu hãnh đầy tự mãn. Càng nghiên cứu vũ trụ trong thế kỉ 19, họ càng thấy nó thật thứ tự, ngăn nắp. Hành trạng của nó hoàn toàn có thể tiên đoán qua các định luật tự nhiên mà họ đã biếu diễn trong ngôn ngữ toán học chính xác. Mặc dù vẫn có một vài câu hỏi quan trọng cần được trả lời, nhưng đa số nhà vật lí khi ấy hài lòng rằng thế kỉ 20 sẽ dành cho việc tinh chỉnh các lí thuyết và tiến hành những phép đo quan trọng cần thiết để hoàn thiện tấm thảm khoa học của họ.

Họ không thể nào sai lầm hơn nữa. Thay vì buộc chặt các đầu mối dệt lồng leo, các nhà vật lí lại đi kéo giật một vài chỗ rách và nhìn vào từng phần khuôn khổ lí thuyết của vật lí học. Phải mất gần như đa phần thế kỉ mới để dệt lại tấm thảm ấy. Quá trình ấy đã đánh giá lại hầu như mọi thứ mà người ta nghĩ họ đã hiểu về vật chất và năng lượng, không gian và thời gian, về sóng và hạt. Để tìm hiểu những sự chuyển biến ngoạn mục ấy trong nền vật lí học thế kỉ 20, trước hết người ta phải khảo sát những thành tích nổi bật của nền khoa học trong thế kỉ trước, đáng chú ý nhất là điện từ học – trong đó có bản chất điện từ của ánh sáng – và lí thuyết nguyên tử của vật chất.

### Thuyết nguyên tử của vật chất

Theo một nghĩa nào đó, thì thuyết nguyên tử chẳng có gì mới mẻ. Quan niệm rằng vật chất gồm những hạt nhỏ xíu, không thể phân chia đã có từ hơn 2000 năm trước với các nhà triết học Hi Lạp cổ đại Democritus và Leucippus, nhưng nó đã bị lãng quên một thời gian dài mãi cho đến khi nhà khí tượng học John Dalton (1766 – 1844) thử đi tìm ý nghĩa của cái mà các nhà hóa học đã phát hiện về các chất khí. Năm 1810, ông cho xuất bản một quyển sách mang tính bước ngoặt tựa đề là *Một hệ triết lí hóa học mới*, trong đó ông đề xuất một lí thuyết mới của vật chất. Dalton đề xuất rằng vật chất gồm các *nguyên tố* kết hợp theo những tỉ số nhất định để hình thành nên các *hợp chất*. Cơ sở cho các tỉ số đặc biệt ấy, như Dalton đã lí thuyết hóa, là mỗi nguyên tố gồm những hạt nhỏ xíu, không thể phân chia gọi là các *nguyên tử*, và các nguyên tử kết hợp lại thành *phân tử*, đơn vị cơ bản của các hợp chất.

Thuyết nguyên tử nhanh chóng trở thành cơ sở của hóa học, và các nhà khoa học liên tục phát hiện ra những nguyên tố mới. Họ đã đo và phân loại các tính chất của từng nguyên tố, ví dụ như nhiệt độ đông đặc và nhiệt độ sôi, và tỉ trọng (khối lượng hoặc trọng lượng trên centimet khối). Họ đã nghiên cứu hành trạng hóa học của các nguyên tố và suy luận ra khối lượng nguyên tử của chúng. Khi số lượng nguyên tố đã biết tăng lên, các nhà khoa học đi tìm một khuôn khổ phân loại – một sự sắp xếp các nguyên tố sao cho những nguyên tố có những tính chất hóa học giống nhau sẽ nằm chung nhóm với nhau.

Năm 1869, một giáo sư hóa học người Nga tên là Dmitry Mendeleev (1834 – 1907) đã lập ra sự sắp xếp đó, một mạng lưới các hàng và cột mà ông gọi là *bảng tuần hoàn các nguyên tố*. Bắt đầu ở góc trên bên trái với nguyên tử nhẹ nhất, ông đặt các nguyên tố xuống cột thứ nhất của mạng lưới của ông theo thứ tự khối lượng nguyên tử tăng dần. Sau đó, ông dời sang phải từ cột này sang cột kế tiếp, đặt các nguyên tử có những tính chất hóa học giống nhau ở liền nhau trong các hàng. (Bảng tuần hoàn ngày nay, có trong phần Phụ lục, đảo ngược lại vai trò của các hàng và cột, nhưng vẫn tuân theo phương pháp của Mendeleev). Thỉnh thoảng, để làm phù hợp các tính chất hóa học, ông phải bỏ trống một ô trong mạng lưới. Ông trông đợi những khoảng trống đó sẽ được lắp đầy sau này với những nguyên tố chưa được phát hiện ra – và ông đã đúng. Khi những nguyên tố còn thiếu đó được tìm thấy, tính chất của chúng phù hợp với các tiên đoán của bảng tuần hoàn.

Bảng tuần hoàn là một thành tựu lớn, nhưng vẫn còn đó những câu hỏi quan trọng. Cái gì phân biệt nguyên tử của một nguyên tố này với nguyên tử của nguyên tố kia và làm thế nào những khác biệt đó mang lại tính quy tắc của bảng tuần hoàn? Việc trả lời những câu hỏi đó sẽ phải đợi đến tận thế kỷ 20.

### Điện từ học và Ánh sáng

Thế kỷ 19 cũng mang lại những kiến thức quan trọng về điện học, từ học, và ánh sáng. Khi thế kỷ ấy bắt đầu, các nhà vật lí đã xem điện và từ là những hiện tượng độc lập và họ đang cố gắng chọn lựa giữa hai quan điểm thế kỷ 17 cạnh tranh nhau về bản chất của ánh sáng. Có phải ánh sáng là sóng, như nhà khoa học Hà Lan Christiaan Huygens (1629 – 95) khẳng định, hay nó là một dòng hạt, như nhà vật lí vĩ đại người Anh, ngài Isaac Newton (1643 – 1727) vẫn tin như thế?

Câu hỏi đó được xử trí nhanh chóng. Năm 1801, nhà khoa học và nghiên cứu người Anh, Thomas Young (1773 – 1829), đã tiến hành một thí nghiệm chứng minh dứt khoát. Ông tách một chùm ánh sáng thành hai chùm và cho cả hai phần ấy rơi lên một màn hình. Thay vì thấy hai vùng sáng như trông đợi từ hai dòng hạt, ông quan sát thấy một hiện tượng gọi là *giao thoa* – một dải khe sáng và tối tạo ra bởi các sóng chồng chất.

Thí nghiệm của Young lập tức làm phát sinh một câu hỏi mới. Sóng ánh sáng truyền đi từ các vì sao qua chân không vũ trụ, vậy thì cái gì mang sóng ấy? Một số nhà vật lí đề xuất rằng toàn bộ không gian tràn ngập một thứ chất lỏng gọi là ê-te truyền sáng.Ê-te gọn sóng khi ánh sáng truyền qua nó, nhưng không mang lại sự cản trở cơ giới nào đối với các vật chuyển động, ví dụ như các hành tinh. Lời giải thích đó không làm thỏa mãn tất cả các nhà khoa học vì nó yêu cầu sự tồn tại của một thứ tràn ngập vũ trụ nhưng lại không có những tính chất cơ học có thể phát hiện ra được – nó không có khối lượng – nhưng đó mới chỉ là một điểm xuất phát.

Vào những năm 1820 và 1830, một số nhà vật lí, nổi bật nhất là nhà nghiên cứu trứ danh người Anh, Michael Faraday (1791 – 1867), đã khảo sát điện học, từ học, và các quan hệ giữa chúng. Họ đã học cách chế tạo nam châm điện và phát triển những động cơ và máy phát điện đầu tiên. Họ còn phát hiện thấy lực điện là lực liên kết các nguyên tử lại với nhau trong các hợp chất. Các nhà vật lí bắt đầu sử dụng thuật ngữ *điện từ học* và tìm kiếm các phương thức mô tả lực điện từ bằng toán học, giống như Newton đã từng làm với *lực hấp dẫn* khoảng 150 năm trước đó.

Năm 1859, vị giáo sư vật lí gốc người Scotland tại trường Đại học Cambridge, James Clerk Maxwell (1831 – 79) phát triển một hệ bốn phương trình toán học dựa trên các khám phá của Faraday và những người khác. Một phương trình là công thức cho lực tác dụng lên các điện tích, một phương trình mô tả lực tác dụng lên các cực từ, và hai phương trình mô tả mối liên hệ giữa điện và từ. Thật bất ngờ, *hệ phương trình Maxwell* còn mô tả các sóng năng lượng điện từ có thể truyền đi trong không gian trống rỗng. Điều đáng chú ý là các phương trình Maxwell tiên đoán tốc độ của các sóng điện từ ấy phù hợp với cái do các nhà vật lí khác đã đo là tốc độ của ánh sáng. Kết luận dường như không thể nào tránh khỏi: Ánh sáng là sóng điện từ, và hệ phương trình Maxwell mô tả các tính chất điện và từ của ê-te.

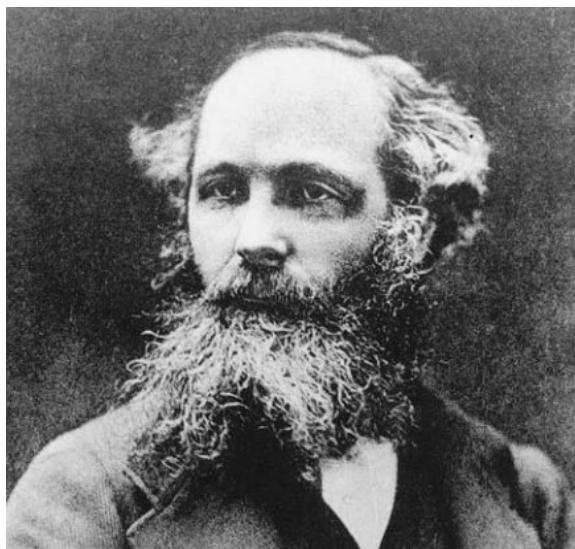
Với hệ phương trình Maxwell và bảng tuần hoàn hóa học, các nhà vật lí thế kỷ 19 cảm thấy họ đã ở gần ranh giới hiểu biết trọn vẹn về giới tự nhiên. Mọi đối tượng vật chất, cho dù lớn hay nhỏ, là gồm các nguyên tử không thể chia cắt liên kết với nhau bằng lực điện. Ở quy mô lớn hơn, ví dụ như hệ mặt trời, lực hấp dẫn liên kết vật này với vật khác. Ngoài ra, vũ trụ còn tràn ngập năng lượng chảy qua dưới dạng sóng điện từ. Một số câu hỏi lớn vẫn còn đó: Đầu là nguồn gốc của ánh sáng sao? Các nguyên tử và ê-te là có thật không, và nếu có thật thì làm thế nào có thể phát hiện ra chúng? Nhưng nói chung, vũ trụ

có vẻ như là một cỗ máy có thể tiên đoán được và có trật tự như một tấm thảm dệt, được chi phối bởi các định luật toán học chính xác của chuyển động, sự hấp dẫn, và điện từ học.

### **Dệt lại giàn khung vật lí**

Sự chính xác và tính có thể tiên đoán đó hóa ra chỉ là một ảo tưởng, và đó là đề tài chính của câu chuyện vật lí học trong thế kỉ 20. Một vài mối chỉ có vẻ lông léo hóa ra là dấu hiệu của một khuôn khổ quan niệm mới chưa được làm sáng tỏ.

Như chương tiếp theo mô tả, thập kỉ đầu tiên của thế kỉ mới được đánh dấu bởi một loạt khám phá đáng chú ý. Trong số này có một sự lí giải lại các định luật Newton và hệ phương trình Maxwell theo kiểu loại trừ nhu cầu ê-te. Khối lượng và năng lượng được chứng tỏ là những mặt khác nhau của cùng một hiện tượng vật lí. Các nguyên tử không những được chứng minh là tồn tại, mà còn có thể phân chia nhỏ ra nữa. Những thí nghiệm đáng chú ý là nhằm hé lộ cấu trúc bên trong của chúng. Tương tự như vậy, sự khác biệt giữa sóng và hạt không còn rõ ràng nữa. Trong thập niên thứ hai và thứ ba của thế kỉ mới, nền vật lí lượng tử đã làm xóa nhòa thêm nữa sự khác biệt đó. Bất ngờ hơn nữa, nó đã thay thế chiếc đồng hồ vũ trụ với sự bất định.



*James Clerk Maxwell, người phát triển các phương trình mô tả mối liên hệ giữa điện và từ, và chứng minh rằng ánh sáng là một sóng điện từ. (Ảnh: AIP Emilio Segrè Visual Archives)*

Phần còn lại của thế kỉ 20 dành cho việc dệt nên hoa văn mới cho tấm thảm vật lí học. Ngày nay, vào những năm đầu của thế kỉ 21, hoa văn ấy dường như đã rõ ràng hơn nhiều – ngoại trừ, một lần nữa, còn một vài mối chỉ lông léo. Như các chương khép lại quyển sách này trình bày, đang xác xược tuyên bố rằng họ đang tìm kiếm “lí thuyết của tất cả”, nhưng lịch sử thế kỉ trước vừa kết thúc khiến họ phải thận trọng. Họ biết có thể có nhiều vũ trụ không nhìn thấy đang tiềm ẩn trong những khe trống kiến thức của họ.

Tập sách này lần theo những sự phát triển đáng chú ý đó của thế kỉ 20, từng thập niên một. Quý độc giả sẽ thấy những sợi chỉ rời rạc của vật lí học đang phát triển và hợp lại với nhau theo những cách thật bất ngờ. Họ sẽ trải qua, như các nhà vật lí thế kỉ 20 đã trải qua, những lần hoang mang, nếu không nói là hoàn toàn hỗn loạn. Cảm giác ấy có lẽ sẽ không dễ chịu, nhưng lời giải của nó nằm ở việc chấp nhận một phương thức tiếp cận vũ trụ của nhà vật lí: đó là nghĩ tới sự thống nhất, ví dụ như cách hệ phương trình Maxwell đã kết hợp điện, từ và ánh sáng, hoặc đi tìm các định luật bảo toàn, như trình bày trong khung tham khảo ở trang sau. Các nhà vật lí vẫn luôn mở ra những viễn cảnh mới. Họ không phủ nhận những quan sát không như trông đợi, mà thay vào đó hãy xét đến những phương pháp

mới để giải thích chúng. Họ không cho phép các tập quán con người tùy tiện đứng ngang chân trên con đường khám phá.

Một tập quán như thế là tùy tiện phân chia lịch sử thành các thế kỉ và thập kỉ. Do thói quen đó, tập sách này và những tập khác trong bộ sách *Khoa học thế kỉ 20* có các chương tương ứng các thập niên của thế kỉ, bắt đầu với 1901 – 1910. Nhưng khi những câu chuyện quan trọng chồng lấn lên sự phân chia này, thì cách tốt nhất là trình bày một số thông tin trong cái có thể xem là một chương “sai”. Điều đó chắc chắn đúng trong hai chương đầu của tập sách này. Thường thì khoa học hiện đại được xem là bắt đầu từ nửa sau của thập niên 1890, cho nên chương 1 mở đầu khi ấy. Tương tự như vậy, nghiên cứu ban đầu dẫn đến sự khám phá ra tia vũ trụ, hạt nhân nguyên tử, và *hiện tượng siêu dẫn*, đều bắt đầu trước năm 1911. Nhưng việc trình bày về nghiên cứu đó hoãn lại sang chương 2, khi đã đạt tới chín muồi.

## Vật lí học và các định luật bảo toàn

Làm thế nào các nhà vật lí khám phá ra những chân trời mới? Một trong những nguyên lí chỉ dẫn có sức mạnh nhất của họ là việc nhận ra rằng tự nhiên có các định luật bảo toàn nhất định phát biểu rằng những đại lượng nhất là không thay đổi (được bảo toàn) trong một tương tác hay một quá trình nào đó. Như các chương sau này sẽ làm rõ, các định luật bảo toàn tỏ ra là một mảnh đất màu mỡ cho các nhà vật lí trong thế kỉ 20. Trong thế kỉ 19, các định luật bảo toàn sau đây đã tỏ ra hữu ích:

**Bảo toàn động lượng.** Định luật bảo toàn cũ xưa nhất trong vật lí học thu được từ hai trong ba định luật Newton của chuyển động. Định luật ba Newton, thường gọi là định luật của tác dụng và phản tác dụng, phát biểu rằng các lực luôn xuất hiện thành từng cặp bằng nhau và trái chiều. Chẳng hạn, trong khi lực hút hấp dẫn của Trái đất giữ Mặt trăng trong quỹ đạo của nó, thì lực hấp dẫn của Mặt trăng hút ngược lại phía Trái đất với một độ lớn bằng nhau. Vì Trái đất có khối lượng lớn hơn vệ tinh của nó nhiều lần, cho nên tác dụng của lực hấp dẫn của Mặt trăng đối với Trái đất không tạo ra quỹ đạo quay mà tạo ra sự lắc lư, chao đảo, dễ thấy nhất là hiện tượng thủy triều đại dương.

Định luật hai Newton phát biểu rằng khi một lực tác dụng lên một vật, thì nó tạo ra một sự biến thiên ở một đại lượng gọi là động lượng, về mặt toán học đại lượng này thường được biểu diễn bằng tích số của khối lượng và vận tốc. Lực tác dụng lên một vật càng lâu, thì sự biến thiên động lượng của vật đó càng lớn. Khi hai vật tác dụng lên nhau những lực bằng nhau và ngược chiều, thì tổng độ biến thiên động lượng của hai vật phải bằng không. Động lượng của mỗi vật thì biến thiên, nhưng cho dù lực tác dụng giữa chúng mạnh bao nhiêu hay lâu bao nhiêu đi chăng nữa, thì tổng động lượng vẫn là như nhau tại mọi thời điểm – hay như các nhà vật lí phát biểu, tổng động lượng được bảo toàn.

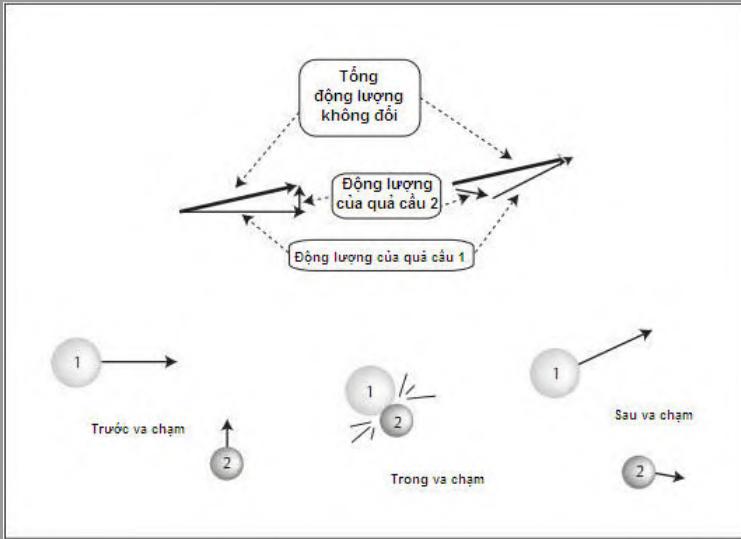
**Bảo toàn khối lượng.** Một trong những định luật bảo toàn quan trọng liên quan đến khối lượng. Định luật Newton thứ nhất về chuyển động định nghĩa một đại lượng gọi là quán tính, hay xu hướng của một vật duy trì vận tốc của nó, trừ khi có lực tác dụng lên nó. Số đo của quán tính là cái các nhà vật lí gọi là khối lượng, nó thường được xem là lượng chất mà vật đó có. (Trong ngôn ngữ hàng ngày, người ta thường nói là một vật nặng bao nhiêu, chứ không nói nó có khối lượng bao nhiêu. Nhưng tốt hơn hết là nên sử dụng thuật ngữ khối lượng, vì lí do sau đây: Tính nặng nhẹ là lực mà trường hấp dẫn của Trái đất tác dụng lên vật đó. Trên Mặt trăng, vật sẽ cân nhẹ đi, nhưng khối lượng của nó thì không đổi).

Một trong những quan niệm cơ sở của thuyết nguyên tử của vật chất là tổng khối lượng của vật chất có mặt trong một phản ứng hóa học là không đổi. Các nguyên tử có thể sắp xếp lại, dẫn tới những hợp chất khác, nhưng bản thân các nguyên tử vẫn như cũ. Khi thế kỉ thứ 19 kết thúc, các nhà vật lí tin rằng định luật bảo toàn khối lượng là mang tính cơ bản.

**Bảo toàn năng lượng.** Các định luật Newton của chuyển động còn đưa đến một đại lượng gọi là năng lượng, nó có thể thuộc một trong hai dạng cơ bản gọi là động năng (năng lượng của chuyển động) và thế năng (năng lượng của vị trí). Cả hai dạng năng lượng có thể thu về từ một đại lượng gọi là công, đại lượng này được định nghĩa về mặt toán học là quãng đường mà vật đi được nhân với lực tác dụng theo hướng chuyển động của vật.

Công có thể tạo ra động năng bằng cách làm cho một vật chuyển động nhanh hơn, hoặc nó có thể tạo ra thế năng theo nhiều cách, thí dụ bằng cách kéo giãn hoặc nén một cái lò xo hoặc nâng một vật nặng lên cao. Lò xo đó có thể năng sẽ làm vật chuyển động khi nó hồi phục lại chiều dài ban đầu của nó. Vật nặng đó có thể rơi xuống, thu lấy động năng trong lúc rơi.

Một trong những thành tựu to lớn của nền vật lí học thế kỉ thứ 19 là việc công nhận mối liên hệ giữa năng lượng và nhiệt và phát triển một định luật bảo toàn mới. Khi hai vật tương tác với nhau, tổng động lượng của chúng được bảo toàn, nhưng tổng động năng và thế năng của chúng có thể thay đổi. Thí dụ, nếu hai chiếc xe hơi y hệt nhau, chuyển động ở tốc độ như nhau, va chạm trực diện với nhau, thì mó hồn tấp bẹp dí sẽ dừng lại ngay. Trước va chạm, mỗi xe hơi có động lượng bằng nhau, nhưng có chiều ngược nhau. Như vậy, tổng động lượng của chúng là bằng không lúc trước và sau khi chúng va chạm. Dùng như trông đợi, động lượng được bảo toàn.



*Định luật Newton thứ hai và thứ ba của chuyển động dẫn tới kết luận rằng khi hai vật tương tác với nhau, thì động lượng của mỗi vật có thể thay đổi, nhưng tổng động lượng của chúng thì không đổi. Trong va chạm sót qua của hai quả cầu có khối lượng khác nhau, thì mỗi quả cầu đổi hướng và tốc độ chuyển động, nhưng tổng động lượng của chúng vẫn như cũ.*

Còn năng lượng thì sao? Không giống như động lượng, năng lượng không có chiều. Lượng lớn động năng trước va chạm dường như đã bị mất, và hai chiếc xe bẹp dí không có thể năng của bộ phận nén ép kiêu lò xo nào cả. Nhưng vụ va chạm sinh ra một lượng nhiệt lớn, chúng có thể dễ dàng nhận thấy sau va chạm. Nếu hiểu nhiệt là số đo của tổng động năng của hai xe trước va chạm, thì hóa ra năng lượng vẫn được bảo toàn.

Một phân ngành vật lí học gọi là nhiệt động lực học mô tả cách thức nhiệt và năng lượng liên hệ với nhiệt độ. Các nhà vật lí phát biểu ba định luật của nhiệt động lực học, định luật đầu tiên trong số đó là một định luật bảo toàn. Nó phát biểu rằng khi có sự trao đổi nhiệt, thì năng lượng, giống như động lượng, được bảo toàn khi các vật tương tác với nhau, mà không có thêm sự tác dụng nào từ bên ngoài. Nhiệt động lực học có liên hệ mật thiết với một phân ngành vật lí toán phát triển vào cuối thế kỉ thứ 19 gọi là cơ học thống kê. Cơ học thống kê cho phép các nhà vật lí khảo sát nhiệt ở cấp độ nguyên tử. Nó định nghĩa nhiệt độ là số đo động năng trung bình của các nguyên tử hoặc phân tử trong vật chất, cho dù chúng đang chuyển động tự do và va chạm nhau như trong chất khí, hoặc chất lỏng, hoặc đang dao động tới lui trong chất rắn.

Cơ học thống kê giữ một vai trò quan trọng trong những khám phá đầy kịch tính buổi đầu của thập niên đầu tiên của thế kỉ thứ 20 – trong đó có sự thay đổi nhận thức của các nhà vật lí về các định luật bảo toàn khói lượng và năng lượng.

# 1



## 1901 – 1910 Bình minh của vật lí học hiện đại

Như đã lưu ý ở cuối phần Giới thiệu, các khám phá trong thập niên đầu tiên của thế kỉ 20 đã làm chấn động các nền tảng của vật lí học. Những chuyển biến lớn trong nền khoa học đó mang lại từ công trình của nhiều nhà tư tưởng cách tân, nhưng không ai có ý tưởng có sức ảnh hưởng nhiều hơn ý tưởng của một viên chức sở cấp bằng sáng chế Thụy Sĩ người gốc Đức tên là Albert Einstein (1879 – 1955). Năm 1905, ông đã cho công bố ba bài báo làm thay đổi phương thức các nhà vật lí nhìn nhận không gian và thời gian, vật chất và năng lượng, và hạt và sóng. Ông giải thích lại các định luật Newton lẫn hệ phương trình Maxwell theo một cách loại trừ nhu cầu viễn đến ê-te. Ông chỉ ra rằng khối lượng và năng lượng là những mặt khác nhau của cùng một hiện tượng vật lí. Ông giải thích các thí nghiệm đã biết nhằm chứng minh các nguyên tử là có thật, chứ không đơn thuần là một khái niệm hữu ích dùng để tìm hiểu hóa học.

Những ý tưởng lớn không hề nảy sinh từ hư vô. Cơ sở cho các khám phá của đầu thế kỉ 20 đã thiết lập vào giữa cuối những năm 1890, khi các nhà vật lí đang nghiên cứu mối liên hệ giữa điện học và vật chất. Họ biết rằng điện tồn tại dưới dạng các điện tích dương và âm và nó giống như các nguyên tử – những lượng điện tích nhỏ xíu, không thể chia cắt thuộc một cỡ nhất định – không giống như chất lỏng có thể trích ra bao nhiêu cũng được. Các nguyên tử có thể trung hòa điện, hoặc chúng có thể tồn tại dạng các ion tích điện.

Nhưng điện là cái gì, và nó liên quan như thế nào với vật chất? Nghiên cứu tia ca-tôt dường như là có khả năng nhất mang lại sự hiểu biết sâu sắc cho câu hỏi này. Tia ca-tôt là những chùm tia kì lạ xuất hiện trong ống thủy tinh hàn kín từ đó đa phần không khí đã được bơm ra ngoài. Bên trong các ống ấy là hai điện cực – một cực âm ca-tôt và một cực dương a-nôt – với một điện áp (áp suất điện) lớn giữa chúng. Khi ca-tôt bị đun nóng, nó phát ra một chùm tia làm cho không khí còn lại ở xung quanh lóe sáng. Nếu chùm tia đó đập vào thành ống, thì thủy tinh cũng lóe sáng.

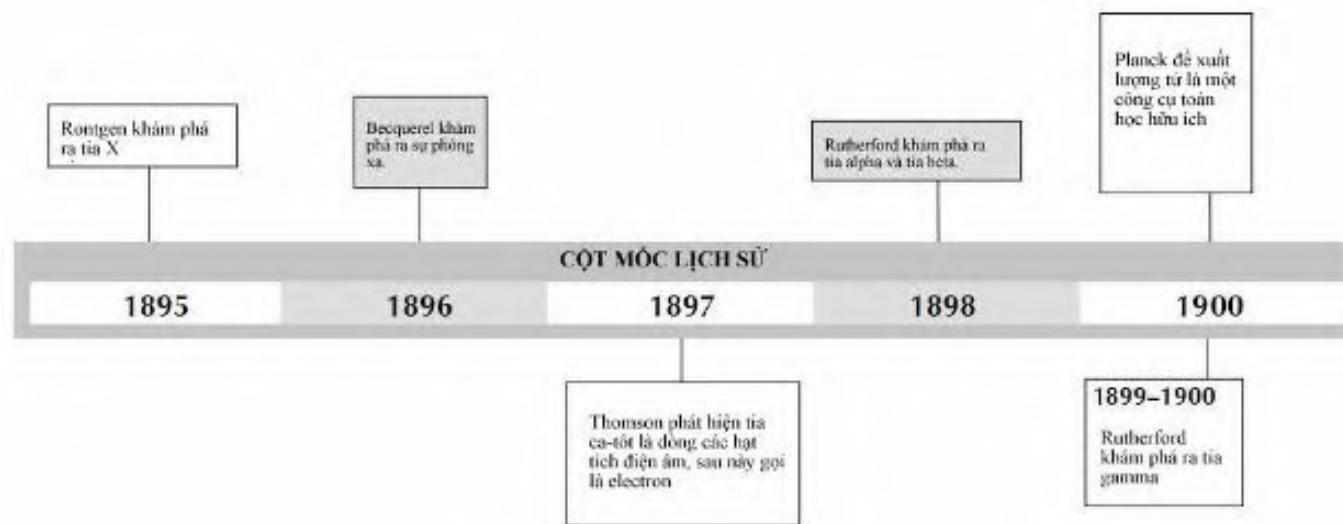
### Những kết quả kì lạ

Ngày 8 tháng 11 năm 1895, nhà vật lí người Đức Wilhelm Röntgen (1845–1923) đang nghiên cứu tia ca-tôt thì ông phát hiện ra một hiện tượng lạ. Ông biết tia ca-tôt có thể gây ra sự phát sáng huỳnh quang, và ông có một màn huỳnh quang trong phòng thí nghiệm của mình để nghiên cứu chúng. Nhưng vào hôm này, ông không sử dụng cái màn đó. Ông đặt nó ở xa ống tia ca-tôt và bọc nó trong giấy bìa đen cứng, nhưng trong phòng thí nghiệm tối, Röntgen để ý thấy nó đang lóe sáng. Cái gì có thể gây ra hiện tượng đó?

Sau một số thí nghiệm, Röntgen phát hiện thấy tia ca-tôt đang gây ra một bức xạ chưa biết, mà ông gọi là tia X, phát ra từ a-nôt. Tia X có thể đi xuyên qua những loại vật chất nhất định – ví dụ như thủy tinh của ống tia ca-tôt – nhưng không xuyên qua những chất khác, và chúng sẽ làm đèn kính ánh. (Ngày nay, người ta biết tia X là một dạng sóng điện tử năng lượng cao).



Ngay đầu tháng 3 tiếp sau đó, nhà vật lí người Pháp Henri Becquerel (1852–1908) phát hiện ra một hợp chất của uranium cũng tạo ra được bức xạ làm đen kính ảnh. Lúc đầu, ông nghĩ rằng mình đã tìm ra một nguồn khác phát ra tia X, nhưng ông sớm phát hiện thấy “tia uranium” là một hiện tượng hoàn toàn khác. Khám phá của Becquerel ngay sau đó được gọi là *sự phóng xạ*, và các vật lí và hóa học khác nhanh chóng nhập cuộc, trong đó có nhà hóa học gốc Ba Lan Marie Curie (1867–1934) ở Pháp và Gerhardt Schmidt ở Đức. Làm việc độc lập với nhau vào năm 1898, từng người họ đã phát hiện ra sự phóng xạ ở thorium. Cuối năm đó, Marie Curie cùng chồng của bà, Pierre Curie (1859–1906), phát hiện ra hai nguyên tố phóng xạ trước đó chưa biết, radium và polonium, trong quặng uranium.

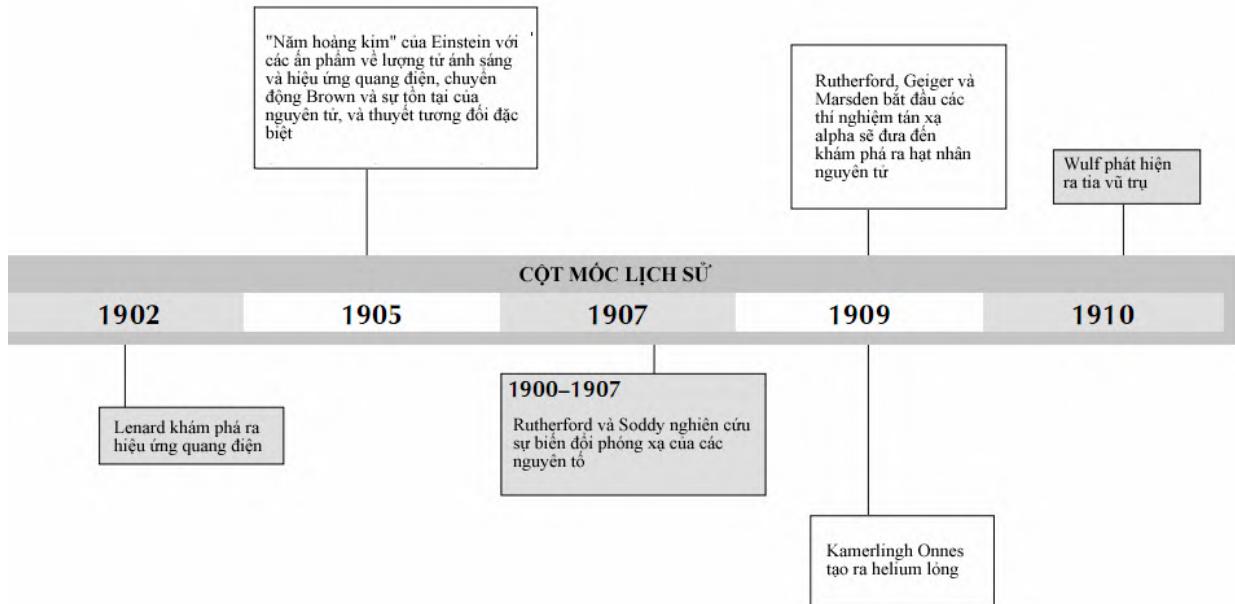


Sự phóng xạ cũng thu hút sự chú ý của Joseph John (“J. J.”) Thomson (1856–1940), giám đốc Phòng thí nghiệm Cavendish nổi tiếng thế giới tại trường Đại học Cambridge ở Anh. Ngay khi ông nghe nói tới khám phá của Becquerel, ông lập tức quyết định nghiên cứu các tia bí ẩn đó. Ông giao nhiệm vụ cho Ernest Rutherford (1871–1937), một sinh viên trẻ năng động mới ra trường đến từ New Zealand vào mùa thu trước đó. Năm 1898, Rutherford phát hiện ra hai dạng phóng xạ khác biệt nhau và đặt tên cho chúng theo hai kí tự đầu tiên trong bộ chữ cái Hi Lạp. *Tia alpha* có thể chấn dừng lại bởi một vài lá nhôm, nhưng *tia beta* thì có tính đâm xuyên mạnh hơn nhiều. Cả hai đều là các hạt tích điện – tia alpha mang điện tích dương và tia beta mang điện tích âm.

Trong khi đó, Thomson đang tiến hành các thí nghiệm thận trọng của riêng ông để xác định xem tia ca-tôt là hiện tượng sóng hay hạt. Năm 1897, ông công bố các kết quả của mình: Tia ca-tôt là dòng gồm các hạt nhỏ xíu mang điện tích âm. Ông gọi các hạt đó là tiểu thể, và ông giả sử mỗi tiểu thể mang đơn vị điện tích cơ bản của tự nhiên. Các phép đo của ông và giả thuyết đó đã đưa ông đến kết luận lật lùng sau đây về kích cỡ của các hạt tiểu thể: Khoi lượng của một tiểu thể chưa tới một phần nghìn khối lượng của nguyên tử hydrogen, nguyên tử nhỏ nhất trên bảng tuần hoàn nguyên tố. (Các phép đo ngày nay thiết đặt giá trị đó là nhỏ hơn  $1/1800$ ). Khi các nhà khoa học tìm hiểu thêm về hành trạng của những tiểu thể này trong các nguyên tử, chúng trở nên mang tên là *electron*.

Có hai lời giải thích khá dĩ. Hoặc là giả thuyết của ông về đơn vị điện tích của các tiểu thể là sai và thật ra nó có hơn 1000 đơn vị điện tích âm, hoặc khối lượng của nó thật sự hết sức nhỏ. Một điện tích hơn 1000 đơn vị không có ý nghĩa, nên Thomson và các vật lí khác kết luận rằng các tiểu thể là những hạt nhỏ hơn nhiều so với nguyên tử.





Các tia bí ẩn và các hạt hạ nguyên tử không phải là những bất ngờ duy nhất trong vật lí học khi thế kỉ 19 kết thúc. Năm 1900, lóe sáng quen thuộc của các vật bị nung nóng đã đưa nhà vật lí người Đức Max Planck (1858–1947) vào một chiều hướng bất ngờ đưa đến giải thưởng Nobel Vật lí năm 1918. Sử dụng cơ học thống kê để mô tả tốc độ dao động khác nhau của các nguyên tử của một vật bị nung nóng, Planck đã tính được *phổ ánh sáng* mà nó phát ra – nghĩa là, cường độ phát sáng biến thiên như thế nào theo những màu sắc khác nhau – và so sánh các tính toán của ông với phổ đo được của cái gọi là *bức xạ vật đen* của nó ở những nhiệt độ khác nhau.



Marie Curie, cùng với chồng, Pierre Curie, với người bà cùng chia sẻ giải Nobel Vật lí năm 1903. (Ảnh: AIP Emilio Segrè Visual Archives)



Các phép đo trên thật quen thuộc: Vật thể không phát ra ánh sáng khả kiến khi nó nguội nhưng trở nên mờ đở khi được nung nóng lên vài trăm độ. Ở nhiệt độ càng lúc càng cao, nó phát ra ánh sáng đỏ chói, rồi màu vàng. Nếu có thể nung nóng nó lên đến nhiệt độ của Mặt trời, thì nó sẽ có màu vàng chói. Các màu sắc đó không thuần khiết, mà là hỗn hợp ánh sáng ở những bước sóng khác nhau, giống như cái do Isaac Newton khám phá ra ở ánh sáng mặt trời trong thí nghiệm nổi tiếng của ông 200 năm trước.

Planck trình bày quang phổ bằng đồ thị. Từ trái sang phải theo trục hoành, màu sắc chuyển từ hồng ngoại sang đỏ, băng qua phổ khả kiến chuyển đến tím, và ngoài đó là vùng tử ngoại. Trục tung biểu diễn cường độ sáng. Giá trị số trên trục hoành là tần số của ánh sáng hay tốc độ mà các đỉnh sóng đi qua một điểm cho trước. Tần số tăng từ hồng ngoại sang tử ngoại, đi qua dài màu đỏ-đến-tím khả kiến ở giữa. Mỗi quang phổ đạt cực đại ở một tần số nhất định đại khái tương ứng với màu sắc mà người ta trông thấy. Sau đó cường độ giảm nhanh ở những tần số cao.



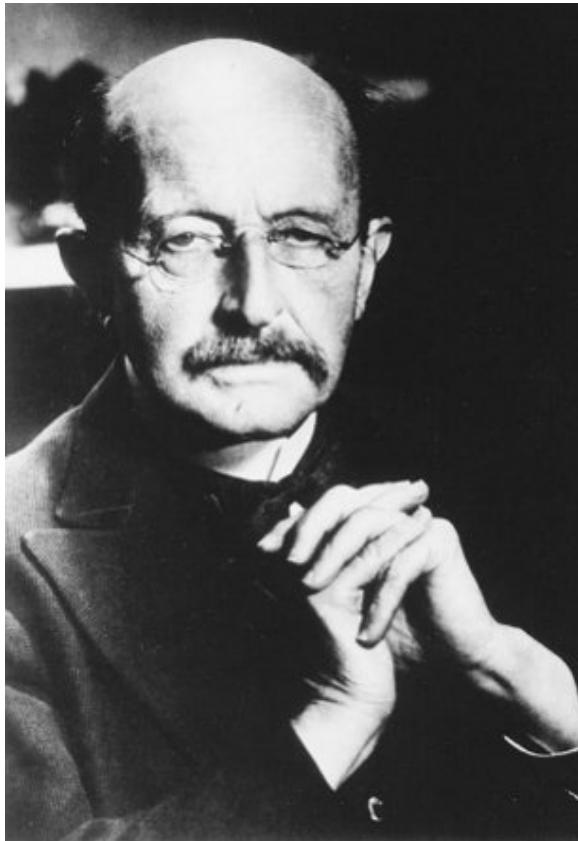
Ernest Rutherford và J.J. Thomson nhiều năm sau nghiên cứu tiên phong của họ về tia ca-tốt và sự phóng xạ. (Ảnh: AIP Emilio Segrè Visual Archive, Bainbridge Collection)

Các tính toán của Planck mang lại tin tốt lẫn tin xấu. Tin tốt là phổ tính được phù hợp với phổ đo được, đặc biệt trong vùng hồng ngoại; tin xấu là nó thất bại, không tiên đoán được cực đại trên. Thật vậy, các phép tính của ông tiên đoán một cường độ tăng mãi mãi đối với các tần số cao hơn. Cho nên Planck đã đi tìm ý tưởng làm thế nào thay đổi mô hình cơ học thống kê của ông để hiệu chỉnh bài toán tần số cao ấy (bài toán trong những năm sau này các nhà khoa học gọi là “cái chết miền tử ngoại”).

Phương pháp của ông có phần đi ngược lại hệ phương trình Maxwell. Các phương trình đó cho phép sóng điện từ có cường độ bất kì từ rất mờ đến rất sáng và mọi giá trị ở giữa. Điều đó có nghĩa là năng lượng ánh sáng giống như một chất lỏng có thể đo ra một lượng bất kì. Thay vì thế, Planck quyết định xem năng lượng ánh sáng giống như các nguyên tử hay những hạt cát. Nếu các hạt ấy nhỏ, thì năng lượng có thể đo ra hầu như



giống như chất lỏng, như thể nó được điều chỉnh bởi một công tắc sáng tối của đèn điện. Nhưng những hạt lớn tạo ra những khe trống đáng kể giữa các mức khác nhau của độ sáng, giống như một bóng đèn ba cực.

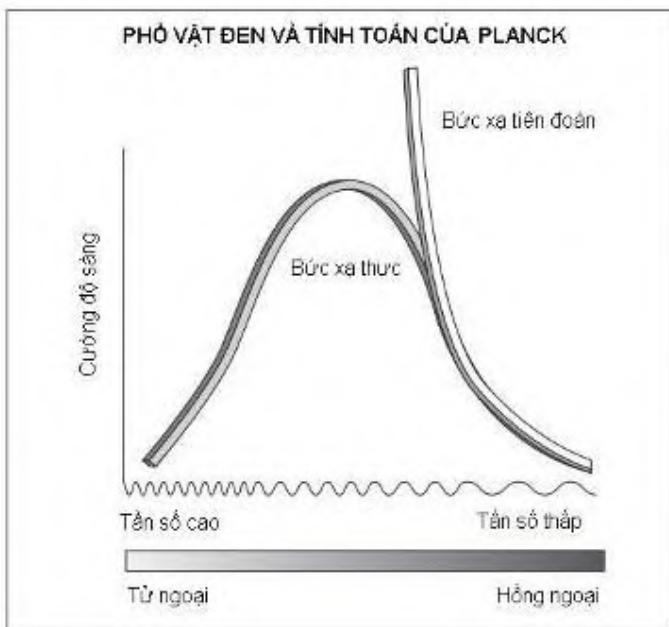


Max Planck, người có nghiên cứu ánh sáng phát ra bởi vật đen đưa đến ý tưởng lượng tử. (Ảnh: AIP Emilio Segrè Visual Archives)

Planck đã gọi một hạt năng lượng là một *lượng tử*. Để bảo toàn sự phù hợp tốt giữa tiên đoán của ông và các phép đo trong vùng hồng ngoại, ông biết mình cần đến những lượng tử nhỏ ở những tần số thấp. Nhưng để loại trừ vấn đề vướng mắc trong miền tử ngoại, ông cần những lượng tử lớn ở những tần số cao. Ông đã bắt đầu với cách đơn giản nhất có thể để làm điều đó. Ông viết ra công thức biểu diễn năng lượng của một lượng tử bằng một bội số lần tần số của nó.

Đặc biệt, khi Planck chọn một bội số thích hợp, hình dạng phổ tính được của ông ăn khớp với phổ đo được ở mọi tần số từ hồng ngoại đến tử ngoại. Ban đầu Planck nghĩ có lẽ ông cần một bội số khác nhau cho từng nhiệt độ, nhưng ông phát hiện thấy bội số như nhau đó hoạt động tốt ở mọi nhiệt độ.

Ngày nay, bội số đó được gọi là *hằng số Planck*. Planck nhận thức được rằng con số đó nói lên một cái gì quan trọng về bản chất của ánh sáng, nhưng ông không biết đó là cái gì. Ông đã phát minh ra lượng tử không gì hơn là một thủ thuật tính toán khéo léo, nhưng ông vấp phải thử đường như là có thật. Thế kỷ 19 đã mở ra với thí nghiệm của Young xác lập rằng ánh sáng là một hiện tượng sóng. Giờ thì, trong năm cuối cùng của thế kỷ ấy, lí thuyết của Planck đang ngũ ý rằng sau rốt thì ánh sáng có thể là một dòng hạt. Hai kết quả mâu thuẫn với nhau, nhưng các nhà vật lí không thể phủ nhận kết quả nào trong số chúng. Việc giải quyết mâu thuẫn đó sẽ đưa vật lí học tiến vào những lộ trình không dự kiến trước của thế kỷ 20.



Tính toán của Planck về phổ ánh sáng phát ra bởi một vật bị nung nóng phù hợp với phổ đo được trong miền hồng ngoại nhưng lại sai khớp nghiêm trọng trong miền tử ngoại. Ông đưa ra khái niệm lượng tử để loại trừ sự trái ngược đó, mặc dù nó không phù hợp với lí thuyết sóng của ánh sáng.

## Thế kỉ mới, viễn cảnh mới

Lúc đầu, việc khám phá ra một hạt hạ nguyên tử và sự xuất hiện trở lại của câu hỏi sóng-hay-hạt về bản chất của ánh sáng dường như chẳng đe doa bức tranh khoa học ưa thích của các nhà vật lí đầu thế kỉ 20. Nó vẫn dựa trên cơ sở vững chắc của các định luật Newton về chuyển động và hấp dẫn, và hệ phuorong trình điện từ học Maxwell. Sự bảo toàn khối lượng và năng lượng vẫn là hai trong số các nguyên lí nền tảng của nó.

Nhưng các cơ sở và nền tảng ấy sắp sửa lung lay. Nền vật lí học đang biến chuyển, và con người chịu trách nhiệm chính là một kẻ dường như chẳng có tên tuổi vào năm 1901, Albert Einstein. Vừa học xong đại học tại Viện Bách khoa Zurich một năm trước đó ở tuổi 21, Einstein bắt đầu thế kỉ mới với việc đi tìm một công việc làm, và ông đã không may mắn cho lắm. Một số giáo sư dạy của ông nhận ra ông rất thông minh tài trí, nhưng ông cũng ngang bướng tới mức họ miễn cưỡng thuê ông làm phụ tá hay khuyên ông đi tìm việc làm khác tốt hơn. Einstein đã hai lần đảm đương vai trò dạy học nhất thời trước khi ông tìm được một chỗ làm lâu dài, với tư cách là một chuyên viên kỹ thuật, hạng ba, ở Sở cấp bằng sáng chế Thụy Sĩ, vào năm 1902.

Công việc đó hóa ra thật lí tưởng. Nó không khắt khe cho lắm, và nó cho phép ông có nhiều thời gian suy nghĩ về những câu hỏi lớn của vật lí học trong khi vừa học lấy bằng tiến sĩ từ trường Đại học Zurich. Năm 1905, ông không những hoàn thành luận án tiến sĩ của mình, mà ông còn viết ba bài báo công bố trên tạp san khoa học *Annalen der Physik* (Biên niên Vật lí học). Mỗi bài báo nói về một đề tài khác nhau, và mỗi bài báo là một kiệt tác.

## Lượng tử và Hiệu ứng quang điện

Bài báo thứ nhất của Einstein, “Một quan điểm mới về sự sản sinh và truyền ánh sáng”, đi giải bài toán lượng tử Planck và một khám phá thực nghiệm gây thách đố gọi là *hiệu ứng quang điện*. Năm 1902, Philipp Lenard (1862–1947) phát hiện thấy ánh sáng chiếu lên một điện cực kim loại, dưới những điều kiện nhất định, có thể làm cho các



electron bật ra. Mỗi kim loại hành xử khác nhau, nhưng tất cả có một đặc điểm gây thách đố - đó là một ngưỡng tần số đối với ánh sáng, dưới ngưỡng đó hiệu ứng biến mất.

Giới hạn quang điện đối với mỗi kim loại là khác nhau, thay đổi từ ánh sáng lam đối với một số kim loại đến ánh sáng tử ngoại đối với một số kim loại khác. Dưới giới hạn đó, không có electron nào phát ra, cho dù cường độ sáng mạnh bao nhiêu. Trên giới hạn đó, ngay cả ánh sáng mờ nhất cũng có thể giải phóng các electron khỏi bề mặt kim loại.

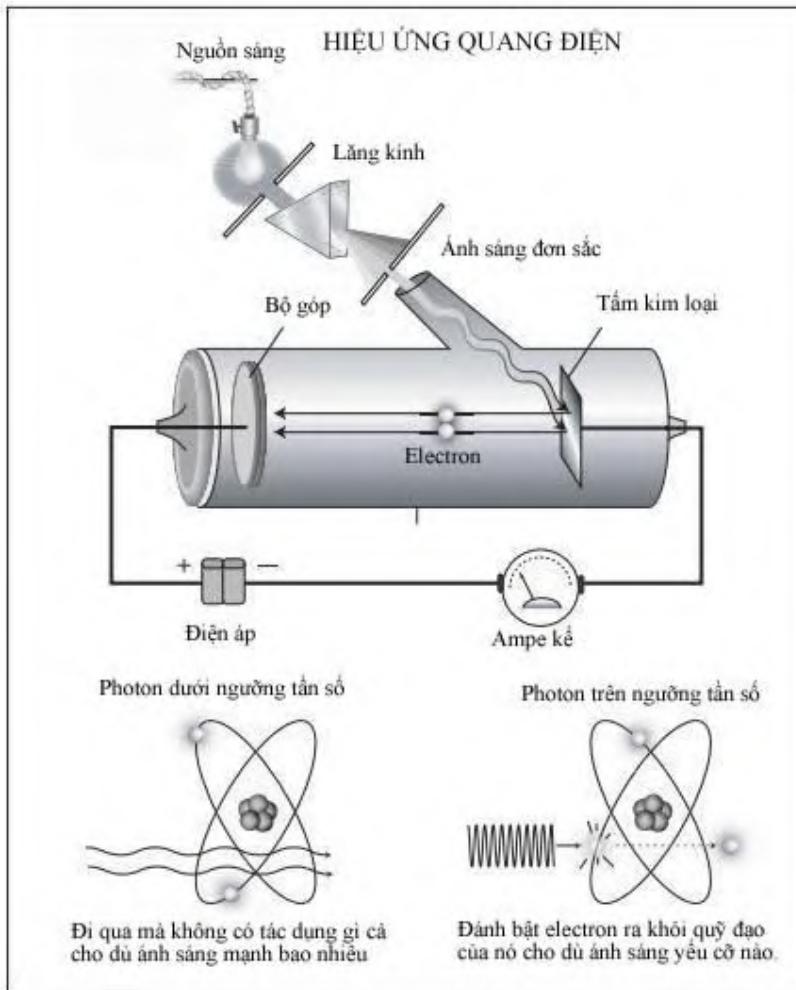
Einstein công nhận giới hạn quang điện là bằng chứng cho lượng tử Planck, vốn là phát minh mang tính toán học nhiều hơn. Chúng thật ra là các hạt – các bó năng lượng ánh sáng – sau này gọi là *photon*. Ông giải thích như sau: Để giải phóng một electron khỏi một kim loại cần một lượng năng lượng nhất định gọi là công thoát. Hằng số Planck liên hệ năng lượng của một lượng tử ánh sáng với tần số của nó. Đối với một lượng tử giải phóng một electron ra khỏi kim loại, thì năng lượng của nó lớn hơn công thoát, nghĩa là tần số của nó phải đủ cao. Trên ngưỡng tần số đó, thì cho dù ánh sáng mờ bao nhiêu, mỗi lượng tử cũng có đủ năng lượng để giải phóng một electron. Dưới ngưỡng tần số đó, thì cho dù có bao nhiêu lượng tử, vẫn không có một lượng tử nào có đủ năng lượng để đánh bật một electron ra.



Albert Einstein là một viên thư ký 26 tuổi tại sở cấp bằng phát minh ở Bern, Thụy Sĩ, vào năm 1905, khi ông công bố ba bài báo làm biến chuyển nền vật lý học. (Ảnh: AIP Emilio Segrè Visual Archives)

Không khó khăn gì việc kiểm tra sự phỏng đoán của Einstein. Các photon có tần số càng trên ngưỡng bao nhiêu, thì chúng càng có nhiều năng lượng để có thể trao cho các electron phát ra. Khi các nhà vật lí tiến hành các thí nghiệm xác định sự phụ thuộc của năng lượng vượt mức đó vào tần số, họ nhận thấy các kết quả phù hợp với tiên đoán của Einstein. Như vậy, hiệu ứng quang điện là bằng chứng không thể chối cãi rằng ánh sáng là một dòng hạt – các lượng tử của Planck. Nhưng những hiện tượng khác, ví dụ như thí nghiệm giao thoa của Young, lại chứng minh bản chất sóng của ánh sáng với sự chắc chắn không kém. Tình thế dường như thật khó chịu, Einstein chọn lấy quan điểm duy nhất mà một nhà vật lí có thể có: Tự nhiên là cái nó như thế, và nó mở ra trước khoa học đi tìm cách mô tả nó. Thỉnh thoảng, các nhà khoa học cần phải đi tìm những công cụ hoặc từ vựng mới. Thỉnh thoảng, họ phải đặt ra những câu hỏi khác. Trong trường hợp này, việc

hỏi một câu hoặc cái này, hoặc cái kia về bản chất của ánh sáng là cách không đúng, vì các thí nghiệm cho thấy nó là cả hai thứ. Giờ thì câu hỏi là làm thế nào nó có thể như vậy được.



Einstein giải thích một hiện tượng gây thách đố gọi là hiệu ứng quang điện bằng cách công nhận rằng ánh sáng thật ra gồm các gói năng lượng. Nghĩa là, lượng tử Planck đã đề xuất không chỉ đơn thuần là một sự tiện lợi toán học. Ngày nay, các nhà vật lí gọi lượng tử ánh sáng là photon.

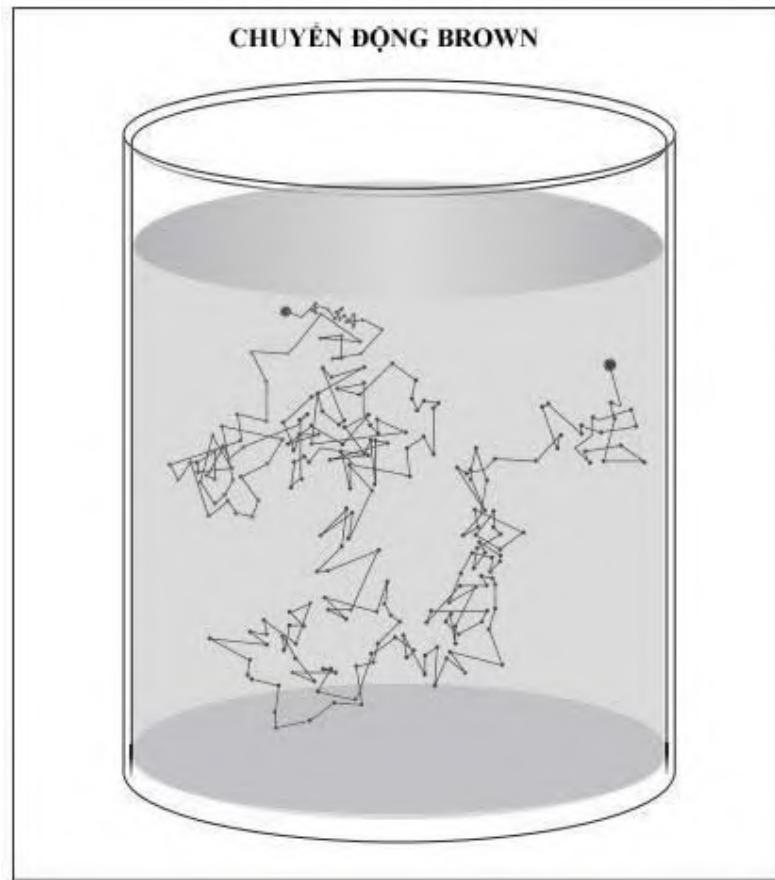
## Chuyển động Brown và tính xác thực của các nguyên tử

Bài báo thứ hai của Einstein vào năm 1905 là “Về chuyển động của các hạt nhỏ lơ lửng trong chất lỏng cân bằng theo thuyết động học phân tử của nhiệt”, sử dụng cơ học thống kê phân tích quan sát của những nhà khoa học khác về một hiện tượng gọi là *chuyển động Brown*. Khoảng 80 năm trước đó, nhà thực vật học người Scotland Robert Brown, người có tên được đặt cho hiệu ứng, đã quan sát các hạt phấn hoa lơ lửng trong một chất lỏng qua một kính hiển vi. Brown để ý thấy các hạt phấn hoa chuyển động nhát gừng theo những quỹ đạo không có quy tắc. Trong những năm sau đó, các nhà khoa học khác đã tiến hành các phép đo chính xác của chuyển động Brown và công bố các kết quả của họ.

Einstein nhận ra rằng những cái lắc lư không theo quy luật đó là kết quả của những va chạm với các phân tử của chất lỏng. Ông tính được các hạt chuyển động bao xa và bao nhanh giữa những lần va chạm và cụ thể các đường zic zắc bị ảnh hưởng như thế nào bởi



sự thay đổi nhiệt độ. Ông so sánh các tính toán của mình với các phép đo thực nghiệm và nhận thấy chúng phù hợp với nhau. Mặc dù các nguyên tử và phân tử đơn lẻ vẫn chưa được quan sát, nhưng những tính toán của Einstein cho thấy trực tiếp rằng chúng tồn tại.



Einstein giải thích quỹ đạo ngẫu nhiên của các hạt nhỏ xíu lơ lửng trong chất lỏng, gọi là chuyển động Brown, là kết quả của những va chạm với các nguyên tử hay phân tử của chất lỏng ấy, mang lại bằng chứng quan sát trực tiếp đầu tiên của các nguyên tử và phân tử.

## Thuyết tương đối đặc biệt

Bài báo thứ ba năm 1905 của Einstein được mọi người biết tới nhiều nhất. Tựa đề là “Về điện động lực học của các vật đang chuyển động”, nó đã nêu ra lí thuyết tương đối của ông và làm thay đổi cách thức các nhà vật lí nhìn nhận không gian và thời gian.

Lí thuyết ấy phát triển từ quan điểm của Einstein về ê-te truyền ánh sáng. Ông nhận ra rằng ê-te, nếu như nó tồn tại, không gì hơn là một môi trường trong đó sóng điện tử truyền qua. Nó cũng mang lại một cơ sở cố định – một hệ quy chiếu – trên đó người ta có thể đo mọi chuyển động trong vũ trụ. Một điểm đặc biệt trong vũ trụ có thể gán cho là gốc tọa độ, nơi ba trục vuông góc nhau (nhiều trục) gấp nhau. Những trục đó có thể gán là  $x$ ,  $y$ ,  $z$  (hoặc đông-tây, bắc-nam, và trên-dưới). Mọi điểm bất kì trong vũ trụ sẽ được xác định bởi ba con số, chỉ rõ khoảng cách của nó đến gốc tọa độ dọc theo ba trục ấy.

Để mô tả đường đi của một vật chuyển động, người ta chỉ cần giá trị của ba con số đó ở những thời điểm khác nhau. Mọi vật hay sóng bất kì có thể chuyển động so với hệ quy chiếu đó, nhưng ê-te tự nó vẫn đứng yên. Điều đó khiến cho ê-te là một hệ quy chiếu tuyệt đối. Các nhà khoa học gắn liền với quả đất chỉ có thể đo chuyển động *tương đối* của

một đối với những thiết bị của họ. Để xác định chuyển động tuyệt đối của vật đó, họ cần phải đo chuyển động tuyệt đối của những thiết bị áy đối với ê-te. Trong nhiều năm, các nhà khoa học đã thử làm như thế, nhưng họ luôn luôn không thành công.

Ví dụ, họ đã thử phát hiện những sai lệch nhỏ giữa tốc độ của những chùm ánh sáng truyền theo hướng chuyển động của Trái đất, ngược với hướng đó, và vuông góc với hướng đó. Những thiết bị rất nhạy đã không tìm ra bất cứ sự sai lệch nào. Một số người giải thích sự thất bại trước việc phát hiện những sai lệch ấy là bằng chứng rằng ê-te không hề tồn tại. Einstein còn tiến một bước xa hơn nữa. Ông nói rằng sự không tồn tại của ê-te có nghĩa là vũ trụ không có hệ quy chiếu tuyệt đối. Chuyển động của một hay sóng chỉ có thể đo tương đối so với nhau, chứ không đối với chính vũ trụ được.

Quan điểm về tính tương đối của Einstein là một sự mở rộng tự nhiên của tư tưởng khoa học đã có trước đó. Ban đầu, người ta đã xem Trái đất là trung tâm bất dịch của mọi thứ. Sau đó, họ nhận ra rằng Trái đất là một hành tinh đang chuyển động trong một hệ mặt trời lớn hơn. Phản ứng tự nhiên của con người khi đó là đặt Mặt trời làm trung tâm của vũ trụ. Nhưng vào thời Einstein, các nhà thiên văn đã có thể nói được là các vì sao đang chuyển động so với nhau. Họ không còn có lí do để nghĩ rằng Mặt trời – hay bất kì ngôi sao nào khác – chiếm giữ một vị trí đặc biệt trong vũ trụ. Từ viễn cảnh đó, thật chẳng khó khăn gì việc từ bỏ quan niệm về một hệ quy chiếu tuyệt đối.

Điều đó đã đưa Einstein đến phát biểu nguyên lý vật lí cơ bản sau đây: Nếu hai nhà quan sát đang chuyển động ở tốc độ không đổi so với nhau, thì không có hệ quy chiếu của nhà quan sát nào trong hai người là ưu tiên hơn hệ quy chiếu của người kia. Không thể thực hiện bất kì quan sát nào xác định được người này đang chuyển động, còn người kia đứng yên tuyệt đối trong vũ trụ.

Nguyên lý đơn giản đó mang lại một số hệ quả bất ngờ. Như đã lưu ý trong phần Giới thiệu, hệ phương trình Maxwell tiên đoán sự tồn tại của các sóng điện từ truyền đi ở một tốc độ hữu hạn. Điều đó có nghĩa là hai nhà quan sát, bất chấp chuyển động tương đối của họ, phải đo được tốc độ như nhau đối với một chùm bức xạ điện từ.

Nhưng phát biểu đó không phù hợp với kinh nghiệm hàng ngày. Giả sử một cầu thủ ném bóng chày đang đứng trên nóc của một đoàn tàu hỏa đang chuyển động ở tốc độ 50 dặm trên giờ (80 km/h), và giả sử anh ta ném ra một quả bóng với tốc độ 100 dặm trên giờ (161 km/h) theo hướng chuyển động của đoàn tàu. Một người đứng trên mặt đất sẽ đo được tốc độ của nó là  $100 + 50 = 150$  dặm trên giờ (241 km/h). Nếu anh ta ném ra phía sau, thì người trên mặt đất sẽ đo được tốc độ của nó là  $100 - 50 = 50$  dặm trên giờ theo hướng ngược lại.

Nhưng mọi thứ khác đi khi quả bóng chày được thay thế bằng một chớp sáng. Nguyên lý tương đối tiên đoán tốc độ của ánh sáng như nhau – tốc độ đặc trưng bởi hệ phương trình Maxwell – cho cả người quan sát trên mặt đất và cầu thủ bóng chày trên đoàn tàu, cho dù đoàn tàu đang chuyển động bao nhanh theo hướng lại gần hay ra xa hướng người cầu thủ chiếu ra chớp sáng. Đó đúng là kết quả mà các nhà khoa học trông thấy khi họ đã thử và thất bại trước việc phát hiện những sai lệch trong tốc độ ánh sáng khi Trái đất chuyển động hơn 66.000 dặm mỗi giờ (106.000 km/h) trong quỹ đạo của nó xung quanh Mặt trời.

Thuyết tương đối Einstein dẫn đến một số hiện tượng xảy ra ở những tốc độ tương đối cao nhưng dường như kì lạ khi đánh giá bằng kinh nghiệm con người hàng ngày. Nó buộc các nhà vật lí thay đổi cách thức họ nhìn nhận không gian và thời gian, và điều đó ảnh hưởng đến cách hiểu toán học của các định luật chuyển động của Newton và hệ phương trình Maxwell.



Thí dụ, việc đo chiều dài của một vật đòi hỏi xác định các điểm cuối của nó một cách đồng thời. Điều đó nghĩa là phép đo chiều dài đòi hỏi nhà quan sát phải đồng bộ hóa các đồng hồ ở những nơi khác nhau. Các đồng bộ có thể đồng bộ hóa bằng cách truyền một tin nhắn “bây giờ mấy giờ” từ một bộ truyền trung tâm. Khi tin nhắn đó, truyền đi ở tốc độ ánh sáng, đi đến một đồng hồ thì đồng hồ tự động đặt lại giờ theo khoảng cách của nó đến bộ truyền.

Nhưng có một sự rắc rối: Các nhà quan sát chuyển động trong những hệ quy chiếu so với nhau không thống nhất được với nhau về sự đồng bộ hóa. Lấy chớp sáng trên tàu hỏa làm một thí dụ. Giả sử người quan sát trên mặt đất và cầu thủ ném bóng chày có những cái thước đo mét và đồng hồ cực kì chính xác, giống hệt nhau. Trước khi thí nghiệm bắt đầu, người quan sát và cầu thủ ném bóng chày đồng bộ hóa đồng hồ của họ bằng cách bắt một chớp sáng tại chính giữa đoàn tàu. Do chuyển động của đoàn tàu, nên người quan sát để ý thấy chớp sáng đi tới đồng hồ ở phía sau xe trước khi nó đi tới đồng hồ ở phía trước. Vì trong hệ quy chiếu của người quan sát, ánh sáng truyền đi chưa được phân nửa chiều dài của đoàn tàu trước khi phần sau đoàn tàu bắt gặp chớp sáng và đã truyền đi hơn phân nửa đoàn tàu trước khi chớp sáng gặp phần trước đoàn tàu.

Đối với cầu thủ ném bóng chày, ánh sáng truyền đi khoảng cách bằng nhau đến hai đầu của đoàn tàu và vì thế đi tới đó cùng một lúc. Trong hệ quy chiếu của anh ta, hai đồng hồ đồng bộ hóa chính xác với nhau, nhưng trong hệ quy chiếu của người quan sát, thì chiếc đồng hồ ở phía sau chạy quá chậm, còn chiếc đồng hồ phía trước thì chạy quá nhanh. Xét tình huống tương tự từ hệ quy chiếu của cầu thủ ném bóng chày, anh ta thấy người quan sát đang chuyển động theo hướng ngược lại, và các đồng hồ của người quan sát không đồng bộ đối với anh ta theo kiểu giống hệt như đồng hồ của anh ta không đồng bộ đối với người quan sát.

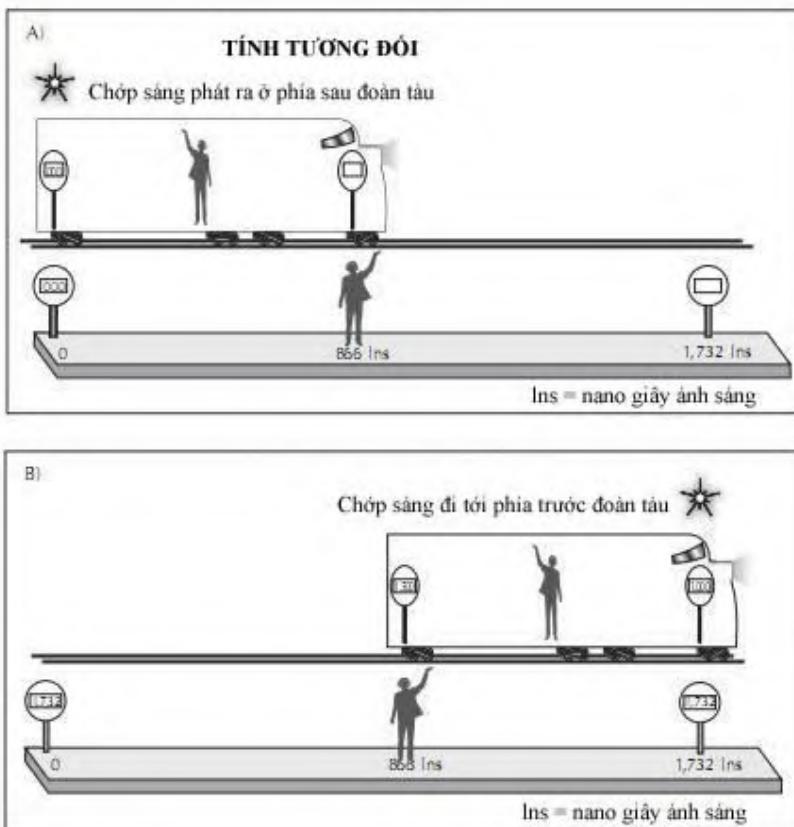
Vì nguyên lý tương đối phát biểu rằng không có hệ quy chiếu nào tốt hơn hệ kia, cho nên cả hai người đều đúng trong những quan sát của họ. Nói cách khác, các kết luận của cầu thủ ném bóng chày và của người quan sát về sự đồng thời là khác nhau, tùy thuộc vào chuyển động tương đối của họ. Từ giả sử đơn giản rằng không có hệ quy chiếu nào là tuyệt đối dẫn đến kết quả bất ngờ là sự đồng thời là có tính tương đối!

Phân tích tương tự dẫn đến những kết luận bất ngờ về chiều dài của thước mét và tốc độ đồng hồ gõ nhịp. Các vật đang chuyển động trong một hệ quy chiếu bị co ngắn lại theo chiều chuyển động so với những vật giống như vậy đang đứng yên. Các đồng hồ đang chuyển động trong một hệ quy chiếu chạy nhanh hơn những đồng hồ giống như vậy đang đứng yên. Người quan sát và cầu thủ ném bóng chày nhìn nhau, và mỗi người để ý thấy người kia có thước đo mét co ngắn lại và đồng hồ chạy chậm hơn so với khi chúng đứng yên. Nhưng khi hai người quan sát cùng một thí nghiệm với những cái thước đo mét chiều dài khác nhau đó và những cái đồng hồ đồng bộ khác nhau đó đang chạy ở những tốc độ khác nhau, họ đồng ý với nhau về các định luật của tự nhiên. Nếu không thì một hệ quy chiếu sẽ là ưu tiên hơn so với hệ kia.

Một “thí nghiệm tưởng tượng”, một trong những kỹ thuật ưa thích của Einstein, có thể làm sáng tỏ điều này. Giả sử cầu thủ ném bóng chày đứng ở phía sau một toa tàu và chiếu ánh sáng về phía trước tới một detector đặt ở phía trước tàu hỏa, cái anh ta phải đo chiều dài theo micro giây ánh sáng (lms), hoặc 1000 nano giây ánh sáng (lns). (Micro giây ánh sáng là khoảng cách ánh sáng truyền đi trong một micro giây, khoảng 984 feet, hay 300 mét, tính theo đơn vị hàng ngày. Một nano giây ánh sáng bằng 1/1000 khoảng cách đó) Tàu hỏa đang chuyển động ở tốc độ bằng nửa tốc độ ánh sáng đối với mặt đất. Cả cầu thủ ném bóng chày lẫn người quan sát đều ghi thời điểm và vị trí ánh sáng lóe lên (sự kiện A) và thời điểm cùng vị trí khi ánh sáng đi tới detector (sự kiện B). Sau đó, họ so sánh các lưu ý có được.



Cầu thủ ném bóng chày nói ánh sáng mất một micro giây để chạm tới phía trước đoàn tàu. Như giàn đồ ở trang sau thể hiện rõ, người quan sát thấy mọi thứ rất khác. Người quan sát đo chiều dài đoàn tàu đang chuyển động thấy ngắn hơn, xấp xỉ 86,6% chiều dài mà cầu thủ ném bóng chày đo được, hay 866 lns. Cầu thủ ném bóng chày, tất nhiên, để ý thấy chẳng có gì bất thường xung quanh anh ta. Theo người quan sát, đó là vì cái thước đo mét của cầu thủ ném bóng chày cũng bị co ngắn lại.



Hai giả thuyết đơn giản của Einstein cho thuyết tương đối đặc biệt (tốc độ ánh sáng là như nhau đối với mọi nhà quan sát và không có hệ quy chiếu nào ưu tiên hơn so với hệ kia khi chúng chuyển động ở tốc độ không đổi tương đối so với nhau) đưa đến một số hiện tượng tốc độ cao có vẻ như kì cục khi phán xét bằng kinh nghiệm con người hàng ngày. Ở đây, khi nhìn bởi người quan sát trong trạm xe lửa đứng yên so với quyển sách này, một đoàn tàu đi qua trạm từ trái sang phải ở nửa tốc độ ánh sáng. Nó mang một bức tượng của Albert Einstein được vẽ y hệt như bức tượng đúng ở dưới trạm. Phần A thể hiện một chớp sáng khi phần sau của đoàn tàu đi qua rìa bên trái của sân ga, kích hoạt đồng hồ trên sân ga và trên tàu tại điểm đó bắt đầu chỉ số không. Phần B thể hiện ánh sáng đi tới đầu bên phải của sân ga cùng lúc khi phần trước của đoàn tàu đi tới điểm đó. Sự kiện đó kích hoạt một cặp đồng hồ khác bắt đầu chạy với những thiết đặt thời gian khác. Vì người quan sát trên đoàn tàu và trên sân ga phải đo được tốc độ ánh sáng bằng nhau bắt kê chuyển động tương đối của họ, nên họ không thể đồng ý với nhau về sự đồng bộ của các đồng hồ của họ, tốc độ người chiếc đồng hồ đó gõ nhịp, hoặc chiều dài của các vật đo theo hướng của chuyển động tương đối. Mỗi người quan sát đều thấy đồng hồ của người kia chạy chậm hơn và các chiều dài bị co ngắn lại (đó là lí do vì bức tượng trên đoàn tàu được vẽ giàn hơn). Vì không có hệ quy chiếu nào là ưu tiên hơn, nên cả hai người đều đúng trong quan sát đó! Điều này được giải thích trong phần trình bày chữ của chương này.

Chùm ánh sáng truyền đi ở tốc độ ánh sáng, nhưng trong hệ quy chiếu của người quan sát, phần trước của đoàn tàu đang di chuyển về phía trước ở nửa tốc độ đó. Ánh sáng từ sự kiện A bắt kịp phía trước của đoàn tàu (sự kiện B) sau 1732 nano giây, trong thời gian đó ánh sáng đã truyền đi hai lần chiều dài đoàn tàu, hay 1732 lns. Do sự khác biệt về tốc độ đồng hồ, người quan sát phán đoán rằng đồng hồ của cầu thủ ném bóng chày gõ nhịp 1,5 micro giây trong thời gian đó, nhưng cầu thủ ném bóng chỉ đo được một micro



giây vì hai đồng hồ đồng bộ hóa lệch nhau 0,5 micro giây (micro giây của cầu thủ ném bóng, không phải của người quan sát).

Không có sự bất đồng nào của người quan sát với cầu thủ ném bóng chày vi phạm các định luật của tự nhiên. Chúng chỉ xung đột với những quan niệm của con người về không gian và thời gian đã phát triển từ kinh nghiệm ở những tốc độ tương đối nhỏ hơn nhiều so với tốc độ ánh sáng. Nếu người quan sát và cầu thủ ném bóng chày sống trong một thế giới trong đó các tốc độ tương đối thường là một phần đáng kể của tốc độ ánh sáng, thì kinh nghiệm hàng ngày của họ sẽ có những cái thước đo mét có chiều dài phụ thuộc vào cách thức họ chuyển động, các đồng hồ chạy ở những tốc độ khác nhau khi chuyển động ở những tốc độ khác nhau, và không có sự đồng thời tuyệt đối.

Người quan sát và cầu thủ ném bóng chày đồng ý rằng sự kiện A xảy ra khi và tại nơi chớp sáng lóe lên ở phía sau đoàn tàu – mặc dù hai bộ thiết bị của họ cho những giá trị đo khác nhau cho vị trí và thời gian. Tương tự, họ đồng ý rằng sự kiện B xảy ra khi và tại nơi ánh sáng chạm tới detector ở phía trước đoàn tàu, mặc dù một lần nữa với những con số xác định vị trí và thời gian không giống nhau. Bất kể sự khác biệt giữa những con số đo được, họ đồng ý với nhau về điều này: Chùm ánh sáng truyền đi ở tốc độ được tiên đoán bởi hệ phương trình Maxwell. Đó là một quy luật của tự nhiên, và nó phải như nhau trong cả hai hệ quy chiếu.

Tính tương đối cũng mang lại sự bất ngờ khi người quan sát và cầu thủ ném bóng chày giải thích một thí nghiệm điện đơn giản. Giả sử mỗi người đang thực hiện cùng một thí nghiệm trên những sự bố trí phòng thí nghiệm y hệt nhau, họ đo lực điện giữa hai quả cầu tích điện. Vì một điện tích đang chuyển động là một dòng điện, và vì dòng điện tạo ra từ trường, nên mỗi người nhìn vào thí nghiệm của người kia và quan sát không chỉ lực điện, mà còn có lực từ nữa. Khi áp dụng nguyên lí tương đối cho hệ phương trình Maxwell, thì điện trường và từ trường không còn là những thực thể tách biệt mà thay vào đó là một trường điện từ có thể biểu hiện tính chất điện hay tính chất từ nhiều hơn tùy thuộc vào chuyển động tương đối giữa thiết bị quan sát và người đang thực hiện phép đo.

Bất ngờ lí thú nhất của thuyết tương đối không phải nằm ở bài báo thứ nhất của Einstein về đề tài đó, mà nằm ở một bản thảo mang tựa đề “Quán tính của một vật có phi thuộc vào năng lượng của nó không?” công bố muộn hơn trong năm 1905. Bản thảo ấy đã mở rộng phân tích của bài báo thứ nhất về ý nghĩa của khối lượng, đại lượng là số đo mức quán tính của một vật. Năng lượng điện tử phải truyền đi ở tốc độ ánh sáng, nhưng mọi thứ có khối lượng không bao giờ đạt được tốc độ đó, cho dù lực tác dụng lên nó mạnh bao nhiêu đi nữa và cho lực tác dụng đó tồn tại bao lâu. Tốc độ của vật càng cao trong hệ quy chiếu của một người quan sát, thì lực tác dụng lên nó phải càng lớn hơn để làm tăng tốc độ đó lên thêm một lượng cho trước. Công thực hiện lên nó làm cho quán tính – hay khối lượng – của nó tăng lên.

Khi Einstein nhìn vào phiên bản mới của ông về các định luật của chuyển động và so sánh chúng với các định luật Newton, ông nhận ra rằng sự bảo toàn động lượng vẫn đúng khi tính đến sự tăng khối lượng. Nhưng sự bảo toàn khối lượng thì phải sửa đổi, điều tương tự với sự bảo toàn năng lượng. Điểm mấu chốt của bản thảo trên được biểu diễn bởi phương trình nổi tiếng  $E = mc^2$ , phát biểu rằng khối lượng và năng lượng là hai mặt của cùng một hiện tượng. Khối lượng và năng lượng có thể chuyển hóa lẫn nhau, và vì thế không cần thiết phải bảo toàn độc lập. Tuy nhiên, chúng vẫn được bảo toàn khi xét chung với nhau. Như vậy, thuyết tương đối đã kết hợp hai định luật bảo toàn đó thành một.

Đến đây, độc giả có thể hỏi về từ *đặc biệt* trong tiêu đề của phần này. Lí thuyết tương đối trình bày ở đây là cho trường hợp đặc biệt của hai hệ quy chiếu đang chuyển động ở một tốc độ tương đối không đổi. Một lí thuyết tương đối tổng quát phải tính đến sự



gia tốc hay các vận tốc tương đối biến thiên. Việc đó tỏ ra khá khó khăn, nhưng Einstein cuối cùng đã thực hiện thành công, như sẽ trình bày trong chương 2.

## Nguyên tử có thể phân chia được

Einstein không phải là nhà vật lí duy nhất thực hiện những khám phá quan trọng trong thập niên đầu tiên của thế kỉ 20. Dựa trên khám phá ra electron năm 1897, J.J Thomson và những người khác đang bận rộn khảo sát thế giới hạ nguyên tử. Thomson tiếp tục sử dụng thuật ngữ *tiểu thể* để mô tả electron trong nhiều năm. Nhưng cho dù ông gọi nó là gì, ông biết rằng việc khám phá ra nó đã mở ra nhiều lô trình nghiên cứu mới trong vật lí học đối với thế kỉ mới. Một số nhà nghiên cứu đã nghiên cứu bản thân electron, trong khi những người khác quan tâm đến vai trò của electron trong vật chất. Chẳng hạn, nếu các electron, tích điện âm, là bộ phận của nguyên tử trung hòa điện, thì nguyên tử cũng phải chứa các điện tích dương. Vì các electron quá nhẹ, cho nên vật chất tích điện dương còn lại phải mang phần lớn khối lượng của nguyên tử.

Vấn đề sớm trở nên rõ ràng là số *nguyên tử* của một nguyên tố, đại lượng đặc trưng cho vị trí của nó trong bảng tuần hoàn, tương ứng với số electron trong nguyên tử của nó – hay tương đương, tương ứng với điện tích dương trong phần mang điện dương của nguyên tử (mặc dù cho đến lúc ấy họ không biết bộ phận tích điện dương đó trông như thế nào). *Khối lượng nguyên tử* của các nguyên tố khác nhau cũng liên hệ với số nguyên tử, nhưng không theo một sự tỉ lệ đơn giản. Hydrogen là nguyên tử nhẹ nhất và có số nguyên tử bằng một, nhưng một nguyên tử helium, với số nguyên tử bằng hai, có khối lượng gấp bốn lần hydrogen. Các nguyên tử nặng, ví dụ như chì với số nguyên tử 82 và khối lượng nguyên tử khoảng 207 lần hydrogen, còn vượt ra khỏi sự tỉ lệ đó. Không ai biết tại sao lại như thế.

Các nhà khoa học còn nhận ra rằng các electron là nguyên do cho hành trạng hóa học của nguyên tử. *Hóa trị* của một nguyên tử là một tính chất mô tả cách nó phản ứng với các nguyên tử khác. Hóa trị liên hệ với số electron mà nó đóng góp cho phản ứng hóa học và chi phối những kết hợp nhất định của các nguyên tử để hình thành nên phân tử. Các nguyên tố trong cùng một cột của bảng tuần hoàn có hóa trị bằng nhau. Mặc dù cho đến khi ấy họ không hiểu được tại sao, nhưng các nhà vật lí và hóa học công nhận rằng đa số các nguyên tố không chỉ có electron hóa trị mà còn có những electron khác không tham gia vào các phản ứng hóa học. Người ta cũng sớm biết rõ là dòng điện chạy trong dây kim loại là dòng các electron. Tại sao một số chất, thí dụ như kim loại, dẫn điện trong khi những chất khác không dẫn điện thì chưa được hiểu rõ, nhưng rõ ràng là một số electron không liên kết chặt chẽ với nguyên tử hay phân tử của chúng so với những electron khác.

Trong số những nhà vật lí vào buổi chuyển giao của thế kỉ 20, Ernest Rutherford nhanh chóng nổi lên là một nhân vật hàng đầu trong việc tìm hiểu sự phóng xạ lẩn cấu trúc bên trong của các nguyên tử. Năm 1898, ông trở thành giáo sư tại trường Đại học McGill ở Montreal, Canada, nơi ông tiếp tục nghiên cứu ông đã bắt đầu với Thomson ở Anh. Ông sớm tìm ra một dạng phóng xạ thứ ba, còn đậm xuyên hơn cả tia beta, mà ông gọi một cách tự nhiên là *tia gamma*, với những tính chất tương tự như các tính chất của tia X.

Cuối năm 1900, ông hợp tác với nhà hóa học McGill, Frederick Soddy (1877 – 1956), và họ đã bắt đầu thế kỉ mới thử tìm hiểu một số cơ sở hóa học rất kí lạ đi cùng với sự phóng xạ. Chẳng hạn, Rutherford và Soddy đã chiết tách hóa học các nguyên tử phóng xạ thuộc một nguyên tố khác ra khỏi một mẫu chủ yếu là thorium. Chất liệu còn lại ban đầu kém phóng xạ hơn nhiều, nhưng sau đó cùng loại nguyên tử phóng xạ mà họ đã loại ra xuất hiện trở lại, cứ như thế chẳng có chuyện gì xảy ra. Những thí nghiệm khác với những chất phóng xạ khác mang lại những kết quả gây thách đố tương tự.



Khi họ phân tích các mẫu phóng xạ của mình, họ thường tìm thấy những nguyên tố hóa học như nhau trong những chất khác nhau, nhưng với khối lượng nguyên tử khác nhau. Phải mất vài năm nghiên cứu thận trọng, người ta mới hiểu được chuyện gì đang xảy ra. Sự phóng xạ đã mang lại cho các nhà khoa học những gợi ý về cấu trúc bên trong của các nguyên tử. Rutherford và Soddy nhận ra rằng sự phóng xạ xảy ra khi phần tích điện dương của nguyên tử - cho dù nó là cái gì - phát ra thứ gì đó. Các kết quả của họ xác nhận rằng khi một nguyên tử “bố mẹ” phát ra một hạt alpha, thì số nguyên tử của nó giảm đi hai; nghĩa là, nó biến đổi, hay biến tố, thành một nguyên tố “con” nằm dưới nó hai số nguyên tử trong bảng tuần hoàn. Ngoài ra, khối lượng nguyên tử của nó giảm đi bốn, đưa họ đến chỗ nghi ngờ rằng một hạt alpha là một nguyên tử helium không có electron của nó.

Nghiên cứu ban đầu của Rutherford cho thấy tia beta là các electron. Khi phân tích điện dương của một nguyên tử phóng xạ phát ra một hạt beta, thì nguyên tử con thu được có nhiều điện tích dương hơn nguyên tử bố mẹ. Cho nên *sự biến tố* do phát xạ beta mang lại một nguyên tố cao hơn một số nguyên tử trên bảng tuần hoàn. Khối lượng electron quá nhỏ nên nguyên tử con và nguyên tử bố mẹ có cùng khối lượng nguyên tử mặc dù chúng khác biệt về mặt hóa học. Đôi với bức xạ alpha lẫn beta, nguyên tử con thường có hoạt tính phóng xạ hơn bố mẹ. Điều đó giải thích sự tăng tính phóng xạ mà Rutherford và Soddy quan sát thấy trong nghiên cứu của họ với thorium và những nguyên tố phóng xạ khác.

Các kết quả của Rutherford và Soddy cũng giải thích những khối lượng khác nhau đã được để ý thấy với những nguyên tố giống hệt nhau về mặt hóa tính. Hai nguyên tử có hành trạng hóa học như nhau, và do đó là cùng một nguyên tố, nếu chúng có cùng điện tích. Nhưng chúng vẫn có thể có khối lượng khác nhau. (Sau này, Soddy gọi những nguyên tử này là *đồng vị*). Năm 1913, ông nhận ra rằng những đồng vị khác nhau còn tồn tại đối với các nguyên tử phi phóng xạ, điều đó giải thích các phần lẻ ở một số khối lượng nguyên tử đo được, ví dụ như chlorine 35,5. Ngày nay, chúng ta biết chlorine xuất hiện trong tự nhiên, số nguyên tử 17, có hai đồng vị: một đồng vị phổ biến hơn với 35 đơn vị khối lượng và một đồng vị kém phổ biến hơn với 37 đơn vị khối lượng).

Năm 1908, Rutherford được trao giải Nobel hóa học cho công trình của ông về sự biến tố. (Soddy nhận giải muộn hơn, năm 1921, cho giải thích của ông về các đồng vị) Trong khi đó, các nhà vật lí đang thảo luận sôi nổi về cấu trúc bên trong của các nguyên tử. Phần vật chất tích điện dương trông ra sao và các electron hòa trộn với nó như thế nào để tạo thành các nguyên tử?

Một ý tưởng phổ biến là mô hình “bánh bông lan rắc nho” của J.J Thomson, hình dung các nguyên tử giống như món bánh ngọt yêu thích của người Anh. (Nếu Thomson là người Mĩ, ông có thể gọi nó là mẩu bánh mì nhân nho khô) Mô hình ấy hình dung nguyên tử như một cái bánh bông lan với điện tích dương của nó rải đều khắp, trong khi các electron nhỏ xíu, tích điện âm gắn vào bên trong nó giống như nhân mứt hoặc nho khô.

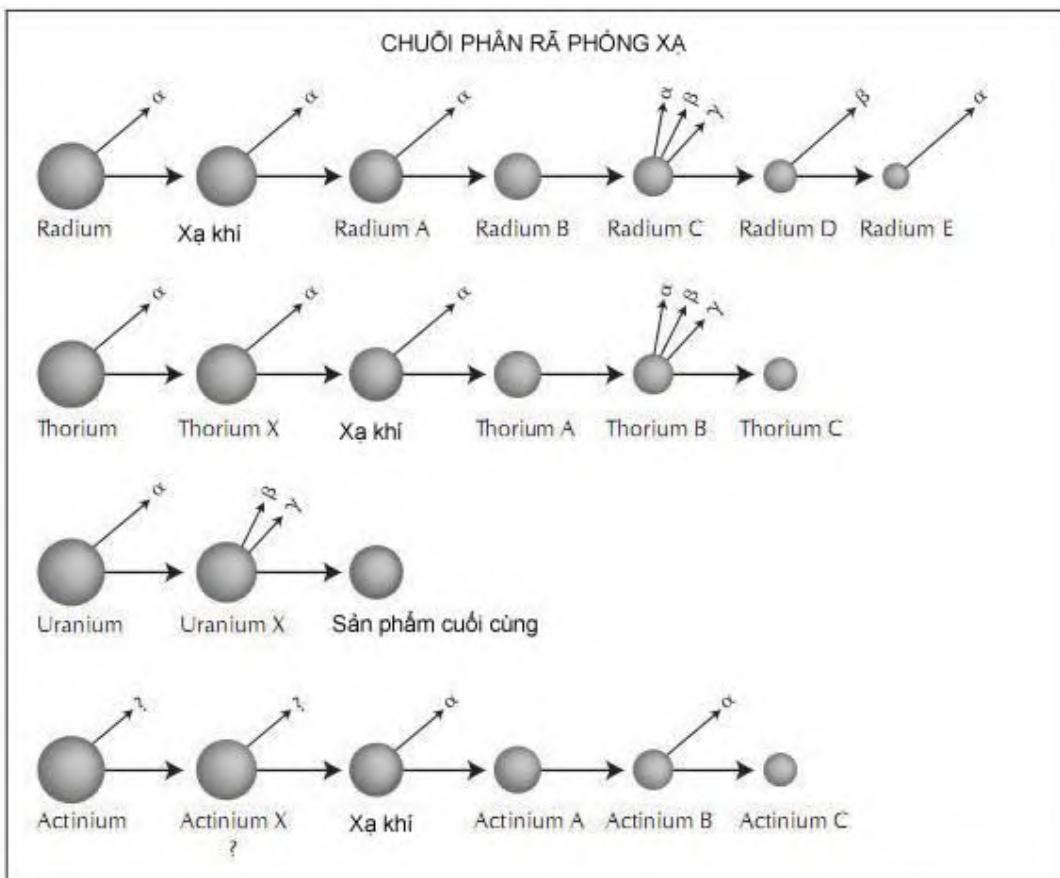
Các nhà vật lí khác thì có những ý tưởng khác, hình dung nguyên tử như những quả cầu nhỏ, cứng chắc, chẳng hiểu bằng cách nào lại chứa các electron tích điện âm, trọng lượng nhẹ, và một số lượng bằng như vậy các hạt hạ nguyên tử tích điện dương, nặng hơn. Cho dù nghĩ mô hình nào là tốt hơn, nhưng không có nhà vật lí nào hài lòng với mô hình yêu thích của họ. Vì thế, họ hăm hở chờ đón một ai đó tìm ra một phương thức nhìn vào bên trong nguyên tử. Rutherford, năm 1907 đã trở lại Anh làm giáo sư tại trường Đại học Manchester, có một ý tưởng tiến hành công việc như thế.

Kế hoạch của ông là sử dụng các hạt alpha làm đạn, ông sẽ bắn chúng vào những lá kim loại mỏng. Bằng cách đo đường đi của chúng thay đổi như thế nào khi chúng đi qua, ông có thể suy ra loại cấu trúc gì mà chúng đã gặp phải. Mẫu bánh bông lan mềm sẽ ít có tác động lên các viên đạn, và hướng của chúng sẽ ít thay đổi. Nhưng nếu hạt alpha gấp



phải những quả cầu cứng, nhỏ, ông trông đợi các hạt alpha bị lệch ra – hay tán xạ - khỏi hướng ban đầu của chúng.

Ưu tiên hàng đầu của công việc ở Manchester là xác nhận những mối ngờ của ông về bản chất của bức xạ alpha. Người phụ tá của ông, Hans Geiger (1882 – 1945) đã phát triển một thiết bị dò tìm sự đi qua của các hạt tích điện năng lượng cao và đếm chúng. Dụng cụ đó, tiền thân của máy đếm Geiger hiện đại, dùng để đo cường độ phóng xạ, tỏ ra quan trọng đối với việc chứng tỏ rằng hạt alpha thật ra là các nguyên tử helium không có electron.



Ernest Rutherford và Frederick Soddy đã tạo ra sơ đồ của những chuỗi phân rã phóng xạ khác nhau này. Ngày nay, các nguyên tử “con” được biết là những nguyên tố khác trong bảng tuần hoàn hóa học. Thí dụ, “xə khí” phóng xạ là chất khí radon.

Sau đó, năm 1909, Rutherford và Geiger bắt đầu các thí nghiệm *tán xạ* của họ. Họ nhanh chóng nhận ra rằng hầu như mọi hạt alpha đều đi qua các lá kim loại với góc lệch nhỏ hoặc không đổi hướng chuyển động. Kiểu chuyển động đó phù hợp với mô hình bánh bông lan rắc nho của Thomson, nhưng họ đã thận trọng không đi tới kết luận đó vội. Các máy dò của Geiger rất chính xác, nên họ có thể so sánh tổng số hạt alpha chạm trúng bia của họ ở phía này số lượng họ phát hiện ở phía bên kia. Một phần rất nhỏ các hạt alpha bị lệch hướng sau khi chạm trúng lá kim loại, và họ cần phải hiểu cái gì đã xảy ra với chúng.

Rutherford xét một vài khả năng có thể xảy ra. Có lẽ thỉnh thoảng một hạt alpha chạm trúng máy dò và không được ghi lại. Điều đó dường như hợp lý, nhưng các máy dò hoàn toàn đáng tin cậy trong những phép thử khác. Một khả năng nữa là một vài hạt alpha đang tán xạ nhiều hơn so với Rutherford và Geiger lường trước. Các hạt đó có lẽ đã lệch xa



khỏi phía không có máy dò. Vì sự tán xạ góc lớn như vậy dường như rất không có khả năng, cho nên Rutherford và Geiger tập trung nỗ lực của họ vào các kĩ thuật dò tìm.

Đồng thời, ông quyết định tìm kiếm sự tán xạ góc lớn, mặc dù không thành công, sẽ là thực tiễn tốt cho Ernest Marsden (1889–1970), một sinh viên trẻ vừa mới tham gia vào các kĩ thuật nghiên cứu của phòng thí nghiệm trên. Trước sự ngạc nhiên của mọi người, Marsden không những phát hiện ra hạt alpha tán xạ xa khỏi các phía, mà thậm chí anh ta còn phát hiện một số hạt tán xạ ngược về phía nguồn. Rutherford sau này đã mô tả kết quả đó là “hầu như không thể tin được, cứ như thế bạn ném một cái vỏ ốc về phía một tờ giấy mỏng và rồi nó dội ngược trở lại và va trúng bạn”.

Sau khám phá của Marsden, thập kỉ đầu tiên của thế kỉ mới đã kết thúc với Rutherford và đội nghiên cứu của ông trong cuộc săn đuổi náo nhiệt trước một bí ẩn lớn. Đã có cái gì đó không như trông đợi bên trong những hạt nhỏ xíu gọi là nguyên tử đó, nhưng họ không rõ cho lắm những kết quả của họ đang nói lên cho họ biết điều gì.

## Những kĩ thuật, công nghệ và quan sát mới

Những viễn cảnh mới của thập niên đầu tiên của thế kỉ 20 mở ra thật rộng lớn vì các nhà vật lí đang thiêng về mở rộng các giới hạn của những quan sát của họ. Điều đó cũng đúng đối với những người ứng dụng các khám phá khoa học vào công nghệ. Nền khoa học nổi bật đã lưu ý trong chương này xuất hiện song song với những thành tựu công nghệ cũng ngoạn mục không kém. Sự truyền thông vô tuyến xuyên đại dương đầu tiên xuất hiện năm 1901, và năm 1903, trên bờ sông Bắc Carolina, hai anh em nhà chế tạo xe đạp mang tên Wright đã trình diễn chuyến bay có người lái.

Planck không phải là nhà khoa học duy nhất nghiên cứu quang phổ trong thế kỉ mới. Khi ánh sáng của các chất khí phát sáng trải ra thành quang phổ, thì mỗi chất tạo ra một bộ vạch sáng đặc trưng riêng của nó ở những bước sóng nhất định (*phổ vạch* là ngược lại với *phổ liên tục* như bức xạ vật đen). Một số nhà khoa học đang phát hiện các khuôn mẫu trong số những bước sóng đó, nhưng họ không có trong tay lý thuyết nào giải thích tại sao các mẫu vân đó tồn tại. Họ trông đợi những lý thuyết đó ra đời từ sự hiểu biết tốt hơn về thế giới hạ nguyên tử và họ có lí do chính đáng để trông đợi sự hiểu biết như thế xuất hiện trong thập niên tiếp theo.

Ở Hà Lan, phòng thí nghiệm của Heike Kamerlingh Onnes (1853–1926) đang dẫn đầu thế giới về nghiên cứu những hiện tượng ở nhiệt độ rất thấp. Các nhà khoa học ở đó đã hóa lỏng tất cả các chất khí có mặt trong không khí. Helium có nhiệt độ sôi thấp nhất trong hết thảy, xấp xỉ - 452°F (-269°C) hay chỉ 7.7°F (4.3°C) trên không độ tuyệt đối, một nhiệt độ giới hạn mà nhiệt động lực học nói rằng có tiến tới nhưng chưa bao giờ đạt được. Trong thập niên tiếp theo, thành tựu khoa học và công nghệ này sẽ dẫn đến một khám phá bất ngờ: hiện tượng siêu dẫn.

Trong khi đó, vào năm 1910, một linh mục dòng Tên tên là Theodor Wulf (1868–1946) đã nghiên cứu bức xạ trong không khí từ đỉnh tháp Eiffel và tìm thấy có nhiều bức xạ hơn mong đợi. Ông cho rằng sự thừa mức bức xạ không phát sinh từ Trái đất mà từ đâu đó trong vũ trụ. Ông đề xuất nghiên cứu những *tia vũ trụ* này bằng cách thả những quả khí cầu lên những cao độ trước nay chưa đạt tới nhưng gác công việc ấy lại cho những người khác trong thập niên tiếp theo thực hiện.

Thập niên đầu tiên của thế kỉ mới đã đến và kết thúc với những viễn cảnh mới bất ngờ. Nó bắt đầu với sự mong muốn trói buộc những mối nối lỏng lẻo. Nhưng giờ thì các nhà vật lí biết rằng họ sẽ phải tháo gỡ một số quan niệm cũ để dệt nên một tấm thảm kiến thức mới của vũ trụ.

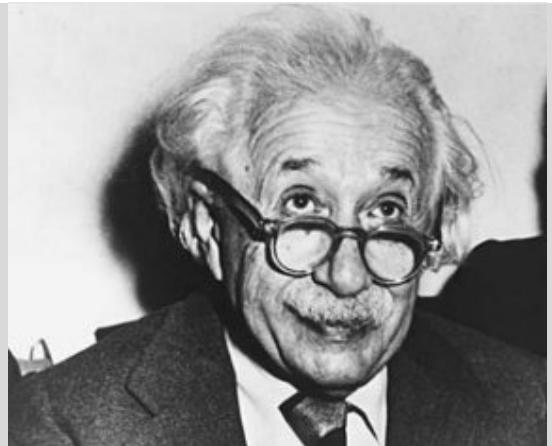


## Nhà khoa học của thập niên 1900: Albert Einstein (1879–1955)

“Người đó là một Einstein!” Câu nói đó, dùng để mô tả một thiên tài sáng tạo, là một chứng cứ cho sự ảnh hưởng lâu dài của Albert Einstein, nhà vật lí, người đã làm thay đổi nền khoa học của ông qua khả năng của ông tìm ra một viễn cảnh mới từ đó xem xét các quan sát cũ. Nhưng suốt thế kỷ 20 và cả trong thời nay, những hình ảnh phổ biến cũng miêu tả Einstein là kẻ lập dị. Ông là vị giáo sư vận áo vét, đi xe đạp, nói giọng Đức, luôn ám ảnh bởi các phương trình và không thèm phui bụi phấn trên quần áo của mình, mái tóc hoa râm để tự nhiên của ông cứ thổi lên trong gió.

Nhưng câu chuyện cuộc đời của Einstein thì phức tạp hơn, vì ông không chỉ sống qua những biến đổi dữ dội trong nền văn hóa và chính trị thế giới, mà ông còn có tầm ảnh hưởng lâu dài lên chúng nữa. Chào đời ở Ulm, Đức, vào ngày 14/03/1879, cách nhìn nhận thế giới khác thường của Einstein luôn gây rắc rối cho ông trong trường học. Vì tư tưởng của ông thường để ở đâu đâu, nên một số thầy giáo nghĩ là ông chậm tiến. Trong thời niên thiếu của mình, ông đã học một trường *Gymnasium* (gim-NAH-zium, tiếng Đức nghĩa là trường trung học) ở Munich, nhưng ông đã nổi loạn chống lại phương pháp độc đoán của nhà trường. Thái độ bất kính của ông khiến một số thầy giáo phát biểu rằng ông sẽ chẳng làm nên corm cháo gì sau này.

Khi công việc làm ăn thua lỗ khiến cha của ông phải dời cả gia đình đến Milan, Italy, chàng trai trẻ Albert vẫn ở lại để hoàn tất chương trình học tại trường *Gymnasium*, nhưng rồi ông cũng sớm ra đi để đoàn tụ với gia đình. Ông có thể tốt nghiệp bằng cách tiếp tục học ở Italy, nhưng năm 1896, vì bức bối với nền văn hóa Đức, ông đã kí giấy từ bỏ tư cách công dân Đức của mình và cùng với nó là bất cứ thứ quyền gì để học lấy bằng cấp.



Diện mạo khác thường của Albert Einstein và gương mặt gây ấn tượng khiến ông trở thành nhân vật yêu thích của thợ nhiếp ảnh trong suốt cuộc đời ông.  
(Ảnh: AIP Emilio Segrè Visual Archives)

Tuy vậy, ông đã tham gia các kì thi kiểm tra đầu vào của Viện Bách khoa Zurich ở Thụy Sĩ, nhưng ông không đỗ. Ông được nhận vào một trường trung học Thụy Sĩ ở Aarau và thả sức tung tăng trong môi trường thoải mái hơn của nó. Với sự chuẩn bị tốt hơn, ông đã thi lại và đỗ vào Viện Bách khoa Zurich ở lần thi thứ hai. Ông nhận thấy khóa học tại viện thật hấp dẫn, nhưng các giờ giảng thì không hay chút nào. Vì thế, ông bỏ qua đa số các buổi lên lớp của mình và tự tìm đọc những quyển sách quan trọng. Ông vượt qua các kì thi cần thiết để cấp bằng vào mùa thu năm 1900.

Sau khi tốt nghiệp, ông muốn được thuê làm trợ lí cho một trong các giáo sư vật lí của ông, nhưng công việc đó không bao giờ đến với ông. Điều đó không có gì bất ngờ. Một giáo sư vật lí đã có lần nói với ông, “Cậu là một chàng trai thông minh, Einstein, một chàng trai rất thông minh. Nhưng cậu có một khuyết điểm rất lớn: cậu không để cho bản thân mình nói lên bất cứ điều gì cả”.

Einstein đảm nhận hai công việc giảng dạy tạm thời trước khi tìm được chỗ làm lâu dài là một chuyên viên kỹ thuật, hạng ba, ở Văn phòng Cấp bằng sáng chế Thụy Sĩ, vào năm 1902. Công việc ấy cho phép ông có nhiều thời gian suy nghĩ về những câu hỏi lớn của vật lí học và nghiên cứu luận án tiến sĩ của



ông tại trường Đại học Zurich. Năm 1905, ông hoàn thành luận án tiến sĩ của mình và công bố ba bài báo nổi tiếng trên tạp san khoa học *Annalen der Physik* (Biên niên Vật lí học) làm thay đổi tận gốc rẽ nền vật lí học, như chương này đã mô tả.

Những bài báo đó, cộng với luận án tiến sĩ của ông được công bố năm 1906, đã mang đến cho Einstein tiếng tăm trong thế giới vật lí. Ông nhận một loạt danh hiệu giáo sư, bắt đầu tại trường Đại học Zurich năm 1909, sau đó tại trường Đại học Karl-Ferdinand ở thủ đô Prague của Czech, rồi trở lại ở Viện Bách khoa Zurich. Năm 1913, Max Planck và Walter Nernst (1864–1941), một nhà vật lí Đức hàng đầu khác, đã mang đến cho Einstein cơ hội thiết lập và lãnh đạo một viện vật lí ở Berlin. Ông bắt đắc dĩ trở lại nước Đức, nhưng vị trí đó quá quan trọng nên không thể từ chối được. Ở Berlin, ông sớm tiến hành công trình nghiên cứu mang lại tiếng tăm cho ông trên toàn thế giới. Ông đã mở rộng lí thuyết tương đối của mình để bao gồm cả sự hấp dẫn, và nó đã đến kết luận rằng các tia sáng bị bẻ cong trong một trường hấp dẫn.

Theo lí thuyết đó, một chùm ánh sáng sao đi qua gần Mặt trời sẽ không đi thẳng mà bị lệch về phía Mặt trời một lượng đủ lớn để đo được ở trên Trái đất này. Nó là một tiên đoán lạ lùng nhưng khó kiểm tra vì ánh sáng sao mờ nhạt sẽ không trông thấy được trong ánh chói của Mặt trời – ngoại trừ những lúc nhật thực toàn phần hiếm khi xảy ra. Năm

1919, hai đội nhà vật lí ở hai bờ của Đại Tây Dương (ngoài khơi Tây Phi và ở Brazil) đã quan sát một số ngôi sao trong kí nhật thực và đo chính xác sự bẻ cong mà Einstein đã tiên đoán. Những tờ báo lớn đã đưa tin về khám phá đó và đưa tên tuổi Einstein đi khắp thế giới.

Einstein giành giải Nobel Vật lí năm 1921, không phải cho lí thuyết tương đối đã mang tên tuổi ông đi khắp thế giới, mà cho cách giải thích của ông về hiện tượng quang điện. Danh tiếng của ông trở nên rất quan trọng sau này trong cuộc đời ông. Ông sinh ra là một người Do Thái, mặc dù ông thích tự gọi mình là “người không có đức tin tôn giáo” và nói không hề có một Đức Chúa cá nhân nào nhưng “hết sức khâm phục cho cấu trúc của thế giới trước nay như khoa học có thể tin vào nó”. Vào những năm 1930, những người thuộc dòng dõi Do Thái phải đổi mặt trước sự khủng bố dưới chính quyền phát xít của Adolf Hitler ở Đức, nên Einstein biết rằng đã đến lúc ông phải rời bỏ quê hương của mình lần nữa. Tiếng tăm của ông đã mở rộng cửa cho ông lưu trú ngắn hạn ở Bỉ, Anh, và California trước khi ông đặt chân đến Viện Nghiên cứu Cao cấp tại trường Đại học Princeton ở New Jersey.

Trong Thế chiến thứ hai, Einstein là người đứng đầu trong số các nhà khoa học phục vụ tổng thống Mĩ Franklin D. Roosevelt phát triển bom nguyên tử trước khi phe Quốc xã có thể chế tạo. Nhưng thiên hướng chính trị của ông luôn nghiêng về xu hướng hòa bình. Sau chiến tranh, ông đã sử dụng vinh dự cá nhân của ông để trở thành một tiếng nói đầy sức mạnh chống lại sự phát triển vượt mức các vũ khí hạt nhân và ủng hộ cho hòa bình thế giới. Ông vẫn ở Princeton cho đến khi qua đời vào hôm 17/04/1955.





## 1911 – 1920 Những quan điểm mới về vật chất

Năm 1910 đánh dấu một trăm năm việc xuất bản cuốn *Một hệ triết lí hóa học mới* của John Dalton, cuốn sách mô tả bản chất nguyên tử của vật chất. Một trăm năm tiên bộ trong ngành hóa học đã chứng minh cho sức mạnh của quan niệm đơn giản rằng toàn bộ vật chất cấu thành từ các nguyên tử.

Tuy nhiên, vẫn chưa có ai chỉ ra được nguyên tử của một nguyên tố khác với nguyên tử của nguyên tố khác ở chỗ nào. Các tính chất hóa học khác nhau dường như liên quan đến số electron trong nguyên tử thuộc các nguyên tố khác nhau, nhưng các electron quá nhẹ để giải thích những khác biệt lớn về khối lượng nguyên tử. Đa phần khối lượng của một nguyên tử cấu thành từ cái gì đó khác vẫn chưa được hiểu rõ. Vì các nguyên tử trung hòa điện, nên phần vật chất chưa biết đó phải mang một điện tích dương bằng với điện tích âm của tất cả các electron của nguyên tử đó. Nhưng phần tích điện dương đó là cái gì, và tự nhiên đã xây dựng nên các nguyên tử từ nó và các electron như thế nào?

Thập niên thứ hai của nền vật lí thế kỉ 20 sẽ bị thống trị bởi câu hỏi đó, và nhiều khám phá quan trọng và bất ngờ nhất sẽ đến từ các phòng thí nghiệm thuộc trường Đại học Manchester của Ernest Rutherford.

### Khám phá ra hạt nhân nguyên tử

Ernest Rutherford không hề giành được giải Nobel Vật lí nào, có lẽ vì thành tựu lớn nhất của ông chỉ xuất hiện 3 năm sau khi ông giành giải Nobel Hóa học năm 1908. Năm 1911, sau khi bị thách đố bởi những kết quả bất ngờ của các thí nghiệm tán xạ hạt alpha của Geiger và Marsden, ông đã đưa ra lời giải thích của mình cho những phép đo của họ trước toàn thế giới.

Rutherford kết luận rằng các nguyên tử không thể mô tả được bằng mô hình bánh bông lan rắc nho của Thomson, hoặc bằng mô hình quả cầu cứng mà những nhà vật lí khác đưa ra, mà bằng một mô hình tương tự như một hệ hành tinh giữ lại với nhau bằng lực điện thay cho lực hấp dẫn. Kết quả của các thí nghiệm tán xạ hạt alpha của Geiger và Marsden – các hạt alpha của họ chỉ tán xạ nhẹ với ngoại trừ một lượng nhỏ đâm xuyên qua hoặc thậm chí bật trở lại – nói với ông rằng các nguyên tử chủ yếu là không gian trống rỗng với đa phần khối lượng của chúng tập trung tại một lõi trung tâm nhỏ xíu gọi là *hạt nhân*. Theo bức tranh mới của Rutherford về nguyên tử, các electron của nó quay xung quanh hạt nhân giống như Trái đất, và các hành tinh chị em của nó quay xung quanh Mặt trời. Điều đáng chú ý là các nguyên tử của Rutherford còn trống rỗng hơn cả hệ mặt trời. Hãy so sánh: Mặt trời chiếm khoảng 99,8% khối lượng của hệ mặt trời, và đường kính của nó lớn cỡ 1/700 quỹ đạo của Hải vương tinh (hành tinh xa xôi nhất). Hạt nhân chứa hơn

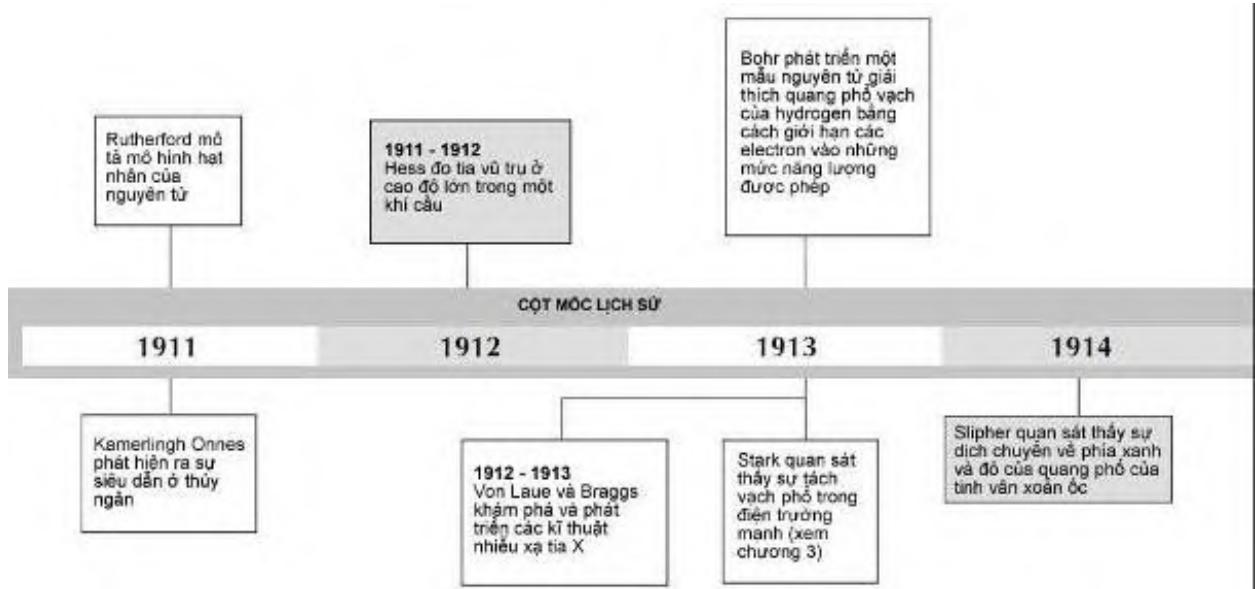


99,9% khối lượng của nguyên tử, nhưng kích cỡ thật sự nhỏ bé. Ngay cả hạt nhân lớn nhất cũng chưa bằng  $1/10.000$  đường kính của các nguyên tử của chúng.

Cấu trúc đó giải thích tại sao đa số hạt alpha tích điện dương đi qua nguyên tử mà không bị tán xạ nhiều. Phần lớn chúng đi qua cách hạt nhân quá xa để chịu nhiều sự ảnh hưởng của nó. Tuy nhiên, tình cờ, khoảng 1 hạt alpha trong 8000 hạt đến đều gập hạt nhân để chịu một lực điện mạnh đến mức hạt alpha đó bị tán xạ sang bên – hay thậm chí bật ngược trở lại trong trường hợp va chạm trực diện rất hiếm xảy ra.

Như thường lệ trong khoa học, một đột phá kiểu như mô hình hạt nhân nguyên tử của Rutherford mở ra thêm nhiều câu hỏi mới. Những khó khăn nghiêm trọng nhất là đây: (1) một electron đang quay tròn thì bị gia tốc, nghĩa là nó sẽ phát ra sóng điện từ, và (2) khối lượng của các hạt nhân nguyên tử khác nhau không tỉ lệ với điện tích dương mà chúng mang.

Để làm sáng tỏ điểm thứ nhất trên, khi nhà vật lí nói tới vận tốc của một vật, là nó ám chỉ cả tốc độ lẫn hướng của nó. Khi họ nói tới gia tốc của nó, thì họ đang ám chỉ tốc độ mà vận tốc của nó thay đổi, tính cả tốc độ lẫn hướng. Một hành tinh đang quay tròn bị gia tốc về phía Mặt trời bởi lực hấp dẫn, và phân tích tương tự, một electron tích điện âm đang quay tròn bị gia tốc về phía hạt nhân tích điện dương bởi lực hút điện. Trong cả hai trường hợp, vật đang quay tròn liên tục rời *về phía* vật ở giữa nhưng không bao giờ *roi vào* vật ở giữa vì chuyển động của nó nằm trong một hướng khác.

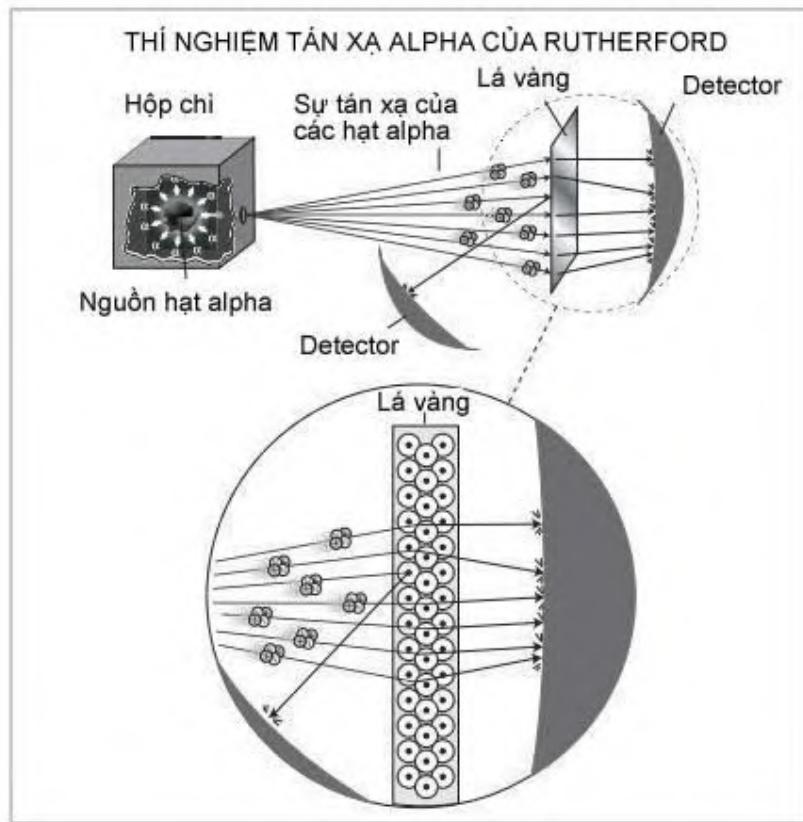


Trong trường hợp các hành tinh, đó là một tình huống ổn định. Tuy nhiên, đối với một electron bị gia tốc, thì hệ phương trình Maxwell, cả khi đã được Einstein sửa đổi, tiên đoán rằng nó sẽ phát ra các sóng điện từ. Năng lượng của những sóng đó sẽ phát sinh từ động năng (năng lượng của chuyển động) của nó, nghĩa là nó sẽ từ từ chậm lại và xoắn ốc vào trong hạt nhân trong vòng một phần rất nhỏ của một giây. Vì các nguyên tử là bền, cho nên có cái gì đó không đúng hoặc với các định luật điện từ học, hoặc với mô hình Rutherford.

Mô hình mới đã thay đổi nhưng không trả lời được một câu hỏi cũ về các nguyên tử. Các nhà khoa học thường bối rối trước sự khác biệt giữa số nguyên tử và khối lượng nguyên tử trong bảng tuần hoàn. Giờ thì họ biết rằng khối lượng của một nguyên tử chủ yếu nằm ở hạt nhân của nó, họ lại hỏi những câu hỏi tương tự về hạt nhân. Tại sao hạt nhân helium có khối lượng gấp bốn lần hạt nhân hydrogen khi điện tích của chúng chỉ gấp đôi, và tại sao hạt nhân chì có điện tích 82 đơn vị và khối lượng 207?



Mẫu hạt nhân của Rutherford không mang lại những cái nhìn sâu sắc ngay tức thì vào những câu hỏi đó, nhưng nó vẫn mang lại những tiện lợi quan trọng trong việc tìm hiểu những hiện tượng khác, ví dụ như sự phóng xạ. Giờ thì Rutherford có thể nhận ra các hạt alpha là hạt nhân helium và các hạt beta là electron. Ông có thể mô tả sự phóng xạ là một quá trình phân hủy hoặc phân rã hạt nhân, trong đó một hạt nhân mẹ phát ra hoặc một hạt nhân helium, hoặc một electron và để lại phía sau một hạt nhân con thuộc một nguyên tố khác. (Tia gamma không bao giờ được phát ra đơn độc mà luôn luôn đi cùng với *phân rã alpha*, hoặc *beta*).

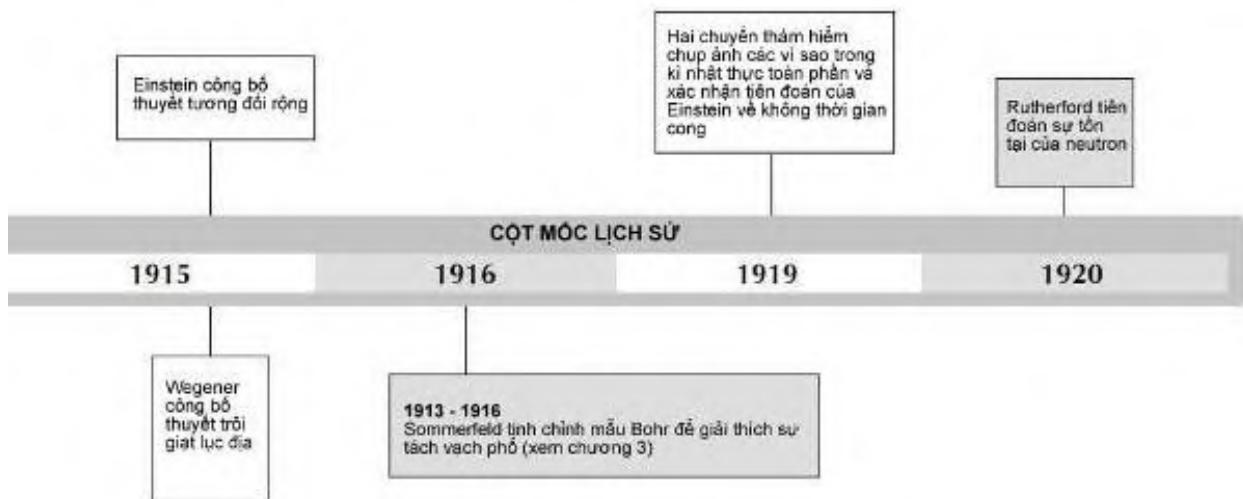


Thí nghiệm tán xạ hạt alpha của Rutherford, Hans Geiger và Ernest Marsden mang lại một khám phá bất ngờ: Một lá kim loại mỏng làm cho một phần nhỏ các hạt alpha năng lượng cao bị tán xạ xa ra hai bên hoặc thậm chí bật ngược trở lại. Từ kết quả đó, Rutherford kết luận rằng đã phân khai lượng của nguyên tử tập trung trong một hạt nhân nhỏ xíu, tích điện dương với các electron tích điện âm quay xung quanh nó.

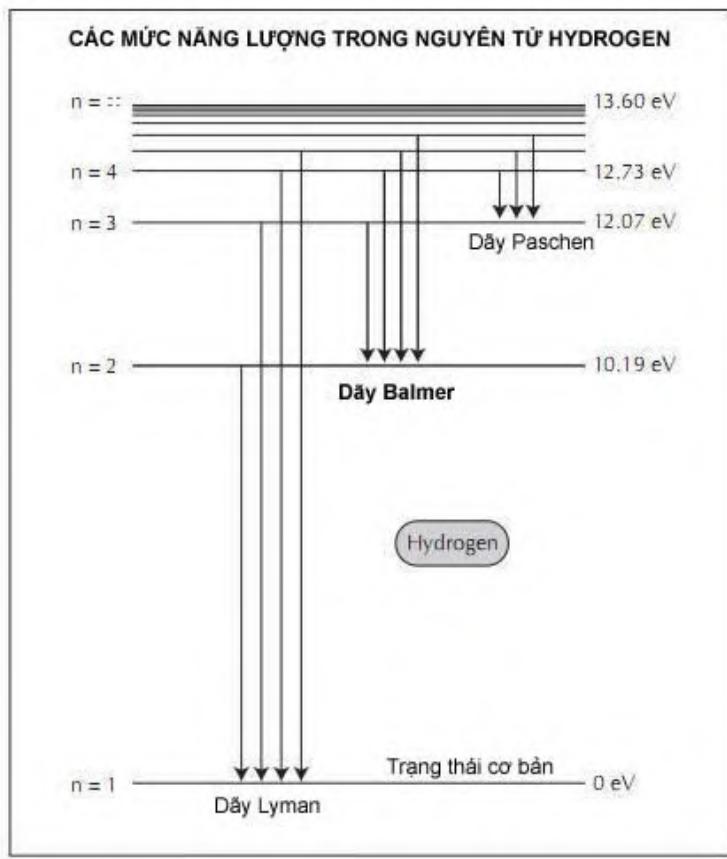
## Mẫu nguyên tử Bohr

Sự tinh chỉnh đáng kể nhất đầu tiên của mô hình hạt nhân Rutherford xuất hiện vào năm 1913, khi nhà vật lí 28 tuổi, người Copenhagen, tên là Niels Bohr (1885–1962) công bố một loạt bài báo nhanh chóng thu hút sự quan tâm lớn. Mục đích chính của những bài báo này là để xuất một khuôn khổ lý thuyết loại vấn đề bức xạ điện từ ra khỏi các electron đang quay tròn, nhưng tác động của chúng hóa ra còn rộng hơn thế nhiều. Chúng đã chuyển lượng tử của Planck từ địa hạt hạn chế của tương tác của ánh sáng với vật chất sang lĩnh vực cấu trúc nguyên tử rộng hơn.





Planck đã phát hiện ra lượng tử trong khi phân tích quang phổ liên tục trong ánh sáng phát ra bởi các vật nóng như dây tóc của các bóng đèn nóng sáng. Bohr thì tập trung chú ý vào quang phổ vạch tạo ra khi dòng điện đi qua một chất khí áp suất thấp trong một ống trụ, tạo ra sự phát sáng, ví dụ như màu đỏ đặc trưng của bóng đèn neon. Tại sao các chất khí bị kích thích điện phát ra những lượng tử chỉ thuộc những tần số nhất định? Đâu là cơ sở của những mẫu hình toán học ở những tần số đó, ví dụ như dãy vạch phổ phát ra từ hydrogen đã được nhận ra trước đây 30 năm bởi một giáo viên trung học người Thụy Sĩ, Johann Balmer (1825–98)?



Niels Bohr đã phát triển một lý thuyết giải thích quang phổ vạch của hydrogen là kết quả của các electron thực hiện các chuyển tiếp giữa những mức năng lượng được phép và phát ra những lượng tử ánh sáng có năng lượng bằng với sự chênh lệch giữa các mức.



Bohr bắt đầu phân tích của ông bằng cách giả sử rằng quang phổ vạch là kết quả của sự phát xạ từ những nguyên tử cá lẻ. Các mẫu tần số có mặt trong những phát xạ đó có thể làm sáng tỏ vì sao các quỹ đạo electron là bền trong sự vi phạm hiển nhiên của các định luật điện từ học hay không? Điều gì sẽ xảy ra nếu các định luật vật lí chỉ đòi hỏi những quỹ đạo nhất định là bền? Với một electron đơn độc, hydrogen là nguyên tử đặc biệt dễ phân tích. Công thức cho lực hút hấp dẫn và lực hút điện có cùng dạng thức toán học với diện tích thay thế cho khối lượng và một hằng số điện thay thế cho hằng số hấp dẫn. Cả hai phát biểu rằng lực giảm khi khoảng cách tăng lên theo mối quan hệ tỉ lệ nghịch bình phương. Nếu khoảng cách tăng gấp đôi, thì lực giảm bằng một phần tư (một phần hai nhân hai) giá trị trước đó của nó; nếu khoảng cách tăng ba lần, thì lực giảm đi chín lần (ba lần ba); và cứ thế.

Các phép toán về cơ bản là giống như trường hợp quỹ đạo của một hành tinh (electron) quay xung quanh Mặt trời (hạt nhân hydrogen) mà không sự tác động phức tạp của những vật thể khác. Các định luật của chuyển động và điện từ học tiên đoán một quan hệ toán học đơn giản giữa kích cỡ quỹ đạo của electron và thời gian cần thiết để nó quay trọn một vòng. Mỗi quan hệ đó tương tự như định luật thứ hai trong số ba định luật chuyển động hành tinh của nhà thiên văn học thế kỉ 17 Johannes Kepler's (1571–1630). Định luật đó là một phương trình liên hệ khoảng cách của hành tinh đến Mặt trời và độ dài năm của nó.

Mẫu nguyên tử Bohr cũng có những tương đương với các định luật thứ nhất và thứ ba, nhưng Bohr đưa thêm vào một thứ mà Kepler không cần đến: một quy luật cấm những chu kì quỹ đạo được phép. Bohr phát biểu rằng các quỹ đạo electron chỉ là bền nếu năng lượng của chúng bằng với một số nguyên lần tích của hằng số Planck và tần số quỹ đạo. Nó giống hệt như hệ mặt trời cấm những quỹ đạo hành tinh sao cho không có vật thể nào trong quỹ đạo xung quanh Mặt trời có chu kì 365 hoặc 366 ngày, mà chỉ có chính xác chiều dài năm của Trái đất (365,24 ngày).

Trong mẫu Bohr, các electron thực hiện những chuyển tiếp giữa các mức năng lượng cho phép bằng cách phát xạ hoặc hấp thụ một lượng tử ánh sáng có năng lượng bằng với sự chênh lệch giữa các mức. Do đó, mẫu Bohr có thể tính ra một tập hợp những tần số được phép của ánh sáng phát xạ. Điều đáng chú ý là chúng phù hợp chính xác với quang phổ hydrogen. Lí thuyết Bohr còn thành công, nhưng không rực rỡ lắm, trong việc tiên đoán quang phổ vạch của những nguyên tử phức tạp hơn, giống hệt như các định luật Kepler không có giá trị chính xác khi xét đến tác động của những hành tinh khác nữa. Tuy nhiên, những thành công của lí thuyết ấy cho thấy các định luật của điện từ học không áp dụng được cho các electron trong nguyên tử, chứng nào quỹ đạo của chúng phù hợp với những điều kiện đặc biệt. Các nhà vật lí không hoàn toàn hài lòng với điều đó, nhưng rõ ràng, phân tích của Bohr, giống như phân tích của Planck trước đó, đang cho họ biết cái gì đó cơ bản về thế giới nguyên tử.

## Bên trong hạt nhân

Rutherford và đội của ông tiếp tục nghiên cứu tán xạ hạt alpha của họ cho đến năm 1913, sử dụng các nguồn hạt alpha khác nhau và các lá kim loại khác nhau để tinh chỉnh những kết luận của họ. Khi đó, mô hình hạt nhân của nguyên tử đã được thiết lập vững chắc. Nhưng cái gì làm cho hạt nhân của một chất khác với hạt nhân của chất kia? Hai con số rõ ràng quan trọng là điện tích và khối lượng. Điện tích dương của hạt nhân tương ứng với nhân dạng của hạt nhân là một nguyên tố hóa học nhất định, hoặc chỗ nó nằm khớp trong bảng tuần hoàn. Khi bị bao quanh bởi một số electron bằng với điện tích đó, nó là



một nguyên tử trung hòa, và các electron là nguyên nhân cho hành trạng hóa học của nguyên tử đó.

Khối lượng hạt nhân, như Soddy chỉ rõ, có thể khác nhau giữa hai đồng vị thuộc cùng một nguyên tố. Nhưng khối lượng, giống như điện tích, dường như xuất hiện theo đơn vị cơ bản. Hạt nhân đơn giản nhất là hydrogen, với một đơn vị điện tích và một đơn vị khối lượng.

Khi Thế chiến thứ nhất bùng nổ vào năm 1914, nghiên cứu vật lí cơ bản là một trong những cái bị tổn thất do sinh viên bị gọi đi nhập ngũ hoặc phục vụ cho những nhiệm vụ thời chiến khác. Bản thân Rutherford cũng trở nên dính líu với việc dò tìm tàu ngầm, nhưng ông còn có thời gian để tiếp tục nghiên cứu trong phòng thí nghiệm. Ông quyết định theo đuổi một kết quả gây tò mò của Marsden, người đã bắn phá chất khí hydrogen với các hạt alpha.

Khi một hạt alpha va chạm với một hạt nhân cố định, nặng hơn, thuộc một nguyên tố kim loại, nó đổi hướng chuyển động nhưng mất ít năng lượng. Tuy nhiên, khi mục tiêu là chất khí hydrogen, thì cú va chạm tương tự như quả bi-a bị bắn bởi quả cầu nặng khác. Cả hạt alpha và hạt nhân hydrogen đều này ngược trở lại khỏi chỗ va chạm. Nếu nó là một va chạm gần như trực diện, thì hạt nhân hydrogen có thể bật đi ở tốc độ còn cao hơn cả tốc độ mà hạt alpha tới có được.

Lúc ấy, Rutherford bắt đầu gọi hạt nhân hydrogen là *proton* để ngụ ý rằng chúng là những hạt hạ nguyên tử cơ bản giống như electron. Hơn nữa, những thí nghiệm đó đã dạy ông cách phân biệt proton với các hạt alpha khi chúng đập lên màn hình dò tìm của ông. Khả năng ghi nhận proton sớm tỏ ra rất hữu ích. Khi Rutherford bắt đầu bắn phá chất khí nitrogen với các hạt alpha, ông phát hiện ra proton mặc dù ban đầu ông chẳng làm gì liên quan đến hydrogen. Kết luận của ông là va chạm đó đã làm cho hạt nhân nitrogen bị vỡ ra và giải phóng một proton. Kết luận đó nói chung là đúng, mặc dù các nhà khoa học không thể mô tả chính xác sự biến đổi hạt nhân mãi cho đến những năm 1920, ấy là như thế này: một hạt alpha (diện tích 2, khối lượng 4) kết hợp với một hạt nhân nitrogen (diện tích 7, khối lượng 14) tạo ra một proton (diện tích 1, khối lượng 1) và một đồng vị bèn nhưng không phổ biến của oxygen (diện tích 8, khối lượng 17). Rutherford phát hiện ra proton chứ không phải hạt nhân oxygen.

Từ cái Rutherford quan sát thấy, dường như có thể nghĩ hợp lí là mọi hạt nhân được cấu thành từ các proton. Điều đó sẽ giải thích cho diện tích hạt nhân nhưng không giải thích được những khối lượng lớn hơn của chúng. Đồng thời cũng phát sinh câu hỏi cái gì đã giữ một hạt nhân lại với nhau. Hai hoặc nhiều proton trong một không gian hạn chế như vậy sẽ đẩy lẩn nhau với lực rất lớn. Một số nhà vật lí cho rằng hạt nhân có thể chứa một số nhất định những proton khác nữa và số lượng đó bằng số lượng electron, nhưng Rutherford không tán thành. Ông cho rằng một electron tích điện âm và một proton tích điện dương bên trong một hạt nhân sẽ hút lẩn nhau đủ mạnh nên chúng sẽ không thể chia tách, về cơ bản là hình thành nên một hạt trung hòa.

Năm 1920, ông đã lý thuyết hóa những “bộ đôi trung hòa” như thế là loại thứ ba thuộc những viên gạch cấu trúc nguyên tử cơ bản sau electron và proton. Ông gọi hạt được đề xuất này là *neutron*. Ông lưu ý rằng khối lượng của nó rất gần với khối lượng của proton. Như vậy, số nguyên tử của một đồng vị, cái xác định vị trí của nó trong bảng tuần hoàn, là số proton của nó, còn khối lượng nguyên tử của nó là tổng số proton và neutron của nó.

Đến tận năm 1932 thì neutron mới được phát hiện ra, và rất muộn sau này người ta mới hiểu loại lực đã liên kết hạt nhân lại với nhau, nhưng vào cuối thập niên thứ hai của



thế kỉ 20, Rutherford đã mang lại sự mô tả chính xác thành phần cấu tạo của các nguyên tử: các electron bao xung quanh một nhân nặng nhưng rất nhỏ gồm các proton và neutron.

Có lẽ ông đã dùng từ hơi khác, vì các nhà vật lí lúc ấy nói đến các electron quay trong quỹ đạo – chứ không đơn thuần là bao quanh hạt nhân của chúng. Tuy nhiên, những phát triển trong lí thuyết lượng tử thuộc thập niên 1920 sẽ đưa các nhà vật lí đến một quan điểm mới về các quỹ đạo electron và bản thân electron.

## Các nguyên tử trong chất rắn

Trong khi nghiên cứu của Rutherford liên quan đến từng nguyên tử, thì vật chất cấu thành từ nhiều nguyên tử tương tác lẫn nhau. Tính chất của các hợp chất có thể rất khác với tính chất của các nguyên tử tham gia hình thành nên phân tử chất đó, và tính chất của cùng một chất ở trạng thái lỏng hoặc rắn rất khác với tính chất của nó ở trạng thái khí. Ngày nay, các nhà vật lí nói tới *vật chất hóa đặc* để phân biệt các trạng thái rắn và lỏng, trong đó mỗi nguyên tử hay phân tử liên tục chịu ảnh hưởng của những láng giềng của nó, với chất khí, trong đó các nguyên tử hay phân tử chuyển động hầu như độc lập với nhau ngoại trừ khi chúng va chạm; nhưng trong phần lớn của thế kỉ 20, họ tập trung chú ý vào các chất rắn và chất lỏng. Như các chương sau sẽ làm sáng tỏ, nghiên cứu trong cái sau này gọi là *vật lí chất rắn* đã mang lại một số thành tựu công nghệ đáng kể.

Theo nghĩa rộng, sự khác biệt giữa chất rắn và chất lỏng là sự sắp xếp các nguyên tử hay phân tử của nó. Đã lâu trước những năm 1910, điều đã rõ ràng đối với các nhà khoa học là đa số chất rắn hình thành nên những *tinh thể*. Đá quý và khoáng chất là những thí dụ nổi bật nhất, nhưng ngay cả muối thường và cát cũng có những cạnh sắc nhọn rõ ràng và có thể cắt (chè) theo những hướng nhất định dễ dàng hơn so với những hướng khác. Một số loại tinh thể khác đã được ghi nhận và mô tả theo hình dạng của mặt phẳng chia tách. Một số chất, thí dụ như thủy tinh, không có những hướng ưu tiên. Những chất này được gọi là *vô định hình*, nghĩa là “không có hình dạng”.

Điều thật hợp lí và tự nhiên là hãy giả sử hình trạng kết tinh của chất rắn phản ánh một khuôn mẫu đều đặn trong phương thức các nguyên tử hay phân tử của nó hợp lại với nhau và chất lỏng vô định hình thì không có tính đều đặn như thế. Cho nên các nhà vật lí bắt đầu tìm kiếm những công cụ cho phép họ khám phá sự sắp xếp bên trong các tinh thể. Họ cần cái gì đó nhạy với những thứ nhỏ cỡ khoảng cách giữa các nguyên tử trong chất rắn.

Cái gì đó áy hóa ra là tia X. Năm 1912, nhà vật lí người Đức Max von Laue (1879–1960) chứng minh được rằng tinh thể sẽ làm nhiễu xạ, hay phân tán rộng ra, một chùm tia X. Khám phá của ông tương tự như khám phá năm 1801 của Thomas Young về sự giao thoa ánh sáng. Tia X đi đến chỗ được hiểu là sóng điện từ có bước sóng nhỏ cỡ kích thước của một nguyên tử. Dựa trên khám phá này, vị giáo sư vật lí người Anh William H. Bragg (1862–1942) và con trai của ông ta, William L. (Lawrence) Bragg (1890–1971) đã phát triển những kỹ thuật suy luận ra sự sắp xếp bên trong của các nguyên tử hay phân tử trong chất rắn kết tinh từ hình ảnh *nhiều xạ tia X* thu được khi một chùm tia X đi qua chúng.

Các nhà vật lí nhanh chóng nhận ra tầm quan trọng của những khám phá này. Laue được trao giải Nobel Vật lí năm 1914, và cha con nhà Braggs thì vào năm sau đó.

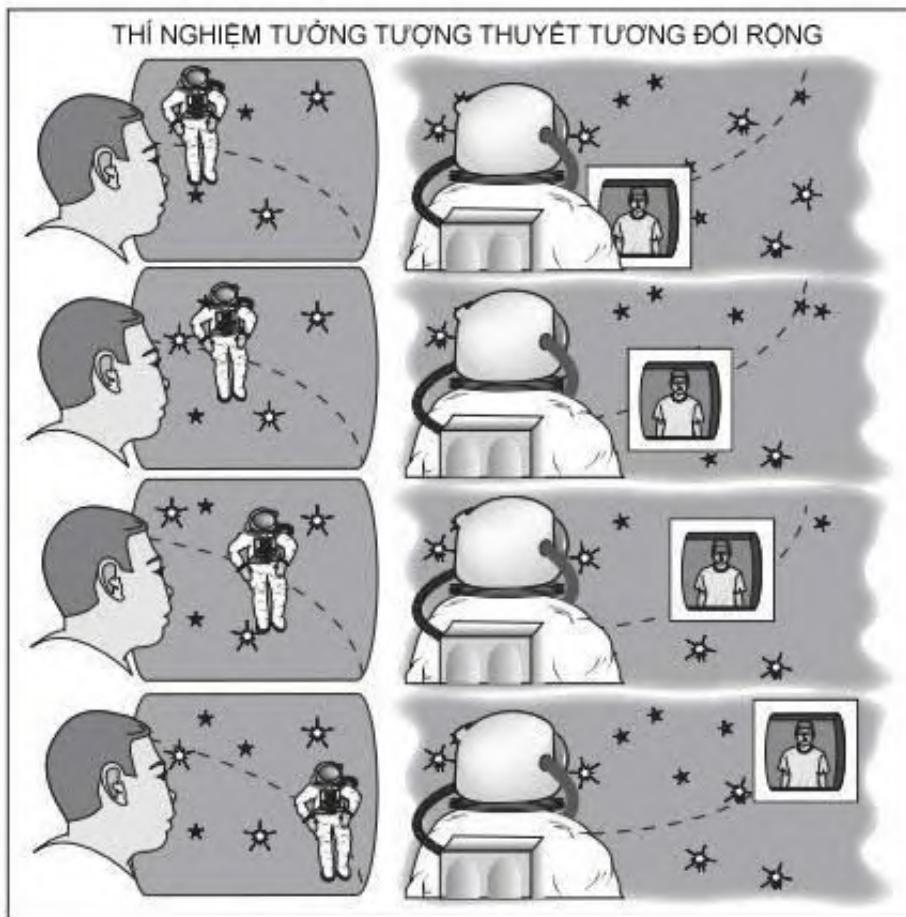
## Thiên văn học và Vũ trụ học

Trong khi nhiều nhà vật lí đang bận tâm với những hiện tượng ở cấp độ nhỏ nhất – thế giới hạ nguyên tử - thì những người khác đang khảo sát những vật thể lớn nhất trong vũ



trụ, kể cả bản thân vũ trụ. Thập niên 1910 chứng kiến sự le lói ban đầu của một ngành con của vật lí học sẽ trở nên ngày càng quan trọng trong thế kỉ 20. *Vũ trụ học*, nghiên cứu bản thân vũ trụ, xây dựng trên các quan trắc thiên văn, nhưng nó khác với thiên văn học giống như vật lí nguyên tử khác với hóa học. Vào cuối thế kỉ, các nhà khoa học sẽ tìm thấy những câu trả lời của họ đưa họ đến với thế giới hạ-hạ nguyên tử thường xuyên như đến với thiên văn học.

Những câu hỏi lớn mang tính vũ trụ học đầu tiên phát sinh từ công trình nghiên cứu tiếp tục của Albert Einstein về sự tương đối. Công trình năm 1905 của ông trong lĩnh vực ấy đã giải quyết một trường hợp đặc biệt – đó là những hệ quy chiếu có chuyển động tương đối không đổi. Như đã lưu ý trong chương trước, đó là nguyên do vì sao công trình ấy trở nên nổi tiếng là thuyết tương đối đặc biệt. Nhưng còn trường hợp tổng quát hơn, khi chuyển động tương đối của hai vật hay hai hệ quy chiếu đang thay đổi thì sao?



Einstein đã khái quát hóa lí thuyết tương đối để bao gồm cả những gia tốc tương đối với những thí nghiệm tưởng tượng kiểu như thế này. Một người quan sát ở trong phòng thí nghiệm nhìn thấy một nhà du hành đang đi theo một quỹ đạo parabol hướng xuống giống như một quả bóng rơi trên Trái đất, trong khi nhà du hành thì thấy người quan sát di chuyển theo một quỹ đạo parabol hướng lên. Họ không thể tiến hành phép đo nào để phân biệt là nhà du hành đang rơi dưới tác dụng của trọng lực, hay phòng thí nghiệm đang gia tốc hướng lên ở cùng tốc độ đó. Như vậy, một trường hợp dẫn là tương đương với một hệ quy chiếu có gia tốc. Việc theo đuổi ý tưởng này đã đưa Einstein đến chỗ kết hợp không gian và thời gian thành một không-thời gian bốn chiều bị bóp méo trong sự có mặt của khối lượng. Ông kết luận rằng trọng lực là kết quả của sự biến dạng đó, và như thế ánh hưởng đến ánh sáng cũng như vật chất.

## Thuyết tương đối rộng

Việc phát triển cái trở nên nổi tiếng là thuyết tương đối rộng đã đưa Einstein vào địa hạt toán học khác thường. Một lần nữa, một thí nghiệm tưởng tượng mang lại một cánh cửa hữu ích để vào phân tích ấy. Giả sử một người quan sát ở trong phòng thí nghiệm đang thực hiện các phép đo chuyển động của những vật đang rơi. Những vật ấy ở trong buồng chân không, cho nên không có sức cản không khí. Chúng cũng trung hòa điện và không có từ tính. Lực duy nhất tác dụng lên chúng là lực hấp dẫn, và mục tiêu của người quan sát là do tác động của lực hấp dẫn.

Nhà quan sát để ý thấy vận tốc của chúng biến đổi theo một kiểu đặc biệt, giống nhau với mọi vật thể như thế, bất chấp sự khác biệt khối lượng của chúng. Tốc độ của chúng và hướng song song với mặt đất không thay đổi, nhưng chuyển động thẳng đứng của chúng dần dần theo hướng đi lên, thay đổi ở tốc độ 32 feet trên giây ( $9,8 \text{ m/s}$ ) mỗi giây. Kết luận thật rõ ràng. Nhà quan sát và phòng thí nghiệm ở trong một trường hấp dẫn có gia tốc 32 feet trên giây mỗi giây, hay là một “ $g$ ”.

Nhưng một nhà quan sát ở trong một vật đang rơi thì lại thấy khác. Đối với nhà quan sát đó, nhà quan sát phòng thí nghiệm và phòng thí nghiệm đang gia tốc hướng lên với giá trị một  $g$ . Thật ra, nếu không nhìn ra bên ngoài phòng thí nghiệm, không có người nào trong hai nhà quan sát có thể thực hiện bất kì thí nghiệm nào để xác định xem phòng thí nghiệm đang ở trong một trường hấp dẫn hay nó ở trong một hệ quy chiếu có gia tốc.

Theo đuổi dòng suy nghĩ này đã đưa Einstein đến chỗ thống nhất không gian và thời gian thành một *không-thời gian* bốn chiều. Người ta thường hình dung vị trí xác định bởi một không gian ba chiều là một mạng lưới những cái thước mét tưởng tượng trải ra vô hạn theo ba chiều kích không gian, có thể mô tả đặc trưng là những hướng đặc biệt trên Trái đất như đông-tây, bắc-nam và trên-dưới. Các nhà toán học thích gọi những hướng đó là các trục  $x$ ,  $y$  và  $z$ .

Nhưng còn có một chiều thứ tư, thời gian hay trục  $t$ , qua đó mọi thứ và mọi người chuyển động ở tốc độ một giây trên giây. Mọi nhà quan sát đều đo được chuyển động của một chùm sáng trong không gian là một giây ánh sáng mỗi giây cho dù những nhà quan sát đó có bị gia tốc hay không, hay tương đương, cho dù nhà quan sát có ở trong trường hấp dẫn nào đó hay không.

Để hình dung không thời gian như Einstein mô tả, hãy tưởng tượng một mạng lưới bốn chiều đánh dấu các trục  $x$ ,  $y$ ,  $z$  và  $t$ . Theo kinh nghiệm của con người, người ta sử dụng các đơn vị đo khác nhau cho không gian ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) và thời gian ( $t$ ), nhưng không gian và thời gian có thể kết hợp thành một tập hợp trực tọa độ bốn chiều với đơn vị như nhau bằng cách nhân thời gian hoặc chia khoảng cách cho tốc độ ánh sáng.

Einstein đã tự hỏi về tác dụng của khối lượng trong không thời gian. Ông tìm thấy một hiệu ứng có thể hình dung tương tự như cái xảy ra khi một quả cầu đặt trên một tấm cao su kéo căng. Quả cầu làm căng tấm cao su ở những chỗ xung quanh tiếp giáp với nó. Khi hai quả cầu nằm trên tấm cao su ở gần nhau, thì chỗ lõm mà chúng tạo ra hợp nhặt lại, và chúng lăn về phía nhau. Thực bất ngờ, lực hút hấp dẫn trở thành hệ quả của những biến dạng do khối lượng gây ra trong cơ cấu không thời gian.

Điều này có ý nghĩa gì đối với ánh sáng? Theo thuật ngữ toán học, một chùm ánh sáng đi theo một rãnh trong không thời gian bị bóp méo bởi trường hấp dẫn. Các photon không có khối lượng, nếu không chúng sẽ truyền đi chậm hơn tốc độ ánh sáng theo thuyết tương đối đặc biệt, nhưng thuyết tương đối rộng của Einstein dẫn đến kết luận sau đây: Những thực thể không khối lượng vẫn bị tác dụng bởi trường hấp dẫn.



Kết quả bất ngờ đó nói lên rằng một chùm sáng lóe lên trên Trái đất sẽ hơi uốn cong một chút về phía mặt đất, nhưng độ cong đó quá nhỏ để đo được bằng những thiết bị khoa học nhạy nhất của chúng ta. Tuy nhiên, khi Einstein công bố thuyết tương đối rộng của ông vào năm 1915, các nhà vật lí đã quyết định kiểm tra tiên đoán đó. May thay, hệ mặt trời mang lại một cách tiến hành công việc đó trong những dịp hiếm: đó là trong những kỉ niệm thực toàn phần.

Nếu ánh sáng sao trên hành trình của nó đến Trái đất đi qua gần Mặt trời, thì lực hấp dẫn của Mặt trời đủ lớn để làm lệch quỹ đạo của chùm sáng do một lượng có thể đo được. Trong những kỉ niệm thực toàn phần, các nhà thiên văn có thể quan sát và đo hình ảnh sao bình thường không nhìn thấy dưới ánh sáng chói lọi ban ngày. Mặc dù nhật thực xảy ra một hoặc hai lần mỗi năm, nhưng chúng xảy ra dọc theo những vành đai hẹp khi bóng của Mặt trăng quét qua bề mặt Trái đất. Nhật thực toàn phần chỉ kéo dài vài ba phút ở một nơi nào đó, cho nên việc quan sát một kỉ niệm thực toàn phần cũng đòi hỏi một chút may mắn nữa. Những đám mây trôi qua có thể cướp mất cơ hội quan sát và chụp ảnh một sự kiện mà người ta phải lặn lội hành trình nửa vòng Trái đất để trải nghiệm.

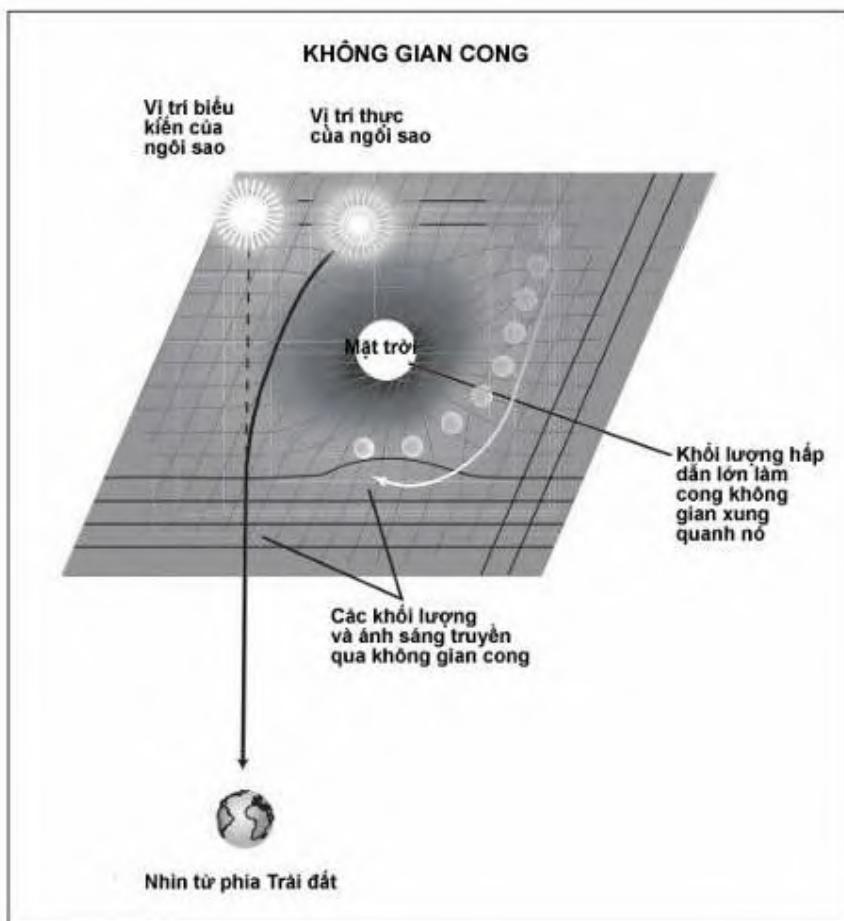
Giữa thập niên 1910, tình hình chiến sự khiến người ta khó mà đưa các thiết bị đến những nơi thích hợp ở những thời điểm thích hợp. Mãi cho đến năm 1919 thì hai đoàn thám hiểm ở hai bờ Đại Tây Dương – một đoàn trên đảo Hoàng tử ngoài khơi Tây Phi do nhà thiên văn vật lí người Anh Arthur Eddington (1882–1944) đứng đầu, và một đoàn ở Sobral thuộc miền bắc Brazil do nhà thiên văn học người Anh Andrew Crommelin (1865–1939) đứng đầu – đã thành công trong việc chụp ảnh những ngôi sao xung quanh đĩa mặt trời. Bằng cách so sánh những quan sát của họ với những quan sát khác ở cùng thời điểm của năm kỉ 1919, họ đã phát hiện ra chính xác độ lệch mà thuyết tương đối rộng tiên đoán. Những dòng tít trên trang nhất các tờ báo trên khắp thế giới đã loan tin xác nhận rằng trường hấp dẫn tác dụng lên đường đi của ánh sáng. Einstein, nhà khoa học đã đưa ra sự tiên đoán chua chát đã xảy ra dựa trên các thí nghiệm ông tưởng tượng ra trong đầu, trở nên nổi tiếng khắp thế giới.

Tất nhiên, sự bẻ cong của ánh sáng sao chỉ là một hệ quả của một quan điểm còn có sức ảnh hưởng hơn cho rằng khối lượng gây ra sự cong trong cấu trúc của không thời gian. Năm 1917, khi khảo sát những ngụ ý của mô tả toán học mới của mình, Einstein đã phát hiện ra rằng lí thuyết của ông tiên đoán một vũ trụ đang nở ra hoặc co lại một cách đều đặn. Điều đó khiến ông lo âu. Các nhà địa chất và sinh vật học đã và đang cố gắng xác định tuổi của Trái đất. Mặc dù vẫn còn có những bất đồng đáng kể về tuổi chính xác của hành tinh, nhưng tất cả mọi người đồng ý với nhau rằng tuổi đó vào cỡ nhiều triệu năm và có khả năng là hàng tỉ năm. Nếu vũ trụ đã giãn nở trong thời gian dài đó, thì đa số các ngôi sao đã ở quá xa Trái đất để mà nhìn thấy. Nếu nó đang co lại, thì nó đã tự co lại thành một khối từ lâu rồi. Nhưng vũ trụ dường như khá ổn định.

Einstein cũng để ý thấy nghiệm toán học cho những phương trình của ông có chứa một giá trị rõ ràng tùy ý gọi là *hằng số vũ trụ*. Những giá trị khác nhau của hằng số ấy sẽ dẫn đến những tốc độ giãn nở hay co vũ trụ khác nhau. Một giá trị đặc biệt sẽ dẫn đến sự ổn định, và đó là cái rõ ràng tự nhiên đã chọn.

Những khám phá trong thập niên 1920 đưa Einstein đến chỗ nhận hằng số vũ trụ học là không cần thiết, và ông đi đến tin rằng đó là “sai lầm lớn nhất” của cuộc đời ông. Nhưng vào cuối thế kỉ 20, hằng số vũ trụ học đã lại hồi sinh, và các nhà vật lí đã bắt đầu thế kỉ 21 trong niềm hi vọng một Einstein mới sẽ xuất hiện để khai thác trọn vẹn ý nghĩa của nó.





Einstein trở nên nổi tiếng thế giới khi một trong những tiên đoán nổi bật nhất của lí thuyết tương đối rộng của ông được chứng minh là đúng trong kỉ niệm thực toàn phần năm 1919. Các vì sao ở gần hướng như Mặt trời, thường bị ẩn khuất trong chói lửa của Mặt trời, trở nên nhìn thấy được từ phía Trái đất. Ánh sáng phát ra từ ngôi sao đi qua gần Mặt trời bị bẻ cong về phía Mặt trời. Như vậy, ngôi sao dường như bị dịch ra phía ngoài khỏi vị trí như trông đợi của nó. Các nhà thiên văn đã đo sự dịch chuyển trong kỉ niệm thực năm đó và nhận thấy chúng phù hợp với những tiên đoán của Einstein.

## Khám phá ra các thiên hà

Khi Einstein nói về vũ trụ hay vạn vật vào năm 1917, quan điểm của ông về nó rất khác với quan điểm hiện đại. Ngoài các vì sao và hành tinh ra, các kính thiên văn còn hé lộ rằng vũ trụ gồm một số vật thể mờ nhạt gọi là các tinh vân xoắn ốc. Ngày nay, chúng ta biết chúng là những thiên hà chứa nhiều triệu hay nhiều tỉ ngôi sao, nhưng khi đó chúng vẫn là những vật kì dị chờ được khám phá.

Năm 1914, nhà thiên văn học người Mĩ Vesto Slipher (1875–1969) đang quan sát các tinh vân xoắn ốc tại Đài thiên văn Lowell ở Flagstaff, Arizona. Kính thiên văn của ông được trang bị một quang phổ kẽ, cho phép ông phân tích ánh sáng sao để nhận dạng các thành phần trong những ngôi sao. Là một vật thể rất nóng, ngôi sao phát ra một quang phổ liên tục giống như quang phổ đã đưa Max Planck đến khám phá ra lượng tử. Tuy nhiên, những lớp bên ngoài của ngôi sao chứa chất khí nguội hơn những vùng phát ra đa phần ánh sáng. Những chất khí nguội hơn này hấp thụ những bước sóng ánh sáng đó nên bản thân chúng sẽ phát ra quang phổ vạch. Điều đó tạo ra một quang phổ hấp thụ, các vạch tối trên nền sáng, giống như phim âm bản của phô phát xạ của chất khí. Từ quang phổ hấp thụ đó,



Slipher có thể xác định ra các nguyên tố hóa học có mặt trong những lớp ngoài cùng của những ngôi sao đó.

Khi ông so sánh phổ vạch của các tinh vân xoắn ốc với phổ của các nguyên tố đã biết, ông tìm thấy một sự khác biệt bất ngờ. Khoảng cách của các vạch phổ phù hợp với phổ của các nguyên tố trông đợi, nhưng các vạch bị dịch về những bước sóng hơi khác. Phổ của tinh vân lớn nhất là Andromeda (tinh vân Tiên Nữ), ngày nay chúng ta biết đây là thiên hà gần nhất với Dải Ngân hà của chúng ta, hơi bị dịch về phía đầu xanh. Đa phần những quang phổ khác thì dịch về đầu đỏ.

Slipher nhận ra rằng sự dịch chuyển là do hiệu ứng Doppler, hiện tượng quen thuộc với đa số mọi người, xảy ra với âm thanh. Khi xe cứu thương lao đến và rít qua một người với tiếng còi báo động, thì độ cao của tiếng còi giảm đi. Độ cao tương ứng với bước sóng hay tần số của sóng âm truyền đến tai của người nghe. Các đoàn sóng nén lại với nhau khi chiếc xe đang tiến lại gần, mang lại độ cao lớn hơn. Khi chiếc xe chạy ra xa, các đoàn sóng trải rộng ra, và độ cao giảm đi.

Slipher nhận ra rằng sự dịch về phía xanh trong quang phổ của tinh vân Andromeda có nghĩa là nó đang chuyển động nhanh theo hướng của chúng ta, trong khi sự dịch về đầu đỏ cho thấy những tinh vân khác đang chuyển động ra xa, cũng ở tốc độ rất cao. Khi Arthur Eddington nghe nói về những kết quả của Slipher, ông nhận ra rằng những vật thể ấy có khả năng nằm cách Trái đất những khoảng cách khổng lồ và đề xuất rằng chúng là những thiên hà, những hệ sao khổng lồ. Điều đó ngũ ý rằng vũ trụ lớn hơn nhiều so với trước đây người ta xem xét. Hầu như toàn bộ những ngọn đèn trên bầu trời đêm của chúng ta là những ngôi sao trong thiên hà của chúng ta, một trong nhiều thiên hà của một vũ trụ mênh mông.



Victor Hess sau chuyến bay khí cầu năm 1912 của ông, trong chuyến bay đó ông đã phát hiện ra tia vũ trụ đến từ không gian. (Ảnh: Đài thiên văn Pierre Auger, National Geographic)

## Tia vũ trụ

Nhà khoa học người Áo Victor Hess (1883–1964) thì khám phá vũ trụ theo một cách khác trong thập niên 1910. Ông dựa trên đề xuất của Theodore Wulf thực hiện những phép đo trên cao độ của các hạt dương như đang tuôn chảy qua bầu khí quyển của Trái đất từ phía trên. Mười lần vào năm 1911 và 1912, ông đã tự đưa mình và các máy dò bức xạ vào các khí cầu mang ông lên những cao độ trên 16.400 feet (5.000 m) trên mực nước biển.

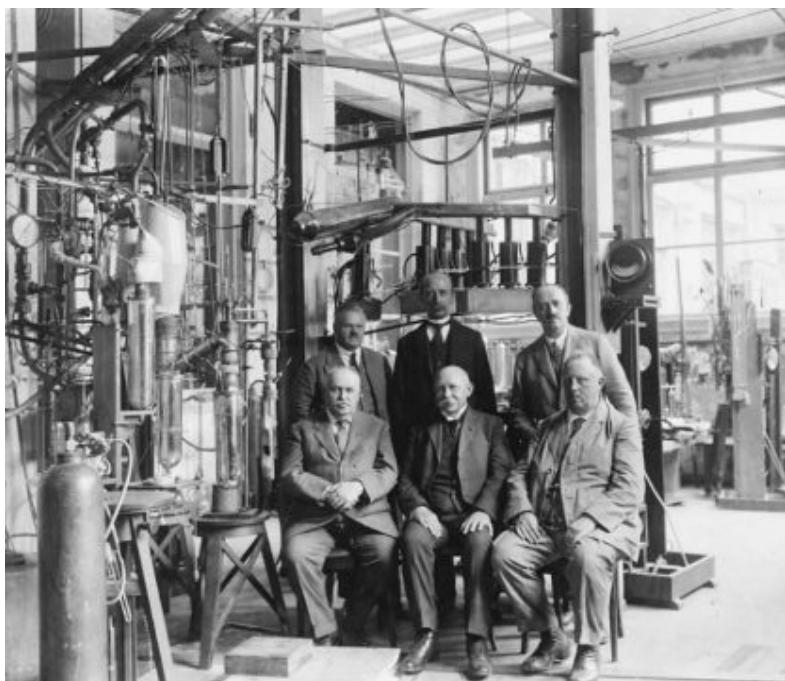
Đây là công việc khá liều lĩnh, nhưng các thiết bị đòi hỏi có con người điều khiển, cho nên ông đã xông pha. Ở trên 3.300 feet (1.000 m), ông đã phát hiện ra sự tăng đáng kể bức xạ so với tại mặt đất. Càng lên cao, ông nhận thấy càng có nhiều bức xạ. Ở 16.400 feet (5.000 m), ông phát hiện bức xạ cao gấp ba đến năm lần so với tại mực nước biển.

Hess kết luận rằng các dòng bức xạ mạnh, tia vũ trụ, đổ xuống Trái đất từ không gian bên ngoài. Việc nhận dạng ra bức xạ này sẽ mất nhiều năm, nhưng cuối cùng nó sẽ đưa đến những quan niệm mới nổi bật về thế giới hạ nguyên tử. Hess nhận giải Nobel Vật lí năm 1936.

## Những lý thuyết, kỹ thuật và công nghệ mới

Trong khi Einstein đang khảo sát ở tiền tuyến của không thời gian, Rutherford đang khảo sát bên trong nguyên tử, Hess đang bắt giữ tia vũ trụ, và các nhà thiên văn như Slipher và Eddington thì đang định nghĩa lại các giới hạn của vũ trụ, thì những nhà vật lí khác đang khảo sát những tiền tuyến khác.

Phòng thí nghiệm dành cho nghiên cứu nhiệt độ thấp của Heike Kamerlingh Onnes (hàng trước, người chính giữa) ở Leiden, Hà Lan. Trong phòng thí nghiệm này, helium đã được hóa lỏng (1908), và sự siêu dẫn được khám phá (1911). (Ảnh: AIP Emilio Segrè Visual Archives)



## Sự siêu dẫn

Chẳng hạn, Heike Kamerlingh Onnes đang nghiên cứu cái xảy ra với vật chất ở những nhiệt độ thấp nhất từng thu được trên Trái đất. Việc hóa lỏng helium là một thành tựu xuất sắc – nó mang lại cho ông giải Nobel Vật lí năm 1913 – nhưng đó chỉ là bước đầu tiên trong nghiên cứu của ông. Năm 1911 là năm đầu tiên đùm vật liệu vào trong helium lỏng và đo các tính chất như độ dẫn điện. Dòng điện trong kim loại được ghi nhận là dòng



các electron chảy, và các nhà vật lí đang cố gắng tìm hiểu những cấu trúc bên trong của chất rắn ảnh hưởng đến dòng chảy đó. Họ cho rằng dao động nhiệt của các nguyên tử là trở ngại chính đối với dòng điện, và do đó, họ trông đợi *điện trở* sẽ giảm dần khi họ làm lạnh kim loại về hướng không độ tuyệt đối.

Khi Kamerlingh Onnes làm lạnh một dây thủy ngân mỏng, thì điện trở của nó giảm dần phù hợp với lí thuyết cho đến khi bắt ngờ, ở ngay dưới nhiệt độ mà helium trở thành chất lỏng, thủy ngân dường như mất hết điện trở của nó một lượt. Ông nhận thấy ông có thể bắt đầu cho dòng điện chạy trong một vòng dây thủy ngân, làm lạnh nó xuống cái ngày nay gọi là nhiệt độ tới hạn, ngắt bỏ nguồn điện áp, và dòng điện sẽ tiếp tục chạy.

Chừng nào ông giữ cho sợi dây đủ lạnh, thì các electron vẫn tiếp tục chạy, thậm chí hàng giờ, mà không cần pin. Nhưng ngay khi ông cho phép nhiệt độ tăng lên trên nhiệt độ tới hạn, thì dòng điện sẽ dừng lại. Kamerlingh Onnes đã khám phá ra sự siêu dẫn. Ông đã nghiên cứu nhiều kim loại khác nhau và nhận thấy sự siêu dẫn là một hiện tượng phổ biến. Nhiệt độ tới hạn thay đổi từ kim loại này sang kim loại khác, nhưng nó luôn luôn cực kì thấp.

Nổi bật như sự khám phá ra hiện tượng siêu dẫn, không ai có thể phát triển một lí thuyết giải thích hiện tượng đó mãi cho đến khám phá năm 1957 dẫn tới một giải thưởng Nobel. Ba mươi năm sau, sự siêu dẫn một lần nữa lại làm bất ngờ các nhà vật lí. Lần này, các nhà nghiên cứu quan sát thấy hiện tượng ở những nhiệt độ cao bất ngờ (nhưng vẫn lạnh giá) ở họ hàng ceramic. Kết quả thực nghiệm đó đưa đến một giải Nobel khác nữa – và các nhà vật lí vẫn chưa đi tới một lí thuyết hoàn toàn thỏa mãn giải thích nguyên do gây ra siêu dẫn ở những chất liệu đó.

## Sự trôi giạt lục địa

Trong một thập niên đầy những khám phá vật lí làm thay đổi thế giới, việc một người đề xuất lí thuyết mới về thế giới đang thay đổi bị phê bình gay gắt – thậm chí nhạo báng. Năm 1915, nhà khí hậu học và địa vật lí người Đức Alfred Wegener (1880–1930) cho xuất bản lần đầu tiên cuốn *Nguồn gốc của các lục địa và đại dương*, đặt nền tảng cho lí thuyết trôi giạt lục địa. Wegener dựa trên bằng chứng từ bản đồ, địa chất học và cổ sinh vật học. Nhưng vì ông không thể đề xuất một cơ chế cho sự trôi giật của các lục địa của Trái đất, cho nên những người đề xuất những lí thuyết đang tồn tại đã thắng thế trong những cuộc tranh cãi mang tính chất hàn lâm.

Hàng thập niên sau, sau khi Wegener qua đời, những khám phá về bên trong của Trái đất đã xác nhận những quan niệm của ông, hóa ra nó mang tính cách mạng trong lĩnh vực của ông cũng như tính cách mạng trong các công trình của Einstein, Rutherford, Bohr, và Kamerlingh Onnes.

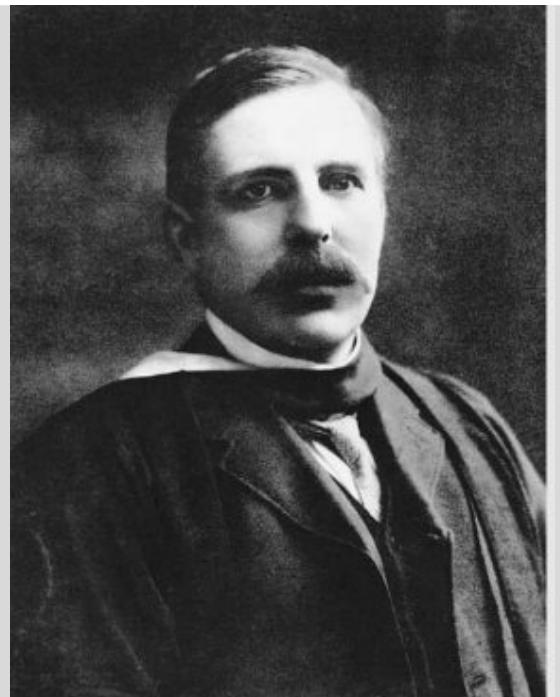


### **Nhà khoa học của thập niên: Ernest Rutherford (1871–1937)**

Xét trên đa số tiêu chuẩn, Ernest Rutherford không thể khác hơn với Albert Einstein. Einstein là con trưởng trong số hai người con của một gia đình trí thức thành thị châu Âu. Rutherford là con thứ tư trong số 14 đứa trẻ lớn lên ở miền quê New Zealand. Einstein khảo sát những lí thuyết mới tại bàn làm việc trong một văn phòng nhỏ. Rutherford khảo sát những hiện tượng mới trong một số phòng thí nghiệm được trang bị tốt nhất thế giới. Tài trí của Einstein không được công nhận trước khi ông đột nhiên nổi tiếng. Rutherford dường như sinh ra để thành công từ lúc bắt đầu sự nghiệp của ông. Einstein không giành được giải Nobel Vật lí mãi 16 năm sau công trình đáng kể nhất của ông. Rutherford giành giải Nobel Hóa học trước khi ông tiến hành cái người ta cho rằng là đóng góp lớn nhất của ông cho khoa học vật chất.

Hai nhà vật lí còn rất khác nhau về tác phong và diện mạo. Einstein thì vóc người nhỏ, trầm lặng, và khiêm tốn. Rutherford thì cao to, nhiều tham vọng, và có giọng nói to khỏe. Nhưng họ có chung mục tiêu là khảo sát những cơ sở vật lí mà không cần những quan niệm đã có từ trước. Trí tuệ mỏ đó đã cho phép hai người nhận ra những thứ bất ngờ. Nó đưa Einstein đến chỗ giải thích lại các định luật chuyển động; ý nghĩa của không gian và thời gian; bản chất của vật chất, năng lượng, sóng và hạt. Nó chỉ lối cho Rutherford khảo sát đa số những thành phần và cấu trúc cơ bản của vật chất.

Rutherford sinh năm 1871, gần thành phố Nelson trên Đảo Nam của New Zealand. Ông là một sinh viên xuất sắc, với sự hỗ trợ tài chính từ gia đình và học bổng, đã có đủ điều kiện theo học một trường trung học địa phương chất lượng tốt (Nelson College) và rồi học tại trường Canterbury College ở Christchurch. Ở đó, ông không chỉ thể hiện tài năng ngoại hạng về khoa học thực nghiệm, mà còn cả sự hứng thú với việc nghiên cứu những khám phá mới nhất.



Ernest Rutherford, người có công trình nghiên cứu dẫn đến sự hiểu biết về cấu trúc bên trong của nguyên tử. (Ảnh: Bộ sưu tập Smith, Thư viện Sách hiếm và Bản thảo, Đại học Pennsylvania)

Nhà vật lí người Đức Heinrich Hertz (1857–1894) trước đó đã biết cách tạo ra những sóng điện từ mà ngày nay chúng ta gọi là sóng vô tuyến, và Rutherford quyết định đo tác dụng của chúng lên những cái kim thép bị từ hóa. Nghiên cứu đó dẫn ông tới chỗ phát minh ra một bộ dò nhạy với cái gọi là sóng Hertz truyền đi những khoảng cách xa. Máy thu vô tuyến này sớm trở thành một bộ phận quan trọng trong cuộc cách mạng truyền thông gọi là điện báo không dây lan tỏa khắp thế giới và đưa Rutherford thành ứng cử viên sáng giá trong cuộc đua năm 1895 giành một suất học bổng nghiên cứu chính đến học tập ở Anh. Thật không may, ủy ban xét học bổng xếp ông xuống hạng hai sau một nhà hóa học. Nhưng một vận may đã đến với ông sau đó. Nhà hóa học trên quyết định lập gia đình và ở lại New Zealand. Rutherford được nhận giải thưởng và quyết định đến làm việc tại Phòng thí nghiệm Cavendish danh tiếng của trường Đại học Cambridge do J.J Thomson đứng đầu.



Rutherford lập tức bắt tay vào nghiên cứu về những thí nghiệm không dây và tiếp tục mang lại những kết quả quan trọng. Nhưng khi nghiên cứu của ông càng trở nên quan trọng về mặt công nghệ, thì nó càng kém hấp dẫn trên phương diện khoa học. Cho nên ông và Thomson bắt đầu tìm kiếm một lĩnh vực mới trong đó ông có thể đóng góp công sức. Khi tin tức về việc Röntgen khám phá ra tia X lan đến, họ đã có câu trả lời của mình.

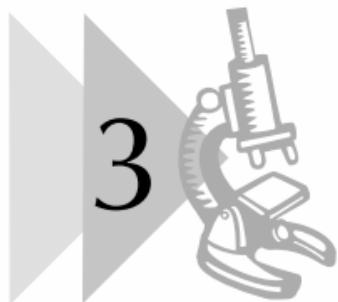
Là một phần nghiên cứu của ông về tia cat-tot sê sóm dẫn tới khám phá ra electron, Thomson đang nghiên cứu hiện tượng *ion hóa* – sự tạo thành các nguyên tử tích điện – trong chất khí. Ông có thể tạo ra những tia lửa hay chớp sáng điện áp cao không điều khiển được, nhưng ông không thể tạo ra một dòng ion đều đẽ ông có thể điều khiển và đo đạc.

Röntgen đã báo cáo rằng khi tia X đi qua các chất khí, việc áp đặt một điện trường lên những chất khí đó sẽ làm xuất hiện những dòng điện nhỏ. Thomson nghi ngờ những dòng điện đó là dòng ion – đúng cái ông đang tìm cách nghiên cứu. Ông giao cho Rutherford nhiệm vụ tìm hiểu xem ông có đúng không. Rutherford xác nhận phỏng đoán của Thomson và lập tức biết phải làm gì tiếp sau đó. Ông khảo sát xem hiện tượng phỏng xạ mới phát hiện cũng tạo ra các ion trong chất khí hay không. Nó thật sự tạo ra các ion, cho nên ông đã bắt đầu nhận ra phỏng xạ là gì và làm thế nào nó tương tác với vật chất.

Ông bắt đầu bằng cách đặt lá nhôm giữa một mẫu uranium và một detector ion hóa, mỗi lần thêm một lớp. Từng lớp một trong một vài lớp đầu tiên do được đã làm giảm sự ion hóa, nhưng cuối cùng ông đạt tới chỗ thêm một lớp gây ra một sự khác biệt nhỏ, mặc dù một lượng đáng kể bức xạ ban đầu vẫn truyền qua. Rutherford kết luận rằng phỏng xạ phải ít nhất có hai thành phần, một thành phần có khả năng đâm xuyên hơn thành phần kia. Ông đặt tên cho hai thành phần đó là tia alpha và tia beta theo tên hai kí tự đầu tiên của bảng chữ cái Hi Lạp, với tia alpha là thành phần dễ bị chặn lại hơn.

Năm 1898, tên tuổi Rutherford trở nên nổi tiếng khắp thế giới vật lí, và ông được phong giáo sư và cấp một phòng thí nghiệm riêng tại trường Đại học McGill ở Montreal. Ông sớm bắt đầu làm việc với một vị kĩ sư trẻ, R. B. Owens, người đang nghiên cứu phỏng xạ phát ra từ thorium trong khi Rutherford nghiên cứu với uranium. Owens quan sát thấy một hiệu ứng kì lạ: bức xạ thorium nhạy với các dòng không khí trong phòng thí nghiệm.

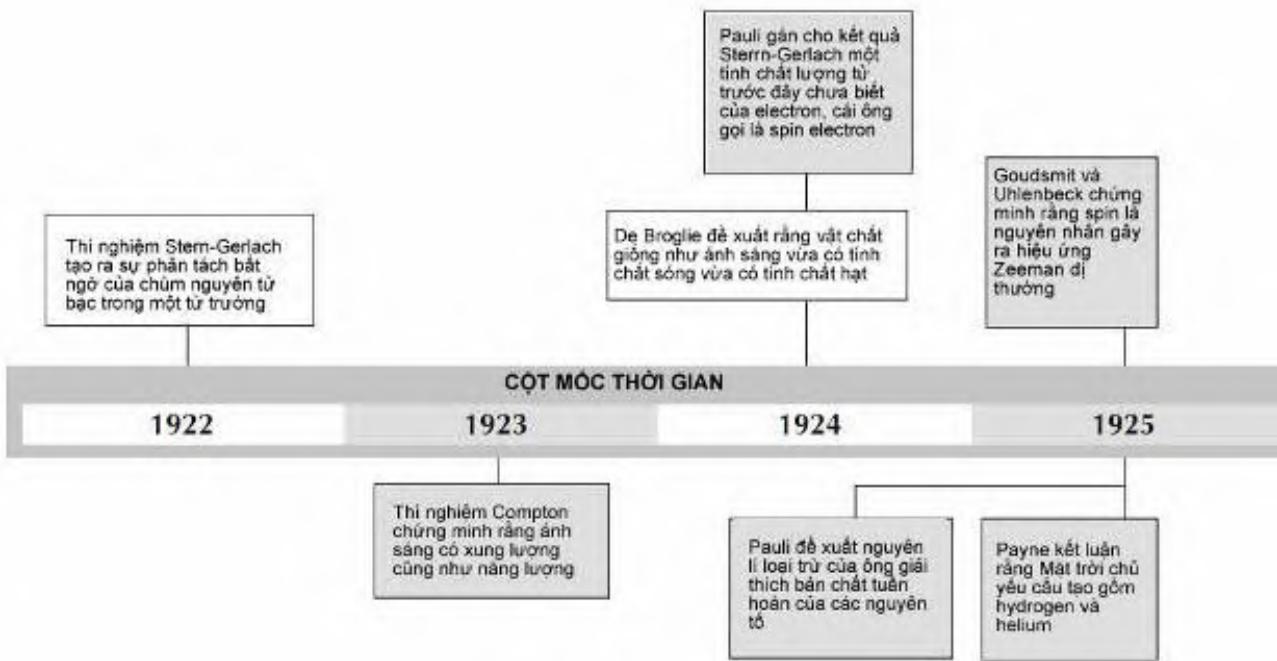




## 1921 – 1930 Cuộc cách mạng lượng tử

Những năm 1920 thuộc về một vài thập niên dữ dội, cả trong vật lí học và tình hình thế giới. Thập niên này bắt đầu với hậu quả của Thế chiến thứ nhất, khi ấy gọi là Đại chiến, và kết thúc với một cuộc suy thoái kinh tế toàn cầu, gọi là Đại khủng hoảng.

Mặc dù chiến tranh đã kết thúc vào năm 1918, nhưng những hậu quả của nó có sự tác động ngoạn mục lên những mối quan hệ quốc tế trong nhiều năm liền. Mặc dù một số người nói nó là “cuộc chiến kết thúc mọi cuộc chiến”, nhưng Hiệp ước Versailles năm 1919 đã thất bại, không thu được mục tiêu đó. Trong việc vẽ lại bản đồ châu Âu, nó đã tạo ra những mối oán giận quốc tế sâu sắc tiếp tục sục sôi. Chủ nghĩa dân tộc cực đoan đã nhuộm màu những mối quan hệ trong số các công dân thuộc những quốc gia khác nhau. Nó còn gây chia rẽ giữa các nhà vật lí, những người trước chiến tranh đã hăm hở hợp tác trong việc theo đuổi tri thức.



Bất chấp những trở ngại chính trị như vậy, và bất chấp những thay đổi đáng kể đã làm biến đổi nền vật lí trong hai thập niên đầu của thế kỉ mới, những ý tưởng mới về bản chất của vật chất và năng lượng xuất hiện ngày một nhanh hơn trong thập niên 1920. Động lực kích thích sự tăng tốc đó là sự nhận thức rằng lượng tử là trung tâm của việc tìm hiểu vũ trụ vật chất.



Thật đáng kinh ngạc, những phát triển lớn nhất trong ngành vật lí lượng tử xuất hiện từ nước Đức, một quốc gia bại trận thảm hại, bị bỏ rơi về chính trị, có nền kinh tế léch thêch. Nền khoa học vật lí và hóa học đã nổi đình nổi đám ở đó trong thập niên 1920 như họ đã từng làm trước chiến tranh – bất chấp lệnh cấm các nhà khoa học Đức không được tham dự những hội nghị quốc tế lớn trong một vài năm sau khi hành vi thù địch đã kết thúc. Với ý nghĩa tự hào quốc gia, Einstein đã được chào đón là một thiên tài người Đức khi ông giành giải Nobel vật lí năm 1921 (cho cách giải thích của ông về hiệu ứng quang điện là một hiện tượng lượng tử), mặc dù ông đã từng từ bỏ tư cách công dân Đức. Thật trớ trêu, sau này ông lại bị khước từ một lần nữa vào thập niên 1930 dưới chế độ bài Do Thái của Đức quốc xã.

## Từ nguyên tử Bohr đến cơ học lượng tử

Phần nhiều sự phát triển của cơ học lượng tử được chi phối bởi những nỗ lực tìm hiểu quang phổ vạch của những nguyên tố khác nhau. Thuyết nguyên tử của Bohr đã thành công rực rỡ ở việc dự đoán quang phổ hydrogen dưới những điều kiện bình thường, nhưng nó cần phải sửa đổi để giải thích hiện tượng *tách vạch quang phổ*. Thiết đặt điện trường và từ trường làm cho một số vạch trong quang phổ hydrogen tách thành những đám vạch, mỗi vạch có tần số hơi khác với vạch ban đầu. Khi cường độ trường ngoài tăng lên, thì độ dịch chuyển tần số trở nên lớn hơn.

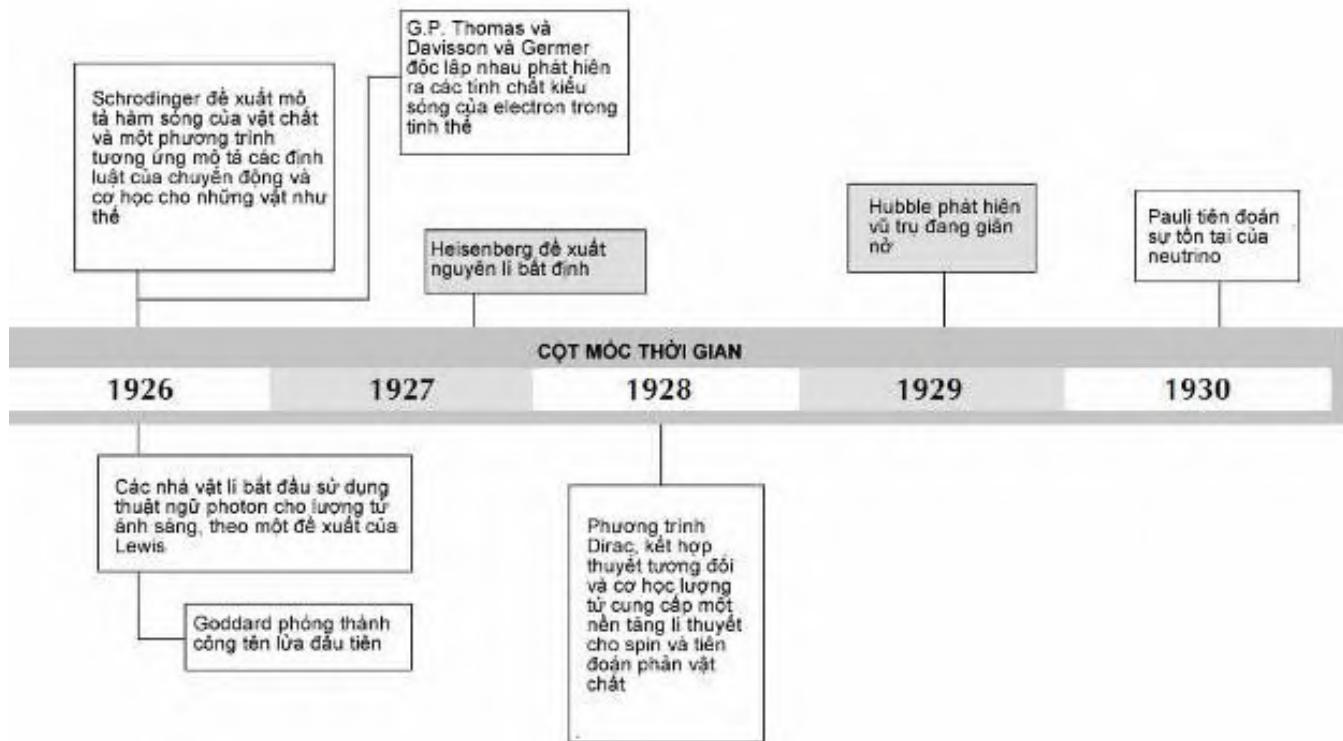
Các quỹ đạo electron trong lí thuyết cơ bản của Bohr được mô tả bằng một số lượng tử đơn,  $n$ , và tần số của một vạch cho trước trong quang phổ có thể tính ra từ giá trị  $n$  của các quỹ đạo trước và sau bước chuyển tiếp của electron. Để giải thích sự tách vạch phổ, Arnold Sommerfeld (1868 – 1951), một giáo sư vật lí tại trường đại học Munich ở Đức, đã mở rộng mô hình electron của Bohr trong các nguyên tử theo một cách đặc biệt quan trọng. Theo trình tự thời gian, sự mở rộng của Sommerfeld thuộc về chương 2, vì ông đã thực hiện phần nhiều công việc này từ năm 1913 đến 1916, nhưng nó được kê ra ở đây để trình bày thống nhất sự đơm hoa kết trái của vật lí lượng tử. Sự đổi mới của Sommerfeld là thêm cái tương đương với định luật chuyển động hành tinh thứ nhất của Kepler vào lí thuyết Bohr: ấy là quỹ đạo của chúng là những elip. Những quỹ đạo tròn, mà Bohr sử dụng trong các phép tính của ông, là trường hợp đặc biệt khi hai trực của elip bằng nhau.

Các phép tính của Sommerfeld xem  $n$  của Bohr là số *lượng tử* “chính”, và thêm một số lượng tử “phụ”,  $k$ , tương ứng với sự thuôn dài của elip. Đổi với quỹ đạo tròn,  $k$  bằng không, nhưng lí thuyết Sommerfeld còn cho phép những giá trị lớn hơn của  $k$  và do đó cho phép những quỹ đạo thuôn dài hơn. Cơ sở toán học của ông cho phép các quỹ đạo elip được mô tả bởi những giá trị  $k$  là toàn bộ những số nhỏ hơn  $n$ . Chẳng hạn, thay vì có một quỹ đạo tròn đơn đối với  $n = 3$ , toán học Sommerfeld cho phép một vòng tròn đối với  $k = 0$  và hai elip với độ thuôn dài tương ứng với  $k = 1$  và  $k = 2$ . Ông sớm bổ sung thêm một số lượng tử “tứ” thứ ba,  $m$ . Xem hạt nhân là một quả cầu có một trực nam-bắc, lí thuyết trên cho phép  $m$  nhận toàn bộ những giá trị số từ zero cho đến  $k$ . Các giá trị  $m$  tương ứng với những độ nghiêng khác nhau của quỹ đạo electron giữa cực và xích đạo. Giá trị của  $m$  dương hoặc âm, tùy thuộc vào quỹ đạo là cùng chiều hay ngược chiều kim đồng hồ khi nhìn từ phía trên cực bắc.

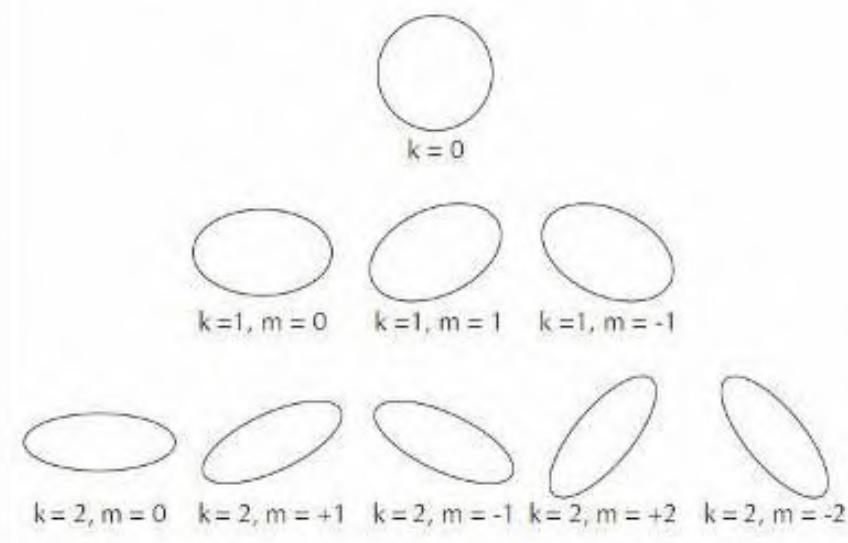
Khi không có điện trường hay từ trường ngoài, tất cả quỹ đạo electron trong nguyên tử hydrogen có cùng số lượng tử chính có năng lượng như nhau cho dù các giá trị  $k$  và  $m$  của chúng bằng bao nhiêu. Như vậy, thí dụ, tất cả electron rời từ quỹ đạo với  $n = 3$  xuống quỹ đạo với  $n = 2$  tạo ra lượng tử ánh sáng có tần số như nhau. Nhưng khi có mặt điện trường, thì các năng lượng quỹ đạo, và do đó tần số của lượng tử ánh sáng thu được, phụ



thuộc vào sự thuôn dài của quỹ đạo elip (đặc trưng bởi các giá trị  $k$  của chúng) trước và sau chuyển tiếp quỹ đạo. Điều đó mang lại kết quả là sự tách vạch phổ trong điện trường mạnh, một hiện tượng được quan sát thấy lần đầu tiên bởi nhà vật lí người Đức Johannes Stark (1874–1957) vào năm 1913 và đã không được giải thích thành công cho đến khi có những tính toán của Sommerfeld.



### HÌNH DẠNG QUÝ ĐẠO VÀ ĐỘ NGHĨENG TƯƠNG ỨNG VỚI NHỮNG SỐ LƯỢNG TỬ KHÁC NHAU



Để giải thích sự tách vạch phổ, Arthur Sommerfeld đã trau chuốt thuyết nguyên tử Bohr bằng cách thêm hai số lượng tử mới, ngoài số lượng tử chính  $n$ : số lượng tử phụ  $k$  tương ứng với sự thuôn dài của elip; và số lượng tử từ,  $m$ , tương ứng với góc trực diện của elip hợp với từ trường ngoài.



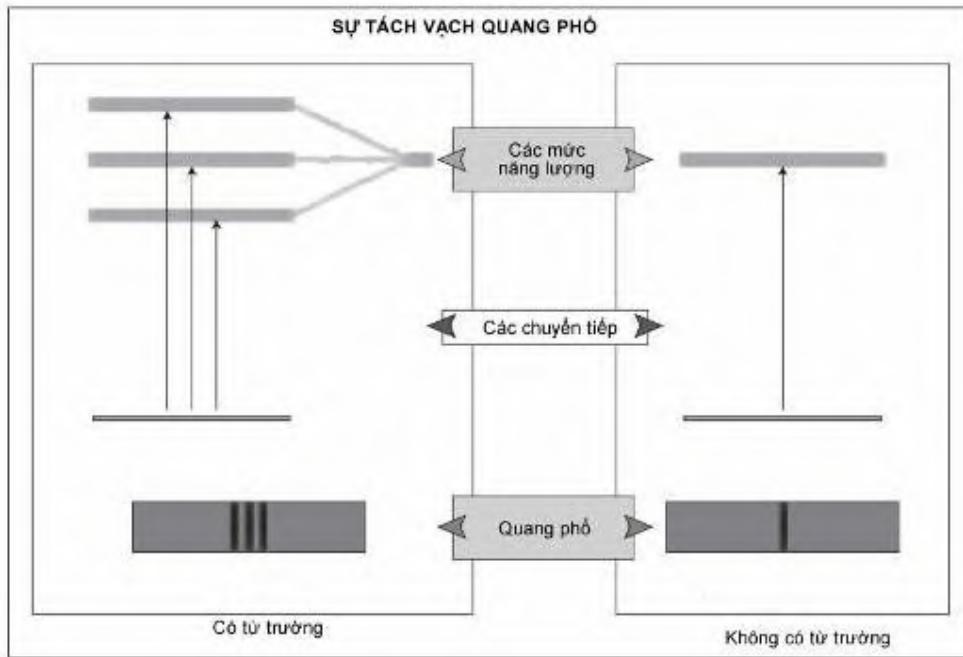
Số lượng tử từ giải thích cho sự tách vạch phổ trong từ trường, lần đầu tiên được chú ý tới bởi nhà vật lí người Hà Lan Pieter Zeeman (1865–1943) ở ánh sáng natri vào năm 1896. Lí thuyết Bohr-Sommerfeld giải thích hiệu ứng Zeeman ở hydrogen như sau: Một electron đang quay tròn có thể xem là một vòng dây điện nhỏ xíu và do đó tác dụng giống như một nam châm điện. Hướng của quỹ đạo, cùng chiều hoặc ngược chiều kim đồng hồ (tương ứng với giá trị dương hoặc âm của  $m$ ), xác định chiều định hướng của cực bắc và cực nam của nam châm điện nhỏ xíu đó. Khi có mặt từ trường ngoài, quỹ đạo cùng chiều kim đồng hồ có năng lượng khác với quỹ đạo giống hệt nhưng ngược chiều kim đồng hồ, vì nó nhận công để sắp thẳng hàng cực của nam châm điện với hướng trường ngoài. Trường ngoài càng lớn thì sự khác biệt càng nổi bật. Hiệu ứng Zeeman còn là lớn nhất khi độ nghiêng mặt phẳng quỹ đạo của electron (tương ứng với các giá trị của  $m$ ) là gần xích đạo nhất, và nhỏ nhất khi nó gần cực nhất.

Ba số lượng tử là đủ để giải thích đa số quang phổ vạch, nhưng vẫn còn đó những thách đố. Một trong số này là cái gọi là hiệu ứng Zeeman dị thường, trong đó từ trường phân tách các vạch phổ của một số nguyên tử thành nhiều nhánh hơn so với cái có thể giải thích bằng  $n$ ,  $k$ , và  $m$ . Một kết quả còn gây ấn tượng hơn nữa phát sinh từ một thí nghiệm của các nhà vật lí người Đức Otto Stern (1888–1969) và Walther Gerlach (1889–1979) vào năm 1922. Họ cho một chùm nguyên tử bạc đi qua một từ trường mạnh dần từ dưới lên trên theo phương thẳng đứng. Nếu như tổng từ hóa của mỗi nguyên tử là tổng các giá trị  $m$  của tất cả 47 electron của nó, thì họ trông đợi từ trường sẽ làm phân trải chùm tia hẹp thành một dải rộng. Thay vì vậy, nó lại tách thành hai chùm, mỗi chùm hẹp như chùm ban đầu. Sự từ hóa của mỗi nguyên tử bạc rõ ràng là như nhau. Nếu nó sắp thẳng hàng với từ trường, thì các nguyên tử bị lệch theo một chiều; nếu nó sắp ngược lại với trường thì chúng bị lệch theo chiều ngược lại.

Một số nhà vật lí lí thuyết, đáng chú ý nhất là nhà vật lí gốc Áo Wolfgang Pauli (1900–58) tại trường đại học Hamburg, Đức, đã cố gắng giải thích kết quả đó. Năm 1924, Pauli đề xuất rằng từ tính của một electron không chỉ thu được từ chuyển động quỹ đạo của nó giống như một hành tinh quay xung quanh Mặt trời, mà còn từ “spin” của nó hay chuyển động quay xung quanh trục riêng của nó. Thí nghiệm Stern-Gerlach đề xuất rằng mỗi electron có một số lượng tử *spin*,  $s$ , có thể nhận giá trị  $+1/2$  và  $-1/2$ , thường được hình dung là spin up và spin down. Trong một nguyên tử bạc, 46 trong số 47 electron trong nguyên tử bạc dường như tự nhóm lại thành 23 cặp up-down có sự từ hóa ngược nhau cộng lại bằng không. Electron còn lại sẽ cho nguyên tử spin toàn phần  $1/2$ , nó có thể là up hoặc down.

Vào năm sau đó, Samuel Goudsmit (1902–78) và George Uhlenbeck (1900–88) thuộc trường đại học Leyden ở Hà Lan đã chứng minh bằng toán học rằng spin electron có thể giải thích được hiệu ứng Zeeman dị thường. Với bằng chứng không thể chối cãi rằng spin là một tính chất vật lí thật sự của các electron, Pauli đã đưa ra giả thuyết táo bạo sau đây về sự ghép cặp rõ ràng của các electron spin-up và spin-down trong một nguyên tử: Không có hai electron trong một nguyên tử có cùng một trạng thái lượng tử, nghĩa là có cùng bộ bốn số lượng tử ( $n$ ,  $k$ ,  $m$ ,  $s$ ) như nhau. Ông gọi đây là nguyên lí loại trừ, và nó đưa ông đến giành giải Nobel vật lí năm 1945. Theo lí thuyết Pauli, các electron trong một nguyên tử chiếm đầy các mức năng lượng dưới dạng các cặp spin-up/spin-down từ mức năng lượng thấp nhất đổ lên, bắt đầu với  $n = 1$ ,  $k = 0$ ,  $m = 0$ ; rồi  $n = 2$ ,  $k = 0$ ,  $i = 0$ ; rồi  $n = 2$ ,  $k = 1$ ,  $m = 0$ ; rồi  $n = 2$ ,  $k = 1$ ,  $m = +/-1$ ; và cứ thế. Mức năng lượng tiếp theo, với số lượng tử chính  $n = 2$ , chứa tối 8 electron. Mức  $n = 3$  chứa 18 electron, 8 electron có  $k = 0$  hoặc 1, và 10 electron có  $k = 2$ .





Khi có mặt điện trường hoặc từ trường, các mức năng lượng electron đổi với mỗi giá trị của số lượng tử chính,  $n$ , tách thành tập hợp những mức năng lượng, mang lại tập hợp tương ứng các vạch phổ trong quang phổ nguyên tử. Một loại tách vạch phổ được gọi là hiệu ứng Zeeman dị thường vì nó không thể chỉ giải thích bằng các số lượng tử phụ và lượng tử từ,  $k$  và  $m$ . Nó khiến Wolfgang Pauli đề xuất ra tính chất của spin, số lượng tử tương ứng  $s$  của nó, và nguyên lí loại trừ giải thích bằng tuần hoàn các nguyên tố.

Pauli bắt đầu xem xét một hình ảnh nhắc ông tới bảng tuần hoàn các nguyên tố. Các chất khí tro helium, neon, argon, krypton, xenon, và radon có 2, 10, 18, 36, 54, và 86 electron, tương ứng với các mức năng lượng đã lắp đầy lên tới những giá trị  $n/k$  nhất định. Helium, chẳng hạn, có hai electron  $n = 1/k = 0$ , một với spin up và một với spin down. Neon là helium cộng thêm các electron  $n = 2$ . Argon là neon cộng thêm các electron  $n = 3$  với  $k = 0$  hoặc 1, và cứ thế. Những chất khí tro này có thể cho là những *lớp vỏ* kín gồm các electron đã ghép cặp. Những nguyên tố khác có những electron nằm bên ngoài những lớp vỏ khép kín đó, cái xác định hóa trị và ánh hưởng đến các thức chúng hình thành nên những hợp chất và tính chất. Thí dụ, các kim loại kiềm (sodium, potassium, rubidium, cesium, francium) đều có nhiều hơn lớp vỏ khép kín một electron và hành xử rất giống nhau trong các tương tác hóa học. Tương tự, các phi kim halogen (fluorine, chlorine, bromine, iodine, và astatine) thiếu một electron để có lớp vỏ khép kín.

Như vậy, những đổi mới của Pauli về số lượng tử spin,  $s$ , và nguyên lí loại trừ làm được nhiều việc hơn là giải thích các hiệu ứng từ, ví dụ như hiệu ứng Zeeman dị thường và thí nghiệm Stern-Gerlach. Chúng còn làm sáng tỏ một câu đố cũ đã nửa thế kỷ tuổi; chúng là định luật tự nhiên chi phối hành trạng tuần hoàn của các nguyên tố. Với những sự tinh chỉnh của Sommerfeld và Pauli, mô hình nguyên tử Bohr đã đi một chặng đường dài. Tuy nhiên, nhiều nhà vật lý vẫn gặp rắc rối bởi một vấn đề chính chưa được giải trong thuyết lượng tử, vấn đề đã ám ảnh họ kể từ khi Rutherford lần đầu tiên đề xuất mẫu hành tinh nguyên tử. Theo hệ phương trình Maxwell, các electron đang quay tròn sẽ phát ra sóng điện từ. Tại sao yêu cầu đó lại bị loại trừ với những quỹ đạo nhất định? Tương tự, bản thân nguyên lí loại trừ có vẻ như tùy tiện. Bằng chứng quang phổ cho thấy rõ ràng rằng không có hai electron nào có thể chiếm cùng một trạng thái lượng tử, nhưng không có điểm nào trong lí thuyết đề xuất tại sao nó phải như thế cả.



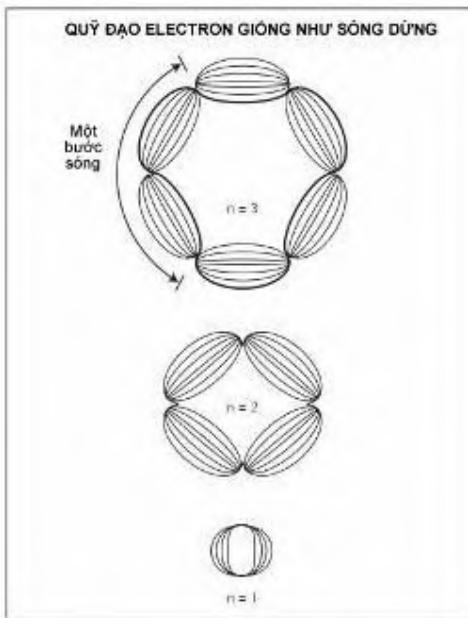
Để trả lời câu hỏi bức xạ, họ chuyển sang một ý tưởng mang tính cách mạng để xuất vào năm 1924 bởi chàng trai trẻ người Pháp tên là Louis de Broglie (1892–1987). De Broglie bắt đầu bởi việc lưu ý rằng nền vật lí gần đây đã chịu một sự giải thích lại triệt để về bản chất của năng lượng điện tử (ví dụ như ánh sáng). Trong hàng thế kỉ, người ta đã đi tìm câu trả lời cho một câu hỏi: Ánh sáng là sóng hay là một dòng hạt? Thí nghiệm nổi tiếng năm 1801 của Young đã thuyết phục họ rằng ánh sáng là một hiện tượng sóng, và hệ phương trình Maxwell cho thấy sóng ánh sáng truyền là sóng điện từ. Quan điểm đó vẫn vững chắc mãi cho đến những năm áp cuối của thế kỉ 19, khi phát minh toán học của Planck – lượng tử - cho thấy ánh sáng có bản chất hạt. Không lâu sau đó, việc khám phá ra hiệu ứng quang điện đã đưa Einstein đến chỗ tuyên bố rằng câu trả lời cho câu hỏi là-cái-này-hay-cái-kia về ánh sáng là “cả hai”.

Nếu như các sóng điện từ, ví dụ như ánh sáng, có thể hành xử giống như những dòng hạt, thì những hạt đó có mang xung lượng cũng như năng lượng hay không? Thuyết tương đối Einstein nói là có, nhưng đến năm 1923 thì xung lượng của lượng tử ánh sáng mới được quan sát thấy trong một thí nghiệm. Nhà vật lí người Mĩ Arthur Holly Compton (1892–1962; giải Nobel vật lí 1927) đang nghiên cứu một chùm tia X hẹp truyền qua các khối graphite. Toàn bộ tia X tới có tần số bằng nhau, nhưng tia X đi ra thì không. Graphite đã làm phân tán chùm tia, và tia X đi ra có tần số thấp hơn tia X tới. Chùm tia X bị tán xạ ra khỏi hướng ban đầu của nó càng xa, thì độ giảm tần số của nó càng lớn. Nó giống như thể là ông chiếu ánh sáng tím đơn sắc qua một miếng thủy tinh và tạo ra một phô phản tán với màu tím ở chính giữa và các dải màu phản tán ra phía ngoài bắt đầu với màu lam, tiến triển qua màu lục, vàng, cam, và cuối cùng đạt tới màu đỏ ở ngoài cùng.

Tia X rõ ràng đang bị tán xạ khỏi cái gì đó và lấy của nó nhiều năng lượng hơn khi góc tán xạ lớn hơn. Vậy thì chúng tương tác với cái gì trong graphite, và chúng tương tác như thế nào? Compton quả quyết rằng tương tác đó có thể xem là sự va chạm giữa hai hạt, một lượng tử tia X đang chuyển động ở tốc độ ánh sáng và một electron đang chuyển động chậm hơn rất nhiều nên ông có thể xem là nó đang đứng yên. Đối với lượng tử tia X, ông sử dụng năng lượng cho bởi định luật Planck và xung lượng do thuyết tương đối tiên đoán. Sau đó, ông áp dụng các nguyên lí bảo toàn xung lượng và năng lượng để tính ra mối liên hệ giữa năng lượng của lượng tử đi ra và hướng của nó. Kết quả của ông phù hợp với cái ông trông thấy trong thí nghiệm của ông. Như vậy, thí nghiệm Compton đã chứng minh rằng lượng tử ánh sáng có năng lượng và xung lượng giống như bất kì loại hạt nào khác (Năm 1926, các nhà khoa học đang gọi lượng tử ánh sáng là photon, tên gọi do nhà hóa học người Mĩ Gilbert Lewis [1875–1946] đề xuất).

Với bản chất lưỡng tính sóng hạt của lượng tử ánh sáng đã được xác lập, de Broglie đề xuất rằng lưỡng tính sóng hạt tương tự cũng đúng đối với electron hay bất kì cái gì khác mà các nhà vật lí thường mô tả đặc trưng là các hạt. Sau đó, ông phát triển một lí thuyết sử dụng sóng electron để loại bỏ bài toán các quỹ đạo không bức xạ. Ông viết lại công thức Planck cho lượng tử ánh sáng ở một dạng thức khác. Công thức của ông liên hệ bước sóng với xung lượng của một lượng tử thay vì năng lượng của nó. Rồi ông áp dụng công thức đó cho các electron, và kết quả thật bất ngờ. Đối với nguyên tử hydrogen, chu vi của quỹ đạo electron có năng lượng thấp nhất của Bohr đúng bằng bước sóng của electron đó. Đối với quỹ đạo thấp nhất thứ hai, chu vi bằng hai bước sóng, và cứ thế. Chu vi của quỹ đạo thứ  $n$  của Bohr đúng bằng  $n$  lần bước sóng của một electron trong quỹ đạo đó.





Louis de Broglie đã đưa các nhà vật lí đến một lộ trình mới khi ông mở rộng bản chất lưỡng tính sóng-hạt của ánh sáng cho đối tượng vật chất. Ông đề xuất rằng mỗi electron có một bước sóng phụ thuộc vào xung lượng của nó, và các quỹ đạo được phép của electron trong nguyên tử tương ứng với những sóng dừng tương tự các phách tạo ra bởi một nhạc cụ.

Nếu electron có các tính chất sóng, thì điều có ý nghĩa là các electron ở trong những quỹ đạo chứa toàn bộ những bước sóng. Tương tự như hiện tượng *sóng dừng* hoặc *công hưởng* phổ biến trong thế giới vật lí. Chẳng hạn, một thùng organ tạo ra một âm cơ bản tương ứng với một bước sóng bằng khoảng cách giữa hai đầu mở của nó. Nó còn tạo những họa âm mang lại âm sắc riêng của nó, một hỗn hợp các nốt có bước sóng ngắn hơn chính xác hai, ba, bốn lần, hoặc một số lần lớn hơn khoảng cách đó.

Nếu electron là sóng dừng thay vì một vật đang quay tròn, thì không cần phải duy trì vị trí của nó trong nguyên tử, và do đó nó không bị gia tốc. Không có sự gia tốc, thì chẳng có sự bức xạ. Ý tưởng của De Broglie đã loại trừ một phản bác nghiêm trọng đối với mẫu hành tinh nguyên tử, nhưng phải trả giá là thay thế các hạt electron bằng sóng electron. Đa số các nhà vật lí chống lại ý tưởng đó vì nó đi ngược lại trực giác của họ về cấu trúc hạt của vật chất. Tuy nhiên, họ vẫn chấp nhận bản chất lưỡng tính của ánh sáng vì các thí nghiệm của họ cho họ biết như thế. Trước khi hạ uy tín của giả thuyết De Broglie, họ biết đã đến lúc xem xem nó có thể dẫn tới cái gì.

Họ lần theo nó theo hai hướng: một lộ trình toán học và một lộ trình thực nghiệm. Năm 1926, nhà vật lí người Đức Erwin Schrödinger (1887–1961) tìm ra một cách xem xét các sóng. Thay vì mô tả vị trí của một hạt là một điểm trong không gian, ông mô tả nó là một *hàm sóng*. Hàm sóng là một biểu thức toán học khi vẽ ra là một tập hợp những gợn sóng đồng tâm xung quanh một điểm tròn trong không gian. Điểm đó sẽ là vị trí của vật nếu nó là một hạt. Nhưng những gợn sóng trải ra xung quanh điểm đó, hàm ý vật còn có sự hiện diện kiểu sóng, rộng hơn. Giống hệt như các định luật chuyển động của Newton và Einstein tiên đoán đường đi chính xác của một hạt, phương trình Schrödinger cho phép các nhà vật lí mô tả hàm sóng tương ứng và cách thức nó biến đổi theo thời gian.

Phương trình sóng tỏ ra rất thành công, và nhiều nhà vật lí đã thích nghi với cách giải thích hàm sóng loại bỏ sự khác biệt giữa hạt và sóng. Trong cách thức mới nhìn nhận vạn vật, hạt và sóng là như nhau, mặc dù người ta cảm nhận chúng khác nhau. Nếu hàm sóng bị phân tán, thì người ta thấy chúng dưới dạng sóng. Nhưng, vào cuối những năm 1920, cho dù người ta có cảm nhận chúng như thế nào, thì hành trạng của các hàm sóng đã biết tuân theo các định luật của một ngành vật lí mới gọi là  *cơ học lượng tử*.





Erwin Schrödinger đã dựa trên lưỡng tính sóng-hạt de Broglie thiết lập nên một phương trình trung tâm của cơ học lượng tử. (Ảnh: AIP Meggers Gallery of Nobel Laureates)

## Tìm hiểu vũ trụ lượng tử

Mặc dù cơ học lượng tử đã cung cấp một nền tảng lí thuyết, nhưng nhiều nhà vật lí không thể nào chấp nhận bản chất lưỡng tính của electron mà không có sự xác nhận thực nghiệm. Điều đó mất không lâu đã xuất hiện. Những dấu hiệu đầu tiên xuất hiện năm 1926, khi các nhà vật lí người Mĩ Clinton Davisson (1881–1958) và Lester Germer (1896–1971) tìm thấy những kết quả có phần khó hiểu trong một thí nghiệm nghiên cứu cấu trúc tinh thể của nickel. Họ cho phản xạ các electron khỏi bề mặt của một mẫu kim loại và nhận thấy những biến đổi không thể giải thích nổi trong những kết quả của họ. Tại một hội nghị khoa học, Davisson đã mô tả các thí nghiệm của ông với những nhà vật lí khác, và một số người đề xuất rằng có lẽ ông đang trông thấy một hành trạng kiêu sóng. Năm sau đó, Davisson và Germer đã có câu trả lời. Các nguyên tử nickel tạo thành những lớp bên trong tinh thể, và rõ ràng họ đã quan sát thấy hình ảnh giao thoa tạo bởi sự phản xạ các sóng electron từ những lớp khác nhau.

Trong khi đó, nhà vật lí người Anh George P. Thomson (1892–1975), con trai của J.J Thomson nổi tiếng, đang làm thí nghiệm với các chùm electron đi qua những tinh thể rất mỏng. Ông cũng quan sát thấy sự giao thoa. Trong sự kì quặc của lịch sử, Thomson, người có cha đã từng giành giải Nobel vật lí năm 1906 cho việc chứng minh tia ca-tôt không phải là sóng mà là một dòng hạt, giờ lại cùng chia sẻ giải thưởng Nobel năm 1937 với Davisson cho việc phát hiện ra rằng chính những hạt ấy ruột cuộc lại có tính chất sóng.

Như thường xảy ra trong vật lí lí thuyết, có nhiều hơn một phương pháp toán học để mô tả các hiện tượng lượng tử. Trong khi Schrödinger đang phát triển cơ học sóng của ông, thì một nhà vật lí người Đức khác tên là Werner Heisenberg (1901–76) đã bắt đầu sử dụng một kĩ thuật khác dựa trên các ma trận và vec-tơ. Một ma trận là một sự sắp xếp hàng cột của những con số hay những biểu thức toán học, và vec-tơ là tập hợp những con số hoặc biểu thức sắp xếp trong một hàng hoặc cột. Loại vec-tơ quen thuộc nhất mô tả khoảng cách và hướng từ một điểm trong không gian tới một điểm khác bằng ba con số tương ứng với sự chênh lệch tính theo trục đông-tây, bắc-nam và trên-dưới.



Bất cứ cái gì phương trình Schrödinger tính được thì công thức Heisenberg cũng có thể tính được, nhưng những phương pháp toán học khác nhau mang lại những cái nhìn vật lí khác nhau. Phương pháp Heisenberg không yêu cầu các hạt có bản chất sóng, nhưng nó dẫn tới những kết luận tương tự. Năm 1927, Heisenberg đưa ra một trong những kết luận nổi bật nhất về vũ trụ lượng tử và mang lại tầm quan trọng mới cho hằng số Planck. Nó được gọi là *nguyên lí bất định*, và nó chỉ dẫn cho các nhà vật lí tiếp tục tiến vào những địa hạt mới, kể cả ngày nay.

Không lâu sau, Heisenberg lưu ý thấy bản chất lượng tử của vũ trụ đặt ra những giới hạn trên cách thức đo chính xác vị trí và xung lượng (hay vận tốc) của một vật. Mọi phép đo vị trí hoặc vận tốc của một vật đều không xác định vì không có thiết bị nào là hoàn hảo, nhưng đó không phải là cái nguyên lí bất định muôn nói. Nguyên lí bất định có nghĩa là có một giới hạn tự nhiên đối với cách thức những đại lượng đó có thể được đo chính xác đồng thời, cho dù thiết bị có được chế tạo tốt bao nhiêu chăng nữa.

Một cách nhìn vào nguyên lí bất định là như thế này: Hoạt động đo ảnh hưởng đến đại lượng đang được đo. Để đo vị trí hoặc xung lượng của một, một thiết bị phải tương tác với vật đó – nghĩa là tác dụng ít nhất là một lực rất nhỏ lên nó. Tương tác đó làm thay đổi cả vị trí và xung lượng của vật, mang lại sai số cho cả hai. Vấn đề đó không thể giải quyết bằng cách làm cho tương tác yếu hơn. Trong khi làm như thế sẽ giảm sai số gây ra bởi tương tác, nhưng nó cũng sẽ tạo ra một tín hiệu yếu hơn, làm tăng sai số của bản thân thiết bị. Một cách khác nghĩ tới nguyên lí bất định là hãy xét xem việc đo đồng thời vị trí và xung lượng của một vật có ý nghĩa gì. Đo xung lượng nghĩa là đo tốc độ mà vị trí của nó đang thay đổi. Để tăng độ chính xác của một thiết bị xác định vị trí của vật, thì thiết bị phải phát hiện ra hạt trong một khoảng thời gian rất ngắn. Một tương tác ngắn đòi hỏi độ nhạy cao hơn, gây ra sai số lớn hơn ở xung lượng đo được của vật. Tương tự, một thiết bị đo xung lượng chính xác hơn đòi hỏi tương tác với vật trong một khoảng thời gian nào đó, vì thế dẫn tới sai số lớn hơn về vị trí của nó.



Cách tiếp cận ma trận của Werner Heisenberg với cơ học lượng tử bổ sung cho phương trình Schrödinger và dẫn đến nguyên lí bất định nổi tiếng thường mang tên ông. (Ảnh: AIP Emilio Segrè Visual Archive)

Heisenberg biểu diễn nguyên lí bất định ở dạng thức toán học, nhưng nó có thể được phát biểu như sau: Độ bất định về vị trí nhân với độ bất định về xung lượng không bao giờ nhỏ hơn hằng số Planck. Đối với một electron trong nguyên tử, độ bất định vị trí của nó tương ứng với cỡ quỹ đạo của nó hay bước sóng của nó, cho nên đối với mọi mục đích thực tiễn, nó có thể được xem là sóng. Việc thử xem electron là một hạt bằng cách đo vị trí của nó chính xác hơn sẽ có một hệ quả kì lạ. Nguyên lí bất định thúc ép một sự bất định lớn về xung lượng của electron đến mức quỹ đạo của nó không thể nào xác định được. Phương pháp Heisenberg không áp đặt lưỡng tính sóng-hạt, nhưng nó có hệ quả tương tự.

Heisenberg còn nhận ra một mối liên hệ tương tự giữa độ bất định năng lượng của một vật và khoảng thời gian cần thiết để đo năng lượng đó. Sau này, trong thế kỉ 20, các nhà vật lí sẽ sử dụng nguyên lí đó khi họ phát triển các lí thuyết vũ trụ học mô tả nguồn gốc của vũ trụ từ cái rõ ràng chẳng có gì. Nó cũng sẽ chỉ dẫn cho họ trong việc tìm hiểu bản chất của các lực cơ bản liên kết các nguyên tử và hạt nhân lại với nhau. Với công trình này, Heisenberg được trao giải Nobel vật lí năm 1932.

Cơ sở toán học của Heisenberg và Schrödinger còn đưa đến một lời giải thích của nguyên lí loại trừ. Khi các nhà vật lí sử dụng các phương trình trên xác định hàm sóng của những hệ hạt có spin -1/2 giống như các electron trong nguyên tử, thì những nghiệm khả dĩ có thể có không thể nào hơn một electron trong mỗi trạng thái lượng tử. Nguyên lí loại trừ trực tiếp tuân theo phép cộng spin với những bộ số lượng tử cần thiết để mô tả một trạng thái trong một nguyên tử.

Ngoài công trình của họ về thuyết lượng tử vào thập niên 1920, Heisenberg và Pauli còn có những đóng góp quan trọng cho việc tìm hiểu từ tính của vật chất. Công trình của Heisenberg đặc biệt quan trọng đối với việc tìm hiểu hiện tượng *sắt từ*, hay khả năng của những chất liệu như sắt phát triển từ tính vĩnh cửu. Pauli đã nghiên cứu về sự thuận từ, một tính chất phổ biến của nhiều chất khi đặt trong từ trường. Chúng bị từ hóa tỉ lệ với cường độ của trường ngoài, nhưng từ tính biến mất ngay khi trường không còn nữa.

Cả hai dạng từ tính đó là do spin của electron. Trường ngoài tạo ra một lực có xu hướng sắp thẳng hàng các spin, dẫn tới hành trạng thuận từ. Nhưng trong những liên kết tinh thể nhất định, Heisenberg lưu ý, các cực từ của electron sẽ sắp thẳng hàng với nhau, tạo ra những vùng từ tính vẫn còn tồn tại ngay cả khi trường ngoài tạo ra sự sắp thẳng hàng đã bị loại bỏ. Hiện tượng đó là nguyên nhân của tính sắt từ.

## Thuyết tương đối, spin, phân rã beta, và các hạt đã tiên đoán

Khi Schrödinger phát triển phương trình sóng của ông, ông đã bắt đầu với mối liên hệ toán học giữa năng lượng và xung lượng phát sinh từ các định luật chuyển động của Newton. Mặc dù lí thuyết tỏ ra thành công, nhưng các nhà vật lí nhận thấy nó cần phải được sửa đổi vì những lí do mà Einstein phải phát biểu lại các định luật Newton trong lí thuyết tương đối của ông. Hơn nữa, phương trình Schrödinger, khi áp dụng cho các electron, biểu diễn chuyển động quỹ đạo của chúng, tương ứng với các số lượng tử  $n$ ,  $k$  và  $m$ , nhưng nó không nói về spin.

Các nhà vật lí lí thuyết tự hỏi không biết hai thiếu sót đó có liên hệ với nhau không, và vào năm 1928, nhà vật lí người Anh Paul A. M. Dirac (1902–84) đã đi tới một phương trình sóng tương đối tính cho thấy chúng có liên quan. Mặc dù Dirac không bao gồm spin vào trong những tính toán của ông, nhưng phương trình của ông, khi áp dụng cho một electron trong từ trường, tiên đoán spin sẽ tồn tại – rất kết quả rất hài lòng. Nhưng đó không phải là tiên đoán duy nhất của nó. Mỗi hàm sóng thỏa mãn công thức Dirac là bốn chiều thay vì ba chiều, kết hợp không gian và thời gian thành không thời gian giống như thuyết tương đối rộng đã làm. Ngoài ra, mỗi nghiệm hàm sóng ghép với nghiệm khác cũng



thỏa mãn phương trình Dirac. Nghiệm thứ hai biểu diễn một hạt giống hệt với hạt thứ nhất nhưng mang điện tích ngược lại. Ngày nay, chúng ta gọi những hạt ấy là *phản vật chất*.

Dirac, giống như đa số các nhà vật lí, phản ứng trước tiên đoán kì lạ này bằng cách gọi nó là một quái dị toán học chẳng có gì để làm với vũ trụ thực. Ông đã sai! Dẫn giải của ông hóa ra giống một cách kì lạ với phản ứng của Max Planck trước phát minh toán học của ông về lượng tử ánh sáng vào năm 1900. Năm năm sau phát minh ra lượng tử bằng toán học của Planck, Einstein đã hiện thực hóa rằng lượng tử ánh sáng là có thực và đã được phát hiện ra trong hiệu ứng quang điện. Tương tự, như chương tiếp theo lưu ý, hạt phản vật chất đầu tiên, phản electron tích điện dương (hay positron), được phát hiện ra vào năm 1932, 4 năm sau khi Dirac phát triển phương trình của ông. Năm sau đó, ông và Schrödinger cùng nhận Giải Nobel Vật lí.

Trước khi thập niên thứ ba của thế kỉ mới kết thúc, Pauli còn tiên đoán một hạt hạ nguyên tử chưa được phát hiện ra. Trong trường hợp của ông, nó không xuất phát từ một quái dị toán học, mà từ sức tưởng tượng lắc léo của ông. Điều đó thường xảy ra trong vật lí học, nơi sự ngụy biện và tính độc đáo thường đi song hành với nhau, đặc biệt khi các kết quả thực nghiệm đòi hỏi một phương pháp mới nhìn nhận thế giới vật chất. Trong trường hợp này, các thí nghiệm là nghiên cứu năng lượng mà các hạt beta phát ra từ các chất phóng xạ. Khi một chất phóng xạ nhất định phát ra những hạt alpha, chúng đều mang năng lượng như nhau. Năng lượng như nhau cũng đúng với các tia gamma. Nhưng phân rã beta thì khác: Các hạt phát ra có một ngưỡng năng lượng từ gần bằng không cho đến một giá trị cực đại.

Vì định luật bảo toàn năng lượng đã được xác lập quá tốt, nên các nhà vật lí nhận thấy năng lượng của bức xạ phát ra phải tương ứng với sự thay đổi khối lượng của hạt nhân phóng xạ. Hạt nhân tự biến đổi trong khi phát xạ, bắt đầu là một đồng vị với một khối lượng nhất định và kết thúc là một đồng vị khác với khối lượng nhỏ hơn, và khối lượng thoát thể hiện năng lượng của bức xạ phát ra.

Vậy thì tại sao năng lượng của toàn bộ những hạt beta phát ra lại không bằng nhau? Pauli đi đến cái ông gọi là “phương thuốc tuyệt vọng” trong một lá thư ông gửi tới những người tham dự một hội nghị năm 1930 ở Tübingen, Đức. Ông viết thư vì ông không thể tham dự cuộc họp, nhưng ông muốn trình bày quan điểm của mình. Giả thuyết của ông là trong phân rã beta, hạt nhân phân tách thành ba phần, chứ không phải hai phần, nhưng mảnh thứ ba chưa được phát hiện ra. Hạt chưa phát hiện ra đó phải trung hòa điện và có khối lượng rất nhỏ. Hơn nữa, vì cơ học lượng tử đưa các nhà vật lí đến với những định luật bảo toàn mới, trong đó có sự bảo toàn spin, nên hạt chưa biết phải mang spin  $\frac{1}{2}$ . Cuối cùng, nó phải dễ dàng đi xuyên qua vật chất với các tương tác hiếm khi xảy ra nên chưa từng được trông thấy. Trong lá thư của ông, Pauli thừa nhận “Hiện tại, tôi chưa đủ tin tưởng bản thân mình để công bố bất cứ điều gì về quan điểm này”, nhưng ông nghĩ những người tại hội nghị có thể đi tới một phương pháp phát hiện ra những hạt trung hòa, nhỏ xíu này mà ông gọi là “neutron”. (Hạt neutron nặng hơn nhiều mà Rutherford tiên đoán vẫn chưa được phát hiện ra, cho nên cái tên vẫn không đòi hỏi một hạt hạ nguyên tử đã biết nào) Đó là một đề xuất đầy khêu gợi sẽ sản sinh nhiều thành quả trong thập niên tiếp theo – nhưng khi đó hạt chưa biết trên sẽ có một cái tên khác, đó là *neutrino*.

## Vật lí hạ nguyên tử

Mặc dù sự nở rộ của cơ học lượng tử đã áp đảo nền vật lí học trong thập niên 1920, nhưng nghiên cứu quan trọng cũng đang diễn ra trong những lĩnh vực khác. Phòng thí nghiệm Cavendish ở trường đại học Cambridge, dưới sự chỉ đạo của Rutherford, tiếp tục vai trò hàng đầu của nó trong nghiên cứu các hiện tượng hạ nguyên tử. Đặc biệt, các nhà



khoa học Cavendish đã cải tiến thiết bị và kỹ thuật quan sát đường đi của các tia phóng xạ và những hạt hạ nguyên tử khác. Phòng thí nghiệm trên đã dẫn đầu những kỹ thuật đó ít nhất là từ năm 1911, khi Charles T. R. Wilson (1869–1959) phương trình *buồng mây* đầu tiên. Ông xây dựng nó dựa trên một khái phá ông đã thực hiện trong một dự án khí tượng học hồi cuối những năm 1890. Ông muốn tìm hiểu cách thức những giọt nước hình thành trong khí quyển, nên ông đã chế tạo một cái buồng chứa đầy không khí rất ẩm, sau đó làm cho nó lạnh đi nhanh chóng bằng cách cho nó giãn nở. Ông để ý thấy các giọt nước hình thành đều nhất xung quanh các ion. Vì các tia phóng xạ làm ion hóa không khí mà chúng đi qua, nên buồng mây sẽ cho biết đường đi của chúng.

Buồng mây trở thành một công cụ quan trọng trong thập niên 1920 khi các nhà khoa học Cavendish phát triển những phương thức cải tiến điều khiển và tự động hóa sự hoạt động của nó, và phát minh của Wilson được ghi nhận với giải thưởng Nobel vật lí năm 1927. Trong khi một số nhà vật lí tiếp tục sử dụng nó để nghiên cứu sự phóng xạ và các va chạm giữa hạt nhân và những hạt alpha hoặc proton, thì những người khác đang khai phá những ứng dụng khác. Đặc biệt, năm 1930, tại Caltech (Viện Công nghệ California) giáo sư Robert Millikan (1868–1953; người giành giải Nobel vật lí năm 1923 cho một thí nghiệm năm 1909 đo điện tích mang bởi các hạt electron) đã giao cho một nghiên cứu sinh tên là Carl Anderson (1905–91) nhiệm vụ phát triển một buồng bợt để nghiên cứu tia vũ trụ. Các kết quả, sẽ mô tả trong chương sau, thật xuất sắc.

## Các sao, thiên hà, và tên lửa

Hai khai phá thuộc lĩnh vực thiên văn học trong thập niên 1920 hóa ra đặc biệt quan trọng đối với xu hướng vật lí sau này trong thế kỉ 20. Khảo sát bầu trời một cách có hệ thống của nhà thiên văn học người Mĩ Edwin Hubble's (1889–1953) đã đưa ông đến những kết luận đầy sức mạnh. Năm 1927, sau khi quan sát những thiên hà xa xôi trong mỗi hướng, ông nhận thấy Mặt trời phải là bộ phận của một thiên hà, và toàn bộ những ngôi sao trên bầu trời đêm cũng là bộ phận của thiên hà đó trông từ điểm nhìn trên Trái đất. Dải Ngân hà, nằm vắt qua bầu trời đêm và mang lại cho thiên hà cái tên của nó, là một dải những ngôi sao ở xa tại rìa thiên hà. Khi Hubble đo phô của những thiên hà khác, ông phát hiện thấy, với ngoại lệ đáng chú ý là các thiên hà ở gần như tinh vân Tiên Nữ và các đám mây Magellan, ánh sáng của tia những thiên hà khác đều bị lệch về phía đỏ. Cõi dịch về phía đỏ của thiên hà cho nhà thiên văn biết nó và Dải Ngân hà đang chuyển động ra xa nhau bao nhanh. Hubble phát hiện thấy những thiên hà càng ở xa thì bị dịch về phía đỏ càng nhiều so với những thiên hà ở gần hơn và do đó đang tiến ra xa nhanh hơn. Hơn nữa, tốc độ lùi ra xa tỉ lệ với khoảng cách: So sánh độ dịch đỏ của hai thiên hà, thiên hà nằm cách xa Dải Ngân hà một khoảng gấp đôi thiên hà kia, thì thiên hà ở xa hơn đang lùi ra xa nhanh gấp đôi thiên hà kia; thiên hà ở xa gấp ba thì lùi ra xa với tốc độ nhanh gấp ba.

Năm 1929, Hubble kết luận rằng sự tỉ lệ giữa độ dịch đỏ và khoảng cách là bằng chứng cho thấy vũ trụ đang giãn nở. Có lẽ hằng số vũ trụ học Einstein rõ cuộc là không cần thiết. Tại thời điểm này trong thế kỉ 20, vẫn còn quá sớm để phát biểu kết luận đó một cách chắc chắn. Tuy nhiên, rõ ràng là khai phá của Hubble đã mở ra một lĩnh vực nghiên cứu hoàn toàn mới, ngày nay gọi là vũ trụ học, hay nghiên cứu bản thân vũ trụ.

Trong khi đó, tại trường đại học Harvard, Cecelia Payne (1900–79; sau này là Payne-Gaposchkin) đang làm luận án tiến sĩ của cô, dưới sự cố vấn của nhà thiên văn học danh tiếng Henry Norris Russell (1877–1957). Phân tích của cô về quang phổ mặt trời đưa cô đến kết luận rằng Mặt trời chủ yếu cấu thành từ hydrogen và helium. Kết luận đó mâu thuẫn với nghiên cứu trước đó của Russell và những nhà khoa học lỗi lạc khác, họ đã xác định Mặt trời gồm chủ yếu là sắt. Rồi vào năm 1925, khi đến lúc bảo vệ luận án của mình



(một bài luận dài cỡ quyển sách trình bày dự án nghiên cứu của cô) trước hội đồng thẩm vấn gồm các vị giáo sư, cô phải đối mặt trước một cù tọa không được thiện chí. Họ không thể bác bỏ rằng kết luận của cô là phù hợp với dữ liệu của cô, nhưng họ buộc cô phải thêm một phát biểu vào luận án rằng có thể một số hiện tượng khác cũng là nguyên do. Nếu cô không chấp thuận họ và khăng khăng rằng Mặt trời không phải chủ yếu gồm toàn sắt, thì cô sẽ không được cấp bằng tiến sĩ.

Câu chuyện đó làm sáng tỏ thêm về vai trò thứ yếu của các nhà khoa học nữ tại thời điểm đó trong lĩnh vực nghiên cứu sao. Vì cô Cecelia Payne là nữ, nên người ta không yêu cầu cô phải rút lại những kết luận của mình. Cách đánh giá luận án của cô là một vết đen trong sự nghiệp nếu không thì đã rất xuất chúng của Russell. Nhưng với danh dự của mình, sau này ông đã công nhận sai lầm của mình và đã tiến hành khắc phục thiệt hại. Ngay khi ông thấy nghiên cứu khác ủng hộ cho các kết luận ban đầu của Payne, ông đã trở thành người ủng hộ mạnh mẽ công trình nghiên cứu của cô, cái cuối cùng đã dẫn đến sự hiểu biết sâu sắc chu kì sống của các ngôi sao và nguồn gốc của các nguyên tố.

Thập niên 1920 cũng đáng nhớ với sự ra đời của tên lửa học. Các nhà khoa học ở nhiều nước đang tích cực phát triển các tên lửa hóa học, nhưng Robert Goddard (1882–1945) của nước Mỹ được công nhận phóng thành công tên lửa đầu tiên vào năm 1926. Tên lửa học sẽ có những ứng dụng nổi trội sau này trong thế kỷ 20, cả trong lĩnh vực ứng dụng quân sự lẫn trong thám hiểm vũ trụ dân sự.

## Tìm hiểu hàm sóng

Phương trình sóng nổi tiếng của Erwin Schrödinger xây dựng trên một cách đặc biệt mô tả chuyển động của một vật trong một trường lực, ví dụ như một hành tinh chuyển động trong trường hấp dẫn của Mặt trời hay một electron chuyển động trong điện trường của một hạt nhân. Trong cả hai trường hợp, trường lực có thể xem là một giếng hình nón với những mặt cong có hình dạng đặc biệt gọi là hyperbol. Vật có thể xem là một quả cầu đang lăn không ma sát theo thành bên trong của giếng. Không có ma sát, cơ năng toàn phần của vật (thể năng và động năng) được bảo toàn.

Giải các phương trình chuyển động bằng toán học, các nhà vật lí tìm thấy những đường đi được phép nhất định mà vật có thể tuân theo, tùy thuộc vào cơ năng toàn phần của nó. Một vật có khối lượng bất kì từ một hạt cát nhỏ xíu cho đến một hành tinh khổng lồ, chuyển động dưới tác dụng của lực hấp dẫn của Mặt trời nhưng không đủ năng lượng để thoát ra khỏi hệ mặt trời, sẽ đi theo một quỹ đạo elip. Về mặt toán học, khối lượng được biểu diễn là một hạt với một vị trí và xung lượng xác định tại một thời điểm xác định. Nghiệm thu được cho các phương trình trên là những elip có mọi kích cỡ và độ dẹt. Hình dung dưới dạng một quả cầu đang lăn theo thành cong bên trong của giếng, nó có thể có quỹ đạo tròn nếu nó vẫn duy trì ở một mức đặc biệt. Hoặc nó có thể chuyển động hướng vào trong và hướng ra ngoài trên quỹ đạo elip, chậm dần khi nó leo lên các thành cho đến khi nó đạt tới khoảng cách cực đại của nó, rồi tăng tốc khi nó chuyển động hướng vào trong. Cuối cùng, nó đạt tới một khoảng cách cực tiểu, nơi tốc độ của nó đủ nhanh cho nó trèo ra ngoài trở lại. Các hạt

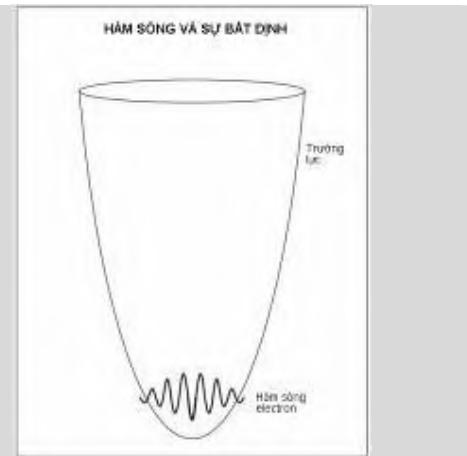
giàu năng lượng hơn chuyển động trong những elip lớn hơn, nhưng mọi hình dạng và độ dẹt của elip, với mọi năng lượng lên tới năng lượng thoát, đều là có thể. (Nếu năng lượng lớn hơn năng lượng thoát, thì nó đi theo một quỹ đạo hyperbol tiến ra xa vô hạn)

Tuy nhiên, trong thế giới lượng tử, các nhà vật lí đang nhận thấy các electron không thể xem là hạt được. Chúng có thể nằm ngoài khuôn khổ mô tả các vật quay xung quanh Mặt trời có một vị trí và xung lượng xác định vì bước sóng lượng tử, theo công thức de Broglie, nhỏ hơn bán thân vật đến mức khó hình dung ra. (Xung lượng càng lớn thì bước sóng càng nhỏ; cho nên các hành tinh có bước sóng nhỏ hơn nhiều so với các hạt hạ nguyên tử) Nhưng bước sóng electron có thể so sánh với cỡ quỹ đạo của chúng, nghĩa là bản chất sóng của chúng thống trị bên trong nguyên tử. Bằng cách biểu diễn electron là những hàm sóng mờ nhạt thay cho các hạt rõ ràng, phương trình Schrödinger cung cấp cho các nhà vật lí một phương thức xác định các quỹ đạo được phép. Họ nhận thấy chỉ những quỹ đạo và những mức năng lượng nhất định là có thể. Tương ứng với mỗi quỹ đạo là một hàm sóng mô tả electron không phải là một hạt có một xung lượng xác định tại một vị trí xác định mà là một thực thể dạng sóng có một xác suất nhất định đo được trong một vùng cho trước. Tương tự, hàm sóng của electron mang lại một xác suất nhất định của xung lượng của nó trong một vùng nhất định.

Trong một nguyên tử, các hàm sóng có thể là sóng dừng, giống như nốt của phím đàn organ hoặc dây đàn violin. Electron dạng sóng có thể tìm thấy ở mọi



nơi trong vùng quỹ đạo của nó. Trong những trường hợp trung gian, ví dụ như trường hợp thể hiện ở đây, electron vẫn có những tính chất dạng sóng, nhưng cực đại trong hàm sóng khiến người ta có thể xem nó giống một hạt hơn. Cơ hội phát hiện ra electron ở gần cực đại của hàm sóng của nó sẽ lớn hơn, nhưng vẫn có thể tìm thấy nó ở một trong cái đuôi của hàm sóng. Tầm quan trọng của kết quả này sẽ trở nên rõ ràng trong chương 5, 6 và 9.



*Phương trình Schrödinger mô tả các hạt bằng hàm sóng của chúng, nghĩa là chúng không thể định vị chính xác trong không gian hoặc xung lượng của chúng không thể nào xác định chính xác được. Phép phân tích ma trận của Heisenberg mang lại kết luận tương tự ở dạng nguyên lý bất định.*

### Nhà khoa học của thập niên - Wolfgang Pauli (1900–1958)

Chọn ra một nhà khoa học nổi trội trong số những nhà khoa học lỗi lạc có công trình đóng góp cho lí thuyết lượng tử không phải là việc dễ dàng, đặc biệt vì nhiều người trong số họ tiếp tục có những đóng góp cho vật lí học trong những năm sau này. Tuy nhiên, tư liệu lịch sử và những quan hệ thư từ trong thời kì đó để lại ít ngờ ngợ rằng con người xuất chúng đó chính là Wolfgang Ernst Pauli.

Pauli sinh ở Vienna, Áo, vào ngày 25 tháng 4 năm 1900, là con trai của ông Wolfgang Joseph Pauli, một giáo sư hóa lí tại trường đại học Vienna, và bà Bertha Schütz Pauli, một phóng viên báo chí xuất thân từ một gia đình âm nhạc nổi tiếng ở Vienna. Wolfgang Joseph, người ban đầu có tên là Pascheles, lớn lên trong một gia đình Do Thái danh vọng ở Prague. Tôn giáo không quan trọng trong cuộc đời của ông, và ông biết ông sẽ có cơ hội thuận lợi hơn trong sự nghiệp học thuật của mình nếu như tên tuổi và đức tin của ông không phải là Do Thái giáo. Cho nên ông đã đổi tên là Pauli và chuyển sang đạo Cơ đốc khi ông trở thành giáo sư ở Vienna.



Wolfgang Pauli, người khám phá ra spin electron và nguyên lí loại trừ. Sự lỗi lạc của ông đã mang lại cho ông danh vọng giáo sư trong khi còn ở tuổi đôi mươi. (Ảnh: AIP Emilio Segrè Visual Archives, Goudsmit Collection)

Thời trẻ, Wolfgang là một sinh viên xuất sắc và thường thấy lớp học của ông tại trường Döblinger Gymnasium không có gì thử thách năng lực cả. Trong khi họ đặc biệt tối dạ, còn ông thì đọc những bài báo mới đăng của Einstein nói về thuyết tương đối rộng. Ông công bố bài báo đầu tiên của mình trên một tập san vật lí về chủ đề đó lúc ở tuổi 18, hai tháng sau khi tốt nghiệp. Mùa thu năm đó, ông bắt đầu học cơ học lượng tử với Arnold Sommerfeld tại trường đại



học Munich, người đã phân công cho chàng sinh viên đầy năng khiếu nhiệm vụ viết một bài báo bách khoa về thuyết tương đối. Ông đã nghiên cứu bài báo trên trong khi làm luận án tiến sĩ, hoàn thành luận án của ông vào năm 1921 và 237 trang chỉ mục bách khoa vào hai tháng sau đó. Sommerfeld đã gọi nó là “quá hách dịch”, một quan điểm Einstein cũng tán thành.

Cuối năm đó, Pauli tham gia nhóm của nghiên cứu của vị giáo sư danh tiếng Max Born tại trường đại học Göttingen, cũng ở Đức, nơi Born đánh giá ông “chắc chắn là thiên tài số một”. Một năm sau, Pauli chuyển đến Viện Neils Bohr ở Copenhagen, Đan Mạch. Cả Bohr và Pauli đều thích tranh luận về vật lí. Họ đồng ý rằng sự tranh luận có tính phê phán là cách tốt nhất để trau chuốt một ý tưởng, và Pauli nhanh chóng thu được tiếng tăm là nhà phê bình trình bày quan điểm của mình khá thăng thắn. Ngay cả sau khi Pauli chuyển đi Hamburg và rồi, ở tuổi 28, trở thành giáo sư danh tiếng tại trường Đại học Công nghệ Thuỵ Sĩ (ETH) ở Zurich, ông và Bohr vẫn có sự đồng thanh tương ứng được nhiều người biết tới, trong đó họ tiếp tục dựa lên nhau để phê bình.

Pauli không phải là người có miệng lưỡi sắc sảo khi nói về công trình mà ông xem là chưa đạt tiêu chuẩn và một số lời bình luận của ông mang tính huyền thoại. Sau khi đọc một bài báo mà ông nhận xét có giá trị thấp và văn viết tệ, ông bình luận, “Thậm chí nó không sai”. Và có lần ông nói với một đồng nghiệp, “Tôi không để ý anh có chậm suy nghĩ không, nhưng tôi làm công việc mà anh cho công bố nhanh hơn anh suy nghĩ nữa”. Tuy nhiên, ông lúc nào cũng chân thật trong những quan điểm của mình và thường có thể nhin vào một lí thuyết sâu sắc hơn nhà vật lí đã nghĩ ra nó. Khi những ý tưởng mới xuất hiện trong cơ học lượng tử, không ai xem công trình ấy là hoàn chỉnh nếu không có sự đồng ý của Pauli. Ngay cả khi ông không có mặt, thì họ cũng hỏi lẫn nhau, “Không biết Pauli sẽ nghĩ gì nhỉ?”

Đóng góp đáng kể nhất của Pauli cho vật lí học là nguyên lí loại trừ, nguyên lí vẫn mang tên ông, nhưng có một câu chuyện khôi hài lan truyền trong cộng đồng vật lí về “hiệu ứng Pauli”. Nếu ông có mặt trong phòng thí nghiệm, thiết bị sẽ hỏng không thể giải thích được. Những sự trùng hợp ngẫu nhiên như thế dường như cứ đi theo ông, kể cả tại một hội nghị đáng nhớ, các nhà vật lí khác đã lắp sẵn một cái đèn nhiều ngọn cho roi xuống khi ông bước vào. Nhưng thiết bị lắp ráp bị mắc kẹt, và câu chuyện đùa tiếp diễn trong số những người đã lên kế hoạch thực hiện trò đùa ấy.

Sau khi gia nhập ETH, với ngoại lệ 5 năm tại Viện Nghiên cứu Cao cấp ở trường đại học Princeton trong Thế chiến thứ hai, Pauli tiếp tục sống và làm việc tại Zurich cho đến khi qua đời vào hôm 15 tháng 12 năm 1958. Không lâu sau đó, các nhà vật lí đã phát minh ra câu chuyện Pauli cuối cùng. Họ mô tả cuộc gặp gỡ đầu tiên của Pauli với Chúa, trong đó ngoài được yêu cầu phải giải thích giá trị của một hàng số vật lí đặc biệt. Chúa bước đến trước bảng đen và bắt đầu viết. Pauli đã nghiên cứu các phương trình và sớm bắt đầu lắc đầu.





1931 - 1940

## Các hạt cơ bản và nền chính trị thế giới

Khi những năm 1920 kết thúc và những năm 1930 bắt đầu, ngọn đèn vật lí đã chuyển từ tay các nhà lí thuyết, những người đã phát triển cơ học lượng tử, sang các nhà thực nghiệm và các khoa học tinh thông quan sát đang khám phá thế giới hạ nguyên tử. Trong khi đó, bầu không khí chính trị đang tối đen ở châu Âu khi Adolf Hitler (1889–1945) và Đảng Quốc xã lén nắm quyền lực lãnh đạo ở nước Đức và sau đó là ở Áo. Triết lí của Đảng Quốc xã mang tính dân tộc thuần túy đã được biết rõ, nhưng đa số giới trí thức nghi ngờ rằng Hitler có thể chuyển sang căm ghét cái gọi là những người thấp kém và đưa nó vào chính sách quốc gia.

Họ đã sai làm một cách thảm hại. Những tai ương kinh tế của cuộc Đại Khủng hoảng và sự bẽ mặt của nước Đức trong Thế chiến thứ nhất khiến nhiều người Đức bình thường trông ngóng một anh chàng bung xung. Dưới quan điểm bài Semit – thành kiến chống lại người Do Thái – đã sục sôi từ lâu ở châu Âu, nên thật dễ cho Hitler chỉ tay lửa vào họ. Quan điểm bài Semit sớm trở thành luật. Người Do Thái bị cấm giữ những địa vị nhất định và bị tước mất nhiều quyền công dân của họ. Đồi mạt trước sức mạnh và sự hăm dọa của Đảng Quốc xã, ngay cả những người không chống đối Do Thái cũng giữ thái độ im lặng. Năm 1938, những tên côn đồ Quốc xã đã phá hủy nhà cửa và cơ sở làm ăn của người Do Thái, và chính phủ thì tịch thu tài sản của người Do Thái. Năm 1939, quân đội của Hitler bắt đầu xâm lược các nước láng giềng, và thế giới một lần nữa ở vào tình trạng chiến tranh.

Như trường hợp 20 năm trước, nền văn hóa mở của nghiên cứu vật lí mâu thuẫn với chủ nghĩa quốc gia. Nhiều nhà vật lí hàng đầu ở những vùng nói tiếng Đức thuộc châu Âu là người Do Thái (như Einstein) hoặc có tổ tiên là người Do Thái (như Pauli). Khi quyền lực của Hitler lớn mạnh dần trong những năm 1930, nhiều người trong số họ đã cao chạy xa bay sang nước Anh, Scandinavia, và Mĩ. Những nhà vật lí vẫn ở lại Đức, trong đó có Heisenberg, phải điều chỉnh công việc của họ cho phù hợp với những mục tiêu của Đế chế thứ ba, như người ta gọi chính quyền Đức mới lên. Những công nghệ mới dựa trên các ứng dụng vật lí có tầm quan trọng sâu sắc ở cả hai phương diện khi thế giới đang dần tiến tới một cuộc chiến tranh. Có lẽ khám phá đáng kể nhất là sự phân hạch hạt nhân, quan sát thấy trong một phòng thí nghiệm Đức và được giải thích bởi một thành viên mới bị đuổi của đế chế, một nhà vật lí nữ gốc Do Thái tên là Lise Meitner (1878–1968).

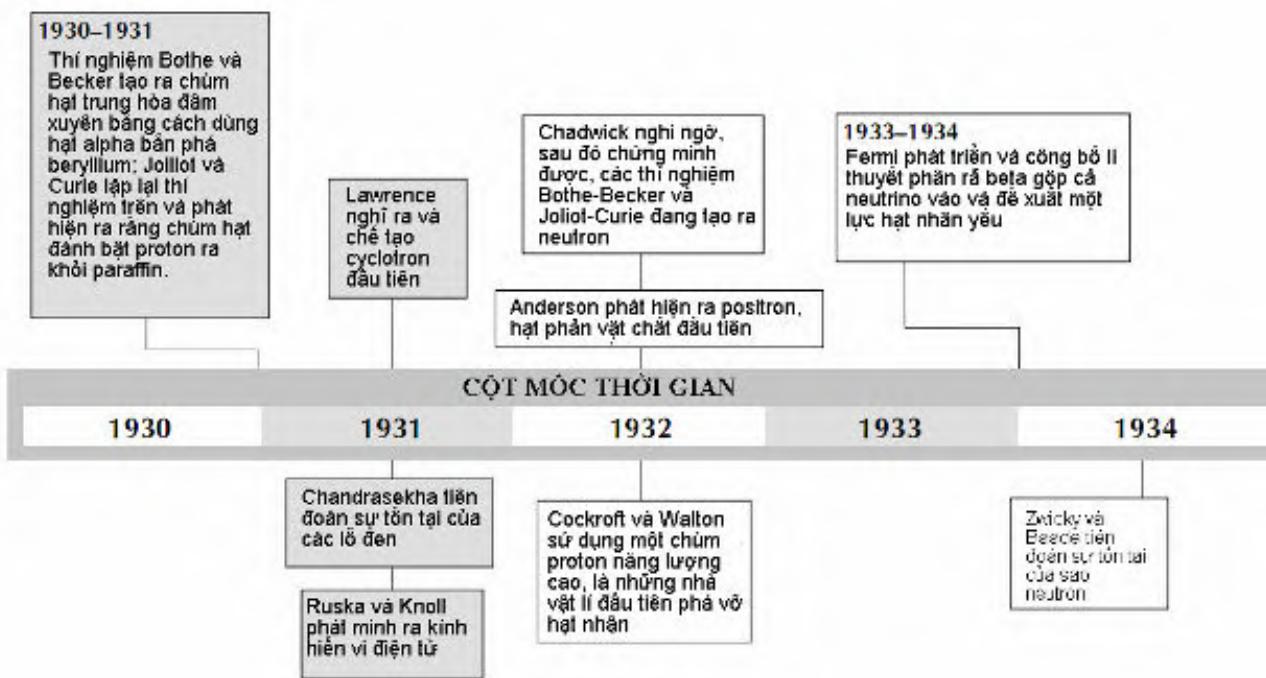


## Bên trong hạt nhân

Lá thư nổi tiếng của Wolfgang Pauli gửi tới hội nghị Tübingen năm 1930 (xem chương 3) ghi địa chỉ gửi thẳng tới Lise Meitner và Hans Geiger và gián tiếp tới “quý ông bà phóng xạ” khác có mặt. Và mặc dù những người tham dự gồm những chuyên gia hàng đầu thế giới về các thí nghiệm xử lí phân rã beta, nhưng không ai trong số họ có thể nghĩ ra một thiết bị phát hiện các hạt khó nắm bắt mà ông gọi là neutron.

Tuy nhiên, nếu những hạt chưa phát hiện ra đó không tồn tại, thì các nhà vật lí đối mặt trước một lựa chọn còn liều lĩnh hơn nữa: từ bỏ định luật bảo toàn năng lượng ở cấp độ hạ nguyên tử. Đề xuất của Pauli có vẻ thật kì cục, nhưng nó là cái tốt nhất họ làm được. Cho nên, trong khi các nhà thực nghiệm đang trầm tư tìm cách chộp lấy những bóng ma vật chất nhỏ xíu đó, thì các nhà vật lí nghiên cứu việc trau chuốt lí thuyết của họ về phân rã beta bên trong hạt nhân.

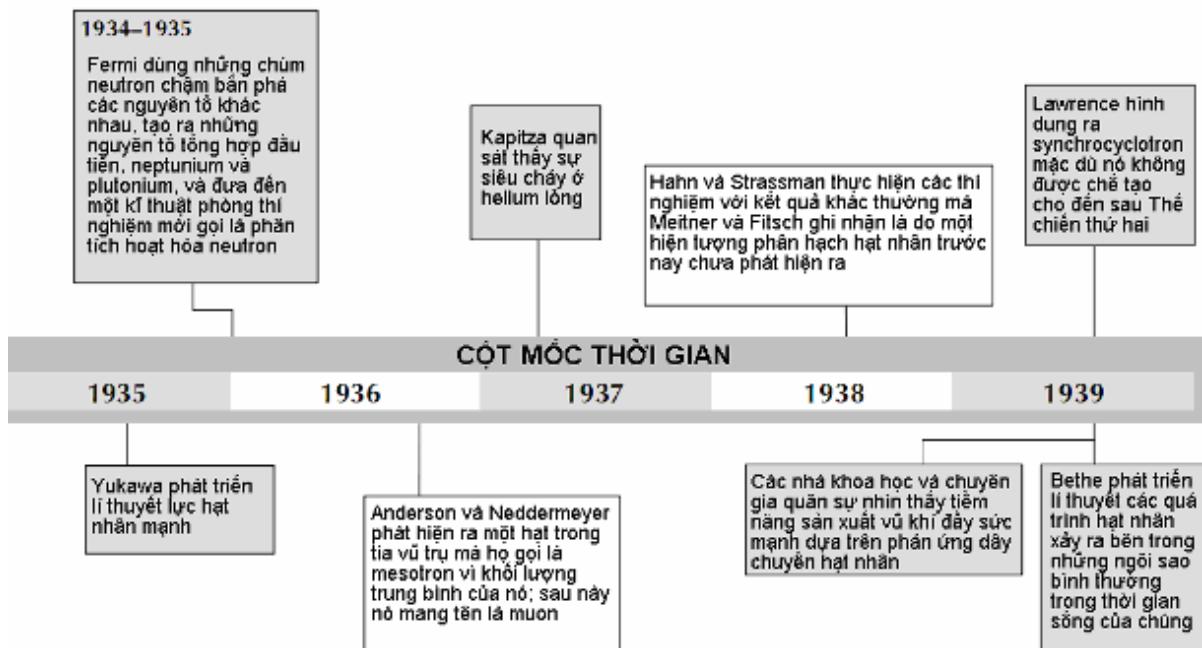
Như thường xảy ra trong khoa học, những dấu hiệu đầu tiên của lời giải cho bài toán xuất hiện từ một công trình dường như chẳng có liên quan gì. Trong hơn một thập kỉ, Ernest Rutherford đã dùng thuật ngữ *neutron* khác. Neutron của ông không phải là những hạt nhỏ xíu mà Pauli đề xuất, mà là những hạt trung hòa có thể so sánh về khối lượng với proton. Trong lí thuyết của ông, neutron và proton gây ra khối lượng của hạt nhân. Đa số các nhà vật lí bác bỏ quan điểm đó, họ tin rằng hạt nhân gồm có những proton và electron. Sự có mặt của electron bên trong hạt nhân giải thích cho hiện tượng phân rã beta, họ nói như vậy. Rutherford không tán thành. Ông vẫn bị thuyết phục rằng việc giam giữ một electron và một proton bên trong một hạt nhân nhỏ xíu sẽ mang lại một lực hút điện vô cùng lớn, nên chúng sẽ hợp nhất lại thành một hạt trung hòa.



Thí nghiệm năm 1930 do nhà vật lí người Đức Walther Bothe (1891–1957) và chàng sinh viên của ông, Herbert Becker, thực hiện đã cung cấp dấu hiệu đầu tiên rằng Rutherford có lẽ đã đúng, mặc dù họ không nhận ra nó ngay vào lúc ấy. Họ đã dùng một chùm hạt alpha bắn phá kim loại nhẹ beryllium và phát hiện ra một chùm hạt trung hòa có tính đâm xuyên cao xuất hiện. Họ đoán chừng chùm đó là tia gamma. Đôi vợ chồng người Pháp Irène Curie (1897–1956; con gái của Pierre và Marie Curie) và Frédéric Joliot (1900–



58) đã tiếp tục thí nghiệm Bothe-Becker. Họ cũng giả sử chùm tia xuất hiện là tia gamma, nhưng thật bất ngờ phát hiện thấy nó có khả năng đánh bật proton ra khỏi paraffin, một hợp chất giàu hydrogen. Họ công bố kết quả của mình vào tháng 1 năm 1932, và người đồng nghiệp của Rutherford, James Chadwick (1891–1974), tại Phòng thí nghiệm Cavendish lập tức ngờ rằng chùm tia đó là neutron. Để kiểm tra ý tưởng này, ông đã cho chùm phát xạ trung hòa đó va chạm với các chất khí hydrogen, helium và nitrogen. Bằng cách đo sự này trở lại của các phân tử chất khí đó, ông có thể xác định xung lượng và năng lượng truyền bởi chùm tia. Kết quả thật rõ ràng: Chùm tia không gồm các photon gamma mà gồm các hạt trung hòa điện có khối lượng có thể sánh với proton. Với việc phát hiện ra neutron, Chadwick giành Giải Nobel Vật lí năm 1935, cùng năm Joliot-Curies nhận giải Nobel hóa học.



Thành phần cơ bản của nguyên tử cuối cùng đã được biết. Ở chính giữa của nguyên tử là một hạt nhân gồm các proton và neutron xác định số nguyên tử và khối lượng nguyên tử của nó. Bao xung quanh hạt nhân là các electron xác định hành trạng hóa học của nó. Tuy nhiên, những câu hỏi chính yếu về hạt nhân vẫn chưa được trả lời. Cái gì giữ chúng lại với nhau; cái gì làm cho một số chúng phát ra bức xạ alpha, beta và gamma; và các electron của phóng xạ beta sinh ra từ đâu?

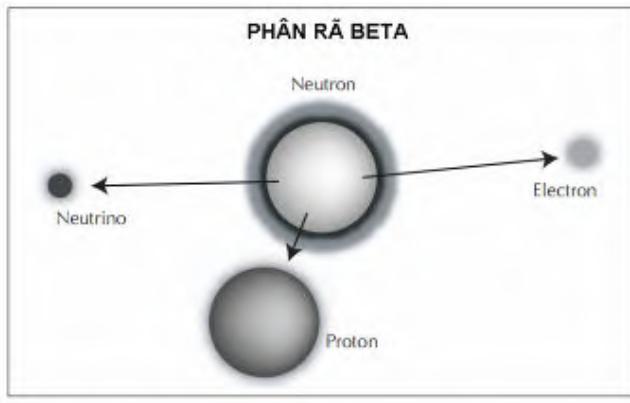
Trước khi các nhà vật lí hiểu ra thành phần cấu tạo của hạt nhân, lực hấp dẫn và lực điện từ là đủ để giải thích mọi tương tác đã biết giữa các đối tượng vật chất. Nhưng một vài tính toán đơn giản cho họ biết rằng lực hút hấp dẫn giữa các proton và neutron của một hạt nhân nhỏ hơn rất nhiều so với lực đẩy điện giữa các proton. Phải có một lực liên kết hạt nhân trước đây chưa được nhận ra.

Lực đó có thể giải thích phân rã alpha: Tập hợp hai proton và hai neutron có thể liên kết với nhau với cường độ nhất định và rồi phá vỡ ra như một đơn vị từ hạt nhân bố mẹ. Nhưng nó không cho biết điều gì về phân rã beta. Nhà vật lí người Italy, Enrico Fermi (1901–54), làm việc tại trường đại học Rome, là người đầu tiên đi tới một lý thuyết về phân rã beta. Trong bao gồm cả ‘neutron’ của Pauli, cái ông gọi là neutrino, tiếng Italy có nghĩa là “tiểu neutron”. Ông đã viết một bài báo và đệ trình lên tạp san Anh *Nature* vào tháng 12 năm 1933, nhưng nó không được đăng vì quá mang tính suy đoán. Năm sau, nó được đăng



hai kì trên tập san Đức *Zeitschrift für Physik* (tạm dịch là *Thời báo Vật lí*, [Physics Times]), và nó thường được xem là công trình lớn nhất của một trong những nhà vật lí vĩ đại nhất của thế kỉ 20. Lí thuyết đó mô tả phân rã beta là sự biến đổi của một neutron thành một proton bằng cách phát ra một electron và một neutrino.

Lí thuyết của Fermi dựa trên một lực thứ hai trước đây chưa biết tới, lực này là nguyên nhân giữ neutron lại với nhau. Lực đó sẽ gây ra sự đảo ngược lại của phân rã beta – sự hình thành một neutron từ một proton, một electron và một neutrino – khi những hạt đó tiến đến nhau đủ gần để kết hợp trở lại. Ông nhận ra rằng sự tái kết hợp như vậy phải luôn luôn xảy ra bên trong một hạt nhân không phóng xạ. Nhưng bên trong một hạt nhân phóng xạ, electron và neutrino thỉnh thoảng sẽ thoát ra. Khi chúng làm như vậy, một proton sẽ ở lại chỗ vị trí của neutron, tạo ra một hạt nhân con có khối lượng nhỏ hơn bồ mẹ. Khối lượng bị mất dường như là một lượng tương đương của động năng (theo phương trình nổi tiếng của Einstein) mang bởi electron và neutrino. Neutrino là cần thiết, Fermi giải thích, vì cơ học lượng đòi hỏi không chỉ năng lượng mà spin cũng phải bảo toàn. Một neutron có spin  $\frac{1}{2}$ , electron và proton cũng thế. Vì các hạt thu được phải có tổng spin bằng với neutron đã phân hủy, nên hạt spin  $\frac{1}{2}$  phải được phát ra. Xét trường hợp trong đó neutron phân hủy có spin up. Khi đó hai trong số ba hạt phát ra sẽ có spin up, còn hạt thứ ba sẽ có spin down, mang lại tổng spin up  $\frac{1}{2}$ .



Dựa trên các nguyên lý bảo toàn năng lượng và xung lượng, và thêm sự bảo toàn spin, Enrico Fermi đã quy năng lượng còn thiếu trong phân rã beta cho một hạt rất nhỏ, trung hòa điện, mà ông đặt tên là “neutrino”. Mặc dù neutrino không được phát hiện ra mãi cho đến những năm 1950, nhưng bằng chứng thực nghiệm gián tiếp rằng chúng tồn tại thật sự có sức thuyết phục.

Lực do Fermi đề xuất sớm được gọi tên là *lực hạt nhân yếu* vì lực cần thiết để giữ hạt nhân lại với nhau thì mạnh hơn nhiều. Lúc này, không ai đề xuất một lí thuyết để giải thích *lực hạt nhân mạnh*, nhưng các nhà vật lí biết nó phải khác thường so với các tương tác điện từ và hấp dẫn vốn đã được hiểu rõ. Lực hấp dẫn, lực điện và lực từ đều giảm theo khoảng cách theo mối quan hệ tỉ lệ nghịch bình phương. Nếu khoảng cách giữa hai vật tương tác tăng lên gấp đôi, thì lực giữa chúng giảm đi bốn (hai bình phương) lần. Nếu khoảng cách của chúng tăng gấp ba, thì lực giảm đi còn bằng một phần chín. Vì tương tác điện từ và hấp dẫn giữa các vật đều là các lực tỉ lệ nghịch bình phương, cho nên tỉ số giữa hai lực vẫn không đổi, cho dù hai vật ở gần hoặc xa nhau bao nhiêu chăng nữa. Thí dụ, lực đẩy điện giữa hai proton luôn luôn át trội lực hút hấp dẫn của chúng.

Vì hạt nhân được giữ lại với nhau, cho nên lực hạt nhân mạnh rõ ràng mạnh hơn nhiều so với lực điện từ khi các proton và neutron (gọi chung là *nucleon*) nằm bên trong những khoảng cách hạt nhân. Nhưng ở những khoảng cách lớn hơn, lực điện từ phải mạnh hơn lực hạt nhân. Nếu không thì mọi nucleon trong vũ trụ sẽ hợp lại với nhau thành một hạt nhân khổng lồ. Vì thế, lực hạt nhân mạnh phải giảm nhanh hơn khi khoảng cách tăng lên so với mối quan hệ nghịch đảo bình phương. Trong số những nhà vật lí lí thuyết cố gắng phát triển một lí thuyết giải thích lực mạnh là Hideki Yukawa (1907–81) ở Kyoto, Nhật Bản. Vào năm 1935, ông đề xuất rằng lực mạnh là kết quả của các nucleon đang trao đổi các hạt hạ nguyên tử cho đến khi ấy chưa được phát hiện ra. Các hạt ấy có khối lượng



cõ một phần bảy khói lượng của một nucleon, hay khoảng 250 lần khói lượng của một electron. Lí thuyết của Yukawa và các hạt mà nó tiên đoán đã không được biết tới và hiểu đúng giá trị ở châu Âu và ở Mĩ. Như lưu ý trong phần tiếp theo, điều đó sẽ sớm thay đổi, nhờ một số khám phá bất ngờ trong nghiên cứu tia vũ trụ.

## Các hạt hạ nguyên tử mới

Với sự phát hiện ra neutron và bằng chứng mạnh mẽ rằng neutrino cũng có thực, các nhà vật lí nhận ra rằng thế giới hạ nguyên tử phức tạp hơn so với cái họ đã tưởng tượng. Có thể nào việc khám phá ra hai hạt trung hòa đó là sự khởi đầu của một xu thế mới? Nghiên cứu về tia vũ trụ trong thập niên 1930 sẽ cho thấy rằng đáp án cho câu hỏi đó là một tiếng ‘yes’ vang rền!

Như đã lưu ý trong chương 3, nhà vật lí người Mĩ Carl Anderson tại Caltech đã bắt đầu nghiên cứu của ông về tia vũ trụ vào năm 1930 khi còn là học trò của vị giáo sư danh tiếng Robert Millikan. Anderson sớm nổi lên là một trong những nhà nghiên cứu tia vũ trụ hàng đầu của thế giới. Không giống như những nhà khoa học trước đó đã phát hiện ra tia vũ trụ ở cao phía trên bề mặt Trái đất, Anderson chế tạo thiết bị để nghiên cứu chúng trong một phòng thí nghiệm trên mặt đất. Millikan đã đọc qua một số vết tích buồng mây hấp dẫn trong các thí nghiệm 1927-28 thực hiện bởi Dmitri Skobeltzyn ở Leningrad, Liên Xô (ngày nay được gọi theo tên nguyên gốc của nó là Saint Petersburg, Nga).

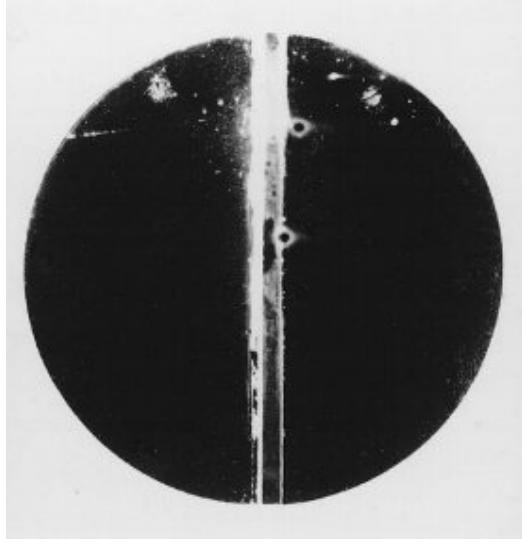
Skobeltzyn đang nghiên cứu tương tác của tia gamma với electron. Ông đặt buồng mây của mình trong một từ trường mạnh, làm cho các hạt tích điện đi theo quỹ đạo cong. Các hạt tích điện sinh ra ion khi chúng đi qua buồng, và khi áp suất giảm đột ngột, những giọt hơi nước nhỏ xíu hóa đặc xung quanh các ion, tiết lộ đường đi của các hạt. Hướng cong của quỹ đạo cho biết chúng tích điện dương hay âm, và hình dạng cong cho phép ông tính ra xung lượng của chúng. Xung lượng của chúng càng lớn, thì chúng bị cong càng ít. Các hạt trung hòa không tạo ra bất kì ion nào, nên chúng không để lại vết tích. Ngoài việc lưu ý đường đi của các electron, Skobeltzyn báo cáo có một vài quỹ đạo hào như là đường thẳng. Cho dù cái gì tạo ra chúng thì cũng đang chuyển động rất nhanh. Ông lí giải rằng những hạt ấy là electron đã bị va đập bởi những tia gamma vũ trụ năng lượng rất cao, nhưng ông không thể nói thêm điều gì hơn thế.

Dự án của Anderson là xây dựng một buồng mây có thể nghiên cứu những hạt năng lượng cao đó. Nó đòi hỏi từ trường mạnh hơn nhiều so với buồng của Skobeltzyn. Với sự hỗ trợ của một số kỹ sư, ông đã chế tạo ra một nam châm điện làm nguội bằng nước rất mạnh. Những kết quả đầu tiên của ông xuất hiện năm 1932, và chúng rất đáng chú ý. Các nhà vật lí đã giả sử rằng tia vũ trụ chủ yếu là những electron bị đánh bật ra khỏi nguyên tử bởi tia gamma đến từ vũ trụ bên ngoài, nhưng Anderson phát hiện ra số lượng hạt mang điện dương và âm bằng nhau. Lúc đầu, Millikan nghĩ rằng các ion dương là những proton đang chuyển động chậm. Nhưng những hạt chuyển động chậm để lại vết tích dày hơn cái Anderson đang trông thấy. Anderson đề xuất rằng chúng là những electron đang chuyển động hướng lên thay vì hướng xuống như họ trông đợi. Các đường đi có thể nhìn thấy, nhưng không có gì cho các thực nghiệm biết được các hạt đã đi theo đường nào. Họ cần có những phép đo tốt hơn để đưa ra kết luận chắc chắn.

Anderson đã cải tiến cơ cấu thí nghiệm của ông bằng cách thêm một tấm chì để làm chậm các hạt khi chúng đi qua. Bằng cách đó, ông có thể nói được chúng đang chuyển động hướng lên hay hướng xuống. Kết quả cho thấy cả Anderson lẫn Millikan không có người nào hoàn toàn đúng cả, cũng không có người nào hoàn toàn sai. Các hạt ấy mang điện dương và đang chuyển động hướng xuống như Millikan nói, nhưng, đúng như Anderson nghĩ, chúng lại nhỏ hơn nhiều và đang chuyển động nhanh. Nhỏ đến mức nào?



Khối lượng của chúng hóa ra bằng với khối lượng electron. Chúng là *positron*, phản hạt của electron mà lí thuyết của Dirac đã tiên đoán nhưng không ai trông đợi chúng tồn tại! Cho khám phá đó, Anderson cùng nhận giải thưởng Nobel Vật lí năm 1936 với Victor Hess, người đã xác nhận sự tồn tại của tia vũ trụ bằng cách can đảm bay lên những cao độ lớn trong một khí cầu không khí nóng vào năm 1912.



Ảnh chụp đầu tiên vết tích hạt mang điện dương để lại của Carl D. Anderson, cái xác nhận sự tồn tại của các phản hạt. (Ảnh: C. D. Anderson, AIP Emilio Segrè Visual Archives)

Năm 1936 còn là một năm đáng nhớ đối với Anderson xét theo một ý nghĩa khác. Ông và người đồng nghiệp Seth Neddermeyer đang nghiên cứu tia vũ trụ trong buồng mây của họ thì họ quan sát thấy một loại hạt có khối lượng lung chừng giữa khối lượng của electron và proton. Họ gọi nó là *mesotron* để biểu thị khối lượng trung bình của nó. Mesotron xuất hiện ở cả hai biến thể dương và âm, và cả hai biến thể có cùng khối lượng, gần với giá trị Yukawa trông đợi cho các hạt trong lí thuyết của ông.

Khám phá này đã mang sự chú ý thích đáng đến cho công trình của nhà lí thuyết người Nhật, nhưng khi Anderson và những người khác càng khảo sát kỹ về mesotron, các hạt ấy càng kém phù hợp với lí thuyết của Yukawa. Nếu chúng là nguyên nhân cho lực hạt nhân, thì chúng có lẽ phải tương tác mạnh với hạt nhân, nhưng không có tương tác nào như thế được trông thấy. “Ai đã sắp xếp cái đó?”, nhà vật lí hạt nhân người Mĩ Isidor I. Rabi đã hỏi câu hỏi nổi tiếng đó khi người ta biết rõ rằng mesotron hành xử giống như những hạt electron và positron cỡ lớn. Câu hỏi đó vẫn để mở cho đến năm 1947, khi các hạt tiên đoán của Yukawa cuối cùng được tìm thấy (xem chương tiếp theo). Mesotron được đặt tên lại là *muon*, vì các nhà khoa học đang gọi những hạt lực mạnh của Yukawa là *meson*. Sau này, thuật ngữ meson được mở rộng để bao gồm toàn bộ họ hàng các hạt hạ nguyên tử, kể cả các hạt của Yukawa, chúng được đặt tên là *pion*, hay meson pi. Năm 1949, công trình của Yukawa được ghi nhận với giải thưởng Nobel vật lí.

## Các máy gia tốc hạt

Vào đầu những năm 1930, các nhà vật lí không còn thỏa mãn với các hạt năng lượng cao phát ra từ phân rã phóng xạ và tia vũ trụ mà tự nhiên mang lại nữa. Họ muốn tạo ra các hạt năng lượng cao hơn và những chùm hạt cường độ mạnh hơn, có thể điều khiển được cho những thí nghiệm của họ. Tại Phòng thí nghiệm Cavendish năm 1932, John Cockcroft (1897–1967) và Ernest Walton (1903–95) đã xây dựng một cỗ máy tạo ra một chùm proton năng lượng cao có thể va chạm với những nguyên tử khác và phá vỡ hạt nhân



của chúng. Mặc dù Cockcroft và Walton trở thành những người đầu tiên phân tách được nguyên tử, nhưng một cỗ máy do giáo sư vật lí Berkeley, Ernest Orlando Lawrence (1901–58) nghĩ ra và chế tạo một năm trước đã sớm làm lu mờ thành tựu đó. Lawrence gọi dụng cụ của ông là *cyclotron*, và nhiều máy gia tốc hạt to lớn sử dụng ngày nay là dựa trên những ý tưởng ban đầu của Lawrence.

Vào cuối thập niên, một số phòng thí nghiệm cyclotron đã được xây dựng trên khắp thế giới, và cuộc đua bắt đầu là xây dựng những cỗ máy to hơn và năng lượng cao hơn. Lawrence, người vào năm 1939 giành giải thưởng Nobel vật lí cho phát minh của ông (12 năm trước Cockcroft và Walton cùng chia sẻ giải thưởng ấy), được đảm bảo tài trợ xây dựng một cỗ máy mà ông hi vọng có thể tạo ra một chùm hạt alpha giàu năng lượng đến mức chúng sẽ giải phóng các meson của Yukawa khỏi hạt nhân. Đó có lẽ là vận may, vì Lawrence sắp vướng phải một trở ngại công nghệ không thể vượt qua nếu không có những tiến bộ thực hiện trong Thế chiến thứ hai.

Nguyên lí hoạt động của cyclotron khá đơn giản. Nó gồm một buồng chân không hình bánh kếp tách thành hai vùng hình chữ D. Các hạt được đưa vào buồng ở gần tâm của nó tại một bên của khe trống. Cơ cấu được bao quanh bởi một nam châm điện mạnh tạo ra một từ trường thẳng đứng bên trong buồng. Một nguồn điện xoay chiều tạo ra một điện trường trong khe trống. Như vậy, khe trống hành xử giống như pin đảo cực của nó ở những thời điểm cách nhau đều đặn.

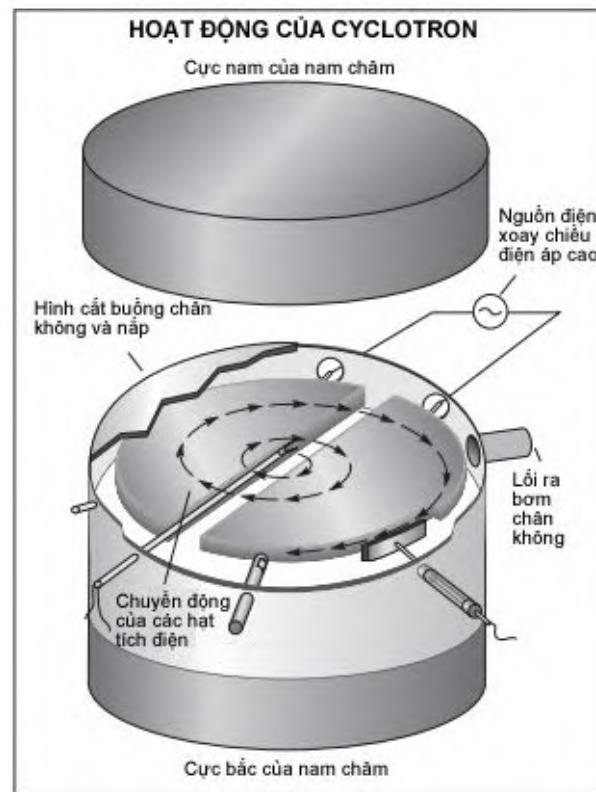


Ernest Orlando Lawrence tại bàn điều khiển của một cyclotron sơ khai.  
(Ảnh: AIP Emilio Segrè Visual Archives)

Bên trong cyclotron, từ trường làm cho các hạt tích điện đi theo quỹ đạo tròn. Khi chúng gia tốc đến những tốc độ cao hơn, chúng chuyển động trong những vòng tròn lớn hơn, nhưng mỗi vòng tròn mất thời gian chuyên động như nhau. Khai thác thực tế đó, Lawrence đã thiết kế cỗ máy của ông sao cho tần số của dòng điện xoay chiều đúng bằng tần số chuyên động tròn của các hạt tích điện. Một hạt alpha đi tới bờ dương của khe trống ngay lúc điện trường đạt cực đại sẽ tăng tốc qua khe và sau đó đi vào nửa vòng tròn lớn hơn ở tốc độ cao hơn, theo “hình chữ D” khác. Nó sẽ đi tới khe trở lại đúng lúc điện trường đạt cực đại theo chiều ngược lại và tăng tốc qua phía bên kia. Nếu có 1000 volt giữa hai

bên khe, và 1000 lần đi qua, nó sẽ giống như là một hạt được gia tốc bởi 1 triệu (1000 x 1000) volt. Năng lượng của hạt sẽ tăng theo mỗi vòng quay cho đến khi bán kính quỹ đạo của nó bằng với bán kính của buồng. Lúc ấy, nó sẽ rời khỏi cyclotron và lao vào mục tiêu của nó.

Để mang lại cho một hạt năng lượng cao hơn, hoặc cyclotron phải to hơn hoặc từ trường phải mạnh hơn. (Một từ trường mạnh hơn mang lại một quỹ đạo cong chật hơn ở cùng tốc độ). Một yếu tố nữa hạn chế năng lượng mà cổ máy có thể phân phối là do tính tương đối. Khối lượng của một hạt năng lượng tĩnh bắt đầu tăng đáng kể khi tốc độ của nó trở thành một phần đáng kể của tốc độ ánh sáng. Lúc ấy, phần nhiều năng lượng mà hạt thu được lúc đi qua khe sẽ chuyển thành tăng khối lượng thay vì tăng vận tốc, và hạt mất nhiều thời gian hơn để hoàn thành vòng tròn lớn hơn. Tần số chuyển động tròn của nó không còn khớp với điện trường xoay chiều. Mỗi lần đi qua khe mang lại sự tăng năng lượng ít hơn so với lần trước đó, và không bao lâu thì không còn tăng được nữa. Cho đến khi các nhà khoa học có thể nghĩ ra một cách đồng bộ hóa tần số của điện xoay chiều với chuyển động của hạt, thì năng lượng mà cyclotron có thể phân phối bị hạn chế bởi tính tương đối. Để cho Lawrence xây dựng cyclotron mạnh mà ông hình dung ra vào năm 1939, ông sẽ cần một thế hệ mới của công nghệ mới gia tốc, cái được gọi là synchrocyclotron khi cuối cùng chúng được chế tạo sau chiến tranh.



Cyclotron tạo ra những chùm hạt tích điện năng lượng cao điều khiển được bằng cách sử dụng từ trường lớn buộc chúng đi theo quỹ đạo tròn và điện trường mạnh để tăng tốc chúng hai lần trong mỗi vòng quay.

## Phóng xạ nhân tạo và sự phân hạch hạt nhân

Các nhà vật lí thường xây dựng sự nghiệp của họ trên công trình thực nghiệm hoặc lí thuyết, nhưng Enrico Fermi thì chọn cả hai. Sau khi phát triển một lí thuyết giải thích phân rã beta, ông chuyển sang nghiên cứu thực nghiệm để làm sáng tỏ các lực vật lí tác dụng bên trong hạt nhân.



Những báo cáo mới đó từ phòng thí nghiệm Joliot-Curie ở Paris đã khêu gợi tính hiếu kì của ông. Họ đã bắn phá những nguyên tố khác nhau bằng hạt alpha năng lượng cao, và họ đã tạo ra những đồng vị phóng xạ chưa hề được trông thấy trước đó. Fermi nghĩ về cái cần thiết cho quá trình trên hoạt động. Fermi nhận ra rằng khi hạt alpha chạm tới hạt nhân bia, chúng chịu lực đẩy điện rất lớn. Trừ khi chúng tiến đến cho một va chạm gần như trực diện, bằng không thì hạt alpha có khả năng sẽ bị lệch ra ngoài trước khi chúng tiến tới đủ gần để gây ra những sự biến đổi hạt nhân. Quá trình ấy phải rất không hiệu quả. Vì ý tưởng là khảo sát bên trong hạt nhân với những viên đạn hạ nguyên tử, nên ông quyết định ông sẽ loại trừ lực đẩy điện bằng cách sử dụng một chùm neutron.

Là một nhà khoa học có phương pháp, Fermi đã bắt đầu với hydrogen (thật ra là nước) và tiếp tục làm việc với những nguyên tố khác trong bảng tuần hoàn. Ông chẳng có gì để thực hiện công việc của mình và gần như sắp bỏ cuộc sau khi thử nitrogen, số nguyên tử 7, nhưng ông quyết định thử thêm lần nữa. Ông bỏ qua số nguyên tử 8, oxygen, vì không có gì để thực hiện thí nghiệm của ông gửi các chùm neutron vào nước, và ông chuyển sang số nguyên tử 9, fluorine. Lần này, các neutron kết hợp với một hạt nhân fluorine bình thường tạo ra một đồng vị phóng xạ. Với những kết quả đầy hứa hẹn đó, Fermi và các cộng sự của ông bắt đầu mở rộng nghiên cứu vào sự tương tác của chùm neutron với những hạt nhân khác nhau.

Họ sớm có một số kết quả kì lạ để giải thích. Khi bắn phá bạc, họ quan sát thấy sự phóng mạnh hơn khi mục tiêu đặt trên một cái bàn thí nghiệm bằng gỗ so với trên bàn đá cảm thạch. Suy nghĩ đầu tiên của Fermi là đặt một miếng chì hình nêm giữa nguồn tia và mục tiêu. Nhưng có cái gì đó khiến ông lo lắng, và ông khẳng định rằng miếng chì cần phải được gia công cẩn thận. Sau đó, không cần chờ lấy miếng chì từ tiệm máy về, Fermi đã hành động trên cái ông mô tả với một phóng viên là một cơn bốc đồng. Ông “lập tức lấy một số miếng parafin cũ và đặt nó chỗ miếng chì”. Kết quả là một sự tăng mạnh sự phóng xạ.



Enrico Fermi, trí tuệ lỗi lạc cả vật lí lí thuyết lẫn thực nghiệm đã đưa đến sự hiểu biết về phân rã beta và là người đầu tiên điều khiển được phản ứng hạt nhân. (Ảnh: NARA, AIP Emilio Segrè Visual Archives)

Vài giờ sau, ông đã hiểu được cái gì đang xảy ra. Các neutron trong chùm tia ban đầu đang chuyển động nhanh đến mức đa số chúng sẽ rít băng qua mà không bị bắt lại. Việc cho nảy một neutron ra khỏi một hạt nhân nặng trước, như trong chi hoặc các nguyên tử bàn đá cảm thạch, sẽ gây ra chút khác biệt. Nó sẽ đổi hướng, nhưng tốc độ của nó về cơ bản vẫn không đổi, giống như một quả bóng bật khỏi tường. Tuy nhiên, parafin và gỗ chứa



nhiều nguyên tử hydrogen. Một neutron chạm trúng một hạt nhân hydrogen – một proton – sẽ hành xử giống như một quả bi-a chạm trúng quả kia. Nó có thể dễ dàng truyền đa phần năng lượng của nó cho proton, đủ chậm lại để cho hạt nhân bạc bắt lấy nó.

Parafin hoặc bàn gỗ tác dụng như cái các nhà khoa học hạt nhân ngày nay gọi là chất điều tiết, biến đổi neutron nhanh thành neutron chậm. Hiện tượng trên dẫn đến một kỹ thuật mới gọi là phân tích hoạt hóa neutron vẫn sử dụng ngày nay để xác định thành phần hóa học và đồng vị của một chất. Fermi và nhóm của ông đã thiết lập nền tảng cho phương pháp phân tích đó bởi việc nghiên cứu sự bắn phá neutron của toàn bộ các nguyên tố thuộc bảng tuần hoàn và đo độ phóng xạ thu được. Khi họ bắn phá hạt nhân uranium 238 (92 proton và 146 neutron) với các neutron chậm vào năm 1934, kết quả thu được không phù hợp với bát cứ cái gì họ từng thấy trước đó. Trong một án phẩm năm 1935, Fermi đã mô tả ba sự phát xạ khác nhau, mà ông phỏng đoán là kết quả của những phân rã từ uranium 239 (92 proton, 147 neutron, sinh ra từ uranium 238 bắt lấy một neutron) và những sản phẩm phóng xạ tiếp theo của nó. Ông đã lí thuyết hóa rằng phân rã đầu tiên tạo ra một hạt beta và một hạt nhân phóng xạ mới có 93 proton và 146 neutron (sau này đặt tên là neptunium). Phân rã thứ hai, cũng là một phân rã beta, tạo ra một hạt nhân có 94 proton và 245 neutron (sau này đặt tên là plutonium), hạt này sau đó sẽ phân rã thành uranium 235 bằng cách phát ra một hạt alpha.

Nhóm của Fermi không thể thực hiện phân tích hóa học cần thiết để chứng minh rằng họ thật sự tạo ra được hạt nhân của những nguyên tố mới. Những nguyên tử mới ấy sẽ phải tách khỏi hàm lượng lớn hơn nhiều của uranium, và điều đó sẽ khó vì sự phân rã phóng xạ đoán chừng nhanh chóng của chúng thành một nguyên tố khác có những tính chất hóa học khác. Ba phát xạ ấy có chu kỳ bán rã – thời gian nửa số lượng hạt nhân phân rã – 15 giây, 13 phút, và 100 phút. Tuy nhiên, các kết quả thật án tượng nên Fermi được trao giải Nobel vật lí năm 1938 cho sự khám phá ra những nguyên tố phóng xạ mới. Thật trớ trêu, mặc dù Fermi rất xứng đáng được nhận giải vì sự bắn phá neutron chắc chắn đã tạo ra hạt nhân mà ông mô tả, nhưng những phát xạ phóng xạ mà ông đo đến từ những đồng vị phóng xạ chưa biết của những nguyên tố quen thuộc tạo ra bởi một quá trình hạt nhân khác – sự phân hạch – vẫn chưa biết tới. Khi chu kỳ bán rã của uranium 239, neptunium 239, và plutonium 239 cuối cùng đã đo được, thì chúng được tìm thấy tương ứng là 23,5 phút, 2,35 ngày, và 24.360 năm.

Một trớ trêu nữa là một nhà hóa học người Đức tên là Ida Noddack (1896–1978) đã chỉ trích giả thiết của Fermi rằng bức xạ xạ đến từ những nguyên tố mới trên uranium trong một bài báo đăng trên tạp chí tiếng Đức *Zeitschrift fur angewandte Chemie* (Tạp chí Hóa học Ứng dụng). Bà cho rằng hạt nhân uranium thay vì thế có thể bị phá vỡ thành một vài mảnh vỡ lớn. Bà không có thêm bằng chứng nào ủng hộ cho giả thuyết thay thế của bà về *sự phân hạch* (mặc dù bà không sử dụng thuật ngữ đó), và danh tiếng của bà bị bại hoại bởi một khẳng định không chính xác trước đó cho một khám phá quan trọng. Như vậy, đa số mọi người chấp nhận lời giải thích của Fermi, và việc khám phá ra sự phân hạch chuyển sang tay những người khác, như phần sau nêu rõ.

Nghiên cứu của Fermi về *các nguyên tố chuyển tiếp* đã kích thích rất nhiều nghiên cứu ở mọi nơi, trong đó có ở phòng thí nghiệm Paris của Irène Joliot-Curie. Bà và người đồng nghiệp xứ Nam Tư, Pavel Savitch, bị cuốn hút bởi tính chất hóa học của những nguyên tố đó, cho nên năm 1938, họ đã áp dụng các kỹ thuật chiết tách và phân tích hóa học với các sản phẩm của uranium bị bắn phá bởi neutron. Một trong những sản phẩm phóng xạ đó hành xử về mặt hóa học giống với nguyên tố lanthanum nhẹ hơn nhiều, số nguyên tử 57, nhưng không hẳn là đồng vị bền lanthanum 139. Nếu đồng vị phóng xạ này thật sự là lanthanum, thì dường như hạt nhân uranium bị tách thành hai nửa xấp xỉ nhau. Kết quả kì dị của họ đã thôi thúc trí tuệ của Lise Meitner, nhà hóa học đồng nghiệp thâm



niên của bà Otto Hahn (1879–1968), một nhà hóa học phân tích cộng sự trẻ tên là Fritz Strassman (1902–80) ở Berlin.

Do sự tăng cường đòn áp người Do Thái ở Đức, nên Meitner phải sấp xếp bay sang Scandinavia và bà phải ra đi trước khi Hahn và Strassman có thể lặp lại thí nghiệm của Joliot-Curie và Savitch. Khoảng thời gian ấy, Fermi cùng người vợ Do Thái của ông, Laura (1907–77) đang chốn trại chính sách bài Do Thái mà chính quyền Italy của Benito Mussolini (1883–1945) mới thông qua sau khi liên minh với Đế chế thứ ba ở Đức. Sau khi Fermi nhận giải Nobel ở Stockholm, ông cùng vợ không quay về Rome nữa. Thay vì thế, họ xuống tàu đi thẳng sang thành phố New York, ở đó ông được phong hàm giáo sư tại trường Đại học Columbia.

Không bao lâu sau khi Meitner ra đi, thí nghiệm của Hahn và Strassman bắt đầu mang lại những kết quả hấp dẫn. Họ đã tách được các đồng vị của một nguyên tố phóng xạ mà họ biết không phải là radium – chu kì bán ra của những phân rã đa dạng ấy quá ngắn – nhưng phải là một chất có quan hệ gần gũi về mặt hóa học. Phân tích thêm nữa của Strassman cho biết nó là barium, nằm ngay dưới lanthanum trên bảng tuần hoàn. Làm thế nào có thể như vậy? Hahn đã viết một bức thư gửi một đồng nghiệp vật lí mô tả sự hứng thú và bối rối của ông về những kết quả ấy.

Bức thư đến tay Meitner ở Thụy Điển ngay trước ngày Giáng sinh. Bà trầm tư về nó khi người cháu trai yêu quý và cũng là nhà vật lí, Otto Frisch (1904–79), đến thăm nhân dịp nghỉ lễ, hăm hở kể với bà về công việc ông làm cùng với Bohr ở Copenhagen. Bà khăng khăng rằng ông nên đọc lá thư ấy trước. Cái gì có thể làm cho một hạt nhân uranium phân rã? Frisch có một số suy nghĩ, và họ thảo luận với nhau lúc đi bộ ở trong khu rừng tuyết. Bohr đang thực hiện một số nghiên cứu thú vị với một nhà lí thuyết trẻ người Nga đến thăm tên là George Gamow (1904–68) về cách thức một hạt nhân có thể được giữ lại với nhau. Họ tưởng tượng nó hành xử giống như một giọt chất lỏng có thể thon dài khi các nucleon bên trong nó chuyển động. Nếu như nó đủ bị căng, thì nó có thể hình thành hai cái thùy nối lại bằng một cỗ chất lỏng giữ chúng lại với nhau bởi sức căng bề mặt tạo ra bởi lực hạt nhân mạnh.

Frisch lí giải rằng một neutron thêm vào có thể làm cho giọt hạt nhân căng ra đến mức nó có thể vỡ làm hai. Khi đó, không còn lực hạt mạnh để giữ chúng lại với nhau, hai mảnh vỡ, cả hai đều có diện tích dương lớn, sẽ đẩy nhau ra và hướng theo hai chiều ngược nhau với lượng động năng khổng lồ. Năng lượng phải được bảo toàn, cho nên sự tăng động năng phải đi cùng với sự giảm năng lượng ở một dạng khác. Hai nhà vật lí ngừng đi bộ, ngồi xuống trên một thân cây, lấy ra vài tờ giấy và bắt đầu tính toán. Mô hình giọt chất lỏng Bohr và Gamow thật ra có thể vỡ thành hai hạt nhân nhỏ hơn với một số neutron còn dư nữa. Khi họ tính tổng khối lượng của các mảnh thu được, hóa ra nó nhỏ hơn khối lượng của hạt nhân ban đầu. Và khi nhân khối lượng còn thiếu đó với bình phương của tốc độ ánh sáng theo công thức nổi tiếng của Einstein, thì kết quả thu được giải thích cho sự tăng động năng.

Một khi Meitner và Frisch công bố kết quả của họ và đặt tên cho quá trình trên là sự phân hạch hạt nhân, thời gian không còn lâu cho các nhà khoa học và chuyên gia quân sự nhận ra những ứng dụng có thể có của nghiên cứu của họ. Nếu một neutron phát ra trong sự phân hạch của một hạt nhân chạm trúng một hạt nhân thứ hai, thì nó có thể làm cho hạt nhân đó cũng bị phân tách. Một sự kiện phân hạch có thể châm ngòi một phản ứng dây chuyền, giải phóng một lượng năng lượng không tưởng tượng nổi. Với thế giới đang ở trên bờ vực của một chiến tranh lớn, khoa học đã tiết lộ một kĩ thuật có thể dẫn đến một quả bom khủng khiếp.





Lise Meitner và Otto Hahn, những người bạn hợp tác lâu năm và cùng khám phá ra sự phân hạch hạt nhân, khá sớm trong sự nghiệp của họ. (Ảnh: AIP Emilio Segrè Visual Archives)

## Những phát triển khác trong thập niên 1930

Mặc dù các hiện tượng hạ nguyên tử đã thống trị ngành vật lí trong thập niên 1930, nhưng công trình rất hấp dẫn đang diễn ra trong một phân ngành khoa học khác. Thiên văn học vật lí là hoạt động được vun xới đặc biệt. Năm 1931, nhà toán học và thiên văn vật lí người Anh gốc Ấn Độ Subrahmanyan Chandrasekhar (1910–95) đã phát triển cách thuyết mô tả chu kì sống của những ngôi sao và dự đoán sự tồn tại của những *lỗ đen* hàng thập kỉ trước khi chúng được phát hiện ra. (Ông giành giải Nobel vật lí năm 1983) Trong một bước nhảy vọt kiến thức tương tự vào năm 1934, hai nhà thiên văn quê quán châu Âu làm việc ở California, Fritz Zwicky (1898–1974) người Thụy Sĩ, và Walter Baade (1893–1960) người Đức, đã dự đoán những ngôi sao siêu đặc cấu tạo hoàn toàn gồm neutron. Chỉ một vài nhà khoa học để mắt chú ý, cho đến năm 1967 thì *pulsar* đầu tiên được phát hiện. Một số người giải thích sự thăng giáng cường độ đều đặn của pulsar là một tin nhắn vũ trụ đến những giống loài thông minh, nhưng hóa ra nó là bằng chứng đầu tiên cho sự tồn tại của sao *neutron*. Một tiến bộ thiên văn vật lí nữa xuất hiện ở trường Đại học Cornell, nơi vào năm 1939 Hans Bethe (1906–2005) đã phát triển một lý thuyết giải thích các quá trình hạt nhân xảy ra bên trong lõi của những ngôi sao bình thường khi chúng trải qua những giai đoạn khác nhau của cuộc sống của chúng.

Bethe có mẹ là người Do Thái, nên ông phải sớm bỏ quốc tịch Đức ngay từ đầu thập kỉ. Trong khi vẫn ở châu Âu, cùng với Fermi, Dirac, và nhiều nhà vật lí lí thuyết lối lạc khác, ông đã phải vật lộn với một vấn đề lớn. Họ tự hỏi làm thế nào các nền tảng lí thuyết của điện từ học do Maxwell thiết lập có thể thích nghi với cách hiểu tương đối tính và lượng tử của thế giới vật chất. Công trình của họ thật quan trọng, và cuối cùng nó đã góp phần cho một lý thuyết thành công là lí thuyết *điện động lực học lượng tử* (QED) vào những năm 1940. Nhưng cách tiếp cận lí thuyết của họ trong những năm 1930 luôn gặp phải những chỗ trũng toán học. Vì thế, công trình đó chỉ được nhắc tới ở đây, chứ không được mô tả chi tiết trong quyển sách này.

Vật lí học cũng đóng góp đáng kể cho sự phát triển của những lĩnh vực khác trong những năm 1930. Nhà hóa học Linus Pauling (1901–94), người giành giải Nobel hóa học năm 1954 và giải Nobel hòa bình năm 1962, tiếp tục công trình quan trọng mà ông đã bắt đầu từ hồi cuối những năm 1920 về quan điểm cho rằng cơ học lượng tử dẫn đến một sự hiểu biết trọn vẹn hơn về các liên kết hóa học. Một loại liên kết xảy ra khi một nguyên tử



cho đi electron hóa trị của nó, những electron nằm bên ngoài lớp vỏ khép kín, để hoàn chỉnh lớp vỏ ngoài cùng của một nguyên tử khác. Điều đó mang lại một *liên kết ion* – các ion liên kết điện với lớp vỏ chứa đầy electron. *Liên kết cộng hóa trị* thu được từ sự chia sẻ electron hóa trị của các nguyên tử để hoàn chỉnh lớp vỏ electron của chúng. Năm 1935, nhà địa chất học Charles Richter (1900–85) đã phát triển chuẩn đo nổi tiếng của ông để đo cường độ động đất. Và các kỹ sư người Đức đã chế tạo thành công máy bay phản lực đầu tiên vào năm 1939.

Sự xuất hiện của vật lí lượng tử còn dẫn đến những phát triển quan trọng trong ngành vật lí vật chất hóa đặc vào cuối những năm 1920 và những năm 1930, cả về lý thuyết lẫn công nghệ. Lúc ấy, thuyết lượng tử đã được xác lập ở cấp độ nguyên tử, cho nên một vài nhóm nghiên cứu ở châu Âu và Mĩ đã tìm cách áp dụng những kỹ thuật toán học của nó cho các electron trong tinh thể: sự sắp xếp ba chiều đều đặn của các nguyên tử. Nhờ thế, công trình trên có áp dụng rộng rãi để tìm hiểu cơ sở vật lí của chất rắn. Ở các đơn nguyên tử, thí dụ như hydrogen, thuyết lượng tử dự đoán những mức năng lượng được phép nhất định. Trong tinh thể, mỗi nguyên tử có những mức năng lượng riêng của nó đối với electron trong những lớp vỏ chứa đầy. Với những electron còn lại, thay cho một tập hợp rời rạc những mức năng lượng được phép, có hai dải năng lượng được phép với một khe trống ở giữa chúng. Dải năng lượng thấp hơn được gọi là *dải hóa trị*, và các electron của nó chiếm giữ những trạng thái lượng tử thuộc về những nguyên tử riêng lẻ. Dải kia là *dải dẫn*, và các trạng thái năng lượng của nó thuộc về tinh thể nói chung. Trong kim loại, dải hóa trị không có đủ những trạng thái lượng tử được phép để cung cấp cho những electron ngoài cùng của tinh thể (những electron nằm bên ngoài lớp vỏ chứa đầy). Cho nên một số electron đi vào dải dẫn. Chúng chẳng thuộc về nguyên tử đặc biệt nào và vì thế chuyển động tự do, mang điện tích và năng lượng theo cùng với chúng. Đó là nguyên do vì sao kim loại là chất dẫn điện và dẫn nhiệt tốt. Các chất cách điện và chất bán dẫn có chỗ cho mọi electron lớp ngoài cùng trong dải hóa trị. Tính chất dẫn điện và dẫn nhiệt của chúng tùy thuộc vào số trạng thái lượng tử chưa được lắp đầy trong dải hóa trị và kích cỡ của khe năng lượng giữa hai dải.

Trong công nghệ, có lẽ ứng dụng lượng tử nổi bật nhất là chiếc kính hiển vi điện tử đầu tiên, chế tạo năm 1931 ở Berlin, Đức, bởi Ernst Ruska (1906–88), người giành giải Nobel vật lí 1986 và Max Knoll (1897–1969). Sức mạnh tạo ảnh của kính hiển vi bị hạn chế bởi bước sóng của năng lượng nó dùng để chiếu sáng mẫu đang nghiên cứu. Bước sóng của ánh sáng khả kiến to gấp hàng nghìn lần nguyên tử và phân tử, cho nên kính hiển vi quang học có thể hé lộ rất ít về sự sắp xếp tinh thể bên trong của các nguyên tử ở dạng rắn. Nhưng các electron năng lượng cao, theo công thức de Broglie, có bước sóng ngắn hơn nhiều và do đó mang lại tiềm năng tạo ảnh của những cấu trúc tinh thể và nghiên cứu hành trạng của những sai lệch và khiếm khuyết trong tinh thể. Trong những thập kỷ sau này, khi công nghệ này đã phát triển, kính hiển vi điện tử không những trở thành một dụng cụ trong phòng thí nghiệm mà còn là một công cụ công nghiệp rất quan trọng đối với việc chế tạo các chất liệu và dụng cụ công nghệ cao.

Một hiện tượng vật chất hóa đặc khác được quan sát thấy lần đầu tiên vào năm 1937 và 1938 bởi nhà vật lí người Nga Pyotr Kapitsa (1894–1984), người giành giải Nobel vật lí 1978. Ông đã tường thuật tính chất kì lạ của helium lỏng gọi là *tính siêu chảy*. Giống như một chất siêu dẫn mất hết điện trở đối với dòng điện chạy qua nó ở nhiệt độ rất thấp, helium mất hết độ nhớt – sự cản trở của nó đối với dòng chảy. Do đó, lực căng bề mặt làm cho nó trườn lên trên thành bình chứa hoặc chảy qua cái lỗ nhỏ bé nhất. Cuối cùng, các nhà vật lí giải thích được cả sự siêu chảy và siêu dẫn là hệ quả của những hiệu ứng lượng tử ở cấp độ nguyên tử tự biểu hiện chúng trên một quy mô lớn hơn nhiều. Sự siêu dẫn sẽ được trình bày thêm trong chương 6 và chương 9.



## Nhà khoa học của thập niên Lise Meitner (1878–1968)

Nếu chỉ những thành tựu chuyên nghiệp là điều kiện để chọn một nhà khoa học lỗi lạc, thì người được chọn cho thập niên 1930 sẽ là Enrico Fermi. Nhưng công việc khoa học có thể ảnh hưởng và bị ảnh hưởng rất nhiều bởi các yếu tố xã hội, chính trị và lịch sử. Và trong số những nhà vật lí hàng đầu của thập niên 1930, không ai có cuộc đời minh họa tốt hơn cho sự ảnh hưởng của thời đại lên công việc nghiên cứu, ngoài Lise Meitner.

Câu chuyện Meitner không thuộc riêng về thập niên 1930. Thật ra, vào lúc bà cùng Otto Frisch phát triển lý thuyết đầu tiên của sự phân hạch hạt nhân năm 1938, bà đã đi qua lần sinh nhật thứ 60 của mình và đã xây dựng được một sự nghiệp có tiếng trong làng vật lí. Và mặc dù sự ngược đãi mà bà đối mặt vì là một người thuộc dòng dõi Do Thái là một phần của một nỗi kinh hoàng lớn hơn nhiều chưa hề giảm đi chút nào, nhưng đó không phải là quãng đường thời gian duy nhất trong cuộc đời mình bà phải vượt qua sự phân biệt đối xử để đi đến thành công. Bà sinh ra là một người phụ nữ trong một thời kì, vào ngày 7 tháng 11, 1878, và ở một nơi, Vienna, Áo, mà sự phân biệt truyền thống đối với phụ nữ bị thúc ép bởi những tập quán xã hội, và thỉnh thoảng bởi luật pháp nữa.

Lise là con thứ ba trong tám người con của luật sư Philipp Meitner và bà Hedwig. Là một trong những gia đình Do Thái trung lưu, phong khoáng, được giáo dục tốt nhất thời ấy, căn bản họ là người Áo và lấy làm tự hào có được di sản văn hóa phong phú mà Vienna mang lại. Lise sống chan hòa trong tinh thần học tập và nghệ thuật. Người chị gái của bà, Auguste ("Gusti"), là một thần đồng âm nhạc, và trở thành nhà soạn nhạc và nghệ sĩ dương cầm. Lise cũng yêu âm nhạc, nhưng niềm yêu thích của bà đối với toán học và vật lí học thật cuốn hút, ngay từ tuổi lên 8. Do đó, mặc dù chương trình học vẫn phổ thông của bà dừng lại ở tuổi 14, giống như mọi người con gái khác, Lise đã nhắm tới mục tiêu học đại học. Bà đọc nhiều – gia đình đùa rằng lúc nào bà cũng mang theo một quyển sách – và với sự giúp đỡ của một gia sư, bà đã thi đỗ vào trường Đại học Vienna năm 1901 ở tuổi mà nhiều người con trai còn chưa học xong phổ thông.

Thật may mắn, Lise có cơ hội nghiên cứu vật lí cùng vị giáo sư danh tiếng Ludwig Boltzmann (1844–1906), người "đã cho bà một tầm nhìn xem vật lí là một trận chiến đi tìm sự thật tối hậu, một tầm nhìn bà không bao giờ đánh mất", theo lời của người cháu trai và đồng nghiệp của bà, Otto Frisch. Bà còn học hỏi từ các bạn sinh viên – đặc biệt là Paul Ehrenfest (1880–1933), người tự mình trở thành một nhà vật lí lí thuyết có tiếng. Ehrenfest ấn tượng trước những ghi chép chi tiết của Meitner về những bài giảng của Boltzmann, và họ thường nghiên cứu cùng với nhau. Các ghi chép của Meitner cho thấy sự hứng khởi của Ehrenfest đối với bà có lẽ vượt ra khỏi biên giới vật lí học, nhưng bà vốn rụt rè và chất phác và giữ sự tập trung của bà vào những nghiên cứu của họ. Năm 1905, bà không những thành thạo về vật lí lí thuyết, mà còn hoàn thành một dự án nghiên cứu phòng thí nghiệm nguyên gốc. Bà là người phụ nữ thứ hai được nhận danh hiệu tiến sĩ tại trường đại học trên, và bằng cấp của bà đã mang lại sự trọng vọng khả dĩ cao nhất.

Giới khoa học hàn lâm không nhiệt tình chào đón phụ nữ cho lắm vào thời ấy, nhưng Meitner quá say mê lĩnh vực bà nghiên cứu nên bà tự đứng trên đôi chân của mình. Bà xem vật lí là công việc ưu tiên hơn cả, và bà tránh né những vị cố vấn và đồng nghiệp muốn quan hệ với bà ở cấp độ con người. Đó chắc chắn là trường hợp khi bà rời Vienna sang Berlin nghiên cứu với Max Planck. Đối với Meitner, Planck dường như ngờ nghênh về phụ nữ giống như những nhà khoa học chuyên nghiệp, nhưng ở mức độ cá nhân, ông thật cởi mở và hiếu khách. Hai người con gái song sinh của ông trở thành những người bạn tốt của bà, và bà thường dự những buổi tối chơi nhạc ở nhà họ với cha của họ trên cây đàn piano và, thỉnh thoảng, Einstein đến chơi violin.

Thường xuyên đến trong số những vị khách khác có Otto Hahn, một nhà hóa học trẻ vừa mới nghiên cứu với Rutherford ở Montreal về. Trái ngược với sự kín đáo tự nhiên của



Meitner, Hahn thì thân mật, thoái mái. Bà thích chất giọng nam cao và tính thân thiện của ông và hăm hở đồng ý tham gia nghiên cứu các chất phóng xạ cùng với ông. Sự tinh thông vật lí học của bà là sự bổ sung tự nhiên cho sự thành thạo của ông về chiết tách hóa chất, và ông đã mang lại cho bà một cánh cửa đến với nghiên cứu hàn lâm. Nó là cánh cửa nền tảng cho một công việc không được trả công (bà sống dựa vào số tiền trợ cấp khiêm tốn do gia đình gửi đến), nhưng nó là một cơ hội hiếm có cho một người phụ nữ.

Hahn làm việc tại Viện Hóa học, trường Đại học Berlin, do nhà hóa học đạt giải Nobel 1902 Emil Fischer (1852–1919) đứng đầu. Fischer không cho phép phụ nữ vào làm việc trong viện, một phần vì ông xem kiểu tóc của họ là dễ bén lửa gây nguy hiểm, nhưng Hahn đã thuyết phục ông cải tạo gian gỗ cũ với một lối đi bên ngoài thành không gian làm việc cho Meitner. Bà không được phép bén mảng đèn bát kì chỗ nào khác bên trong viện và phải sử dụng một phòng nghỉ ở gần nhà ăn. Khi các đồng nghiệp trông thấy bà đi với Hahn, câu chào của họ là “Guten Tag, Herr Hahn,” như thể bà không có mặt, và biết tập quán xã hội ngày ấy, Hahn chẳng làm gì để sửa họ cả. Nhưng tình bạn và sự hợp tác của họ thu hút sự chú ý, mặc dù trong 16 năm đầu họ luôn gọi nhau là Herr Hahn và Fräulein Meitner.

Dần dần các trường đại học Đức trở nên thân thiện hơn với phụ nữ. Năm 1909, phụ nữ được chấp nhận là sinh viên, và Meitner được phép có mặt trong những phòng thí nghiệm khác của viện, nơi ấy cuối cùng đã có một phòng của quý bà. Năm 1912, Hahn được thăng tiến và lãnh đạo một nhóm nghiên cứu phóng xạ ở Viện Hóa học Kaiser Wilhelm, và ông đã mang Meitner đến đó với tư cách một nhà vật lí khách mời không được trả lương. Cũng thời gian ấy, Planck giao cho bà một vị trí được trả công là trợ lí xếp loại các bài viết cho ông.

Vài năm sau đó, Fischer giao cho Meitner một vị trí tương tự như Hahn nhưng với tiền lương ít hơn nhiều. Năm 1917, ông cho phép Meitner quyền tự nghiên cứu vật lí và tăng lương của bà cho phù hợp với lương của Hahn, với ngoại lệ một món tiền trợ cấp kết hôn. Và năm 1919, Meitner trở thành cô lẽ là người phụ nữ đầu tiên ở Đức mang chức danh “giáo sư”. Trong những năm 1920, phòng thí nghiệm của bà trở nên nổi tiếng vì nghiên cứu về phân rã beta. Nhưng, như đã mô tả trong chương này, công trình đáng kể nhất của bà (sự phân hạch) xuất hiện trong những năm tháng muộn hơn sau này, ngay khi sự hợp tác trong phòng thí nghiệm của bà với Hahn bị buộc phải chấm dứt.

Trong 8 năm đầu tồn tại của chính quyền phát xít, Meitner được bảo vệ bởi tư cách công dân Áo của bà. Điều đó đã thay đổi khi đảng Quốc xã lên nắm chính quyền Áo vào năm 1938. Lúc ấy, mặc dù bà đã cải đạo sang Tin lành trước đó 30 năm, nhưng bà vẫn là đối tượng của chính sách kinh hãi Do Thái của chính quyền phát xít. Bà thậm chí còn bị tước hộ chiếu, khiến cho việc sáp xếp trốn chạy ra nước ngoài đặc biệt khó khăn. Với sự giúp đỡ của một người đồng nghiệp đút lót cho một viên sĩ quan biên giới Hà Lan, và nhờ món quà của Hahn là một chiếc vòng kim cương thừa kế khiến bà không phải lo lắng về mặt tài chính, bà có thể ở lại vài tháng ở Hà Lan. Không lâu trước khi phát xít Đức thâu tóm quốc gia này, bà đã chuyển đi Stockholm. Đó là nơi bà nhận được lá thư trọng yếu từ phía Hahn đưa bà và Frisch đến mô tả sự phân hạch hạt nhân.

Bà được mời tham gia chương trình vũ khí thời chiến của Mĩ, nhưng bà từ chối làm bất cứ việc gì với việc chế tạo bom. Vì lí do đó, bà là nhà vật lí hạt nhân quan trọng nhất mà báo chí có thể phỏng vấn sau vụ nổ bom nguyên tử ở Hiroshima. Một số phóng viên thậm chí còn viết (không chính xác) rằng bà đã mang theo bí mật về bom nguyên tử khi rời khỏi nước Đức. Điều đó đặc biệt mỉa mai vì chỉ một mình Hahn được trao giải Nobel hóa học năm 1944 cho việc khám phá ra sự phân hạch hạt nhân. Đúng ra phải ghi nhận công lao vất vả của Meitner trong buổi đầu sự nghiệp của bà, Hahn thường phát biểu như thế khám phá ấy do một mình ông thực hiện.



Tuy nhiên, Meitner vẫn duy trì tình bạn lâu dài với Hahn khi họ còn sống. Bà mất hôm 27 tháng 10, 1968, một vài ngày trước sinh nhật lần thứ 90, được mai táng trong một nghĩa trang thôn quê ở gần Cambridge, Anh, bà yên nghỉ ở đó tầm năm trước khi nằm gần người cháu trai của bà, Otto Frisch. Bà không còn sống để nhìn thấy tên của nguyên tố tổng hợp số 109 Meitnerium được đặt để tôn vinh bà. Khoảng thời gian đó, nguyên tố số 105 chính thức được mang tên Dubnium, theo tên thành phố Dubna, nơi nó được phát hiện ra. Trong nhiều năm, nó được gọi tên không chính thức là Hahnium.

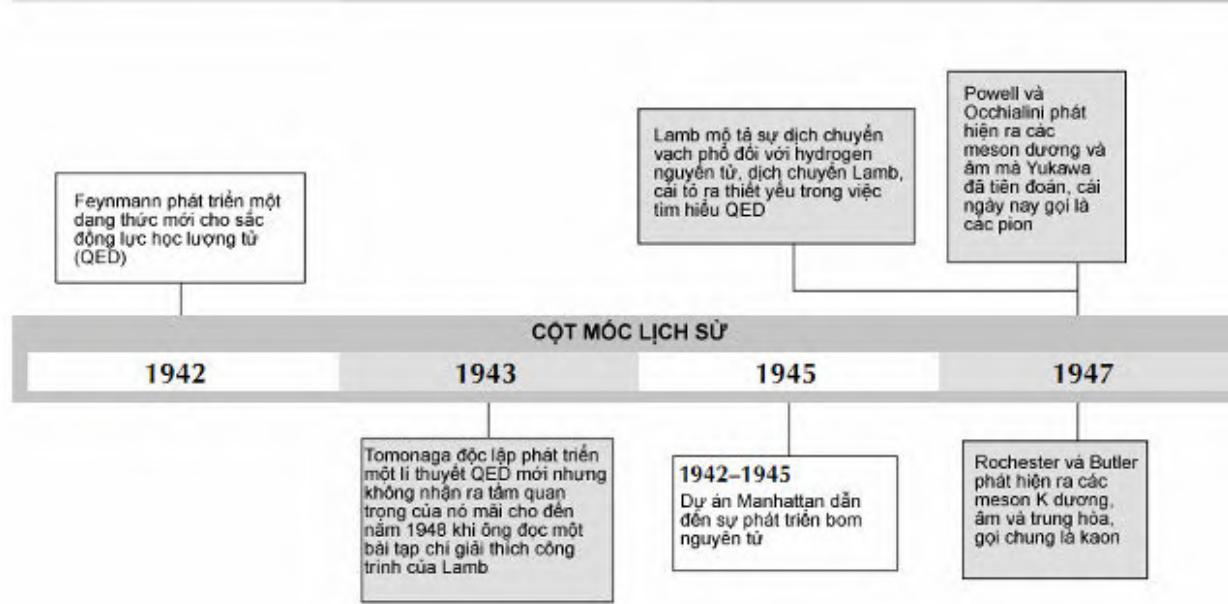


Lise Meitner, người phụ nữ tiên phong nghiên cứu khoa học, đến thăm sinh viên trường Bryn Mawr College lúc bà đã lớn tuổi.  
(Ảnh: AIP Emilio Segrè Visual Archives)



## 1941 – 1950: Vật lí học trong thời kì chiến tranh

Khi thập kỉ thứ năm của thế kỉ 20 mở màn, cỗ máy quân sự Đức đã xâm chiếm phần lớn lục địa châu Âu, và quân Nhật đang khẳng định sự thống trị của họ ở châu Á và Thái Bình Dương. Trong số những quốc gia quân sự hùng mạnh nhất thế giới, duy chỉ có Hoa Kì vẫn chính thức trung lập, mặc dù rõ ràng chính phủ nước này ủng hộ sự bành trướng của quân Đức và quân Nhật. Ngày 8 tháng 12, 1941, một ngày sau sự kiện Nhật tấn công căn cứ quân sự Mĩ tại Trân Châu Cảng, Hawaii, nước Mĩ đã tham chiến với Nhật, động thái tự nhiên đưa đến sự liên minh với Pháp, Anh và Liên Xô, chống lại nước Đức và khối liên minh của nó. Mâu thuẫn đã phát triển thành Thế chiến thứ hai, và nó không chỉ làm thay đổi cuộc sống của các nhà vật lí, mà còn làm thay đổi nền văn hóa khoa học của họ.



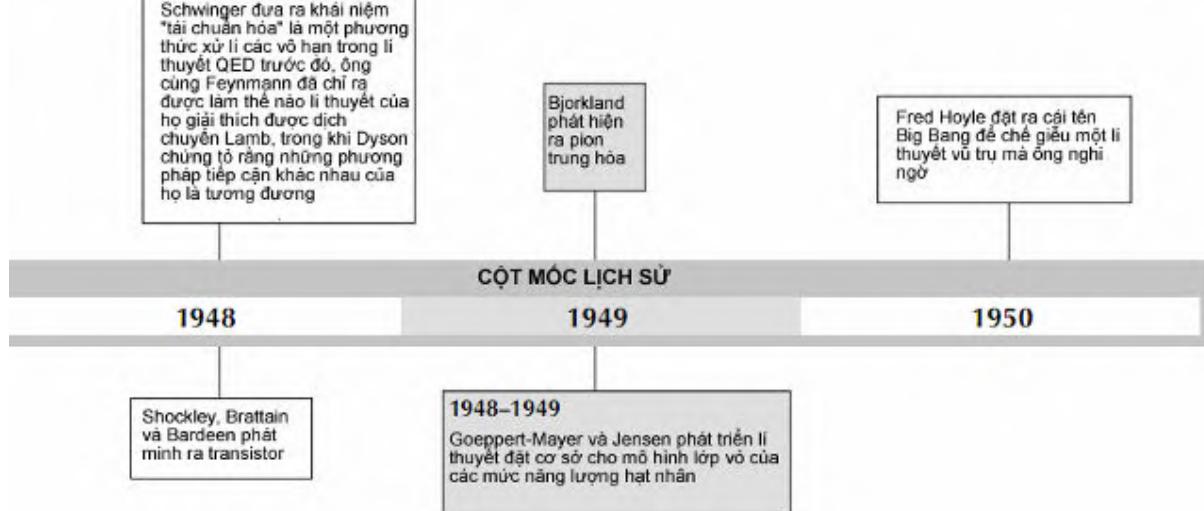
Như đã mô tả trong chương trước, thập niên 1930 là những năm tháng biến chuyển đối với nền vật lí học quốc tế khi nhiều nhà vật lí phải tìm cách trốn chạy khỏi sức mạnh quyền lực của Hitler. Đối với những người có gốc gác hoặc bà con Do Thái, đó thật sự là vấn đề sống còn; những người khác thì ra đi vì phản đối sự hiện diện của Quốc xã, nhưng phần lớn những nhà vật lí người Đức phi Do Thái vẫn ở lại trong nước. Ở phần còn lại của châu Âu, các nhà vật lí đang hướng sang Mĩ vì những cơ hội tài chính và khoa học bên đó. Đa số các trường đại học trọng yếu của nước Mĩ lúc này có những chương trình nghiên cứu cạnh tranh hoặc vượt trội so với các phòng thí nghiệm và trung tâm học thuật lớn ở châu



Âu. Nghiên cứu công nghiệp của nước Mĩ mới và các chương trình phát triển cũng đang bắt đầu xuất hiện. Trung tâm thu hút đối với vật lí học đã xuyên Đại Tây Dương chuyển dịch sang phía tây, và những sự kiện xảy ra trong thập niên 1940 càng làm tăng thêm tốc độ di cư người và sức mạnh trí tuệ sang bên kia đại dương.

Nhu cầu công nghệ thời chiến đã chi phối nghiên cứu khoa học và tăng cường thêm xu thế đang xuất hiện hướng đến những chương trình “khoa học lớn”, vốn kém đòi hỏi những đội khoa học đông đúc, hợp tác để xây dựng những thiết bị cỡ lớn như cyclotron và lò phản ứng hạt nhân. Cho dù không có chiến tranh chẵng nữa, thì nền văn hóa bánh xe tự do của nước Mĩ vẫn thích hợp đối với xu thế này hơn so với các trường viện châu Âu nặng về kinh điển. Sự se duyên của vật lí và công nghệ trong thời chiến đã dẫn đến sự thống trị của nước Mĩ trong cả hai lĩnh vực trên xuyên suốt phần còn lại của thế kỉ 20. Vào cuối thập niên 1940, nước Mĩ dẫn đầu rõ ràng về công nghệ hạt nhân, nhờ vào sự phát triển bom thời chiến của nó dựa trên sự phân hạch hạt nhân (thường gọi là là bom nguyên tử). Kết thúc thập niên này, nước Mĩ đã có được những tiến bộ đáng kể hướng đến những thiết bị nhiệt hạch hạt nhân, hay bom khinh khí, mang lại nhiều năng lượng hơn hàng chục lần hàng trăm lần so với những thiết bị phân hạch của nó. Cho dù công nghệ Đức đã thống trị những lĩnh vực đó trước hoặc trong cuộc chiến, nhưng máy bay phản lực và tên lửa đã trở thành thế mạnh của nước Mĩ, một phần nhờ sự đầu hàng của những nhà khoa học tên lửa Quốc xã hàng đầu, phần lớn trong số họ đã được sắp xếp có cân nhắc để bị quân đội Mĩ bắt giữ, thay vì bị bắt giữ bởi đối thủ cạnh tranh toàn cầu đang xuất hiện của nước Mĩ, Liên Xô.

Một công nghệ thời chiến quan trọng nữa là radar, với những phát triển quan trọng cả ở Mĩ lẫn Anh quốc. Nhiều nhà sử học đánh giá công nghệ radar quan trọng hơn nhiều so với bất kỳ nỗ lực thời chiến nào khác cho dù là tên lửa hoặc bom. Sự dẫn đầu của nước Mĩ trong lĩnh vực này đã đưa đến sự thống trị trong ngành điện tử học trong những thập niên sau đó. Nhưng tập sách này nói về vật lí học chứ không phải công nghệ hay chính trị. Cho nên, dẫu biết tầm quan trọng của chính trị và công nghệ mang lại xu thế mới cho nghiên cứu vật lí giai đoạn 1941 – 50, nhưng tiêu điểm của tập sách vẫn là bản thân khoa học, trong đó có sự xuất hiện của một nhà vật lí trẻ đến từ Far Rockaway thuộc ngoại ô thành phố New York tên là Richard Feynman (1918–88), người không chỉ đóng góp cho nỗ lực thời chiến mà còn đặt nền tảng cho việc giải thích lại điện tử học theo các nguyên lí của thuyết lượng tử.



## **QED: Điện động lực học lượng tử**

Đối với các nhà vật lí, việc nắm bắt tầm quan trọng của vũ trụ lượng tử không xuất hiện một cách dễ dàng. Giống như thuyết tương đối của Einstein trong những thập niên đầu của thế kỉ, thuyết lượng tử đang thách thức những bản năng của họ và những giả thuyết cơ sở của nền khoa học của họ. Tuy nhiên, bước sang đầu những năm 1940, sự thành công của lí thuyết mới ấy là không thể chối cãi được. Các nhà vật lí phải chấp nhận quan điểm lượng tử kì lạ nhưng thâm thúy về vũ trụ. Họ không còn có thể phân biệt rạch ròi giữa hạt và sóng được nữa. Họ phải chấp nhận những hạn chế có hữu đặt lên tính chính xác của những phép đo vật lí và trên khả năng dự báo toán học về vũ trụ. Giống như một số người đã ra thích chiếc đồng hồ vũ trụ quen thuộc hồi cuối thế kỉ 19, họ hiểu rằng nền khoa học của họ không còn đưa ra những quy luật sai khiến hành trạng của vũ trụ được nữa. Thay vào đó, người ta đang quan sát vũ trụ và suy luận ra những quy luật chi phối hành trạng của nó.

Một lí thuyết của thế kỉ 19 vẫn không được định hình lại trọn vẹn để tương thích với thực tại mới: đó là thuyết điện từ. Như đã lưu ý trong chương trước, một số nhà vật lí châu Âu lỗi lạc đã có một số tiến bộ hướng tới một lí thuyết điện động lực học lượng tử, hay QED, nhưng không ai trong số họ có thể hoàn thành công việc đó. QED rõ ràng là yêu cầu của một quan niệm đột phá. Những đổi mới kịch tính như thế trong tư duy khoa học hầu như luôn luôn phát sinh từ trí tuệ của những nhà khoa học trẻ tuổi nhất, vì họ không bị ràng buộc nhiều bởi những quan niệm cũ xưa. Điều đó chắc chắn đúng đắn với nền vật lí thế kỉ 20. Einstein, Bohr, de Broglie, Pauli, Schrödinger, Heisenberg, Dirac, và nhiều nhà tiên phong khác của vật lí lượng tử đang ở trong độ tuổi đôi mươi khi họ thực hiện công trình sáng giá nhất của mình. Và hầu như trong mỗi trường hợp, sự đổi mới của họ xây dựng trên một cách nhìn mới vào một hiện tượng vật lí đã biết rõ. Cho nên chẳng có gì ngạc nhiên là một đột phá quan trọng xuất hiện trong năm 1942 ra đời từ nghiên cứu của Richard Feynman, một sinh viên vật lí chưa tốt nghiệp 24 tuổi tại trường Đại học Princeton.

Feynmann đã mang lại một phương pháp xử lí một đặc điểm toán học phiền toái trong những nỗ lực trước đó nhằm mô tả các hiệu ứng điện từ theo thuật ngữ lượng tử. Hệ phương trình Maxwell đã thống nhất thành công các lí thuyết điện học, từ học, và ánh sáng, nhưng những công thức thế kỉ 19 đó xây dựng trên giả thuyết rằng điện tích và năng lượng ánh sáng là những đại lượng liên tục, nghĩa là chúng có thể đo ra bất kì lượng bao nhiêu giống như chất lỏng. Những nghiên cứu thế kỉ 20 của vật lí hạ nguyên tử và quang phổ cho thấy giả thuyết đó không còn giá trị. Cả điện tích lẫn năng lượng ánh sáng đều xuất hiện thành từng bó lượng tử, giống như những hạt cát.

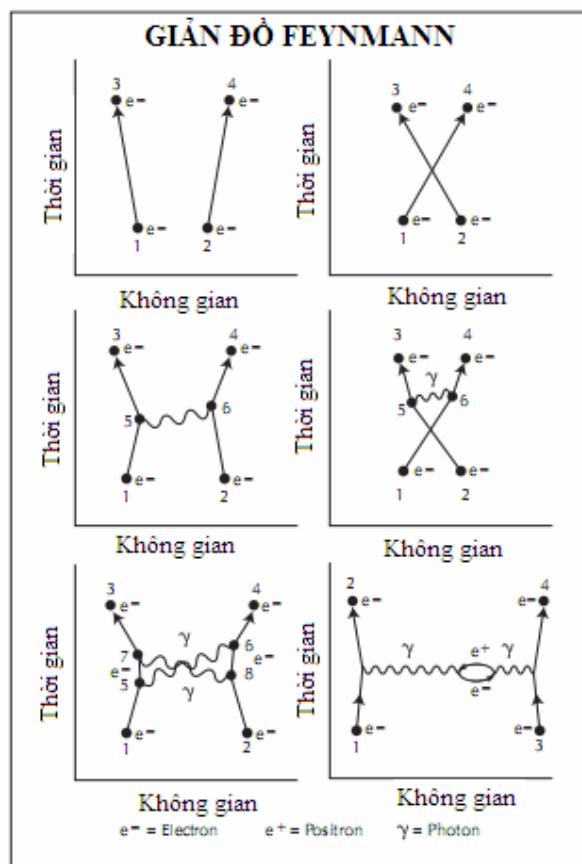
Các nhà vật lí áp dụng cơ học lượng tử và thuyết tương đối cho điện từ học đã thành công đáng kể - nhưng không hoàn toàn – trong việc mô tả các tính chất và hành trạng của electron. Rắc rối với những phép tính của họ không nằm ở các lí thuyết hay phương trình trên mà nằm ở mô hình toán học mô tả cách thức điện tích phân bố bên trong electron. Các phép tính ấy có một biểu thức toán học cho một đại lượng gọi là năng lượng tự thân của electron, năng lượng phát sinh từ điện tích của electron tương tác với trường điện từ riêng của nó. Năng lượng tự thân của electron phụ thuộc vào chi tiết cụ thể của mô hình phân bố điện tích của electron. Thật không may, khi những yêu cầu của thuyết tương đối được đưa vào mô hình đó, thì số hạng năng lượng tự thân luôn luôn vô hạn, làm cho các phép toán số trở nên vô nghĩa.

Quan điểm sâu sắc của Feynmann là sáng tạo ra một dạng thức mới của cơ học lượng tử. Phương pháp của ông không tập trung vào phương trình Schrödinger và Dirac, mà chú trọng vào những quá trình cơ sở khác có thể dẫn đến những sự kiện quan sát được. Thí dụ, hãy xét một electron chuyển động từ một điểm A ở thời điểm này đến điểm B ở



thời điểm khác, làm thay đổi xung lượng của nó trong quá trình trên. Sự chuyển tiếp đó có thể là do nhiều tương tác khác nhau với các photon. Quan điểm của Feynmann là tìm cách một cách cộng lại tất cả những tương tác có thể có, tạo ra cái các nhà vật lí gọi là biên độ xác suất của chuyển tiếp trên. Kỹ thuật này thay thế hàm sóng cơ lượng tử bằng tập hợp những giản đồ tương tác hạt, nhưng mang lại những xác suất chuyển tiếp giống như cũ.

Cũng đâu đó ở Princeton, Albert Einstein đặc biệt hài lòng khi ông biết được phương pháp mới ấy từ John Archibald Wheeler (1911– ), có vấn nghiên cứu của Feynmann. Einstein thường chỉ trích mô tả cơ lượng tử của các hạt dưới dạng hàm sóng, vì nó buộc các nhà vật lí phải chấp nhận một mức độ ngẫu nhiên trong các định luật vật lí. “Chúa không chơi trò xúc xắc với vũ trụ đâu”, ông đã phát biểu như thế. Phương pháp của Feynmann cũng mang lại mức độ ngẫu nhiên tương tự như vậy trong các kết quả, nhưng nó thu về từ một tập hợp những tương tác có thể tiên đoán trước. Einstein bảo Wheeler, “Tôi vẫn không thể tin Chúa lại đi chơi xúc xắc, nhưng có lẽ tôi cũng có quyền phạm sai lầm chứ”.



Các giản đồ nổi tiếng của Feynmann đã tóm tắt mọi tương tác có thể có giữa electron và photon, và đã cho phép ông phát triển một lý thuyết đầy đủ của điện động lực lượng tử.

Luận án của Feynmann không mang lại một lí thuyết QED hoàn chỉnh ngay tức thời, mà nó đặt nền tảng cho một lí thuyết hoàn chỉnh sau này trong thập niên 40, sau một thời gian gián đoạn đã làm chênh hướng chú ý của Feynmann sang một vấn đề cấp thiết hơn: phát triển bom nguyên tử. Sau chiến tranh, Feynmann trở thành giáo sư tại trường Đại học Feynmann, tại đó ông quay lại nghiên cứu về QED. Tại một hội nghị chỉ có khách mời mới được tham dự tổ chức tại một khu nghỉ dưỡng trên đảo Shelter, New York, vào mùa hè năm 1947, có 25 nhà vật lí hàng đầu tham dự, Willis Lamb (1913– ) ở trường Đại học Columbia đã trình bày kết quả của những phép đo rất thận trọng của ông về quang phổ của hydrogen nguyên tử (khác với hydrogen phân tử, là hỗn hợp của hai nguyên tử hydrogen



liên kết với nhau). Các thí nghiệm của ông hé lộ một sự phân tách rất nhỏ của các vạch phổ do sự chênh lệch năng lượng giữa hai trạng thái lượng tử khác nhau. Sự chênh lệch này trở nên nổi tiếng là *dịch chuyển Lamb* và đã mang đến giải thưởng Nobel vật lí 1955 dành cho Lamb. Nó buộc các nhà vật lí xét lại thuyết lượng tử. Phương trình Dirac tiên đoán năng lượng của hai trạng thái đó sẽ chính xác bằng nhau. Bất kì sự chênh lệch nào, cho dù nhỏ bao nhiêu đi nữa, cũng hết sức quan trọng để tìm hiểu thế giới hạ nguyên tử.

Liệu có thể nào công trình mới nhất về QED giải thích được dịch chuyển Lamb hay không? Feynmann và những nhà vật lí khác tại hội nghị, trong đó có một người New York nữa cùng tuổi với Feynmann tên là Julian Schwinger (1918–94), có một số ý tưởng để triển khai thực hiện. Tại một cuộc họp Hội Vật lí Hoa Kì trong năm sau đó, và tại một hội nghị khách mời khác tổ chức ở Núi Pocono thuộc Pennsylvania, một lời giải thích toán học đã từ xuất hiện. Tại hội nghị Pocono, Schwinger, một giáo sư tại trường Đại học Columbia, đã thực hiện một bài thuyết trình tài giỏi gồm toàn toán học cao cấp. Toán học là thứ ngôn ngữ mà mọi người tham dự hội nghị đều hiểu, nhưng các phép tính quá phức tạp và chi tiết cho nên chỉ vài ba người có thể theo kịp ông trình bày cho đến lúc kết thúc. Tuy nhiên, họ công nhận rằng, phương pháp đổi mới của ông, gọi là *tái chuẩn hóa*, thật sự làm ản di những vô hạn của các phép tính năng lượng tự thân và cho phép ông tính ra các mức năng lượng của hydrogen nguyên tử. Kết quả của ông tái tạo lại dịch chuyển Lamb. Giả như cơ sở toán học của ông ít phức tạp hơn và liên hệ rõ ràng hơn với các hiện tượng vật lí, thì cách tiếp cận của Schwinger với QED sẽ được chấp nhận rộng rãi.

Bài thuyết trình của Feynmann diễn ra sau đó. Phương pháp trực quan của ông có ưu điểm dễ thấy và rõ ràng trói buộc với những hiện tượng vật lí, nhưng với những nhà tư tưởng toán học ngoài trong ghế cử tọa, nó cứ như thể ông đang nói giọng nước ngoài. Ông suy luận ra các lời giải trực tiếp từ những giản đồ của ông mà không sử dụng phương trình nào hết. Cho nên, mặc dù ông cũng đi đến sự dịch chuyển Lamb từ lí thuyết của ông, nhưng cử tọa vẫn thích cách tiếp cận phức tạp hơn nhưng dễ ghi nhận của Schwinger hơn so với phương pháp đơn giản hơn nhưng kém quen thuộc hơn của Feynmann. Mọi người công nhận rằng cả Schwinger lẫn Feynmann đều có những tiến bộ đáng kể, nhưng chỉ có vài ba người thỏa mãn rằng một trong hai đã phát triển một lí thuyết hoạt động trọn vẹn của QED. Cần có cái nhìn của một ai đó không có mặt trong ghế cử tọa tại một hai hội nghị đưa hai lí thuyết lại với nhau.

Người đó là chàng trai trẻ người Anh Freeman Dyson (1923– ), người vào năm 1947 đã đến Mĩ từ trường Đại học Cambridge để nghiên cứu với Bethe tại Cornell. Một trong những cố vấn Cambridge dày dạn kinh nghiệm của ông đã mô tả ông là “nhà toán học xuất sắc nhất ở Anh”, nên chẳng ai lấy làm lạ trước việc ông thích thú xử lí bài toán QED. Sau khi đọc những lưu ý của Wheeler từ những bài thuyết trình của Schwinger và Feynmann tại hội nghị Pocono, ông hăm hở tìm hiểu cả hai người họ. Ông ghi danh tham dự một seminar hè về QED mà Schwinger đang có kế hoạch tổ chức tại trường Đại học Michigan. Tại Cornell, ông có cơ hội nói chuyện với Feynmann, người trở thành người bạn thân thiết đồng thời là thầy của ông.

Khi mùa hè bắt đầu, Feynmann mời Dyson cùng ông chu du đến Albuquerque, New Mexico. Mục tiêu của Feynmann là theo đuổi một cô bạn gái và có một vài chuyến phiêu lưu trên hành trình ấy. (Chi tiết xem phần giới thiệu về Feynmann ở cuối chương) Dyson biết ông có một chút máu du lịch, nó thể hiện cao độ trong chương trình hè của ông, và có nhiều thời gian để khai thác trí tuệ của Feynmann về các giản đồ của ông và QED. Ông nhanh chóng đồng ý. Từ Albuquerque, ông đã đón xe buýt Greyhound đến Ann Arbor, Michigan, nhằm thưởng lãm cảnh đẹp và tham dự seminar của Schwinger.

Cả hai mục tiêu của chuyến đi đều phù hợp với cái Dyson đang hi vọng. Với đầu óc của ông đang chứa đầy các giản đồ Feynmann và các phương trình Schwinger về QED,



ông cần có một kì nghỉ dưỡng. Ông lên tàu đi về phía tây Greyhound, trải qua một ít thời gian ở San Francisco và Berkeley, California, sau đó đi trở về miền đông. Ông không suy nghĩ gì nhiều về QED trong hai tuần, nhưng bất ngờ tại đâu đó ở Nebraska, ý tưởng chợt ập đến. Những hình vẽ của Feynmann và phương trình của Schwinger cùng ập đến trong tâm trí của ông. Ông nhận ra rằng cả hai phương pháp đều xây dựng trên những ý tưởng giống nhau, và ông nhìn thấy một phương thức kết hợp chúng thành một lý thuyết chính xác toán học của QED dựa trên những kiến thức sâu sắc đủ rõ ràng để thể hiện ở dạng giản đồ. Khi Dyson trình bày quan điểm của ông tại cuộc họp của Hội Vật lí Hoa Kì vào tháng 1 năm sau đó, 1949, ông đã trở thành một nhân vật tiếng tăm trong làng vật lí.

Schwinger, Feynman, và Dyson sớm tìm thấy sự chia sẻ tiếng tăm QED của họ với một nhà vật lí khác, Sin-Itiro Tomonaga (1906–79) của đất nước Nhật Bản. Trong khi Thế chiến thứ hai đã làm gián đoạn công trình của Feynmann, thì Tomonaga vẫn có thể tiếp tục công trình nghiên cứu của ông tại Riken Kenkyusho, Viện Nghiên cứu Vật lí và Hóa học ở Tokyo. Giám đốc Riken, Yoshio Nishina (1890–1951), người đã nghiên cứu ở châu Âu lúc cao trào của sự phát triển cơ học lượng tử, đã khuyến khích nghiên cứu của Tomonaga về QED và bảo vệ ông khỏi phải phục vụ quân địch. Kết quả là một loạt bài báo đăng trên tạp chí tiếng Nhật có tên dịch ra là “Tiến bộ về vật lí lý thuyết”. Những án phẩm đó đã đặt ra chính những ý tưởng cho QED mà Schwinger đã dùng làm cơ sở cho cách tiếp cận toán học chi tiết của ông. Đó là vào năm 1943, 4 năm trước khám phá quan trọng của Lamb và 5 năm trước án phẩm của Schwinger. Vì lí do chiến tranh, công trình của Tomonaga vẫn không được biết đến ở bên ngoài nước Nhật. Ông thậm chí còn không nhận ra tầm quan trọng của nó mãi cho đến khi ông đọc được công trình của Lamb trên tạp chí *Newsweek* năm 1948. Lúc ấy, ông đã liên hệ với J. Robert Oppenheimer (1904–67), người đã đưa đến những nỗ lực khoa học của dự án bom nguyên tử Mĩ. Oppenheimer đề nghị Tomonaga đệ trình một bản tóm tắt cho tờ *Physical Review*, tạp chí mang công trình của ông vào sự chú ý của các nhà khoa học người Mĩ.

Tomonaga được mời làm khách trong hội nghị khách mời tiếp theo về QED vào năm 1949, và năm 1965, ông cùng nhận giải Nobel vật lí với Schwinger và Feynman. Vì không thể có hơn ba người cùng nhận một giải thưởng Nobel, cho nên bắt chấp những đóng góp quan trọng của ông cho QED, tên tuổi của Dyson không được nhắc đến trong giải thưởng.

## Sự phân hạch hạt nhân, “Nền khoa học lớn”, và Bom

Với một thế giới đang có chiến tranh, việc tìm hiểu và ứng dụng sự phân hạch hạt nhân trở thành một ưu tiên hàng đầu đối với những bên tham chiến. Mặc dù những nghiên cứu ban đầu cho biết một phản ứng dây chuyền là có thể xảy ra về mặt lí thuyết, nhưng không rõ làm thế nào gây ra được một phản ứng kiểu như vậy trong thực tế. Như phần này đã trình bày cụ thể, một số trở ngại kĩ thuật cần phải được vượt qua để chế tạo một quả bom. Từ viễn cảnh lịch sử, khoa học là một thành tựu mới so với công nghệ. Công nghệ thì xưa cũ hơn bản thân nền văn minh. Trái lại, thực tế có hệ thống của khoa học chỉ mới bắt đầu trước đó vài trăm năm mà thôi. Tuy nhiên, vào giữa thế kỉ 20, khoa học và công nghệ rõ ràng là phụ thuộc lẫn nhau. Các kĩ sư và nhà kĩ nghệ đang áp dụng kiến thức khoa học trong công việc của họ, và nhiều câu hỏi khoa học đòi hỏi phải nâng cấp kĩ thuật đối với những thiết bị phức tạp.

Giống như đa số những xu thế chính yếu trong lịch sử, thật khó mà xác định cụ thể thời điểm bắt đầu của “nền khoa học lớn”, nhưng sự phát triển của cyclotron vào cuối những năm 1930 chắc chắn là một thí dụ như vậy. Nếu như các máy gia tốc hạt đánh dấu sự ra đời của nền khoa học lớn, thì sự phát triển quả bom hạt nhân đầu tiên vào đầu đến



giữa thập niên 1940 đại diện cho tuổi thanh xuân của nó, và phần còn lại của thập niên 1940 và 1950 có thể mô tả là thời kì trưởng thành thuần thục của nó. Dự án bom đòi hỏi rất nhiều nhân vật tài giỏi, cộng với sự quản lí dày dặn để phối hợp những tài năng đó. Kiến thức mới phải áp dụng hầu như ngay khi nó được phát triển, nghĩa là vật lí học và các nhà vật lí là trung tâm đối với sự nghiệp chế tạo bom trên mọi phương diện của sự mâu thuẫn toàn cầu.

Ở Mĩ, dự án bom nguyên tử đã bắt đầu triển khai từ trước khi nước này tham chiến. Hè năm 1939, Leo Szilard (1898–1964), Eugene Wigner (1902–95), và Edward Teller (1908–2003), cả ba người đều bay từ quê hương Hungary sang Mĩ để trốn chạy sự đe dọa của Đức quốc xã, đã thảo một bức thư thúc giục tổng thống Franklin D. Roosevelt (1882–1945) bắt đầu một nỗ lực thiết yếu để phát triển bom. Họ đã thuyết phục Einstein, người thường nghiêng về chủ nghĩa hòa bình, kí vào bức thư. Một năm sau, một tổ chức nhỏ tên gọi là Ủy ban Cố vấn về Uranium bắt đầu đi vào hoạt động. Sau sự kiện Trân Châu Cảng, chính quyền Mĩ đã nhanh chóng cho leo thang những nỗ lực của họ. Dự án Manhattan được ưu tiên cao đã mang nhiều hoạt động nghiên cứu khác nhau lại cùng nhau và tập trung nhân lực, vật lực vào chế tạo bom nguyên tử.

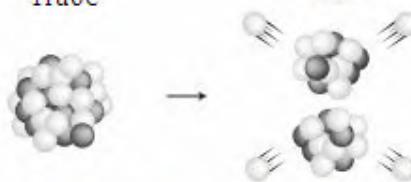
Nghiên cứu về phản ứng dây chuyền đã và đang triển khai ở một số phòng thí nghiệm. Để cho một phản ứng dây chuyền xảy ra, trung bình phải có ít nhất một neutron sinh ra từ mỗi sự kiện phân hạch gây ra thêm một sự kiện phân hạch khác. Đầu những năm 1940, các nhà vật lí biết rằng uranium xuất hiện trong tự nhiên không thể duy trì một phản ứng dây chuyền. Uranium tự nhiên chủ yếu gồm hai đồng vị. Phổ biến nhất, chiếm 99,27% số nguyên tử, là  $^{238}\text{U}$ ; nó có 92 proton và 146 neutron, mang lại khối lượng nguyên tử 238. Gần như toàn bộ những nguyên tử còn lại là  $^{235}\text{U}$ . Hai đồng vị hành xử rất giống nhau trong các phản ứng hóa học, nhưng tương tác của chúng với neutron thì hơi khác. Sự phân hạch của một hạt nhân  $^{238}\text{U}$  có thể xảy ra, nhưng nó hiếm đến mức một phản ứng dây chuyền là không thể. Đại đa số trường hợp, khi một neutron tương tác với một hạt nhân  $^{238}\text{U}$ , nó chỉ bật trả ra, và thỉnh thoảng thì nó bị hấp thụ để tạo ra một hạt nhân  $^{239}\text{U}$  có thời gian sống ngắn. Hạt nhân  $^{239}\text{U}$  nhanh chóng phân rã bằng cách phát ra một hạt beta và trở thành neptunium ( $^{239}\text{Np}$ ), hạt này hóa ra sau đó lại phân rã bằng cách phát ra một hạt beta nữa, và trở thành plutonium,  $^{239}\text{Pu}$ . Sự phân hạch xảy ra thường xuyên hơn khi một neutron chạm trúng một hạt nhân  $^{235}\text{U}$ . Sự kiện đó mang lại hai hạt nhân nhỏ hơn, kích cỡ ngang ngửa nhau, đồng thời sinh thêm ba neutron nữa có thể gây ra những sự kiện phân hạch khác nữa. Tuy nhiên, nghiên cứu của Fermi cho biết các neutron nhanh, giống như những neutron sinh ra bởi sự phân hạch, hiếm khi tương tác với hạt nhân uranium. Nếu không có một chất điều tiết làm cho chúng chậm lại, thì đa số neutron dễ dàng thoát ra thế giới bên ngoài.

Một khi các nhà vật lí hiểu rõ hành trạng khác nhau của hai đồng vị uranium chính, họ nhận ra có hai lô trình dẫn đến một phản ứng hạt nhân dây chuyền. Một lô trình ứng dụng để chế tạo lò phản ứng hạt nhân, hay “cột phản ứng”, một sự sắp xếp các mẫu uranium và chất điều tiết. Các neutron sinh ra từ sự phân hạch trong một mẫu uranium sẽ được chất điều tiết làm cho chậm lại, sau đó đi vào một mẫu uranium khác, nơi chúng gây ra thêm những sự kiện phân hạch khác. Các neutron phân hạch có thể bị thất thoát do thoát ra khỏi cột, hoặc bị hấp thụ bởi hạt nhân khác, thí dụ  $^{238}\text{U}$ , mà không gây ra sự phân hạch. Điều then chốt là phát triển một cấu hình sắp xếp trong đó một lượng đủ lớn số neutron sinh ra trong sự phân hạch tiếp tục gây ra sự phân hạch khác nữa. Đây là phương pháp Fermi cho triển khai tại Columbia. Cột phản ứng ấy quá lớn và quá phức tạp để phát triển thành một thứ vũ khí, nhưng nó rất có giá trị để tiến hành những phép đo làm tăng thêm kiến thức của các nhà vật lí về những tính chất của hạt nhân uranium và quá trình phân hạch. Hóa ra nó còn là một tiền thân của nhà máy điện hạt nhân, mặc dù tập trung chú ý của các nhà nghiên cứu dồn vào những ứng dụng khác cấp bách lúc bấy giờ.

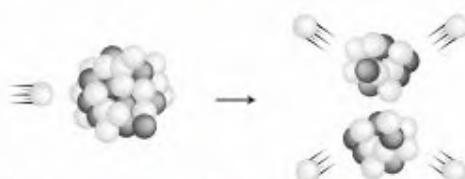


### CÁCH TẠO RA PHẢN ỨNG HẠT NHÂN DÂY CHUYỀN (1)

Trước Sau



Hạt nhân lớn chịu sự phân hạch, vỡ ra thành hai hạt nhân nhỏ hơn và một vài neutron chuyển động nhanh.



Mỗi neutron có thể va chạm với một hạt nhân nữa và gây ra một sự phân hạch nữa.



Hoặc nó có thể bị hấp thu để tạo ra một đồng vị khác.



Hoặc nó có thể bị phân xạ (hoặc tán xạ) hoặc trượt qua hoàn toàn và thoát ra khỏi khói chất.

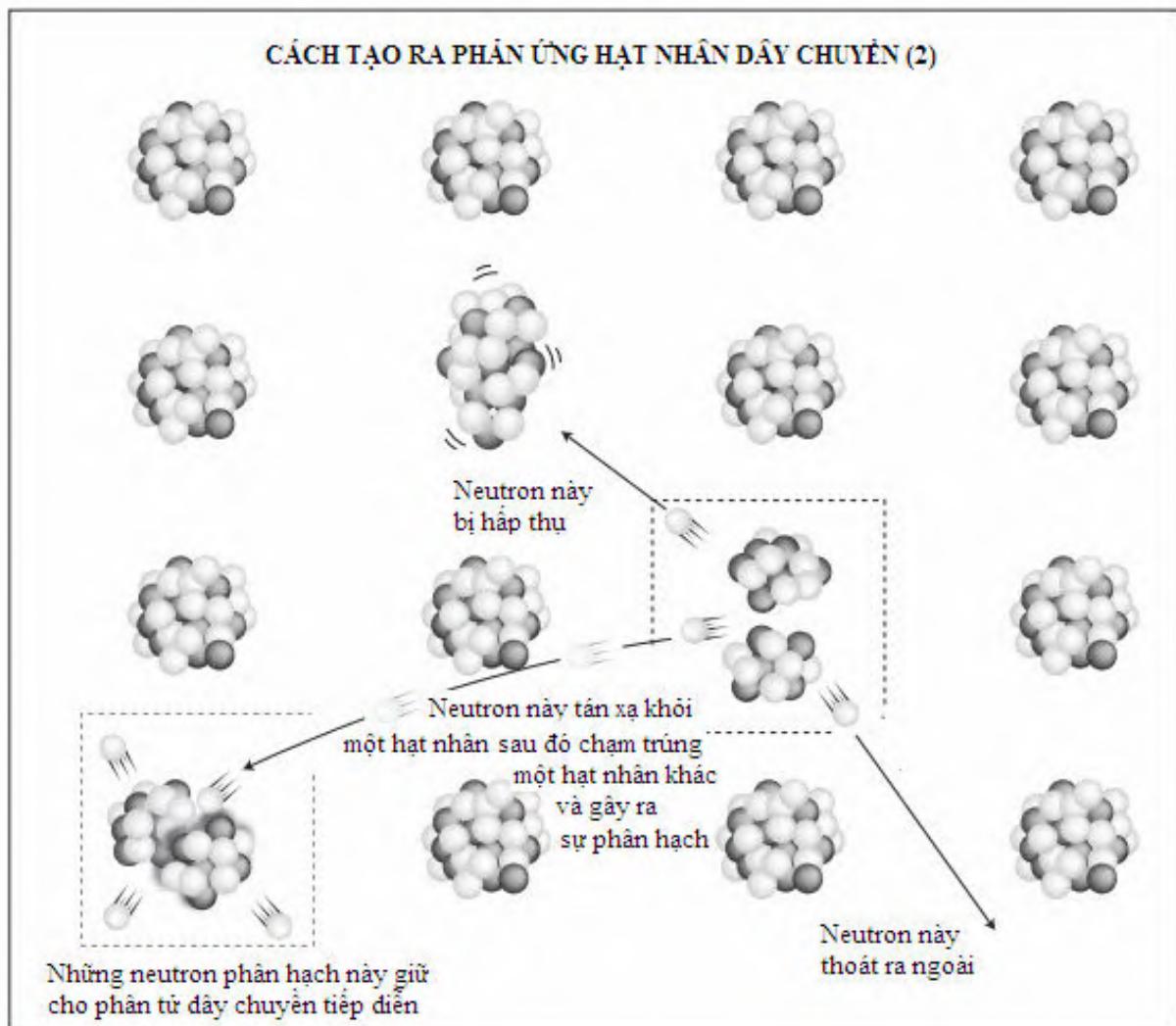
Khi một hạt nhân lớn chịu sự phân hạch, nó phát ra một vài neutron, chúng có thể hoặc không thể gây ra những sự kiện phân hạch khác.

Một phương pháp khác gây ra phản ứng dây chuyền là tách hạt nhân  $^{235}\text{U}$  “phân hạch” ra khỏi uranium tự nhiên. Các tính toán cho thấy cho dù không có chất điều tiết, thì các neutron nhanh trong  $^{235}\text{U}$  gần như tinh khiết cũng có cơ hội tốt để gây ra phản ứng phân hạch tiếp tục. Vấn đề là có một mẫu uranium đủ lớn để cho một neutron có khả năng chạm trúng với một vài hạt nhân  $^{235}\text{U}$  trước khi nó đi tới bề mặt, nơi nó có thể thoát ra ngoài. Mẫu uranium càng lớn, thì một neutron càng có khả năng gây ra thêm sự phân hạch và ít có khả năng thoát ra ngoài hơn. Do đó, các nhà vật lí nói tới một “khối lượng tối hạn” cho một phản ứng dây chuyền xảy ra. Đối với  $^{235}\text{U}$  tinh khiết, khối lượng tối hạn chỉ khoảng 10 kg, đủ nhỏ để dễ dàng đưa vào một quả bom. Plutonium 239 cũng dễ dàng chịu sự phân hạch, nhưng sản xuất nó ở lượng vừa đủ từ  $^{238}\text{U}$  đòi hỏi một phản ứng dây chuyền điều khiển được trong một cột nguyên tử, sau đó là chiết tách hóa học. Dự án Manhattan bao gồm các nghiên cứu về bom uranium lẫn bom plutonium.

Hai đồng vị uranium không thể nào tách ra bằng phương pháp hóa học được, cho nên các nhà khoa học và kỹ sư đã phát triển một kỹ thuật tách chúng ra bằng phương pháp vật lí. Kỹ thuật này hoạt động vì uranium phản ứng với fluorine để tạo ra một chất khí gọi



là uranium hexafluoride, hay  $\text{UF}_6$ . Giống hệt như trọng lực tách dầu và giấm trong một mớ lợn xộn thành từng lớp một, cho chất khí  $\text{UF}_6$  đi qua một cột khuếch tán sẽ tách những phân tử chứa đồng vị  $^{235}\text{U}$  nhẹ hơn ra khỏi những phân tử chứa  $^{238}\text{U}$  nặng hơn. (Công nghệ hiện nay sử dụng cột li tâm thay cho cột khuếch tán) Sự phân tách không hoàn toàn như trong trường hợp dung dịch dầu, vì không giống như giấm và dầu, các phân tử khí có xu hướng vẫn hòa lẫn vào nhau. Đồng thời, lượng phân tử  $^{235}\text{U}$  trong uranium tự nhiên rất nhỏ để mà bắt đầu phân tách. Vì thế, việc thu được  $^{235}\text{U}$  tinh khiết cao ở dạng khí là một quá trình nhiều giai đoạn.



Một phản ứng dây chuyền xảy ra nếu trung bình có ít nhất một neutron sinh ra từ mỗi sự kiện phân hạch làm cho một hạt nhân nữa chịu sự phân hạch. Nếu trung bình có đúng một neutron, thì quá trình tiếp tục giải phóng năng lượng một cách đều đặn, như trong nhà máy điện hạt nhân. Nếu trung bình có hơn một neutron, thì số lượng sự kiện phân hạch sẽ tăng lên rất nhanh và giải phóng một lượng năng lượng khổng lồ trong một thời gian ngắn – trường hợp bom nguyên tử.

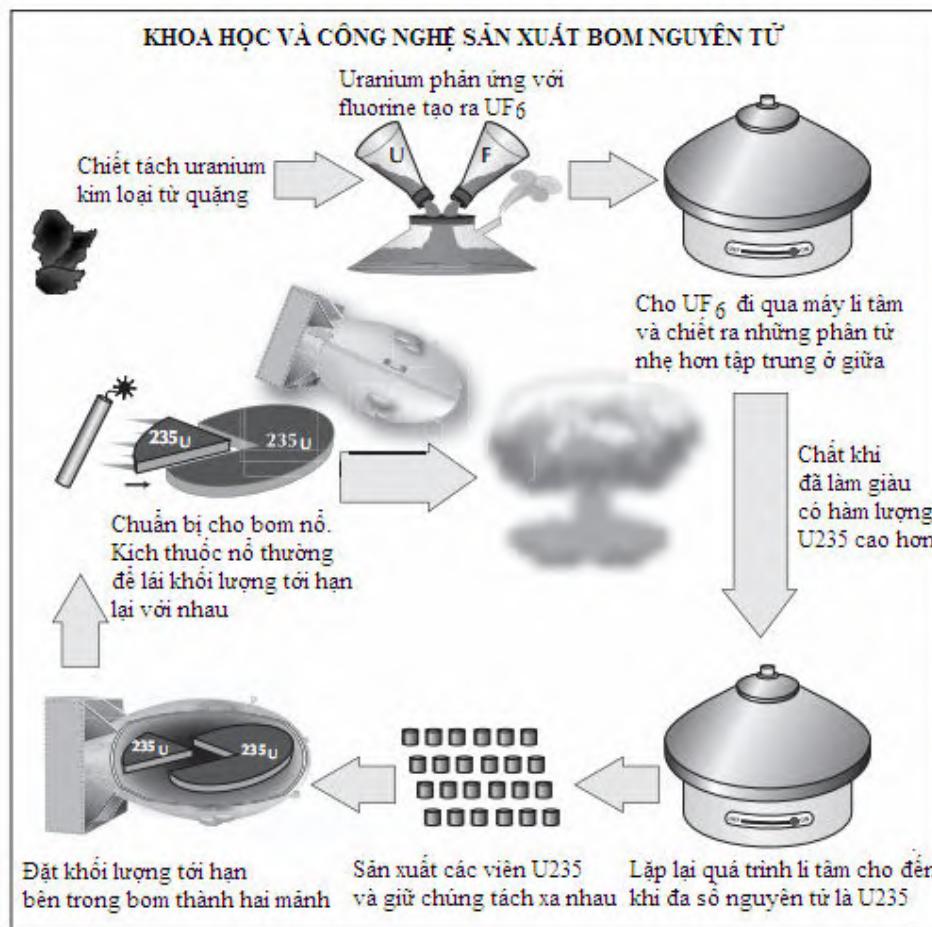


Khi chiến tranh bùng nổ, chính quyền Mĩ bắt đầu cho xây dựng một nhà máy sản xuất  $^{235}\text{U}$  Oak Ridge, Tennessee. Giống như mọi hoạt động núp dưới cái ô Dự án Manhattan, chỉ có một vài người biết chính xác mục đích của nó, mặc dù không thể nào che đậy một dự án của quy mô lớn như thế. Dự án Manhattan còn tài trợ cho một dự án chính tại trường Đại học Chicago dưới sự chỉ đạo của Arthur Compton (1892–1962). Dự án trên phải xây dựng một “đơn vị thiết yếu”, một cột nguyên tử có khả năng thu được phản ứng dây chuyền có điều khiển. Nghiên cứu trước đó của Compton, cũng như nghiên cứu của Fermi tại Columbia, là dựa trên các cột dưới tối hạn. Dự án đã cung cấp những nỗ lực của hai nhóm tại Chicago, nên Fermi bắt đầu dời khỏi Columbia vào năm 1942 để theo đuổi giai đoạn tiếp theo của nghiên cứu của ông. Cuối năm ấy, trong cái gọi là Phòng thí nghiệm Luyện kim trong sân vận động của trường Đại học Chicago, ông đã tạo nên lịch sử với phản ứng hạt nhân dây chuyền điều khiển được đầu tiên của thế giới.

Bộ phận bí mật nhất của Dự án Manhattan diễn ra ở Los Alamos, New Mexico. Đó là nơi bom nguyên tử được phát triển, với Oppenheimer đang lãnh đạo nhóm khoa học. Bethe lãnh đạo nhóm vật lí lý thuyết, nhóm này sớm có thêm Feynmann, người vừa mới hoàn thành luận án tiến sĩ mang tính đột phá của mình. Sau chiến tranh, ông trở thành đồng sự của Bethe tại Cornell. Mặc dù các phép tính hạt nhân là cơ sở vật lí mới nhất dùng trong việc chế tạo bom nguyên tử, nhưng những tính toán khác cũng thật quan trọng. Làm thế nào quả bom phát nổ? Thiết bị sẽ phải chứa một khối lượng uranium tối hạn, nhưng sẽ được phân chia sao cho phản ứng dây chuyền sẽ không bắt đầu cho đến khi các mảnh tiến lai sát nhau. Sau đó, khi phản ứng dây chuyền bắt đầu, làm thế nào các mảnh uranium vẫn ở lại với nhau? Nếu quả bom tự thổi tung ra quá nhanh, thì phản ứng dây chuyền sẽ ngừng lại trước khi đa phần năng lượng được giải phóng. Giải pháp là sử dụng những chất nổ thông thường để lái cái mảnh uranium lại với nhau ở tốc độ cao. Mỗi sự thay đổi trong các phép tính hạt nhân sẽ dẫn đến những thay đổi kỹ thuật của quả bom, bao gồm hình dạng của nó, và điều đó sẽ làm thay đổi quỹ đạo của nó một khi nó được thả ra. Các đội vật lí đang sử dụng các máy tính cơ tiên đoán mọi thứ họ cần phải biết về mỗi thiết kế có thể có của quả bom. Một số người sử dụng các máy tính điện tử mới được phát triển với công nghệ ống chân không mới nhất, được thiết kế đặc biệt dành cho họ. (Máy tính điện tử thương mại đầu tiên vẫn chưa xuất hiện, mãi cho đến năm 1946).

Cuối cùng, trong sa mạc New Mexico, ngày 16 tháng 7, 1945, quả bom nguyên tử đầu tiên đã được thử thành công. Chiến tranh ở châu Âu đã kết thúc vào mùa xuân, nhưng cuộc chiến vẫn đang tiếp diễn ở Thái Bình Dương. Những người đứng đầu nước Mĩ quyết định một phương thức nhanh nhất kết thúc cuộc chiến là sử dụng bom. Hai cuộc tấn công đã buộc Nhật Bản phải đầu hàng: một quả bom uranium thả xuống Hiroshima hôm 6 tháng 8, và một quả bom plutonium thả xuống Nagasaki ba ngày sau đó.





Uranium bình thường không thể duy trì một phản ứng dây chuyền vì chỉ một lượng nhỏ hạt nhân là  $^{235}\text{U}$  có khả năng phân hạch. Để phân hạt nhân còn lại là  $^{238}\text{U}$  nặng hơn một chút. Để sản xuất bom, các nhà khoa học phải tách hai đồng vị ra, một quá trình nhiều giai đoạn khó thực hiện liên quan đến sự tạo thành chất khí urani hexafluoride ( $\text{UF}_6$ ). Công nghệ ngày nay sử dụng các máy li tâm tốc độ cao để tách những phân tử  $\text{UF}_6$  nặng hơn chứa  $^{238}\text{U}$  ra khỏi những phân tử  $\text{UF}_6$  nhẹ hơn chứa  $^{235}\text{U}$ . Dự án Manhattan dựa trên những ô khuếch tán chất khí lớn hơn nhiều để đạt tới cái tương tự. Nếu một "khối lượng tối han" uranium đã làm giàu nằm ở một nơi, thì phản ứng dây chuyền sẽ bắt đầu, nhưng có khả năng nó sẽ tự thôi tung các mảnh ra ngoài trước khi sản sinh ra nhiều năng lượng. Sản xuất một quả bom yêu cầu một phương thức giữ một khối lượng tối hạn lại với nhau đủ lâu cho phản ứng dây chuyền xảy ra với đa số hạt nhân  $^{235}\text{U}$ . Dùng chất nổ thông thường để lái các mảnh uranium lại với nhau là một giải pháp.

Chương trình hạt nhân của người Mĩ không dừng lại sau chiến tranh. Mặc dù sự tồn thắt kinh hoàng về con người ở Hiroshima và Nagasaki đã làm chấn động tinh thần nhiều nhà khoa học và đưa họ đến chỗ ủng hộ chủ nghĩa hòa bình hoặc chống lại vũ khí hạt nhân, nhưng những người khác thì lại thấy việc phát triển xa hơn nữa của vũ khí hạt nhân là cần thiết cho sự dẫn đầu của quốc gia họ và để tồn tại trong một thế giới đầy thù địch. Đặc biệt, Teller là người ủng hộ và thiết tha với thế hệ tiếp theo của vũ khí hạt nhân: cái gọi là bom khinh khí. Nguồn gốc sức mạnh của loại vũ khí đó là sự nhiệt hạch hạt nhân, chúng giải phóng năng lượng khi những hạt nhân nhỏ như hydrogen kết hợp lại để hình thành nên hạt nhân lớn hơn, thí dụ như helium. Hiện tượng đó đã cấp năng lượng cho mặt trời và các sao. Thật trớ trêu, Bethe, một trong những người phản đối vũ khí hạt nhân thời hậu chiến nồng nhiệt nhất, lại là tác giả của nhiều bài báo lí thuyết quan trọng về các phản ứng hợp nhân, bắt đầu từ hồi ông còn ở Đức trong những năm 1930. Ông được trao giải Nobel vật lí cho những đóng góp của ông cho lí thuyết phản ứng hạt nhân vào năm 1967. Khi ấy, bom



khinh khí đã qua 15 năm tuổi, và thế giới đang ở giữa cuộc chạy đua vũ trang vũ khí nhiệt hạch.



Quả bom nguyên tử thả xuống Nagasaki, Nhật Bản, ngày 9 tháng 8, 1945, sử dụng plutonium làm chất phân hạch.

Những nước khác cũng có chương trình hạt nhân bí mật của mình trong thời chiến, nhưng không có chương trình nào đủ lớn và có thành tựu như chương trình của Mĩ. Quân đội Nhật đã nghiên cứu về lò phản ứng hạt nhân để cấp điện cho những con tàu chiến của họ, nhưng họ sớm từ bỏ vì chi phí dường như quá cao và lợi ích thì quá không chắc chắn. Nishina đã lãnh đạo một nhóm nghiên cứu phân tách  $^{235}\text{U}$  tại trường Đại học Tokyo, nhưng tiến bộ của họ chậm quá. Liên Xô thì có một phiên bản nhỏ hơn nhiều của Dự án Manhattan. "Phòng thí nghiệm số 2" của họ có 74 nhân sự, gồm 25 nhà khoa học, trái hẳn với con số 2000 người làm việc tại Los Alamos. Mặc dù họ vẫn còn lâu mới có một quả bom khi chiến tranh kết thúc, nhưng họ đã tiếp tục những nỗ lực sản xuất bom của mình với cả nghiên cứu và hoạt động tinh bao. Trong những năm 1950, chương trình vũ khí hạt nhân của họ đã trở thành một đối thủ đáng gờm đối với sự thống trị hạt nhân của người Mĩ.

Sự thất bại của chương trình vũ khí hạt nhân của nước Đức tiếp tục làm mê hoặc các nhà sử học. Vào những năm đầu của cuộc chiến, với sự lãnh đạo của Heisenberg và công trình của nhiều nhà nghiên cứu và kỹ sư lỗi lạc, tiến bộ ở Đức đối với việc phân tách  $^{235}\text{U}$  có lẽ đã bắt kịp với Mĩ và Anh. Tuy nhiên, sau năm 1942, những người đứng đầu cỗ máy chiến tranh Đức đã chuyển sự ưu tiên của họ sang nơi khác, và thay vào đó Heisenberg tập trung vào chương trình nghiên cứu lò phản ứng hạt nhân. Nếu họ biết mức độ thành công của người Mĩ hướng tới việc tinh lọc  $^{235}\text{U}$ , thì sự chọn lựa của họ có lẽ đã khác. Bị bắt sau chiến tranh, nhiều nhà khoa học Đức khẳng định họ đã thất bại có chủ đích vì sức mạnh hủy diệt của thiết bị là quá khủng khiếp, nhưng có khả năng đó chỉ là lời giải thích có tính toán trước nhằm giữ thể diện và bào chữa cho hành động của họ mà thôi.

Phán quyết lịch sử là Đế chế thứ ba là một trong những chính quyền xâu xa nhất từng đứng đầu một quốc gia, nhưng các nhà khoa học hạt nhân người Đức từng làm việc cho chính quyền đó được phán xét một cách độ lượng hơn. Đa số họ, kể cả Heisenberg, không hề là thành viên của đảng Quốc xã hoặc là người ủng hộ hệ tư tưởng của nó. Họ thấy bản thân mình là những công dân yêu nước, sử dụng tài năng xuất chúng của bản thân vì lợi ích của quốc gia, dân tộc. Theo ý nghĩa đó, động cơ làm việc của họ chẳng khác gì mấy với đa số các nhà vật lí trong Dự án Manhattan đã thành công trong lĩnh vực người Đức không thành công. Tuy nhiên, cho dù họ không biết về những trại tập trung giết chóc của phát xít Đức, thì họ cũng phải biết những luật lệ và hành động hà khắc của chính quyền nước họ



đối với người Do Thái và những người bị cho là đê hèn, thấp kém. Sáu mươi năm sau, người ta vẫn còn tranh luận về cái nén làm dưới những tình huống như thế. Và người ta vẫn tự hỏi không biết thế giới sẽ trông như thế nào nếu như cuộc chạy đua chế tạo bom nguyên tử có kết cục ngược lại với lịch sử đã qua.

## Tia vũ trụ và các hạt hạ nguyên tử

Cách tiếp cận QED của Feynmann có một yếu tố thú vị phù hợp với lí thuyết của Yukawa về lực hạt nhân mạnh. Cả hai đều nhận thấy nguyên lí bất định lượng tử đưa định luật bảo toàn năng lượng ra trước một ánh sáng mới. Trong lí thuyết của Feynmann, photon hoặc những hạt cơ bản khác có thể lập lòe vào và ra khỏi sự tồn tại. Chừng nào tích số của thời gian sống với năng lượng (hay khối lượng) của những hạt “ảo” đó còn nhỏ hơn hằng số Planck, thì sự tồn tại của chúng không vi phạm nguyên lí bất định. Năng lượng có lẽ không được bảo toàn trong khoảnh khắc, nhưng nguyên lí bất định phát biểu rằng chẳng có cách nào phát hiện ra điều đó. Như thể hiện trên những giản đồ Feynmann minh họa ở trang trước, những sự kiện hạt ảo này phải được tính đến trong các phép toán QED. Trong lí thuyết của ông về lực mạnh, Yukawa áp dụng một hướng suy nghĩ tương tự như vậy. Ông nhận ra rằng việc giam cầm một hạt trong hạt nhân đặt ra một độ bất định rất nhỏ ở vị trí của nó. Điều đó mang lại một độ bất định lớn tương ứng ở xung lượng của nó – và do đó là năng lượng hoặc khối lượng của nó. Đó là cách ông tính ra khối lượng của những hạt meson lí thuyết, hạt trao đổi trong những tương tác hạt nhân mạnh giữa các nucleon.



Hideki Yukawa, người phát triển lí thuyết tương tác mạnh, cùng vợ của ông, Niels Bohr (trái) và J. Robert Oppenheimer, nhà lãnh đạo khoa học của Dự án Manhattan. (Ảnh: Niels Bohr Archive; AIP Emilio Segrè Visual Archives)

Trong lí thuyết Yukawa, những meson đó giống với những hạt ảo của Feynmann. Chúng tồn tại và rồi biến mất nhanh đến mức người ta không thể nào đo được sự tăng bất

kì nào của khối lượng hạt nhân. Tuy nhiên, nếu như một hạt nhân chịu một va chạm năng lượng đủ mạnh, thì một phần năng lượng đó có thể làm bật ra một meson ở nơi nó có thể phát hiện ra được. Những sự kiện thuộc loại như thế có lẽ đã xảy ra bên trong các cyclotron hoặc ở những ranh giới tầng cao của bầu khí quyển Trái đất, nơi các hạt tốc độ cao từ vũ trụ đến đang sinh ra các tia vũ trụ. Các kĩ thuật dò tìm hạt liên tục được cải tiến, trong đó có những chất nhũ tương nghiệp ảnh mới nhạy với những ion sinh ra bởi các electron và những hạt hạ nguyên tử khác đi qua. Khi rời phim đã chụp, đường đi của các hạt để lại là những vết tối. Năm 1947, các nhà vật lí Cecil Powell (1903–69) và Giuseppe Occhialini (1907–93) ở trường đại học Bristol, Anh quốc, đã mang một số kính ảnh với một chất nhũ tương tiên tiến lên một phòng thí nghiệm tia vũ trụ ở cao trên Dãy Pyrenees nước Pháp và đã thực hiện một khám phá tuyệt vời. Họ trông thấy những vết ngắn từ những hạt thuộc một loại trước nay chưa rõ. Khối lượng của chúng nhỉnh hơn một chút so với mesotron, hạt electron quá cỡ phát hiện bởi Anderson và Neddermeyer vào năm 1937 (xem chương trước). Nơi một vết do một trong những hạt loại này để lại kết thúc, thì một vết khác bắt đầu theo một hướng khác. Powell và Occhialini ghi nhận vết mới đó và kết luận rằng hạt ban đầu đã phân hủy thành hai mảnh: một mesotron và một hạt trung hòa điện không để lại vết tích. Vấn đề sớm trở nên rành mạch là hạt ban đầu ấy chính là hạt meson mà lí thuyết của Yukawa đã tiên đoán, nó phân hủy thành một mesotron và một neutrino.

Khi nhóm người Anh đang khám phá ra meson của Yukawa, thì George Rochester (1908–2001) và Clifford Butler (1922–99) tại trường đại học Manchester đang lúng túng trước hai quan sát buồng mây kì lạ, một quan sát từ ngày 15 tháng 10 năm trước, và một quan sát từ ngày 23 tháng 5. Cuối cùng, những quan sát này ghi nhận những hạt nặng hơn phân nửa khối lượng proton một chút. Thuật ngữ *meson*, nghĩa là một hạt có khối lượng trung bình giữa một electron và một proton, bất ngờ xâm chiếm nhiều lãnh thổ hơn người ta lường trước. Những hạt do Rochester và Butler tìm thấy, giống như những hạt do Powell và Occhialini tìm thấy, phản ứng với lực hạt nhân mạnh. Hạt mesotron thì không. Đến lúc làm sáng tỏ thuật ngữ. Cuối cùng, mesotron trở nên được biết là muon, và tên gọi meson dành cho một họ hạt bao gồm các pion được đặt tên lại (hay meson pi), tìm thấy bởi các nhà khoa học người Anh, và các kaon (meson K) do nhóm Manchester tìm thấy.

Các quan sát kaon tìm thấy những hạt không chỉ có điện tích dương và âm mà còn có những kaon trung hòa nặng hơn một chút. Powell và Occhiliani không tìm ra các pion trung hòa, mặc dù lí thuyết của Yukawa tiên đoán sự tồn tại của chúng. Chỗ trống đó trong lí thuyết đã được lắp đầy vào năm 1949, khi R. Bjorkland và các đồng sự phát hiện ra pion trung hòa tại cyclotron mới nhất của Berkeley. Khi đó người ta mới biết vì sao hạt này lại khó phát hiện như vậy. Không chỉ trung hòa điện, nghĩa là nó chỉ có thể được tìm thấy qua sự phân hủy của nó, nó còn chỉ tồn tại ngắn trong thời gian chừng một trăm phần triệu thời gian sống của những người anh em pion tích điện của nó.

Rõ ràng, những chiếc máy gia tốc mới và kĩ thuật dò tìm mới đã mang lại vũ đài mới cho việc khám phá ra nhiều hạt hơn. Những khám phá đó sẽ tiếp tục trong phần còn lại của thế kỉ, và chúng sẽ đưa đến những lí thuyết về bản chất của vật chất mang đầy tính thách thức như cơ học lượng tử vậy.

## Những lĩnh vực vật lí khác trong thập niên 1940

Trong khi công nghệ đang tập trung vào ứng dụng của những hạt nhân không bền (phóng xạ hoặc phân hạch), thì nhiều nhà vật lí chú tâm nhiều hơn vào những hạt nhân bền. Đặc biệt, họ hiếu kì muốn biết vì sao những nguyên tố nhất định lại dồi dào hơn và có nhiều đồng vị xuất hiện trong tự nhiên hơn so với những nguyên tố khác. Trong những



năm 1930, một vài nhà vật lí đã cho rằng các proton và neutron trong hạt nhân có thể lắp đầy những lớp vỏ trạng thái lượng tử giống hệt như các electron vậy, nhưng họ không có lí thuyết nào có đủ sức mạnh để giải thích tại sao 2, 8, 20, 50, 82 và 126 là những con số thần kì, thuật ngữ có lẽ do Wigner đặt ra. Lí thuyết chắc chắn đầu tiên xuất hiện độc lập từ hai nhà nghiên cứu trong năm 1948-49, nhà vật lí Đức gốc Ba Lan Maria Goeppert-Mayer (1906–72), người đã di cư sang Mĩ năm 1930, và nhà vật lí người Đức Hans Jensen (1907–73), cùng hai đồng nghiệp. Lí thuyết của họ xây dựng trên các số lượng tử và hàm sóng thay cho mô hình giọt chất lỏng đã tỏ ra khá thành công trong việc giải thích sự phân hạch. Năm 1963, Wigner, Goeppert-Mayer, và Jensen cùng nhận giải Nobel vật lí cho những lí thuyết của họ về cấu trúc hạt nhân nguyên tử.

Một trong những động lực của Goeppert-Mayer là tìm hiểu xem hiện tượng gì đã gây ra sự dồi dào tương đối của các nguyên tố trong vũ trụ. Công trình nghiên cứu của bà tỏ ra đặc biệt có ích đối với Gamow và người học trò của ông, Ralph Alpher (1921–) trong việc tính ra tỉ số của helium so với hydrogen trong mô hình của họ về vũ trụ sơ khai. Họ đề xuất rằng vũ trụ đã ra đời với một vụ nổ khổng lồ và đã dần dần giãn nở và nguội đi kể từ đó. Năm 1950, nhà thiên văn học người Anh Fred Hoyle (1915–2001), người đã phát triển một đề xuất khác cho nguồn gốc của nguyên tử gọi là giả thuyết trạng thái bền, đã đặt cái tên chê giêu quan điểm của Gamow là “big bang” (vụ nổ lớn). Cái tên ấy đã sa lầy, và một cuộc đấu gay go giữa hai quan niệm vũ trụ học đã tiếp diễn trong hàng thập kỉ tiếp theo.

Sự phóng xạ bắt đầu có vai trò quan trọng trong những lĩnh vực khoa học khác trong thập niên 1940. Thí dụ nổi tiếng nhất là việc sử dụng đồng vị carbon 14 phóng xạ để định tuổi những vật đã từng sống được tìm thấy ở những địa điểm khảo cổ. Đồng vị này có chu kỳ bán rã tương đối ngắn (5730 năm) và sẽ không còn tồn tại trên Trái đất nếu không được cung cấp thêm bởi tia vũ trụ tương tác với hạt nhân các chất khí trong khí quyển. Một khi sinh vật chết đi, nó không còn nhận thêm carbon dioxide mới từ không khí nữa. Do đó, tỉ số giữa các nguyên tử C14 với C12 thường gấp hơn giảm dần ở những vật chất sống trước đây và giữ vai trò là một cách thức để định tuổi một địa điểm khảo cổ.

Những tiến bộ chính trong công nghệ bay tiếp tục diễn ra sau chiến tranh, khi các kỹ sư áp dụng vật lí để chế tạo máy bay siêu thanh đầu tiên và máy bay phản lực thương mại đầu tiên. Nhưng có lẽ sự phát triển công nghệ nổi trội nhất của giai đoạn cuối những năm 1940 không được ghi nhận rộng rãi vào lúc ấy. Năm 1948, William Shockley (1910–89), Walter H. Brattain (1902–87), và John Bardeen (1908–91) tại Phòng thí nghiệm Bell ở New Jersey phát minh ra một dụng cụ bán dẫn gọi là *transistor*. Chỉ tám năm sau đó, với cuộc cách mạng thu nhỏ và cải tiến các dụng cụ điện tử, công chúng chẳng có gì bất ngờ khi biết bộ ba trên được trao giải thưởng Nobel vật lí. Công trình này được mô tả chi tiết hơn trong chương tiếp theo.

### Nhà khoa học của thập niên: Richard Feynman (1918–1988)

Richard Feynman sẽ luôn luôn được biết đến là một thiên tài, người đã hình dung lại lực điện từ là một hiện tượng lượng tử và là người đã thay thế những phương trình phức tạp bằng những biểu đồ đơn giản. Nhưng ông sẽ còn được nhớ tới là một “nhân vật hiếu kì”, đó là cách ông tự mô tả bản thân mình trong phần phụ dẫn của quyển hồi ký *best selling* của ông, *Chắc chắn Ngài đang đùa, Mr Feynmann*, xuất bản năm 1985, và *Cái bạn quan tâm có là cái người khác nghĩ hay không?*, xuất bản chỉ vài tháng trước khi ông qua đời, năm 1988. Feynmann không chỉ là người hành quân theo nhịp đánh của một tay trống khác, như những người theo chủ nghĩa cá nhân thường phải làm. Bản thân ông chính là một tay trống khác.

Nói rằng Feynmann sinh ra và lớn lên ở thành phố New York là đúng, nhưng không chính



xác. Ông lớn lên trong một ngôi làng bình dân xóm Far Rockaway ở ngoại vi thành phố, trên bờ biển phía nam của đảo Long Island. Cha của ông, Melville Feynman, có lẽ sẽ học khoa học nếu như ông có đủ sức vào trường đại học. Thay vào đó, ông đã nuôi sống gia đình từ nhiều công việc làm ăn mạo hiểm chua bao giờ mang lại thành công mĩ mãn như ông hi vọng. Melville đọc cho Richard nghe quyển *Encyclopaedia Britannica*, giải thích mọi thứ khi cha con đi cùng với nhau. Trong những năm 1960, ở đỉnh cao sự nghiệp của mình là giáo sư vật lí tại Viện Công nghệ California (Caltech), ông đảm nhận nhiệm vụ giảng dạy các khóa vật lí đại cương. Các bài giảng của ông nhanh chóng trở nên nổi tiếng vì tính rõ ràng và trình bày sống động của chúng. Chúng được in thành sách và phát hành trên khắp thế giới, và chúng trở thành cơ sở của một bộ sách ba tập cổ điển năm 1963 gọi là *Các bài giảng của Feynmann về vật lí*. Ngày nay, các nhà khoa học gần nghỉ hưu thường nhớ đến những tập sách đó từ những ngày xuân trẻ của họ, nhớ hình ảnh tác giả đang chơi trống gõ cũng như nội dung hấp dẫn của chúng.

Nếu Melville được ghi công cho tính sáng tạo của những bài giảng đó, thì mẹ của Feynmann, Lucille, xứng đáng được tôn vinh cho phong cách trình bày của chúng. Feynmann đã mô tả bà trong quyển *Cái bạn quan tâm có là cái người khác nghĩ hay không?* “Mẹ tôi không biết chút gì về khoa học, [nhưng] bà có sự ảnh hưởng lớn đối với bản thân tôi. Đặc biệt, bà có ngữ điệu hài hước rất tuyệt vời, và tôi học được từ bà những dạng thức cao nhất của sự nhận thức mà chúng ta có thể đạt tới là tiếng cười và lòng trắc ẩn”.

Sự xuất chúng của Feynmann thể hiện rõ ngay ở tuổi còn nhỏ. Lúc còn là học sinh phổ thông, ông đã tự học giải tích và kiểm tiêm bằng cách đi sửa radio cho hàng xóm láng giềng. Trong quãng đời thanh niên, ông luôn bỏ xa những học sinh xuất sắc khác trong các lớp học vật lí của mình. Đầu óc nhanh nhẹn của ông đã cho phép ông có nhiều thời gian ‘nghiên cứu’ cái có lẽ là sở thích lớn nhất của ông: bạn gái, đặc biệt là diễn viên và nghệ sĩ Arline Greenbaum, người ông gặp lúc cả hai mới có 13 tuổi.

Mùa thu năm 1935, Feynman được nhận vào làm sinh viên chuyên ngành vật lí tại Viện Công nghệ Massachusetts (MIT). Trong những năm tháng sinh viên của mình, ông được nhận vào một khóa học vật lí lí thuyết tiên tiến thường chỉ dành cho sinh viên năm cuối và sinh viên tốt nghiệp, và ông nhanh chóng nổi trội hẳn lên. Trong luận văn năm cuối của mình, ông đã phát triển một kĩ thuật cơ lượng tử khéo léo mà ông đã cho đăng trên tạp chí *Physical Review* và kĩ thuật đó trở thành một công cụ toán học chuẩn cho các nhà hóa lí. Sau đó, ông vào trường đại học Princeton, tốt nghiệp và thực hiện luận án tiến sĩ nổi tiếng đã mô tả trong chương này.

Trong khi đó, sức khỏe của Arline ngày càng yếu. Bất chấp một chấn đoán bệnh lao hệ bạch huyết – một cái chết chậm – hai người vẫn quyết định kết hôn. Họ cưới nhau vào tháng 6 năm 1942 và dắt nhau đi về hướng tây đến New Mexico sau khi Feynmann hoàn thành luận án của ông. Arline sống trong một viện điều dưỡng ở Albuquerque, còn chồng bà làm việc tại Los Alamos và đến thăm bà vào cuối tuần. Bà qua đời vào mùa xuân năm 1945.

Tại Los Alamos, Feynmann được chú ý vì những phân tích sâu sắc của ông, tính thiện chí sẵn sàng tranh luận với bất kì ai – trong đó có Hans Bethe, người sáng lập nhóm vật lí lí thuyết – và sự mạo hiểm của ông, tự bồ nhiệm mình là người giám hộ an toàn. Ông sử dụng những kĩ năng bẻ khóa an toàn của mình để qua mặt sự bảo vệ kết quả bí mật của những người khác, để lại giấy ghi chú cho họ biết ông đã làm như thế bằng cách nào. Sau chiến tranh, ông hợp tác với Bethe làm việc tại khoa lí thuyết tại trường đại học Cornell ở Ithaca, New York. Vài năm sau, ông đã chán ngấy thời tiết đầy bão tuyết ở đó. Mặc dù ông hồi tiếc là đã bỏ Bethe, nhưng ông chấp nhận một vị trí tại Viện Công nghệ California (Caltech) ở Pasadena, năm 1951.



Trong số những sức hút của Caltech là sự gần gũi của nó với Sunset Strip. Trong *Chắc chắn Ngài đang đùa*, ông đã viết về “những câu lạc bộ đêm, các quán bar và các hoạt động”. Caltech cho phép ông bắt đầu một kì nghỉ một năm tới Rio de Janeiro, một thành phố ông muốn trở lại kể từ chuyến đến thăm sáu tuần hồi năm 1949. Ông thuyết giảng vào buổi sáng, còn buổi chiều và tối thì gặp gỡ những người phụ nữ thân thiện trên những bãi biển và quán bar nổi tiếng của thành phố Rio. Phát hiện ra những dấu hiệu sớm của chứng nghiện rượu, ông đã sớm nghỉ uống, nhưng ông vẫn lui tới các quán bar. Một ngày nọ, ông đưa một người phụ nữ trẻ đến khu vực Ai Cập học của một viện bảo tàng và chia sẻ một số thực tế thú vị ông học được từ Mary Louise Bell, một người bạn gái cũ ở Ithaca đã chuyển đến gần Pasadena. Trong phút bốc đồng, ông đã cầu hôn cô ấy bằng thư tay. Họ lấy nhau vào tháng 6 năm sau (1952) và li dị năm 1956.

Cuộc hôn nhân lần thứ ba của Feynmann, với Gweneth Howarth, kéo dài suốt phần còn lại của đời ông. Ông để ý một cô gái vận bộ áo nịt bikini trên một bãi biển tại Hồ Geneva và lập tức bị hút hồn. Họ kết hôn năm 1960 và có hai người con, và là một gia đình bình thường mà một nhân vật khôi hài như Richard Feynmann có thể làm chủ. Ông qua đời sau một trận chiến dài ngày với căn bệnh ung thư vào năm 1988, nhưng thành tựu cuối cùng của ông chưa dừng lại ở đó. Ông được yêu cầu tham gia ủy ban nghiên cứu vụ nổ năm 1986 của tàu con thoi vũ trụ *Challenger*. Mặc dù ông đang bệnh nặng, nhưng Gweneth khuyến khích ông nên đồng ý. Ủy ban cần đến một ai đó như ông để lục lọi trong mớ đồ nát. Thời khắc đáng nhớ nhất của sự nghe ngóng đó xảy ra khi Feynmann chứng minh được rằng một vòng chữ O quan trọng đã mất tính linh hoạt của nó ở nhiệt độ thấp. Ông nhúng một miếng cao su vào trong một cốc nước đóng băng và cho thấy nó trở nên cứng như thế nào. Từ đó về sau, không ai có thể nghi ngờ rằng thảm kịch Challenger là do vụ phóng tàu diễn ra trong một ngày hiếm gặp ở Florida, khi nhiệt độ giảm xuống dưới điểm đóng băng. Richard Feynman, tay chơi trống nổi tiếng, đã gõ nhịp cho phần còn lại của nghiên cứu.



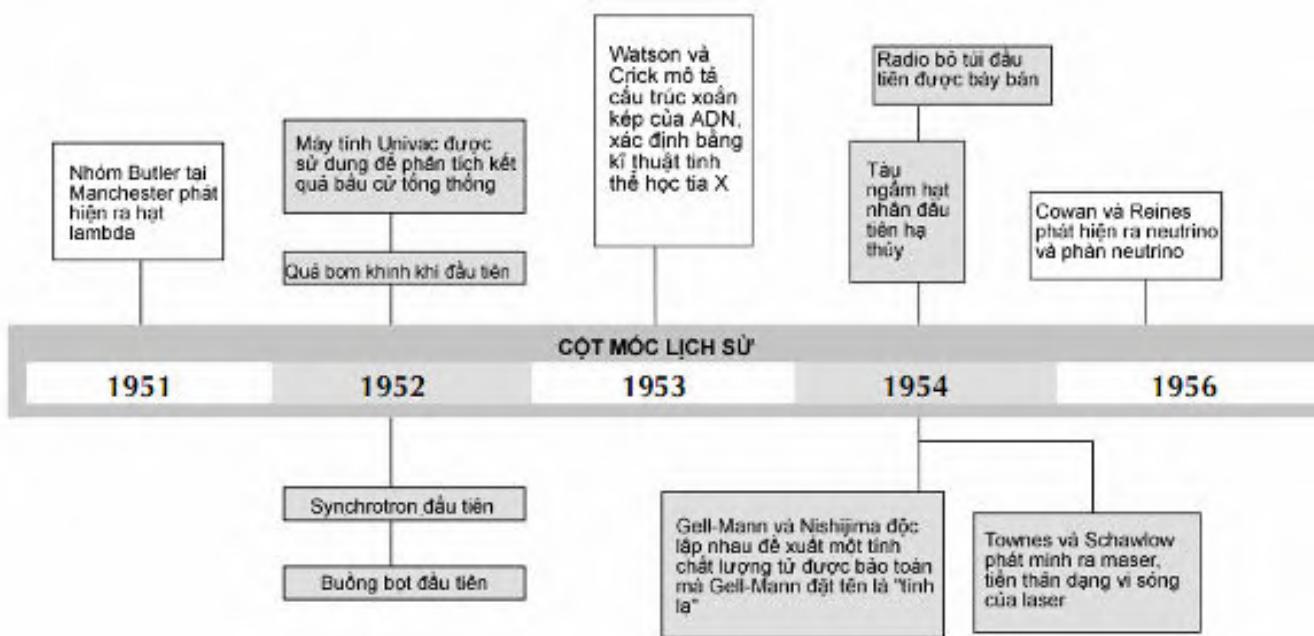
Richard Feynman, nổi tiếng với tinh thần tự do của ông, cũng như tính sáng tạo của ông, là một tay chơi trống giỏi. (Ảnh: Tom Harvey, Phòng thí nghiệm quốc gia Brookhaven)



## 1951 – 1960

### Vật lí học và Sự phát triển những công nghệ mới

Vào giữa thế kỉ thứ 20, các nhà vật lí tự thấy họ đứng tại giao lộ giữa một bên là nhà khoa học, và một bên là người công dân. Nền khoa học của họ đã giữ một vai trò quan trọng trong việc kết thúc Thế chiến thứ hai, nhưng lúc này nhiều nhà phát triển của bom nguyên tử đã đi vào hoạt động chính trị phản đối chương trình nghiên cứu vũ khí hạt nhân. Họ cảnh báo về một loại hình chiến tranh mới có thể phá hủy bản thân nền văn minh của chúng ta.

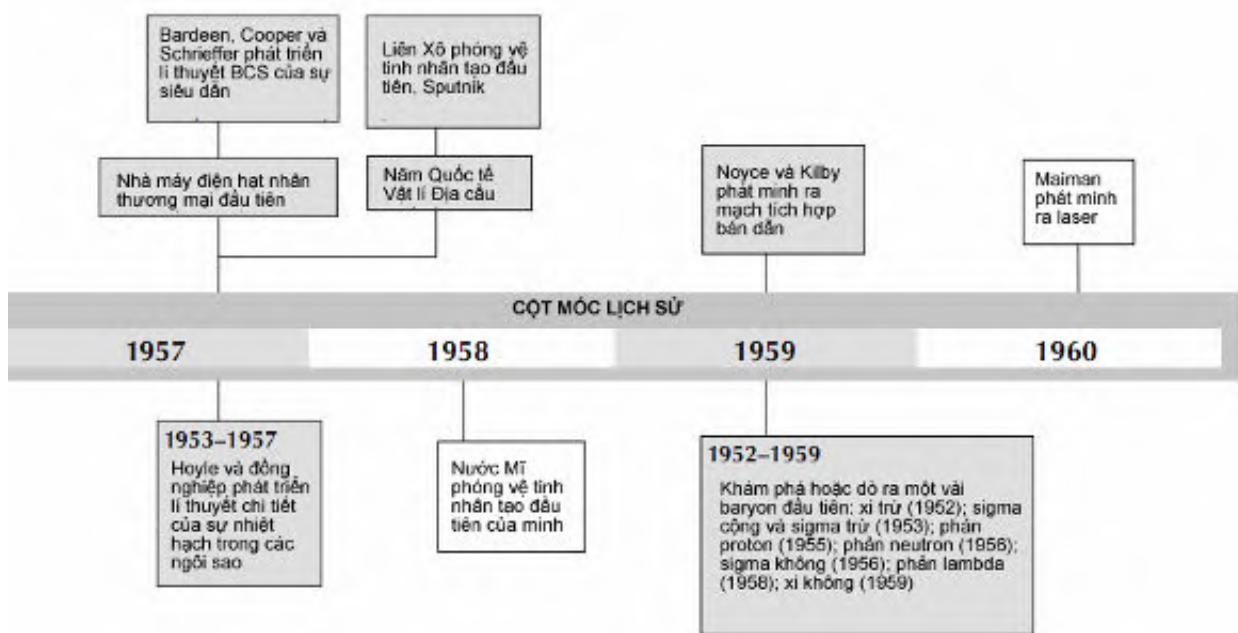


Những người khác thì xem việc ngừng nghiên cứu vũ khí là một sai lầm. Không có quốc gia nào có thể ngăn những kẻ thù mình phát triển những hệ thống vũ khí có sức mạnh hơn. Do đó, nghiên cứu vũ khí hạt nhân là cần thiết để tự vệ. Trong thế giới thời hậu chiến, những khối liên minh mới, đứng đầu là Mĩ và Liên Xô, đang tăng cường bước vào một loại hình kình địch mới. Chiến trường của cái gọi là chiến tranh lạnh này là hệ tư tưởng, chủ nghĩa tư bản chống lại chủ nghĩa cộng sản. Mỗi bên lúc này đang trút hết tài nguyên của mình thành công nghệ để chứng minh cho sự ưu việt của hệ thống chính trị của bên mình. Họ đang chạy đua phát triển bom khinh khí – những thiết bị nhiệt hạch, giống như Mặt trời, tạo ra từ những phản ứng hợp nhất hạt nhân – và những tên lửa đạn đạo có thể mang những quả bom đó đi xa đến nửa vòng trái đất.



Cho dù có tham gia hoạt động chính trị hay không sau khi chiến tranh kết thúc, đa số các nhà vật lí vẫn hăm hở quay lại với những hứng thú nghiên cứu thời tiền chiến của mình. Một số thì theo đuổi khoa học cơ bản, còn những người khác thì thích nghiên cứu ứng dụng công nghệ. Trong những năm 1950, nghiên cứu vật lí đã mang lại sự chia sẻ bất ngờ của nó cho các nhà khoa học và công chúng nói chung. Như chương này sẽ trình bày, các máy gia tốc hạt và những detector mới đã dẫn tới sự khám phá ra nhiều hạt hạ nguyên tử trước đó không tưởng tượng nổi. Nhưng từ viễn cảnh lịch sử và văn hóa, sự phát triển có liên quan đến vật lí nổi trội nhất trong thập niên này là trong lĩnh vực điện tử học bán dẫn, đặc biệt là transistor. Nó bắt đầu cho một cuộc cách mạng về truyền thông và máy vi tính tiếp tục 50 năm sau này.

Đối với các nhà vật lí chất rắn, những năm 1950 hóa ra là một thập niên đáng nhớ thật sự. Không những transistor đã mang sự chú ý của công chúng đến cho những ứng dụng thuộc lĩnh vực nghiên cứu của họ, mà một đột phá lí thuyết còn giải được bí ẩn của sự siêu dẫn, 46 năm sau khi hiện tượng được phát hiện ra. Cả hai thành tựu đều mang lại giải Nobel vật lí – năm 1956 cho transistor và năm 1972 cho sự siêu dẫn. Cả hai giải thường đều chia sẻ cho đội khoa học gồm ba nhà nghiên cứu. Và thiên tài lí thuyết đứng đầu sau cả hai thành tựu chính là John Bardeen, người trở thành người đầu tiên (và là người duy nhất từ trước đến nay) giành hai giải Nobel thuộc cùng một lĩnh vực.



## Vật lí chất rắn và Công nghệ

Các nhà vật lí và kỹ sư đã nhìn thấy trước tác động của transistor ngay khi nó được phát minh ra vào năm 1948 tại Phòng thí nghiệm Bell, nhưng mãi cho đến giữa thập niên 1950 thì nó mới đi vào cuộc sống thường nhật của mọi người. Vì lí do đó, và vì thập niên 1940 bị át trội bởi chiến tranh và sáu động lực học lượng tử, nên phần trình bày về nghiên cứu dẫn đến transistor gác lại cho đến chương này.

Vào đầu những năm 1950, chỉ vài ba người nằm ngoài giới khoa học và công nghiệp điện tử từng nghe nói tới transistor. Những người quen thuộc với công nghệ hiểu rằng transistor sẽ bắt đầu thay thế cho các ống chân không trong mọi loại dụng cụ điện tử.



Radio ống chân không có kích cỡ chừng bằng cái lò nướng bánh hiện đại, và ti vi thì nằm trong những cái hộp dài chừng vài foot, cao và rộng ít nhất chừng 2 foot. Máy vi tính thì lớn như phòng ở. Chúng đều chứa đầy bên trong những ống chân không có dây tóc lỏe sáng cháy lên đều đặn giống như các bóng đèn.

Điều đó bắt đầu thay đổi vào tháng 11 năm 1954, khi công ty Regency bắt đầu bán ra sản phẩm radio bỏ túi TR-1 có transistor thay cho ống chân không với giá 49,95 USD, cỡ bằng số tiền trung bình một người công nhân kiếm được trong một tuần. Trong vòng vài năm, các nhà sản xuất đã học được những cách sản xuất transistor với chi phí thấp hơn nhiều. Những máy radio transistor buổi đầu phổ biến đến mức vào đầu những năm 1960, từ transistor hầu như trở nên đồng nghĩa với “radio bỏ túi”. Người ta nói tới việc nghe “transistor” của họ. Mười năm sau đó, ống chân không không còn được sản xuất nữa, ngoại trừ dùng trong thiết bị chuyên dụng.

Vào cuối những năm 1950, đa số mọi người đã biết rằng transistor đang thay thế ống chân không trong các bộ ti vi, nhưng ít người biết về một sự biến đổi đáng kể hơn nhiều trong ngành công nghệ chất rắn. Với transistor thay thế cho ống chân không, các máy vi tính nhanh chóng đòi hỏi ít năng lượng cấp và bảo dưỡng hơn, chạy nhanh hơn nhiều, và có nhiều khả năng hơn. Cuộc cách mạng số đã bắt đầu.

Như đã lưu ý, William Shockley, Walter Brattain, và John Bardeen cùng nhận giải Nobel vật lí 1956 cho việc phát minh ra transistor khi họ đều đang làm việc tại Phòng thí nghiệm Bell. Nhưng lúc họ đi Stockholm nhận giải, họ không còn chung một đội nữa. Bardeen đã trở thành giáo sư tại trường đại học Illinois, và chuyến đi đã làm gián đoạn nghiên cứu của ông cùng với hai người học trò, Leon Cooper (1930– ) và J. Robert Schrieffer (1931– ), khi họ đang ở bên bờ khai phá một trong những bài toán xưa nhất và quan trọng nhất trong ngành vật lí chất rắn, đó là cơ chế của sự siêu dẫn.



Các nhà phát minh ra transistor (từ trái sang phải): John Bardeen, William Shockley, và Walter Brattain trong phòng thí nghiệm. (Ảnh: AIP Emilio Segrè Visual Archives)

Bardeen luôn theo đuổi những dự án vừa thách thức về mặt lí thuyết, vừa quan trọng về mặt thực tiễn. Trong số những thứ ông say mê nhất là cái gọi là *bài toán nhiều vật*, và không có lĩnh vực con nào của vật lí học lại đòi hỏi phân tích nhiều vật sáng tạo



hơn vật lí chất rắn. Có lẽ nhiều hơn bất kì khoa học nào khác, vật lí học phụ thuộc vào các mô hình toán học để biểu diễn và mô tả những hiện tượng tự nhiên. Các nhà vật lí thường bắt đầu bởi việc lưu ý mối liên hệ toán học trong một tập hợp phép đo. Sau đó, họ đi tìm những nguyên tắc vật lí cơ bản để giải thích chúng.

Chuyển động hành tinh là một thí dụ căn bản. Johannes Kepler lưu ý thấy ba mối liên hệ toán học hay “định luật” áp dụng cho quỹ đạo của các hành tinh. Lời giải thích vật lí xuất hiện hàng thập kỉ sau đó từ ngài Isaac Newton. Các định luật của ông về chuyển động và hấp dẫn đã tạo ra các công thức Kepler là một hệ quả. Các định luật Newton suy ra các phương trình chính xác của Kepler chỉ là một trường hợp đặc biệt, đó là sự tương tác của hai vật như Mặt trời và một hành tinh. Hệ mặt trời thật sự có nhiều hơn một hành tinh, và việc tính toán trọng lượng sự chuyển động của chúng thì phức tạp hơn nhiều. Mỗi hành tinh có tác động lên nhau, và quỹ đạo thu được hơi bị lệch khỏi dự đoán của Kepler. Vì các hành tinh nhỏ hơn Mặt trời nhiều lần, nên những sai lệch đó là nhỏ và không được lưu ý cho đến khi có những công cụ đo chính xác hơn. Như vậy, phép phân tích hai vật, chứ không phải nhiều vật, lúc đầu như thế là đủ.

Một tình huống tương tự phát sinh trong vật lí lượng tử. Các nhà vật lí đã để ý đến khuôn mẫu toán học trong quang phổ hydrogen (thí dụ dài phổ Balmer). Thuyết lượng tử ban đầu xem nguyên tử hydrogen là một hệ hai vật (một proton và một electron), và các phép tính mang lại sự phù hợp tốt đặc biệt cho quang phổ thu được. Nhưng chuyển từ hydrogen sang những nguyên tử lớn hơn, cơ học lượng tử cần phải mô tả trạng thái của nhiều electron. Các phép tính trở nên càng phức tạp.

Khi đổi mặt trước tính phức tạp, các nhà vật lí thường tìm sự gần đúng. Trong trường hợp này, đổi với mỗi electron trong một nguyên tử nhiều electron, họ lấy trung bình lực đẩy điện từ tất cả electron và xem đó là một *nhiều loạn* – một hiệu chỉnh thứ yếu – đổi với lực hút điện của hạt nhân. Nói cách khác, họ thay phép toán hệ nhiều vật bằng một tập hợp những phép toán hai vật cho mỗi electron tương tác với một hạt nhân bị biến đổi. Điều đó làm cho các phép toán dễ thao tác hơn và mang lại những kết quả khá không chính xác – nhưng hết sức có ích. Nó có tác dụng vì một electron trong nguyên tử chịu một lực át trời từ phía hạt nhân và nhiều lực nhỏ hơn từ những electron khác.

Toán học nhiều vật trở nên phức tạp hơn nhiều khi không có một lực át trời nào. Thí dụ, những electron nhất định trong một chất rắn tương tác với nhiều hơn một hạt nhân, nên việc tính toán các trạng thái lượng tử và các mức năng lượng của chúng đòi hỏi những phép tính nhiều vật cài tiên. Phân tích đó mang lại ba loại hàm sóng electron khác nhau. Loại thứ nhất là đổi với những electron liên kết với một nguyên tử, ví dụ những electron thuộc lớp vỏ đã lắp đầy. Hàm sóng và mức năng lượng tương ứng của chúng có thể tính toán ra từ mô hình bài toán hai vật chỉ gồm một electron và hạt nhân của nó. Hàm sóng cho một electron như vậy tập trung xung quanh quỹ đạo của nó trong nguyên tử mà nó thuộc về đó.

Những electron trong những liên kết hóa học có loại hàm sóng thứ hai. Những hàm sóng đó có thể tính ra từ mô hình toán học liên quan đến một số ít vật – các electron tham gia trong liên kết cộng với hạt nhân nguyên tử mà chúng kết hợp chung. Hàm sóng thu được tập trung trong vùng các liên kết, như mô tả trong phần bổ sung “Các mức năng lượng và hàm sóng electron chất rắn” ở trang sau. Những electron đó có các mức năng lượng nằm trong dải hóa trị, đã mô tả ở chương 4. Phần bổ sung đó cũng mô tả loại hàm sóng electron thứ ba, tương ứng với các mức năng lượng trong dải dẫn (như đã mô tả trong chương 4). Các electron dẫn thuộc về mọi nguyên tử như nhau. Do đó, hàm sóng của chúng tăng và giảm giống như sóng nỗi trên một đại dương vô hạn, với hình dạng đỉnh sóng và hõm sóng phù hợp với dạng tinh thể của nguyên tử trong chất rắn.



Khi các nhà vật lí bắt công tìm hiểu những tính chất của chất rắn, vấn đề trở nên rõ ràng là nhiều hiện tượng – trong số chúng có sự dẫn nhiệt và điện; sự phản xạ, truyền, và hấp thụ ánh sáng; và hành trạng từ tính của vật liệu – có liên quan đến các electron. Nguyên lý loại trừ Pauli yêu cầu mỗi electron có một trạng thái lượng tử duy nhất và một mức năng lượng tương ứng duy nhất, hoặc ở bên trong lớp vỏ chứa đầy của một nguyên tử, là bộ phận của một liên kết hóa học với mức năng lượng của nó nằm trong dải hóa trị, hoặc là một electron tự do với mức năng lượng nằm trong dải dẫn.

## Chất dẫn điện, Chất cách điện và Chất bán dẫn

Để tìm hiểu lịch sử của ngành điện tử học bán dẫn, trước tiên cần tìm hiểu những tính chất của chất rắn. Nghĩa là quyển sách này tạm thời, nhưng cần thiết, đi chệch hướng khỏi lịch sử vật lí sang nói về lịch sử khoa học.

Các chất rắn chia thành ba loại khác nhau tùy theo cách mà chúng dẫn điện: chất dẫn điện, chất cách điện, và chất bán dẫn. Các chất dẫn điện thường là kim loại, và chúng cho dòng điện đi qua chúng một cách dễ dàng. Ở cấp độ nguyên tử, chúng có các electron trong dải dẫn của chúng. Các electron dẫn chuyển động trong chất dẫn điện một cách ngẫu nhiên, thỉnh thoảng bị bật trúng các nguyên tử và thay đổi hướng và tốc độ. Khi nói một chất dẫn điện với một nguồn điện áp, thí dụ như pin hay máy phát, thì chuyển động của các electron không còn hoàn toàn ngẫu nhiên nữa. Mặc dù chúng vẫn chuyển động bất quy tắc, nhưng các electron dẫn nói chung chạy ra khỏi điện cực âm (ca-tôt) và chạy về phía điện cực dương (a-nôt) của nguồn điện áp. Ngay khi những electron đó đi vào a-nôt, thì những electron khác từ ca-tôt chạy vào trong chất dẫn điện thay thế cho chúng.

Ngoại trừ trường hợp đặc biệt của sự siêu dẫn, các electron mất một phần năng lượng khi chúng va chạm trên đường đi từ ca-tôt sang a-nôt trong chất dẫn điện. Hiện tượng đó là nguyên nhân gây ra điện trở. Điện trở của một chất dẫn điện thường tăng khi nó nóng lên. Các nguyên tử của một chất rắn luôn luôn dao động xung quanh “nhà” của chúng hay vị trí cân bằng. Khi vật liệu nóng lên, các nguyên tử của nó dao động nhanh hơn, làm cho va chạm của một electron với những nguyên tử đó lấy đi nhiều hơn năng lượng chuyển động của nó. Khi nhiệt độ càng cao, electron càng phải di quãng đường dài hơn, zic zắc hơn để sang a-nôt, nghĩa là nó gặp sự cản trở điện nhiều hơn.

Những phép tính cơ lượng tử nhiều vật cho các chất rắn luôn mang lại một dải hóa trị và một dải dẫn với một khe trống ở giữa chúng. Kích cỡ của khe trống đó cho biết một chất liệu có là chất cách điện tốt hay không. Chất cách điện không dẫn điện, nhưng không có chất liệu nào hoàn toàn cách điện cả. Khi nhiệt độ tăng lên, năng lượng trung bình của các electron trong mỗi nguyên tử tăng lên. Một số electron không ở lại trong những mức năng lượng thấp nhất nữa. Trong các chất cách điện, dải hóa trị có nhiều trạng thái năng lượng cao sẵn sàng hỗ trợ sự tăng năng lượng nhiệt. Để nhảy khỏi dải hóa trị sang dải dẫn, các electron cần năng lượng lớn nên điều đó hầu như không bao giờ xảy ra. Vì thế, đa số electron trong chất cách điện vẫn liên kết với các nguyên tử độc thân. Hầu như toàn bộ các electron còn lại đóng vai trò là electron liên kết giữa các nguyên tử - nghĩa là năng lượng của chúng nằm trong dải hóa trị - nên chúng không tự do chạy thành dòng được. Điều đó có nghĩa là chất cách điện chặn dòng điện lại gần như hoàn toàn. Một cách nói khác là điện trở của một chất cách điện là cực kì cao.

Trong các chất bán dẫn, các mức năng lượng electron dải hóa trị gần như đã lấp đầy, và khe trống giữa dải hóa trị và dải dẫn là nhỏ. Khi nhiệt độ của một chất bán dẫn tăng lên, thì một số electron thu đủ năng lượng để nhảy khỏi dải hóa trị sang dải dẫn. Vì thế, điện trở của một chất bán dẫn là cao nhưng không cao lắm, khiến nó chẳng phải chất dẫn điện tốt, cũng chẳng phải chất cách điện tốt. Điện trở của một chất bán dẫn giảm (hay độ



dẫn của nó tăng lên) khi nhiệt độ của nó tăng lên; điều đó ngược lại với hành trạng của một chất dẫn điện.

Tính chất quan trọng nhất của một chất bán dẫn đối với điện tử học là phương thức mà độ dẫn điện của nó có thể thao tác được. Chất bán dẫn được sử dụng thông dụng nhất là nguyên tố silic, nó có 4 electron hóa trị trên mỗi nguyên tử. Silic tinh khiết hình thành nên những tinh thể liên kết cộng hóa trị trong đó mỗi nguyên tử silic chia sẻ một trong những electron hóa trị của nó với một trong bốn nguyên tử láng giềng. Sự sắp xếp đó mang lại cho mỗi nguyên tử trong tinh thể một lớp vỏ lấp đầy có tám electron. Tuy nhiên, vì những electron đó là dùng chung giữa vài nguyên tử, nên lớp vỏ lấp đầy đó không liên kết chặt chẽ như nó vốn có nếu như toàn bộ tám electron đều thuộc về một nguyên tử. Dải hóa trị được lắp đầy, và khe trống giữa nó và dải dẫn không còn lớn lắm. Vì thế, cho dù ở nhiệt độ phòng cũng có đủ năng lượng nhiệt để đưa một vài electron hóa trị liên kết lỏng lẻo vào trong dải dẫn.

Vì các electron mang điện tích âm, nên mỗi nguyên tử silic mất một electron sang dải dẫn sẽ còn thừa lại điện tích dương. Thật ra thì electron trong dải dẫn đã tạo ra một *lỗ trống* tích điện dương đi cùng với một nguyên tử silic. Lỗ trống đó có thể hút một electron từ một nguyên tử lân cận. Khi điều đó xảy ra thì lỗ trống đã di chuyển sang chỗ lân cận. Do năng lượng nhiệt trong tinh thể, nên các cặp electron-lỗ trống sinh ra ở một tốc độ ổn định. Số cặp sẽ tăng dần trừ khi một electron dẫn được tạo ra ở một nơi thỉnh thoảng bắt gặp một lỗ trống ở đâu đó và lắp đầy nó. Hiện tượng đó gọi là sự kiện *hủy cặp* vì nó làm cho electron lẩn lő trống cùng biến mất. Khi tốc độ hủy cặp electron-lỗ trống bằng với tốc độ tạo cặp electron-lỗ trống, thì số lượng mỗi loại điện tích không tăng nữa, và cả hai loại di chuyển tự do trong tinh thể với số lượng bằng nhau.

Nếu như hai điện cực của pin được nối với hai bên của một tinh thể silic, thì các electron chạy về phía anode và đi vào anode, còn những lỗ trống thì chạy về phía cathode, ở đó chúng được lắp đầy bởi những electron từ pin đến. Dòng điện nhỏ hơn nhiều so với trường hợp khi hai cực của pin được nối qua một dây kim loại, nhưng silic rõ ràng không hành xử giống như một chất cách điện.

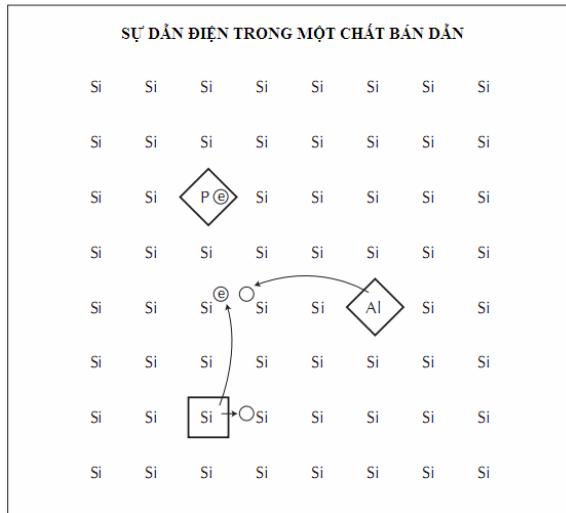
Cho đến đây, trừ một đoạn đề cập ngắn gọn đến những khiếm khuyết tinh thể ở chương 4, quyển sách này vẫn xét các tinh thể như thế chúng là những sự sắp xếp hết sức đều đặn của các nguyên tử. Thật ra, những ứng dụng công nghệ quan trọng nhất của các chất bán dẫn thu được từ việc đưa có chủ đích những tạp chất vào trong một tinh thể nếu không thì đã gần như hoàn hảo của một chất liệu bán dẫn. Giả sử thêm một chút phospho – láng giềng của silic trong bảng tuần hoàn với nhiều hơn một proton và một electron trên mỗi nguyên tử - vào silic. Các nguyên tử phospho thế chỗ những nguyên tử silic trong cấu trúc mạng. Chúng chia sẻ 4 trong số 5 electron hóa trị với nguyên tử silic lân cận, và electron thứ 5 sẽ đi vào trong dải dẫn mà không tạo ra lỗ trống nào hết. Do các electron ở trong dải dẫn, nên silic pha tạp chất là một chất dẫn điện tốt hơn, nhưng lúc này chỉ dẫn bởi dòng những hạt mang điện âm. Vì lí do đó mà nó được gọi là *chất bán dẫn loại n*.

Mặt khác, giả sử tạp chất được pha thêm là một láng giềng khác của silic, nhôm, nguyên tố thiêu một proton và một electron so với silic. Khi một nguyên tử nhôm thế chỗ một nguyên tử silic, nó chỉ có 3 electron hóa trị để chia sẻ, và tinh thể trở thành một *chất bán dẫn loại p* với sự dư thừa những lỗ trống tích điện dương. Một lần nữa, khả năng dẫn điện của nó được tăng cường, nhưng lần này đến lượt lỗ trống mang dòng điện.

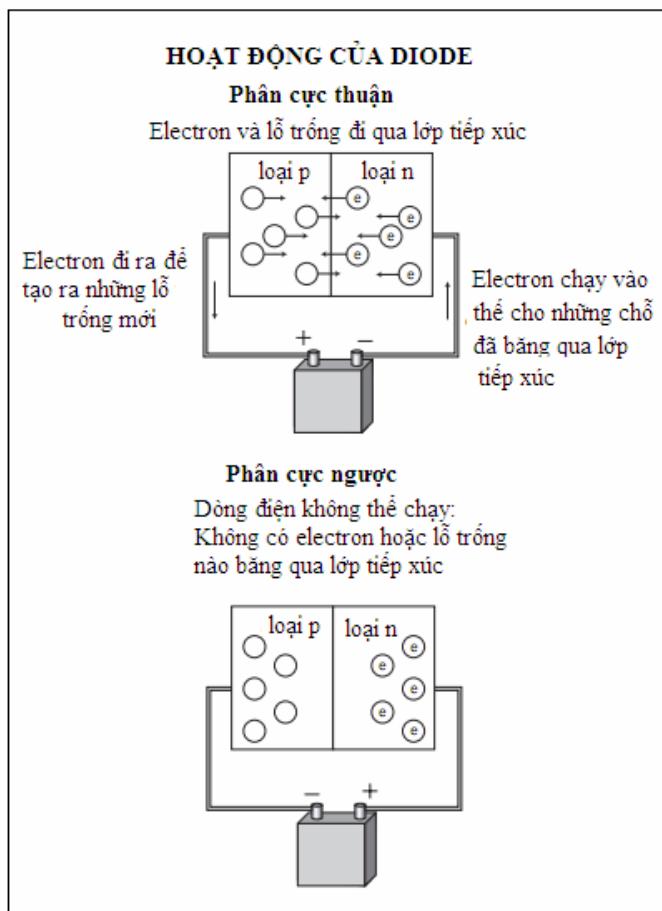
Nối một chất bán dẫn loại p với một chất bán dẫn loại n sẽ tạo ra một dụng cụ gọi là *diode*. Nếu anode của pin được nối với phía loại p, thì hiệu điện thế sẽ làm dịch chuyển những lỗ trống trong phía loại p và những electron trong phía loại n về phía chỗ tiếp xúc, tại đó chúng gặp nhau và hủy lẫn nhau. Anode hút lấy các electron và tạo ra những lỗ trống



mới ở phía loại p, còn cathode gửi những electron mới vào phía loại n. Kết quả là một dòng điện đều đặn. Diode như thế được gọi là *phản cực thuận*.



Sự có mặt của những nguyên tử tạp chất có thể làm cho một chất bán dẫn có thừa electron (loại n) hoặc lỗ trống (loại p).

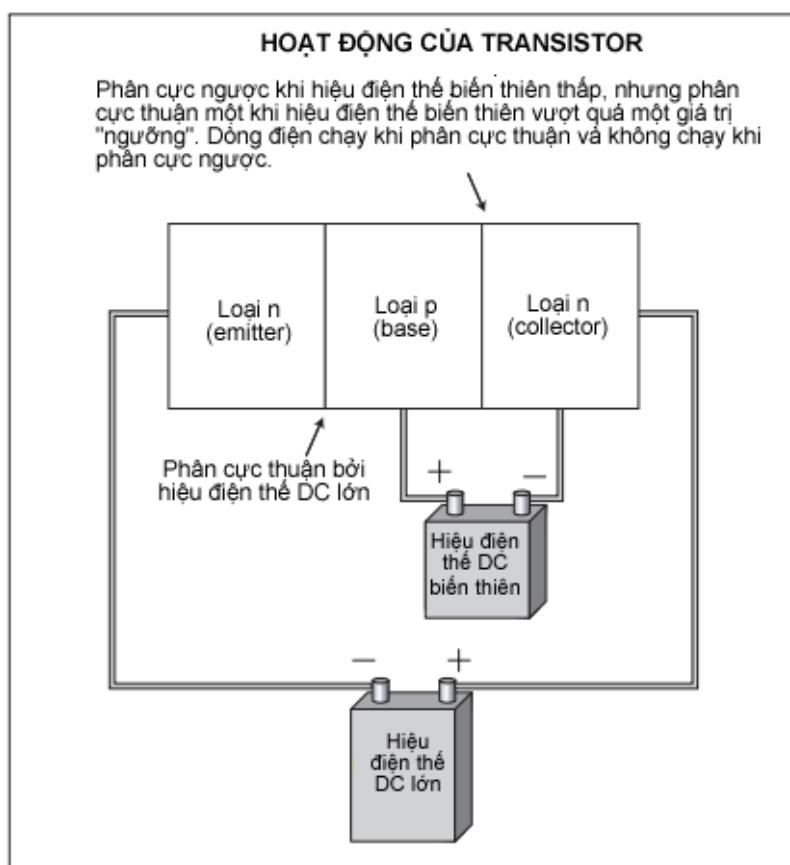


Lớp tiếp xúc giữa một chất bán dẫn loại p và một chất bán dẫn loại n có thể tác dụng như một diode, dụng cụ cho phép dòng điện chạy chỉ theo một chiều, không cho chạy theo chiều ngược lại.



Nhưng nếu đảo ngược nguồn, thì hiệu điện thế làm cho các electron của phía loại n chạy về anode, và các lỗ trống của phía loại p thì chạy về cathode. Lần này, các điện tích trái dấu hình thành ở bên ngoài của diode và làm trung hòa hiệu điện thế của nguồn. Không có điện tích nào dịch chuyển qua lớp tiếp xúc, và vì thế không có dòng điện chạy, và người ta nói là diode bị phân cực ngược. Như vậy, diode là một cái van một chiều đối với dòng điện: Nó thật có ích cho việc biến đổi dòng điện xoay chiều thành điện một chiều.

Transistor là những dụng cụ bán dẫn tác dụng như những bộ khuếch đại hoặc công tắc điện có thể điều khiển được. Ngày nay, chúng có nhiều dạng, nhưng một trong những loại đầu tiên được chế tạo – và dễ giải thích nhất – là giống như hai diode lồng-đối-lồng, tạo thành ba lớp xen kẽ của chất bán dẫn loại p và loại n. Hình vẽ bên dưới cho thấy sự hoạt động của một transistor n-p-n, trong đó các electron có thể chạy từ cathode vào một vùng loại n gọi là emitter (cực phát), qua một vùng loại p gọi là base (cực gốc), sang một vùng loại n thứ hai gọi là collector (cực thu), và rồi chạy sang anode. (Các lỗ trống có thể chạy theo hướng ngược lại) Dòng điện có chạy qua hay không và cường độ bao nhiêu là tùy thuộc vào một hiệu điện thế biến thiên nhỏ (ngược chiều với hiệu điện thế chính) giữa hai bên lớp tiếp xúc base-collector. Không có hiệu điện thế đó, lớp tiếp xúc base-collector sẽ chặn dòng điện lại giống như một diode phân cực ngược; nhưng nếu hiệu điện thế đó đủ lớn, thì lớp tiếp xúc ấy bị phân cực thuận, và các electron sẽ đi qua.



Transistor là một dụng cụ bán dẫn trong đó một sự thay đổi nhỏ về hiệu điện thế đặt vào có thể điều khiển một sự thay đổi lớn ở dòng điện, khiến nó có vai trò là một bộ khuếch đại hoặc một công tắc điện có thể điều khiển được.

Nói cách khác, có một hiệu điện thế base-collector ngưỡng tại đó xảy ra sự biến đổi dòng điện transistor. Nếu ngưỡng đó dốc đứng, thì sự biến đổi hiệu điện thế tác dụng giống như một cái công tắc chuyển transistor giữa on và off. Nếu ngưỡng đó tăng từ từ, thì



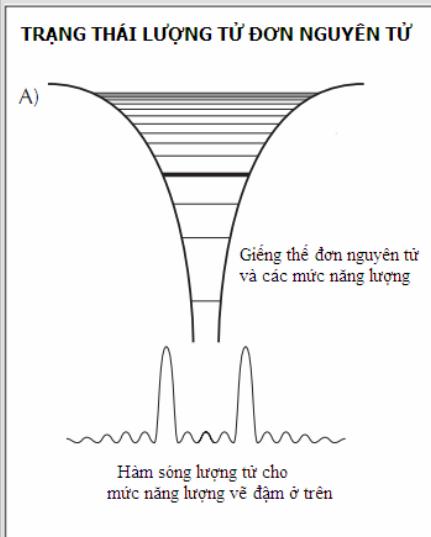
transistor có thể là một bộ khuếch đại, nó phản ứng với sự thay đổi nhỏ về hiệu điện thế với sự thay đổi lớn về dòng điện của nó trong vùng ngưỡng.

Vào cuối những năm 1940, nhiều nhà vật lí đang khảo sát lý thuyết lượng tử nhiều vật của chất rắn, đặc biệt khi áp dụng nó cho các chất bán dẫn. Tại Phòng thí nghiệm Bell, John Bardeen nổi lên là một người lãnh đạo vì ông cũng hiểu rõ những vấn đề kỹ thuật thực hành của việc chế tạo những dụng cụ điện tử bán dẫn. Người ta nói tới việc pha tạp chất vào mảng silicon với những lượng nhỏ để chế tạo những lớp kẽp p-n-p hoặc n-p-n với những tính chất như mong muốn. Người ta cần đến sự hòa trộn của kiến thức toán học, kỹ năng thực hành và sự đột phá công nghệ để thật sự chế tạo ra một transistor. Như đã lưu ý ở chương trước, đội khoa học của William Shockley, Walter H. Brattain, và Bardeen là những người đầu tiên hoàn thành kì công đó, và nó đã mang lại cho họ giải thưởng Nobel vật lí năm 1956.

### Các mức năng lượng electron và hàm sóng trong chất rắn

Đây là phần trình bày đã đơn giản hóa về một số cơ sở toán học mà các nhà vật lí đã phát triển để xử lý các tương tác nhiều vật mà các electron trải nghiệm trong chất rắn. Bắt đầu với tương tác hai vật của electron với hạt nhân của nó.

Về mặt toán học, các nhà vật lí biểu diễn tương tác đó dưới dạng một đồ thị ba chiều của thế năng của electron, thế tăng lên khi electron di chuyển ra xa hạt nhân, nhưng minh họa ở đây chỉ thể hiện thế một chiều. Kết quả là phần trên của hình minh họa A), một “giếng thế” với hạt nhân ở chính giữa. Các đường ngang trong giếng biểu diễn những mức năng lượng mà cơ học lượng tử cho phép, chúng tiến đến gần nhau hơn khi electron nằm xa hạt nhân hơn. Khoảng cách giảm dần đó giữa các mức năng lượng có nghĩa là có một số vô hạn những trạng thái lượng tử cho electron trong nguyên tử của nó.



Phần trên của biểu đồ này biểu diễn một đơn nguyên tử dưới dạng một giếng thế cực sâu với hạt nhân nằm ngay giữa. Các thành của giếng biểu diễn lượng thế năng mà một electron phải có tại khoảng cách đó tính từ tâm ra. Các đường ngang biểu diễn các mức năng lượng electron, một trong số đó được nhấn mạnh bằng cách vẽ đậm. Phần dưới của biểu đồ biểu diễn hàm sóng của một electron chiếm giữ mức năng lượng đã nhấn mạnh ở trên. Hàm sóng đó đạt cực đại nhọn tại khoảng cách bằng với bán kính quỹ đạo cho mức năng lượng đó. Điều đó có nghĩa là electron có xác suất tìm thấy rất cao tại khoảng cách này tính từ hạt nhân ra, mặc dù những khoảng cách khác cũng là có thể.

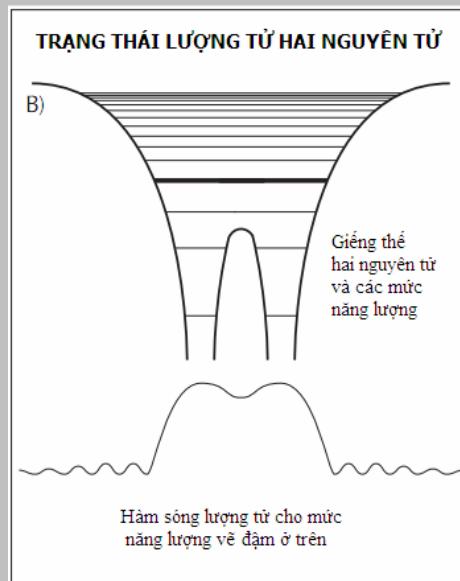
Phần dưới của hình minh họa A) là một biểu diễn của hàm sóng electron cho một trạng thái lượng tử đặc biệt và mức năng lượng tương ứng của nó. Nó đạt cực đại sắc nhọn tại khoảng cách tính từ hạt nhân tương ứng với bán kính quỹ đạo cho trạng thái lượng tử đó, biểu thị rằng xác suất tìm thấy electron dọc theo quỹ đạo đó là cao, và xác suất tìm thấy nó ở nơi khác là rất thấp.

Trong chất rắn, các nguyên tử ở quá gần nhau nên những electron ngoài cùng của một nguyên tử có thể chịu một lực hút điện tử hạt nhân láng giềng cũng mạnh như lực hút của hạt nhân của nó. Trong trường hợp đó, không thể nói là nó thuộc về nguyên tử nhất định nào. Nó có thể thuộc về hai (hoặc vài) nguyên tử. Những nguyên tử đó khi đó liên kết với nhau theo liên kết cộng hóa trị



hoặc liên kết ion, như đã mô tả ở chương 4.

Hình minh họa B) thể hiện cái xảy ra khi các nhà vật lí áp dụng cơ sở toán học của cơ học lượng tử cho hai nguyên tử chia sẻ các electron. Giếng thế của các nguyên tử đó chồng lấn lên nhau và tạo ra một giếng hố kép với cực đại ở giữa thấp hơn các cực đại ở bên ngoài. Giếng đó cắt đứt phần trên của hai giếng ban đầu nơi chúng chồng lấn và để lại một số lượng nhỏ, hữu hạn những trạng thái năng lượng đơn nguyên tử được phép. Theo nguyên lí loại trừ Pauli, không có hai electron nào có thể có trạng thái lượng tử như nhau. Trong nhiều trường hợp hai-nguyên-tử, số lượng trạng thái đơn nguyên tử nhỏ hơn số electron có trong các nguyên tử. Điều đó có nghĩa là một số electron phải chiếm giữ một tập hợp mới gồm những mức năng lượng thuộc về cả hai nguyên tử. Những mức đó tạo nên dải hóa trị đã trình bày ở chương 4. Hàm sóng của chúng không có một cực đại nhọn trong một vùng quỹ đạo xung quanh nguyên tử này hay nguyên tử kia; thay vào đó chúng trải rộng khắp vùng mà giữa đó sự liên kết hình thành. Điều đó có nghĩa là một electron liên kết đúng là có khả năng ở gần một nguyên tử này hay nguyên tử kia, và đồng thời có xác suất cao có mặt ở giữa chúng.

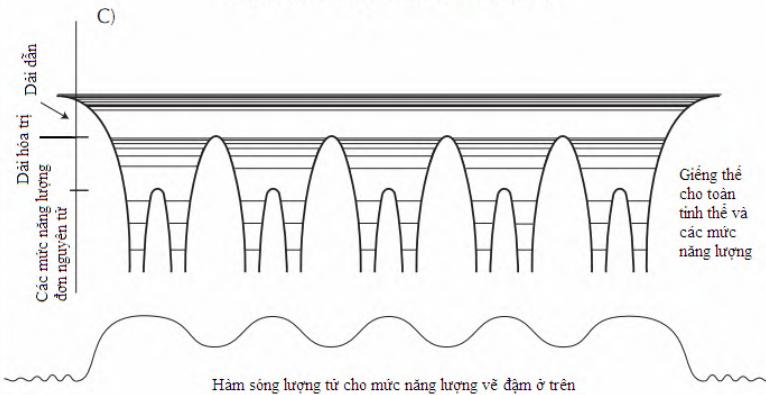


Nếu hai nguyên tử ở đủ gần nhau để cho giếng thế của chúng chồng lấn lên nhau, thì kết quả là một giếng hố kép với một số mức năng lượng thấp cho những trạng thái trong đó electron thuộc về một nguyên tử cộng với những mức dải hóa trị năng lượng cao hơn trong đó nó được chia sẻ bởi hai nguyên tử trong một liên kết cộng hóa trị. Hàm sóng cho một mức năng lượng dải hóa trị có một cực đại rộng, cho thấy electron đó có khả năng được tìm thấy cao nhất trong vùng giữa các nguyên tử.

Minh họa C) thể hiện bước tiếp theo, khi xét đến toàn bộ vật rắn. Giờ thì ngay cả những thành bên ngoài của giếng thế hai vật cũng hạ thấp xuống. Điều này làm suy giảm dải hóa trị xuống một số hữu hạn những trạng thái lượng tử. Trong những chất liệu nhất định, thí dụ như kim loại, số trạng thái đơn nguyên tử cộng với số trạng thái dải hóa trị nhỏ hơn tổng số electron. Một số electron phải chẵng thuộc về bất kì nguyên tử nào hay liên kết nào giữa chúng, mà thuộc về toàn bộ các nguyên tử. Các mức năng lượng của chúng nằm trong dải dẫn, và chúng chảy tự do bên trong chất liệu. Phản ánh xác suất một electron dẫn được tìm thấy ở đâu đó bên trong chất liệu, hàm sóng của nó tăng và giảm theo một kiểu phù hợp với sự sắp xếp tinh thể của các nguyên tử.



### TRẠNG THÁI LƯỢNG TỬ TOÀN TINH THỂ



Trong một tinh thể, ngoài những mức năng lượng đơn nguyên tử và hai nguyên tử, còn có một tập hợp cao hơn gồm những mức năng lượng thuộc về tất cả các nguyên tử. Đây là dài dẵn, và hàm sóng của các electron của nó có một loạt cực đại rộng, thấp, nghĩa là chúng có thể được tìm thấy ở gần bất kì nguyên tử nào trong tinh thể.



## Sự siêu dẫn

Năm 1951, John Bardeen rời Bell Labs đến làm giáo sư kỹ thuật điện tại trường đại học Illinois. Tại đó, ông quyết định đương đầu với một trong những vấn đề thách thức nhất trong ngành vật lí chất rắn: đó là sự siêu dẫn.

Như đã mô tả trong chương 2, hiện tượng trên được phát hiện ra vào năm 1911 và sớm mang giải thưởng Nobel vật lí về cho Heike Kamerlingh Onnes, nhưng 40 năm sau vẫn chưa có ai đi tới một lời giải thích cho nó cả. Ngay cả khi các nhà vật lí bắt đầu tìm hiểu xem cơ học lượng tử và sự sắp xếp tinh thể của các nguyên tử và phân tử trong chất rắn có thể tạo ra sự dẫn điện của chúng như thế nào, họ vẫn chưa thể đi tới một cơ chế cho một electron truyền qua một chất dẫn mà không bị mất mát năng lượng. Điều chắc chắn xảy ra là các electron sẽ chịu những va chạm với các nguyên tử của chất rắn, và mỗi va chạm sẽ mang lại một sự trao đổi năng lượng. Sử dụng cơ học thống kê, các nhà vật lí tính được rằng tác dụng trung bình của những va chạm đó là sự suy giảm chút ít năng lượng của electron có thể đo dưới dạng điện trở. Năng lượng thoát sẽ thể hiện dưới dạng nhiệt trong chất rắn.

Các tính toán dự báo rằng việc làm lạnh chất rắn đi sẽ làm giảm điện trở của nó. Đồ thị biểu diễn sự thay đổi điện trở theo nhiệt độ sẽ là một đường thẳng kéo dài đi qua nhiệt độ không tuyệt đối nào đạt tới. Xu hướng giảm điện trở đó thật ra là cái Kammerlingh Onnes trông thấy cho đến khi các dây dẫn của ông lạnh tới một nhiệt độ tới hạn nhất định, tại đó điện trở đột ngột giảm xuống bằng không. Các electron vẫn va chạm với các nguyên tử trong chất rắn, nhưng chúng bật trở ra mà không hề thoát năng lượng. Bardeen không đơn độc trong việc nghĩ rằng cơ học lượng tử có thể mang lại lời giải thích cho hiện tượng này. Với tư cách giáo sư, ông giám sát một số nghiên cứu sinh, phân công họ thực hiện những vấn đề nghiên cứu sẽ mang đến những kiến thức sâu sắc về những tính chất cơ lượng tử của chất rắn.



John Bardeen (trái), Leon Cooper (giữa), và John Robert Schrieffer (phải) tại lễ trao giải Nobel công nhận sự phát triển lý thuyết BCS của họ cho sự siêu dẫn. (Ảnh: AIP Emilio Segrè Visual Archives)

Một tính chất như vậy liên quan đến những dao động trong mạng tinh thể. Các nhà vật lí đã sáng tạo ra những mô hình toán học biểu diễn các tinh thể dưới dạng một mạng lưới nguyên tử và phân tử liên kết với nhau bằng những lò xo. Nếu một phân tử bắt đầu dao động – đong đưa tới lui, thì các lò xo sẽ truyền dao động đó sang những phân tử lân cận. Không lâu sau thì toàn bộ tinh thể sẽ dao động. Phân tích cho biết chỉ có những mode và cường độ dao động nhất định mới có thể duy trì được. Giống như cơ học lượng tử đã liên hệ năng lượng của các photon cho những chuyển tiếp giữa những trạng thái electron



được phép với những số lượng tử, phân tích mới cho biết năng lượng dao động cũng xuất hiện thành từng gói tương ứng với những chuyển tiếp giữa những trạng thái được phép của dao động mạng. Các nhà vật lí gọi các gói năng lượng dao động đó là *phonon*, vì chúng tương ứng với sóng âm truyền qua tinh thể.

Bardeen, Cooper, và Schrieffer nghĩ rằng sự siêu dẫn có thể thu được từ những electron tạo ra và hấp thụ những phonon khi chúng va chạm với các nguyên tử. Thay vì trao đổi năng lượng với một đơn nguyên tử trong một va chạm, điều gì sẽ xảy ra nếu như electron trao đổi năng lượng với mạng tinh thể nói chung? Họ đã phải chất vấn với một số ý kiến cho đến khi Schrieffer thực hiện một đột phá – một cách khác nhìn vào hàm sóng electron – và trình bày nó với Cooper. Cooper tán thành rằng ý tưởng của Schrieffer sẽ hoạt động, và ông bổ sung thêm một đặc trưng quan trọng cho nó. Hãy tưởng tượng một cặp electron có tập hợp số lượng tử như nhau, trừ chỗ spin ngược chiều nhau, đang truyền cùng nhau trong mạng tinh thể. Một hạt sẽ tương tác với mạng để tạo ra một phonon, còn hạt kia thì hấp thụ phonon. Chúng sẽ cùng bắt đi, tương tác với mạng mà không mất năng lượng chừng nào chung vẫn còn ghép cặp và trao đổi phonon. Hoạt động nhiệt trong tinh thể có xu hướng làm phá vỡ các “cặp Cooper”, nhưng giống như nước đông đặc thành băng dưới một nhiệt độ nhất định, tốc độ hình thành cặp sẽ vượt quá tốc độ phá vỡ khi mọi thứ đủ lạnh. Điều đó giải thích cho nhiệt độ tối hạn. Những tính toán mở rộng thêm cho thấy hàm sóng của Schrieffer và các cặp electron của Cooper cũng giải thích được những tính chất khác của các chất siêu dẫn.

Ngay khi lí thuyết Bardeen, Cooper, và Schrieffer (BCS) của sự siêu dẫn xuất hiện trên các tạp chí vào năm 1957, chẳng mấy ai nghi ngờ nó sẽ có tầm cỡ nhận giải thưởng Nobel. Chưa ai từng được trao giải Nobel hai lần trong cùng một lĩnh vực, ngoại trừ Bardeen. Bộ ba tác giả của lí thuyết BCS được trao giải Nobel vật lí năm 1972.

## Vật lí và công nghệ hạt nhân

Mặc dù vật lí chất rắn đã lấn lướt tiêu điểm khoa học trong thập niên 1950, nhưng vật lí hạt nhân vẫn tiếp tục có sự phát triển ngoài sự chia sẻ chú ý của nó. Khi chiến tranh lạnh ngày càng diễn ra mạnh mẽ, hai lĩnh vực đặc thù của ngành công nghệ hạt nhân đang làm chuyển biến nền quốc phòng và công nghiệp sản xuất điện.

Như đã lưu ý ở chương trước, thập niên 1940 đã kết thúc với vị thế hàng đầu của nước Mĩ trong sự phát triển vũ khí nhiệt hạch. Năm 1952, Hoa Kì cho nổ thành công quả bom khinh khí đầu tiên, nó sử dụng một quả bom phân hạch làm ngòi nổ cho một phản ứng nhiệt hạch hạt nhân không kiểm soát. Liên Xô nhanh chóng thách thức sự ưu trội của Mĩ và bắt đầu cho nổ những loại vũ khí nhiệt hạch riêng của mình. Năm 1960, rõ ràng là cả hai quốc gia trên có đủ khả năng tiêu diệt lẫn nhau.

Trong khi sự nhiệt hạch hạt nhân đang được khai thác cho các mục đích phá hủy, thì các nhà vật lí cũng những kỹ sư đang phát triển những ứng dụng hữu ích cho sự phân hạch hạt nhân. Khi lò phản ứng Fermi lần đầu tiên được chứng minh, người ta không những có thể tạo ra phản ứng hạt nhân dây chuyền mà còn điều khiển và duy trì được nó. Việc xây dựng những nhà máy phát điện từ năng lượng của lò phản ứng phân hạch có điều khiển chỉ còn là vấn đề kỹ thuật mà thôi. Năm 1954, con tàu ngầm Nautilus của Mĩ trở thành con tàu đầu tiên được cấp nguồn bằng một lò phản ứng hạt nhân, và vào năm 1957, nhà máy điện hạt nhân thương mại đầu tiên bắt đầu đi vào hoạt động ở Shippingport, Pennsylvania, cách Pittsburgh 25 dặm.

Trong khi một số nhà vật lí và kỹ thuật đang học cách ứng dụng sự phân hạch và nhiệt hạch hạt nhân, thì những người khác gắng sức đi tìm hiểu những hiện tượng đó một cách cụ thể hơn. Năm trong số họ là nhà thiên văn học người Anh Fred Hoyle. Như đã lưu



ý ở chương trước, Hoyle là người đã hô nghi mô tả của Gamow-Alpher rằng không thời gian, thời gian, và vũ trụ ra đời trong một vụ nổ khủng khiếp của vật chất và năng lượng, theo sau đó là sự giãn nở và lạnh đi tiếp diễn cho đến muôn đời. Ông đã gọi mô hình đó là “big bang” (vụ nổ lớn) và đặt nó tương phản với lí thuyết “trạng thái bền” của riêng ông, theo đó vật chất và năng lượng được tạo ra liên tục, giữ cho mật độ vật chất của vũ trụ không đổi ngay cả khi nó giãn nở.

Nhưng cho dù vũ trụ có đang giãn nở tiếp sau một vụ nổ vũ trụ hay vì sự sinh ra từ từ và đều đặn của vật chất mới, các nhà vật lí vẫn đồng ý rằng các nguyên tố hóa học ngoài hydrogen và helium đã ra đời trong những phản ứng nhiệt hạch hạt nhân cấp nguồn cho những ngôi sao. Từ năm 1953 đến 1957, Hoyle cùng những đồng nghiệp của ông đã nghiên cứu một lí thuyết chi tiết của sự nhiệt hạch sao, bao gồm cả những thay đổi thành phần của ngôi sao và những phản ứng xảy ra bên trong chúng khi chúng già đi. Tháng 10 năm 1957, trên một số của tờ *Reviews of Modern Physics*, Hoyle, nhà vật lí hạt nhân William A. (“Willy”) Fowler (1911–95) ở Caltech, đôi vợ chồng người Anh Geoffrey (1925–) và Margaret Burbidge (1919–) ở trường đại học Cambridge, đã công bố một bài báo nổi tiếng tính ra số lượng của mỗi đồng vị, từ hydrogen cho đến uranium, được trông đợi có mặt trong những ngôi sao dựa trên lịch sử cuộc đời của chúng. Các kết quả tính toán của họ phù hợp với những phép đo tốt nhất một cách tuyệt vời, và Fowler cùng chia sẻ giải Nobel vật lí năm 1983 với Chandrasekhar cho công trình nghiên cứu này.

## “Vườn bách thú” hạt hạ nguyên tử

Thập niên 1950 cũng đánh dấu một sự bùng nổ tăng trưởng trong lĩnh vực nghiên cứu các hạt hạ nguyên tử. Năm 1952, một loại máy gia tốc mới đã được phát minh và chế tạo. Gọi tên là synchrocyclotron hay synchrotron, nó bổ sung cho những hạn chế tương đối tính trong thiết kế cyclotron ban đầu như đã lưu ý ở chương trước. Như vậy, người ta có thể bắt chước sự sản sinh những hạt tia vũ trụ trong tầng trên khí quyển.

Cùng năm đó, Donald A. Glaser (1926–) thuộc trường đại học Michigan phát minh ra một loại máy dò hạt mới và nhạy hơn gọi là buồng bọt. Sự kết hợp những cỗ máy gia tốc mới để đạt tới năng lượng cao hơn và cải tiến các máy dò để đo đường đi của những hạt hạ nguyên tử có thời gian sống ngắn – chúng thường phân hủy thành những hạt khác – dẫn tới sự khám phá ra một vài loại hạt mới có sự tồn tại mang tính thách thức như câu hỏi cái gì chi phối hạt muon. Các nhà khoa học đã đặt tên cho từng hạt mới và lập danh mục khối lượng, điện tích, spin, thời gian sống của nó, và tương tác của nó với/hoặc biến đổi thành những hạt khác.

Với ngoại lệ neutrino và phản neutrino, toàn bộ những hạt mới phát hiện thuộc thập niên 1950 ít nhất cũng nặng như proton và neutron. Các nhà vật lí gọi những hạt đó là baryon, từ tiếng Hi Lạp có nghĩa là nặng. Baryon mới đầu tiên được phát hiện, vào năm 1951 bởi nhóm nghiên cứu tia vũ trụ Butler tại Manchester (người trước đó đã tìm ra kaon), là một hạt trung hòa điện, nặng hơn neutron khoảng 20%. Họ đặt tên cho nó là lambda do những vết tích tiết lộ sự tồn tại của nó trong một buồng mây. Kí hiệu viết hoa của chữ cái Hi Lạp đó trông như chữ “V” ngược. Vì nó không mang điện, nên hạt lambda chẳng để lại vết tích gì trong buồng mây, nhưng nó phân hủy thành một cặp hạt tích điện để lại vết tích hình chữ lambda đặc trưng trên đường đi qua của chúng.

Theo thứ tự phát hiện, những baryon khác được tìm ra trong thập niên thứ sáu của thế kỉ 20 là xi trừ (1952), sigma cộng và sigma trừ (1953), phản proton (người ta trông đợi nhiều nhưng tới năm 1955 mới phát hiện), phản neutron (cũng được trông đợi, nhưng chờ đến năm 1956 mới lộ diện), sigma không (1956), phản lambda (1958), và xi không (1959). Không có meson khối lượng trung bình nào được phát hiện ra trong thập niên 1950,



nhưng năm 1956, Clyde Cowan (1919–74) và Frederick Reines (1918–98) thuộc Phòng thí nghiệm quốc gia Los Alamos ở Mĩ, phát hiện ra neutrino và phản neutrino đã được tiên đoán từ lâu nhưng hay lảng tránh, trong một lò phản ứng hạt nhân. Hai thành viên mới này của họ hàng hạt nhẹ lepton gia nhập cùng với electron, positron, muon, và phản muon.

Các khám phá Cowan-Reines sớm được gọi tên chính xác hơn là neutrino electron và phản neutrino electron. Lí do thêm từ electron vào tên của chúng là vì phát hiện ra sự phân rã phóng xạ beta – trong đó một neutron biến đổi thành một proton, một electron (hạt beta), và một phản neutrino electron – chỉ là một thí dụ của sự biến đổi hạt sơ cấp do lực hạt nhân yếu chi phối. Các buồng bọt và synchrotron không những cho phép các nhà vật lí có thể phát hiện ra những baryon mới, mà còn nghiên cứu những tương tác và biến đổi đa dạng mà những hạt đó trải qua. Họ phát hiện thấy những baryon lớn phân hủy tương tự như các neutron trong phân hủy beta, nhưng chúng sinh ra một muon và một neutrino muon (hoặc phản neutrino muon) thay vì một electron và neutrino của nó. Giờ thì đã có câu trả lời cho câu hỏi cái gì chi phối hạt muon, nhưng nó mang theo sự tiên đoán một loại neutrino mới chưa được phát hiện ra.

Các nhà vật lí sớm đổi mới trước một loạt hạt với những tính chất biến thiên đa dạng như các loài trong vườn bách thú. Nó nhắc họ nhớ tới tình huống trong ngành hóa học trước khi khám phá ra bảng tuần hoàn của các nguyên tố. Họ hi vọng một Mendeleev thời hiện đại sẽ xuất hiện trong thập niên 1960 để khám phá ra một khuôn khổ trật tự nhằm sắp xếp các thành viên của “vườn bách thú hạt cơ bản”, và một Pauli mới để tìm ra nguyên tắc xây dựng trật tự đó. Murray Gell-Mann (1929– ) hóa ra sẽ là cả hai hiện thân vừa nói.

Gell-Mann lần đầu tiên gây sự chú ý rộng rãi với một khám phá có nhiều thành quả vào năm 1954, khi ông là một vị giáo sư trẻ tại trường đại học Chicago. Nhà vật lí người Nhật Kazuhiko Nishijima (1926– ), một cách độc lập, đã đi đến ý tưởng tương tự, gần như là đồng thời. Mỗi người đề xuất một con số lượng tử mới để mô tả những tương tác giữa những hạt kì lạ mới được phát hiện ra đó: hạt kaon trong họ hàng meson, và lambda, xi và sigma trong nhóm baryon. Với một chút khôi hài của một nhà vật lí tiêu biểu, Gell-Mann gọi tên đó là *số lạ*. Mặc dù Gell-Mann và Nishijima đều không rõ tính chất vật lí mà con số lượng tử mới đó biểu diễn là gì, nhưng họ chắc chắn nó là quan trọng vì nó được bảo toàn trong các tương tác liên quan đến lực hạt nhân mạnh: Cho dù xảy ra sự biến đổi nào đi nữa, thì tổng số lạ của các hạt có liên quan lúc sau bằng như lúc đầu. Các định luật bảo toàn luôn luôn biểu thị cái gì đó có tầm quan trọng vật lí sâu sắc. Như sẽ trình bày trong chương sau, khả năng của Gell-Mann nhìn thấy tính ngăn nắp giữa các hạt trong vườn bách thú không những mang đến sự hiểu biết về tính lạ mà còn định nghĩa lại cái các nhà vật lí xem là một hạt cơ bản của vật chất.

## Những phát triển khác trong thập niên 1950

### - Vật lí và công nghệ

Bất chấp hành vi thù địch chính trị của cuộc chiến tranh lạnh, thập niên thứ sáu của thế kỉ 20 vẫn được ghi dấu bởi những nỗ lực quốc tế nỗi trội mà, nếu không hoàn toàn mang tính hợp tác, thì cũng nghiêm về một cuộc thi đấu điên kinh hơn là một trận chiến. Thí dụ tốt nhất là Năm Vật lí Địa cầu Quốc tế (IGY) 1957, không những mang lại bằng chứng cho cái được gọi là sự kiến tạo mảng. Sự hiểu biết hiện đại về Trái đất là một hành tinh nhiều lớp, với lớp vỏ đá mỏng của nó đứt gãy thành các mảng trôi giật từ từ trên một lớp bao dày, nóng, dạng nứa rắn, xuất hiện từ nhiều dự án IGY đa dạng.

Cuộc cạnh tranh IGY cũng có những hàm ý quân sự, đặc biệt trong cuộc chạy đua đưa lên quỹ đạo vệ tinh nhân tạo đầu tiên của thế giới, phần thắng đã nghiêm về Liên Xô khi họ phóng thành công Sputnik I vào ngày 4 tháng 10, 1957. Nước Mĩ không đuổi kịp kì



công đó, mãi cho đến ngày 31 tháng 1, 1958. Vào cuối thập niên, hai quốc trân đang chạy đua với nhau trở thành nước đầu tiên đưa người lên quỹ đạo và quay về một cách an toàn.

Trong những phát triển khác liên quan đến vật lí học, từ năm 1951 đến 1953, Rosalind Franklin (1920–58) thuộc trường Cao đẳng Hoàng gia ở London, đã sử dụng tinh thể học tia X để nghiên cứu cấu trúc của phân tử acid deoxyribonucleic (ADN), phân tử được biết là mang thông tin di truyền nằm trong nhân của các tế bào sống. Bà đã trên đường suy luận ra cấu trúc xoắn kép nổi tiếng của ADN khi Francis Crick (1916–2004) và James Watson (1928–) ở trường đại học Cambridge công bố những kết quả của họ trên tạp chí *Nature* vào ngày 25 tháng 4, 1953. Nhiều nhà sử học khẳng định bà sẽ là người đầu tiên khám phá ra cấu trúc ADN nếu không có mối quan hệ rất bất đồng với người đồng nghiệp tại trường Cao đẳng Hoàng gia, Maurice Wilkins (1916–). Watson, Crick, và Wilkins cùng chia sẻ giải thưởng Nobel y khoa hay sinh lí học năm 1962 cho những thành tựu của họ. Franklin có lẽ còn xứng đáng hơn cả Wilkins, nhưng bà đã qua đời vì bệnh ung thư buồng trứng vào năm 1958. Giải Nobel chỉ trao cho người còn sống và không bao giờ được trao chung cho hơn ba người.

Thập niên 1950 cũng chứng kiến một số thành tựu công nghệ có liên quan đến vật lí. Trong số này có laser đầu tiên, do Theodore Maiman (1927–) phát minh ra vào năm 1960. Laser là từ viết tắt của *light amplification by stimulated emission of radiation* (sự khuếch đại ánh sáng bằng sự phát bức xạ cảm ứng). Albert Einstein lần đầu tiên mô tả hiện tượng phát xạ cảm ứng về mặt lí thuyết vào năm 1917, nhưng nó không được hiện thực hóa trong thực tiễn cho đến khi những người anh em rể Charles Townes (1915–) và Arthur Schawlow (1921–99) thuộc trường đại học Columbia phát minh ra maser, tương đương vi sóng của laser, vào năm 1954. Townes cùng chia sẻ giải Nobel vật lí năm 1964 cho công trình đó và một công trình khác có liên quan đến sự phát triển của laser và maser, còn Schawlow chia sẻ giải thưởng Nobel vật lí năm 1981 cho công trình của ông liên quan đến quang phổ học laser.

Năm 1959, Robert Noyce (1927–90) ở Công ty Chất bán dẫn Fairchild và Jack S. Kilby (1923–2005) ở Tập đoàn Thiết bị Texas phát minh ra mạch tích hợp, thường được gọi là vi chip, trong đó một số lượng lớn transistor và những mạch nối của chúng được tạo ra trên một mảng silicon (hoặc một chất liệu bán dẫn khác). Kilby cùng nhận giải thưởng Nobel vật lí năm 2000 cho thành tựu đó, và nó là cơ sở cho máy tính và công nghệ viễn thông ngày nay.

### **Nhà khoa học của thập niên: John Bardeen (1908–1991)**

Trong nửa đầu của thế kỷ 20, vật lí học bị thống trị bởi những ý tưởng mang tính đột phá: thuyết tương đối hòa hợp không gian với thời gian, vật chất và năng lượng; cơ học lượng tử làm lu mờ đi sự khác biệt giữa sóng và hạt, và thay thế sự tất định bằng sự bất định; và vật lí hạt nhân dẫn đến bom nguyên tử. Những khám phá mang tính biến đổi thế giới này, cùng với nhân cách và tầm ảnh hưởng của Einstein đã làm cho cái từ *nà vật lí* đồng nghĩa với thiên tài lập dị trước mắt đa số công chúng. Hình ảnh của nhà vật lí trong con mắt công chúng là như thế này: thông minh nhưng hẹp hòi, nói bằng những phương trình hoặc làm việc với những “máy va chạm nguyên tử” khổng lồ, hoặc là đắc mငnh trong công việc và quên mất cuộc sống đời thường.

Nhưng giống như thập niên 1950 đã chuyển hướng nền vật lí vượt khỏi những đột phá lí thuyết sang những mối quan tâm thực nghiệm, thập niên trên cũng mang đến một loại cá nhân khác biệt nổi lên trong lĩnh vực trên. Nhà khoa học chính của chương này, John Bardeen, theo đuổi những ứng dụng công nghệ và thực tiễn hướng tới cuộc sống thường nhật. Ông không phải, như người ta nói, là “một Einstein”. Thay vì vậy, ông là một



thí dụ của cái mà các tác giả viết tiêu sử của ông gọi là *Thiên tài Dích thực*, một trí tuệ đổi mới, lặng lẽ nổi bật lên hàng đầu trong số những đồng nghiệp của ông. Ông là một người trầm tính có công trình nghiên cứu về cơ học lượng tử của chất rắn đã khởi phát cuộc cách mạng bán dẫn và làm sáng tỏ cơ chế nền tảng của sự siêu dẫn.

John Bardeen sinh ở Madison, Wisconsin, vào ngày 23 tháng 5, 1908. Cha mẹ ông là những người tin tưởng tuyệt đối vào giá trị của sự giáo dục. Cha của ông, Charles Bardeen (1871–1935), là người sáng lập ra khoa Y tại trường đại học Wisconsin và là vị chủ nhiệm khoa đầu tiên. Mẹ của ông, Althea Harmer Bardeen (1875–1920), là giáo viên tại một trường thực nghiệm tiền bộ thiết lập bởi John Dewey (1859–1952), người thường được xem là một trong những nhà cải cách giáo dục vĩ đại nhất cuối thế kỉ 19 và đầu thế kỉ 20. Charles và Althea cùng nhận ra và khuyến khích những khả năng ngoại hạng của John, đặc biệt là về toán học. Althea qua đời khi John mới 11 tuổi, nhưng ông đã được nuôi dạy tốt. Ông hoàn thành những khóa học cần thiết của mình tại trường trung học trong trường đại học lúc ở tuổi 13, và bắt đầu tham gia nghiên cứu tại trường đại học Wisconsin năm lên 15 tuổi.



John Bardeen, trong ảnh cùng với người cháu trai Chuck, vào năm 1968, không xem gì quan trọng hơn gia đình, mặc dù golf có lẽ một sự lựa chọn thứ hai. Ông nổi tiếng đã nhận hai giải thưởng Nobel. (Ảnh: The Bardeen Family Archives)

Vì ông phân vân khó chọn hướng nghiên cứu vật lí và toán học chính trước khi nghiêng về xử lí kỹ thuật điện, nên ông đã mất 5 năm để lấy bằng cử nhân vào năm 1928. Ông có thể áp dụng một số chứng chỉ bổ sung của ông để học lên thạc sĩ, và ông tiếp tục ở lại Wisconsin để hoàn tất học vấn của mình. Đề tài luận văn của ông là sử dụng các kỹ thuật điện để phát hiện ra các trầm tích dầu. Sau khi hoàn thành luận văn ở Wisconsin, ông đăng ký chương trình nghiên cứu tiến sĩ tại trường Trinity College thuộc đại học Cambridge nhưng không được chấp nhận, và ông phải ở lại một năm học thêm các khóa nữa. Sau 7 năm học tại Wisconsin, ông đã có dịp được học với một số nhà vật lí danh tiếng, bao gồm Werner Heisenberg, Paul Dirac, và Arnold Sommerfeld.

Năm 1930, John chấp thuận đảm nhận một vị trí tại các phòng thí nghiệm nghiên cứu thuộc Công ty Dầu mỏ Vùng vịnh ở Pittsburgh, Pennsylvania, nghiên cứu về những kỹ thuật mới tìm kiếm dầu mỏ. Sau 3 năm, ông đã sẵn sàng trở lại trường cũ. Lần này, ông đăng ký và được nhận vào một chương trình nghiên cứu tiến sĩ toán học tại trường đại học Princeton. Không lâu sau đó, ông làm việc với một số vật lí lí thuyết giỏi nhất thế giới về cơ sở toán học hệ nhiều vật của các electron trong chất rắn. Khi ông hoàn thành công trình nghiên cứu vào mùa xuân năm 1935, ông biết rằng nó gây được sự chú ý của Hội đồng

trường Harvard danh tiếng. Họ mời ông đến phỏng vấn và cấp cho ông một suất học bổng 3 năm nghiên cứu vật lí bắt đầu vào mùa thu năm đó. John đã có thể chia sẻ những tin tức tốt lành cùng với cha ông, Charles, lúc này đang bệnh nặng. John trở lại Madison vào tháng 5, và cha của ông qua đời vào hôm 12 tháng 6. Sau lễ tang, John quay lại Princeton, viết hoàn tất luận án của ông, và trình nó cho giáo sư hướng dẫn của ông phê chuẩn.

Những năm tháng tại Harvard đã hướng John vào con đường sự nghiệp chuyên nghiệp nổi tiếng sẽ bao gồm nghiên cứu giành giải Nobel tại Phòng thí nghiệm Bell và trường đại học Illinois, như đã mô tả chi tiết trong chương này. Nhưng câu chuyện cuộc đời của ông sẽ không hoàn chỉnh nếu không nhắc tới vợ của ông, Jane (1907–97), người đã có với ông 3 đứa con.

Vào cái đêm trước khi ông rời Pittsburgh vào năm 1933, John đã tổ chức một bữa tiệc tối tại nhà của một đồng nghiệp tại Công ty Vùng vịnh; vợ của người đồng nghiệp này có một người bạn tên là Jane Maxwell, người mà bà nghĩ John sẽ thích gặp. Cuối buổi tối hôm ấy, bà chủ nhà tốt bụng đã có thể nói rằng công việc môi mai của bà đã thành công. Ở John, Jane nhìn thấy một người đàn ông khỏe mạnh, đẹp trai với miệng cười quyến rũ. Ông chín chắn, dí dỏm, và tự tin với sự tài hoa mà ông thể hiện qua thái độ trầm lắng của mình. John cũng bị gây ấn tượng không kém. Trên hành trình dài lái xe đến New Jersey vào ngày hôm sau, ông không thể nào dừng suy tưởng đến nhà nữ sinh học thu hút và ăn nói lưu loát kia. Ông quyết định lễ Giáng sinh sẽ quay lại Pittsburgh đó là một ý kiến hay. Vì xa cách và vì công việc, nên mối quan hệ giữa họ tiến triển chậm hơn Jane mong muốn, nhưng cuối cùng thì họ cũng lấy nhau vào năm 1937 và có một cuộc sống gia đình hạnh phúc cho đến khi John qua đời vào ngày 30 tháng 1, 1991.

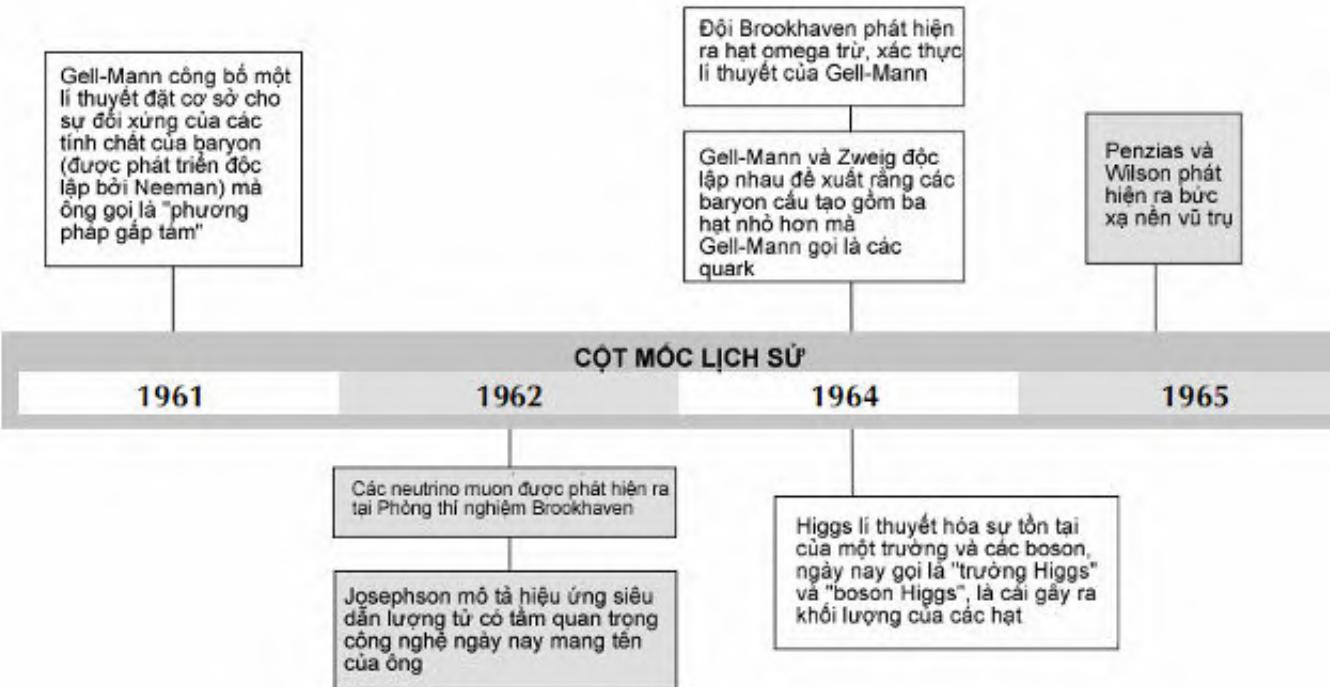
Trong suốt đời mình, John Bardeen luôn tìm thời gian tiêu khiển. Khi còn là một sinh viên chưa tốt nghiệp tại Wisconsin, ông đã lãnh đạo đội bơi của mình mặc dù xét về tuổi, ông trẻ hơn đa số những người bạn bơi của mình. Ông thích hơi bowling và billard, nhưng bạn bè và gia đình thì hay nhớ tới môn golf đam mê luyện của ông. Không bao lâu sau khi nhận giải thưởng Nobel lần thứ nhất, ông đã nhận được một trong những mục tiêu trọn đời khác nữa, đó là một suất chơi trong sân golf của trường đại học. “Ông nghĩ điều đó hùn như tuyệt vời như giải Nobel vậy”, người học trò và đồng nghiệp của ông, Bob Schrieffer, nhận xét. Những năm sau này, sau khi đã nhận giải Nobel lần thứ hai, John nói với bạn mình rằng, “À, có lẽ *hai* giải Nobel thì đáng giá hơn một suất chơi golf chứ”. Thật ra, những câu chuyện mà người ta nhớ tới như vậy về John Bardeen cho thấy *Thiên tài Dịch thực* này để lại một di sản không những là thành tựu vật lí học, mà còn là một thí dụ của lối sống cân bằng giữa một con người thiên tài và một con người.





## 1961 – 1970 Kỉ nguyên chinh phục và thám hiểm

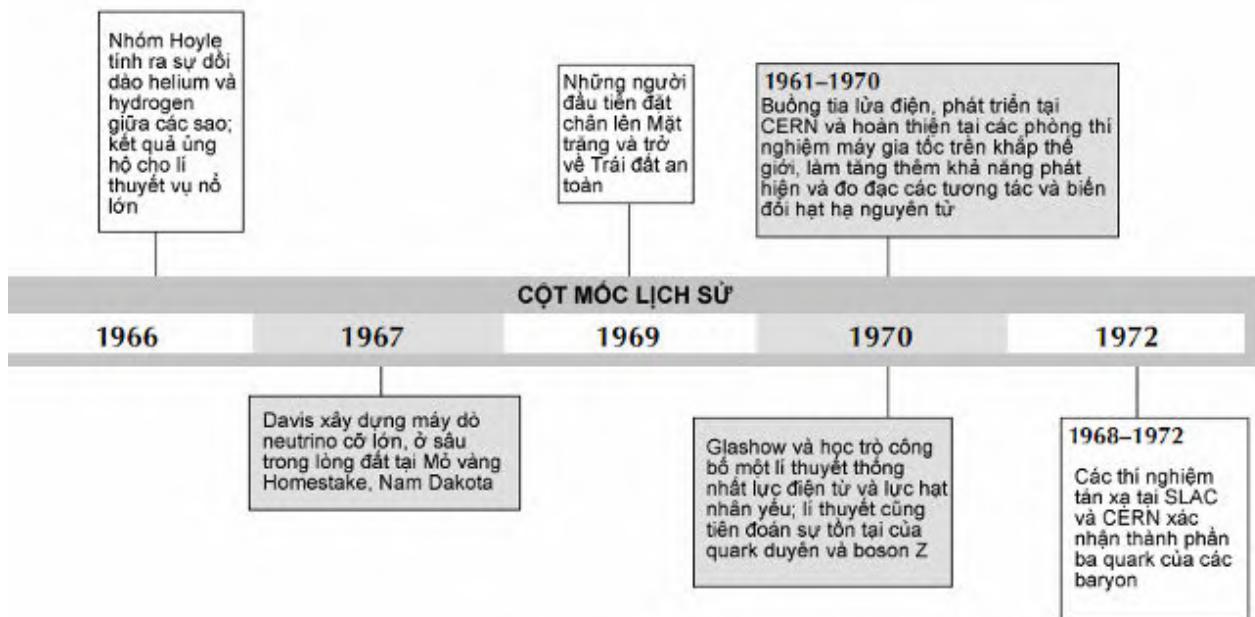
Mặc dù chương trình Apollo và lần đặt chân đầu tiên của con người lên Mặt trăng sẽ luôn luôn được ghi nhận là những thành tựu khoa học và công nghệ vĩ đại nhất của thập niên 1960, nhưng các nhà vật lí vẫn theo đuổi một chương trình nghị sự rộng rãi hơn. Công trình của họ, cả lí thuyết và thực nghiệm, trải từ hạ nguyên tử cho đến vũ trụ. Vào cuối thập niên 1960, giả thuyết vụ nổ lớn cho nguồn gốc của vũ trụ đã nhận được sự chấp nhận rộng rãi, phần lớn nhờ vào những tính toán bổ sung của Fred Hoyle và các đồng sự của ông, đồng thời cũng nhờ vào những tín hiệu kì lạ do một kính thiên văn vô tuyến vô tuyến phát hiện ra mà ban đầu người ta ngầm oan cho những cục phân chim bò câu trên chảo antenna lớn của kính.



Trong khi đó, nhà khoa học nổi bật của chương này, Murray Gell-Mann, đề xuất một sự tổ chức cơ bản của “vườn bách thú” hạt hạ nguyên tử dựa trên một sự đối xứng toán học, cái đưa ông đến chỗ đề xuất ra một họ hoàn toàn mới của các hạt dưới hạt nhân gọi là các quark và một sự mô tả mới tương ứng của cơ chế nền tảng của lực hạt nhân mạnh. Những nhà vật lí khác thi đang trau chuốt kiến thức về lực hạt nhân yếu, đặt nền tảng cho một lí thuyết sẽ hợp nhất nó với lực điện từ vào thập niên 1970. Tuy nhiên, những người



khác thì vẫn đang khảo sát sâu hơn vào các hiện tượng lượng tử trong chất rắn và ứng dụng của chúng trong điện tử học.



Như vậy, thập niên 1960 thật sự là một thập niên khám phá trong lĩnh vực vật lý học. Các khám phá xuất phát từ sâu bên trong nguyên tử và từ những giới hạn của vũ trụ, từ nghiên cứu có thể thực hiện bằng những công nghệ mới và những sứ mệnh vũ trụ, và từ những lí thuyết cách tân mang lại những viễn cảnh mới về sự hoạt động bên trong của tự nhiên.

## Các hạt cơ bản và các lực cơ bản

Có lẽ xu hướng nổi trội nhất của ngành vật lý thập niên 1960 là việc định nghĩa lại các hạt nào và lực nào được xem là cơ bản. Kể từ thời Newton, các nhà vật lí đã hiểu rằng những vật thể lớn bị hút lại với nhau bởi sự hấp dẫn, một lực tác dụng lên khối lượng của các vật. Việc tìm hiểu sự hấp dẫn cho phép họ tìm hiểu động lực học của hệ mặt trời. Vào thế kỉ thứ 19, họ bắt đầu tìm hiểu các lực điện tử. Vào đầu thế kỉ 20, họ hiểu được rằng các nguyên tử cùng những hạt thành phần của chúng mang điện tích và từ tính, và rằng lực điện tác dụng lên điện tích của các electron và hạt nhân để giữ chúng lại với nhau bên trong các nguyên tử. Nó cũng liên kết các nguyên tử lại với nhau thành các phân tử và, với lực từ đồng hành của nó, là cơ sở của năng lượng ánh sáng. Khi các nhà vật lí bắt đầu tìm hiểu sự phóng xạ, họ nhận ra hai lực tác dụng bên trong hạt nhân, nhưng họ không thể nhận ra ngay những tính chất vật lí tương ứng với khối lượng và điện tích mà những lực đó tác dụng lên. Họ cũng nêu ra câu hỏi sau đây: Có phải bốn lực đó – lực hấp dẫn, lực điện tử, tương tác hạt nhân mạnh và yếu – là tất cả những gì tự nhiên phải có, và có nên xem chúng là cơ bản hay không? Nghiên cứu trong thập niên 1960 sẽ đưa các nhà vật lí đi đến những câu trả lời bất ngờ cho câu hỏi đó, chúng được mô tả ở cuối phần này và trong chương 8.

Những câu hỏi đại loại như vậy cũng đang xuất hiện trong thế giới hạ nguyên tử. Trong thế kỉ 19, các nhà vật lí và hóa học nghĩ tới các nguyên tử là những viên gạch cấu trúc cơ bản của vật chất. Sau đó, vào những năm cuối của thế kỉ 19, các khám phá về sự phóng xạ và electron, hạt hạ nguyên tử đầu tiên được biết tới, đã nêu lên vấn đề phải định nghĩa lại sự cơ bản. Nghiên cứu trong ba thập niên đầu của thế kỉ 20 sớm loại đi mọi nghi



ngờ: Với việc khám phá ra hạt nhân nguyên tử và các hạt thành phần của nó, proton và neutron, các nhà vật lí đã chứng minh được rằng có những thực thể còn cơ bản hơn cả các nguyên tử. Ngoài proton, neutron và electron, vào giữa thập niên 1930, các nhà vật lí còn tin rằng neutrino cũng là một bộ phận của bảng kê các hạt hạ nguyên tử, mặc dù nó không được phát hiện ra về mặt thực nghiệm mãi cho đến năm 1956.

Vào thập niên 1960, do danh sách mở rộng dần của các hạt hạ nguyên tử, nhiều hạt trong số đó dường như không thuộc về các nguyên tử, nên lại nỗi lên một câu hỏi mới. Những hạt nào trong số đó nên xem là cơ bản, và những hạt nào còn cấu tạo gồm những hạt nhỏ hơn nữa? Lí thuyết lực mạnh của Yukawa cho các pion một chỗ đứng bên trong hạt nhân. Nhưng còn muon, kaon và các hạt lạ mới phát hiện trong những năm 1950 thì phù hợp với những chỗ nào trong khuôn khổ nguyên tử? Một trong nhiều nhà vật lí bắt đầu nhận ra rằng “hạ nguyên tử” không đồng nghĩa với “cơ bản” là Murray Gell-Mann ở Caltech. Giống như Mendeleev đã làm khi phát triển bảng tuần hoàn các nguyên tố hóa học, Gell-Mann và những người khác bắt đầu tìm kiếm những khuôn mẫu trong tính chất của các hạt trong “vườn bách thú” hạ nguyên tử. Nếu họ có thể tìm ra một khuôn mẫu, thì họ có thể luận ra cơ sở cho nó, giống như các tính chất của proton, neutron và electron trong các nguyên tử cuối cùng đã giải thích cho những khuôn mẫu mà Mendeleev đã tìm thấy trong số các tính chất của các nguyên tố hóa học.

Một phương pháp yêu thích đối với các nhà vật lí là đi tìm các đối xứng toán học. Những đối xứng này liên quan đến những toán tử toán học thực hiện trên một hệ tạo ra một trạng thái trông y hệt sau khi tác dụng giống như nó đã thực hiện trước đó. Thí dụ, trong mô tả các tính chất lượng tử của chất kết tinh, các nhà vật lí đã viện đến sự đối xứng tịnh tiến, hay sự đối xứng của chuyển động theo một hướng đặc biệt. Họ mô tả tinh thể là một sự lặp lại vô hạn của các ô đơn vị trong không gian ba chiều. Khi họ áp dụng các phương trình của vật lí lượng tử, thì hàm sóng thu được tại một điểm bất kì trong một ô đơn vị phải giống như tại điểm tương đương trong bất kì ô nào khác. Đó là đối xứng tịnh tiến, và áp dụng của nó trong cơ học lượng tử của các chất rắn dẫn đến những ý tưởng hữu ích như các dài hóa trị và dài dẫn cho các electron và các khe năng lượng giữa chúng.

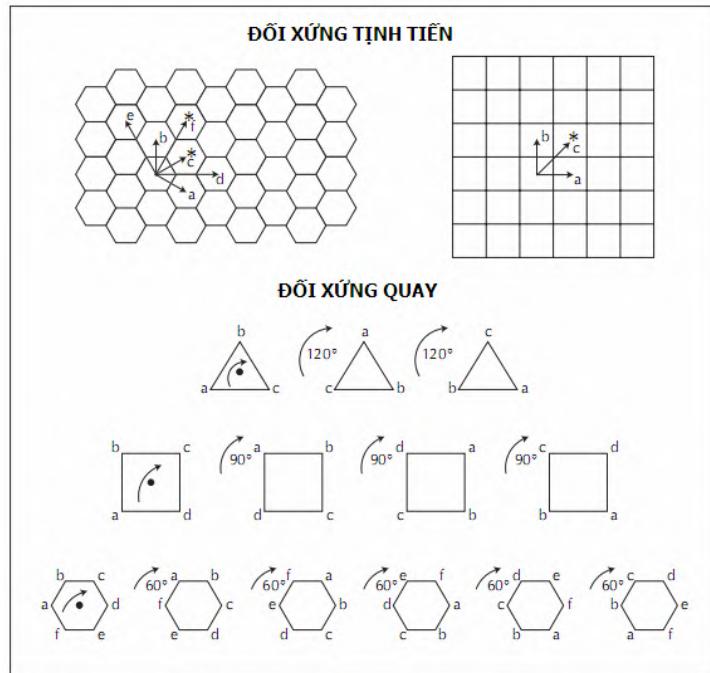
Một đối xứng quen thuộc nữa là đối xứng quay. Một lần nữa, các tinh thể cung cấp một phương pháp hữu dụng để tìm hiểu hiện tượng này. Đối xứng quay đòi hỏi một trực đối xứng, xung quanh đó tinh thể quay tròn. Nếu các ô đơn vị là những hộp lập phương, thì việc quay tinh thể đi một phần tư vòng tròn xung quanh một trực đi qua cạnh của một ô mang lại một cấu hình giống hệt như điểm xuất phát. Sự đối xứng đó được gọi là đối xứng quay bậc bốn. Nếu các ô đơn vị là những khối rắn tam giác chứ không phải lập phương, thì kiểu mẫu lặp lại sau một chuyển động quay nửa vòng tròn – đối xứng bậc hai.

Một loại đối xứng nữa là đối xứng phản xạ - giống như một ảnh qua gương. Đối xứng đó không đơn giản như trông nó thê, vì các chuyển động quay không phản xạ theo kiểu giống nhau như chuyển động thẳng. Người ta định nghĩa bốn điểm định vị chính trên Trái đất sao cho hướng đông là hướng mặt trời mọc, và các hướng theo chiều kim đồng hồ là bắc-đông-nam-tây. Đó được xem là cấu hình thuận, vì nếu các ngón tay của bàn tay phải uốn cong theo chiều quay của hành tinh, thì lòng bàn tay chỉ hướng bắc. Một cách hình dung khác là hãy tưởng tượng đang từ vũ trụ nhìn xuống địa cực của hành tinh đang quay ngược chiều kim đồng hồ. Địa cực đang nhìn đó phải là cực bắc. Hành tinh ảnh qua gương sẽ quay theo chiều kim đồng hồ, nghĩa là hoặc địa cực đang nhìn là cực nam, hoặc là thứ tự hướng bắc-đông-nam-tây là ngược chiều kim đồng hồ, một thế giới nghịch. Hình vẽ ở trang sau hướng nghịch của hành tinh Trái đất và ảnh qua gương của nó.

Ở cấp độ lượng tử, spin của một hạt không phải là chuyển động quay thật sự, mà là nó hành xử về mặt toán học giống như thế. Khi số lượng tử spin được đưa vào các phương



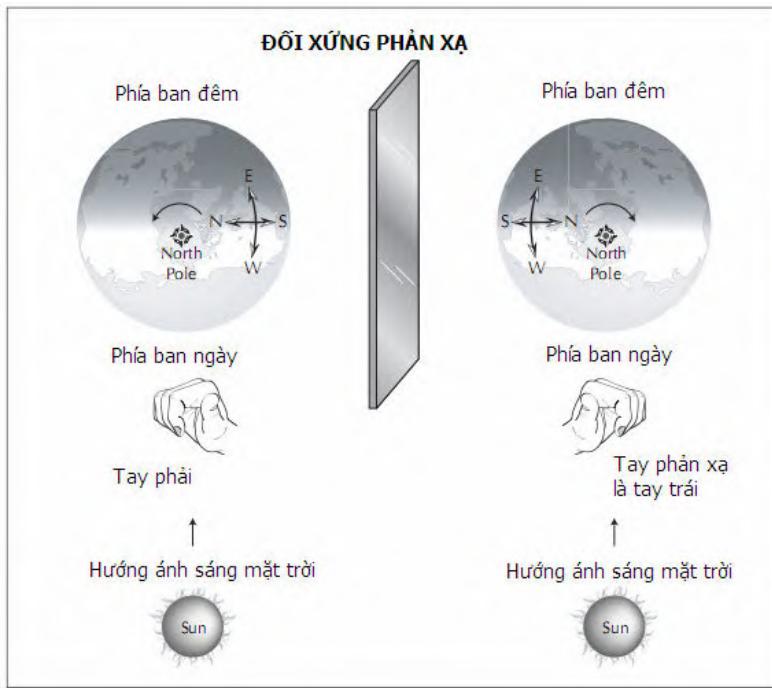
trình lượng tử mô tả các electron trong nguyên tử, thì kết quả là nguyên lí loại trừ Pauli nổi tiếng! Điều đó chứng minh sự đối xứng quan trọng như thế nào trong vật lí học.



Các nhà vật lí đã tìm sự đối xứng trong tự nhiên, thí dụ như đối xứng (chuyển động) tịnh tiến và đối xứng quay của các cấu trúc tinh thể, và sử dụng nó trong mô tả toán học của họ cho các hiện tượng tự nhiên.

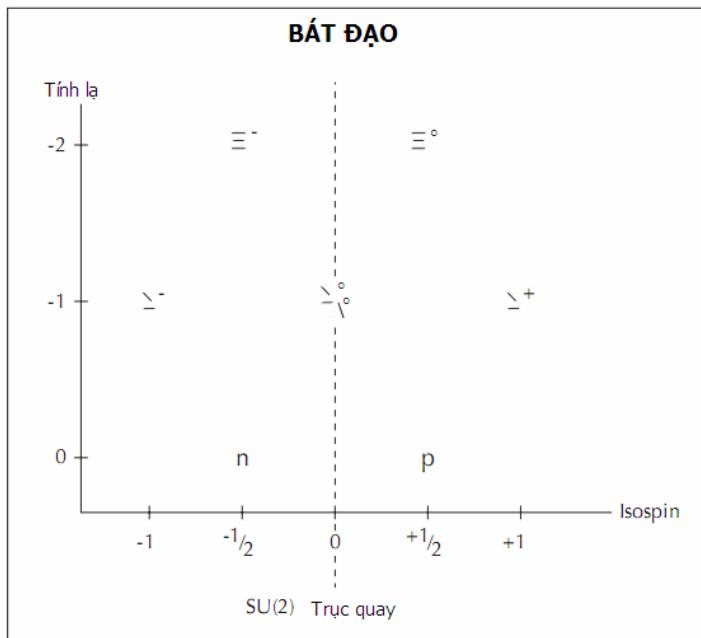
Sự đối xứng toán học không chỉ áp dụng cho hình học, mà còn cho bất kì đại lượng vật lí nào có thể biểu diễn trên đồ thị. Gell-Mann là một trong những nhà vật lí đầu tiên áp dụng các ý tưởng đối xứng cho các hạt hạ nguyên tử. Ông đặt proton, neutron và các baryon khác lên trên một đồ thị với số lượng tử lạ trên trực đứng và một số lượng tử khác gọi là *isospin* trên trực ngang. Tên gọi *isospin* phản ánh tính chất hành xử khi đặt trước sự phản xạ toán học; đó là, theo kiểu giống như chuyển động quay hoặc một cắp cực từ. Đối với lực hạt nhân mạnh (không tác dụng lên khối lượng hay điện tích), các proton và neutron là những hạt giống nhau với số lượng tử *isospin* ngược dấu ( $-\frac{1}{2}$  cho neutron,  $+\frac{1}{2}$  cho proton). Kết quả, như minh họa trong giản đồ ở trên, là một biểu đồ với một loại đối xứng gọi là SU(2). SU là viết tắt của cụm từ “nhất thể đặc biệt”, kết hợp đối xứng quay và đối xứng phản xạ. Số 2 có nghĩa là đối xứng quay là bậc hai. Nếu các hạt trên biểu đồ quay đi nửa vòng tròn thì *isospin* được thay thế bởi ánh qua gương của nó (thí dụ, proton trở thành neutron, và ngược lại), kết quả giống y hệt như hình ban đầu.

Nói cách khác, đối xứng SU(2) đã cho phép Gell-Mann tổ chức các hạt hạ nguyên tử thành những nhóm tám – hay octet – thí dụ như trong biểu đồ bên dưới: Proton và neutron có số lạ 0 và *isospin*  $\frac{1}{2}$  (trạng thái lượng tử được phép cho proton là  $+\frac{1}{2}$ , và cho neutron là  $-\frac{1}{2}$ ); hạt lambda trung hòa số lạ 1 và *isospin* 0; hạt sigma có số lạ -1 và *isospin* 1 (cho phép ba trạng thái lượng tử, -1, 0, +1, tương ứng với hạt sigma âm, trung hòa, và sigma dương); và hạt xi có số lạ -2 và *isospin*  $\frac{1}{2}$  (cho phép trạng thái lượng tử  $\pm \frac{1}{2}$ , tương ứng với xi âm và xi trung hòa). Khi ông công bố lí thuyết của mình vào năm 1961, ông gọi nó là *phương pháp bát đạo*, vay mượn một thuật ngữ của Phật giáo. (Lưu ý: Dấu âm của số lạ là do một sự chọn lựa tùy tiện mà Gell-Mann đã thực hiện khi lần đầu tiên ông đưa ra thuật ngữ trên. Giá trị nêu ra ở đây chính xác, mặc dù nó có thể khiến một số độc giả cảm thấy bối rối).



Sự phản xạ tạo ra một loại đối xứng khác đảo lộn bên trái với bên phải trong các hiện tượng giống như chuyển động quay.

Gell-Mann quả quyết rằng đối xứng SU(2) của bát đao chỉ là sự bắt đầu của câu chuyện. Thật ra, nó là một phần của một đối xứng bậc cao hơn là SU(3), giống như lớp chính giữa của một cái bánh ba lop. Những lớp ngoài cùng sẽ cho phép isospin lớn cỡ 3/2 và do đó có thể dung dường cho một nhóm 10 hạt – decuplet – như thể hiện trong biểu đồ dưới đây. Một viên chức quân sự người Israel tên là Yuval Ne’eman (1925–2006), đã rời nước sang nghiên cứu vật lí ở London, cũng đề xuất sự đối xứng SU(3) trong khoảng thời gian trên.

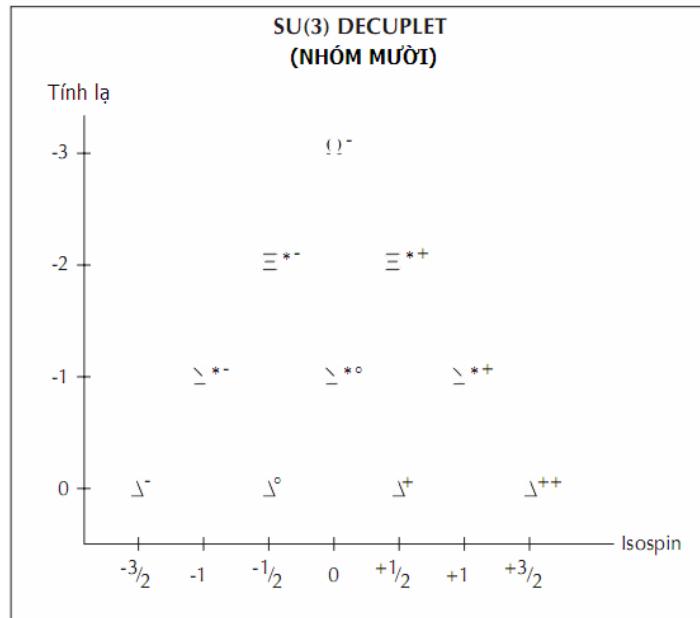


Murray Gell-Mann nhận ra một tính chất được bảo toàn mà ông gọi là tính lật trong số những tính chất của “vườn bách thú” của các hạt hạ nguyên tử đã được khám phá. Với tính lật trên một trục của đồ thị và isospin (một tính chất liên quan đến tương tác yếu) trên trục kia, ông đã nhận ra một đối xứng toán học gọi là SU(2) giữa những tập hợp gồm 8 hạt.



Các nhà vật lí đã thoảng trông thấy bốn hạt delta trong biểu đồ đó và xem chúng là “sự cộng hưởng” hay những trạng thái kích thích của proton và neutron. Sự tồn tại của chúng là cái khiến Gell-Mann và Ne’eman đi khảo sát SU(3) thay vì SU(2). Lí thuyết trên cung cấp cho các nhà vật lí máy gia tốc hạt một ý tưởng về nơi tìm kiếm những sự cộng hưởng khác, cái họ đã nhanh chóng tìm ra và đặt cho chúng những tên gọi mới bằng cách thêm dấu hoa thị cho các hạt sigma và xi trong biểu đồ SU(2). Chỉ có hạt omega trừ là vẫn hay lảng tránh vì khối lượng được cho là lớn của nó (lí thuyết của Gell-Mann tiên đoán nó nặng gấp 1800 lần proton), đòi hỏi những va chạm có năng lượng rất cao mới tạo ra được. Khi một đội nghiên cứu tại Phòng thí nghiệm quốc gia Brookhaven công bố đã khám phá ra nó vào năm 1964, với khối lượng của nó gần chính xác như giá trị Gell-Mann tiên đoán, thì rõ ràng đối xứng SU(3) là một phương thức hữu hiệu để mang trật tự đến với vòm bách thú hạt.

Gell-Mann và Yuval Ne’eman sớm nhận ra rằng đối xứng SU(2) đã thấy thật sự là một bộ phận của một mức độ đối xứng cao hơn gọi là SU(3). Tám hạt ấy giống như lớp chính giữa của một miếng bánh ba lớp, với các nhóm 10 hạt (decuplet) tạo nên những lớp bên ngoài.



## Quark mùi và Lực “màu” mạnh

Như đã lưu ý ở trên và minh họa trong biểu đồ SU(2), số 2 mô tả một sự đối xứng quay bậc hai. Nhưng bỏ qua các nhãn (p, n, lambda, sigma, xi), thì bộ mười hạt trong biểu đồ đó tạo thành một hình lục giác và do đó còn có thể có đối xứng bậc ba, hoặc cả đối xứng quay bậc sáu. Nhưng sao không là SU(6)? 10 hạt nhóm lại trong biểu đồ SU(3) cho câu trả lời đó. Chúng tạo thành một tam giác, nó phải quay qua một phần ba vòng tròn trước khi trở lại thẳng hàng như cũ. Một phần sáu vòng tròn thì không đủ.

Điều này trông có vẻ như đang chơi một trò chơi toán học, ngoại trừ ở chỗ các hạt hạ nguyên tử không lắp vừa vào một mẫu như vậy. Thủ thách tiếp theo cho các nhà vật lí là tìm hiểu cơ sở vật lí cho mẫu hình đó. Việc phát hiện ra SU(3) là một thành tựu lớn, giống như việc Mendeleev nghĩ ra bảng tuần hoàn các nguyên tố, nhưng đúng là giống như công trình của Mendeleev, nó chỉ là bước đầu tiên để tìm hiểu trọn vẹn. Nguyên nhân cho sự sắp xếp tuần hoàn của các nguyên tố không được làm sáng tỏ mãi cho đến khi phát hiện ra proton, neutron, electron và cơ học lượng tử. Các nguyên tử và kể cả các hạt nhân hóa ra chẳng phải là cơ bản. Điều tương tự ấy có đúng cho các baryon, gồm proton và neutron, hay không? Câu trả lời hóa ra là “đúng”, và trí tuệ lớn của Gell-Mann là đã nhìn thấy sự đối xứng SU(3) của baryon có được từ việc mỗi baryon gồm ba hạt thành phần. Nhà lí thuyết Caltech đồng chí của Gell-Mann, George Zweig (1937– ) đã phát triển ý tưởng



tương tự một cách độc lập và đồng thời khi đang làm việc tại trung tâm hạt nhân châu Âu CERN ở Geneva, Thụy Sĩ.

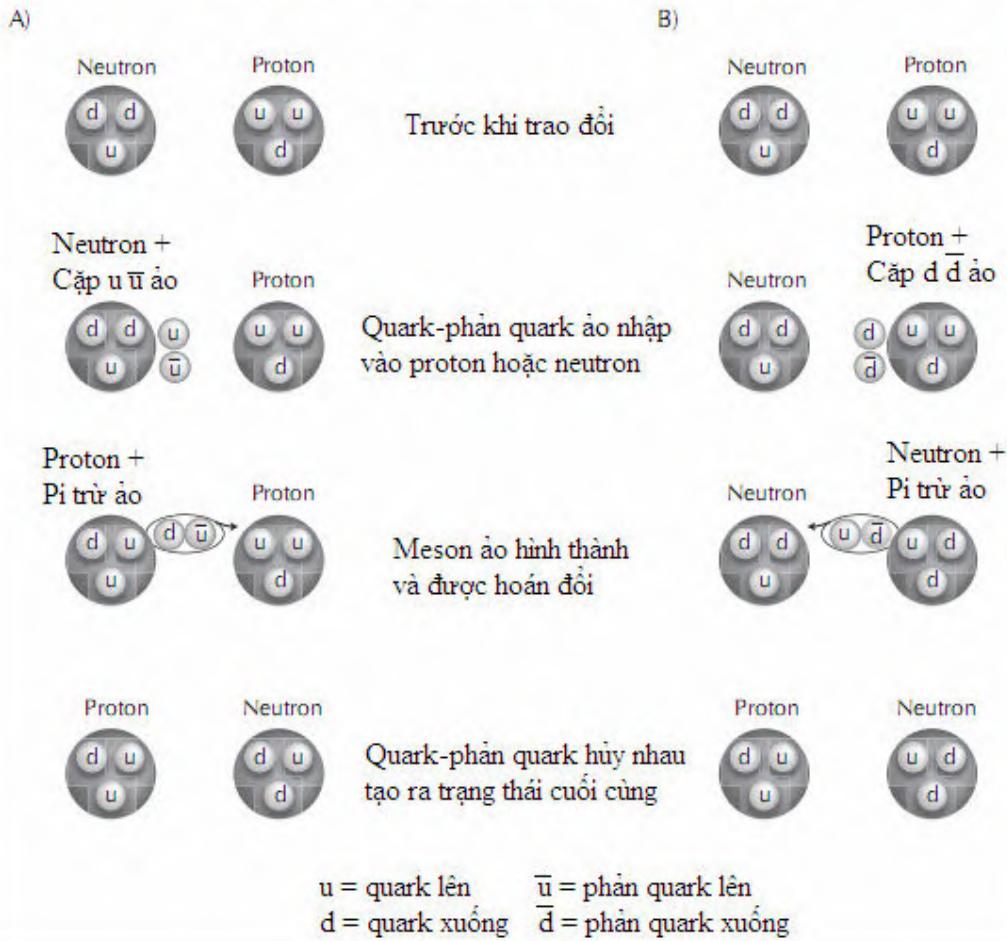
Dựa trên ý tưởng đó, Gell-Mann đã phát triển một lí thuyết đầy đủ của lực mạnh. Các ý tưởng của ông quá cẩn nguyên cho nên ông phải phát triển toàn bộ kho từ vựng mới để làm việc với cơ sở toán học. Ông chọn ngôn ngữ dễ nhớ theo sự khôi hài của nó cũng như tầm quan trọng vật lí của nó. Đối với các hạt thành phần ấy, ông quyết định đặt tên chúng là quark. Zweig gọi chúng là quân xì [quân át trong bài tây], nhưng tên gọi của Gell-Mann thắng thế. Như Gell-Mann giải thích trong quyển sách của ông mang tựa đề *Hạt quark và Con báo đóm*, ban đầu ông đi đến với từ kwork. Ông đã vay mượn cách ghép vần từ một dòng trong quyển *Finnegans Wake* của nhà viết tiểu thuyết James Joyce, “Ba quark cho ngài Mark” và rồi đi đến chỗ gieo vần nó với từ “Mark”. Để phân biệt ba quark, các nhà vật lí sớm nói đến các *mùi* khác nhau của chúng – lên (up), xuống (down) và lạ (strange). Lí thuyết đòi hỏi quark lên (u) mang điện tích 2/3 điện tích proton (+2/3), còn quark xuống (d) và quark lạ (s) có 1/3 điện tích electron (-1/3). Người ta mô tả thành phần của proton là “uud” và của neutron là “ddu”. Số lượng tử lạ của một hạt phụ thuộc vào có bao nhiêu quark lạ chứa trong hạt đó. Hạt lambda, chẳng hạn, có cấu tạo là uds, điều đó giải thích số lạ của nó là 1 và điện tích của nó là 0.

Một trở ngại lớn đối với lí thuyết trên là không có một thí nghiệm nào từng phát hiện ra một hạt có điện tích khác ngoài một số nguyên lần điện tích proton hay electron – không phân nửa, không một phần ba hay bất kì tỉ lệ nào khác. Có thể là các quark liên kết với nhau theo kiểu sao cho chúng không bao giờ tách rời nhau? Một vấn đề nữa là làm thế nào mô tả lực hạt nhân mạnh nếu các proton và neutron (thật ra là mọi baryon) là những hạt có cấu trúc chư không phải những hạt đơn nhất. Có phải lí thuyết rất thành công của Yukawa cần phải thay đổi hay không? Xét câu hỏi thứ hai trước, câu trả lời nằm ở bản chất của các meson. Các meson, không giống như các baryon, chỉ gồm có hai quark, hay đặc biệt hơn, một quark ghép cặp với một phần quark. Thí dụ, hạt pion trung hòa là một quark u ghép cặp với một phần quark u hoặc một quark d ghép cặp với một phần quark d. Hạt pion cộng là gồm một u cộng với một phần d, và hạt pion trừ là một d cộng với một phần u.

Trong lí thuyết của Yukawa, lực mạnh giữ hạt nhân lại với nhau có nguồn gốc từ chỗ các proton và neutron trao đổi các pion ảo – những hạt lúc ẩn lúc hiện và vi phạm định luật bảo toàn năng lượng nhưng chỉ tồn tại trong một khoảng thời gian ngắn mà nguyên lý bất định cho phép. Một proton có thể nhận một pion trừ do một neutron phát ra, biến proton thành neutron và neutron thành proton. Trong lí thuyết mới của Gell-Mann, hạt pion âm được xem là một cặp quark, một quark d và một phần quark u. Neutron ddu gồm một quark d nhưng không có phần quark u. Tuy nhiên, nguyên lí bất định cho phép một cặp u/phần u đi vào tồn tại từ hư vô nếu thời gian sống của nó đủ ngắn. Phần quark u kết hợp với một quark d tạo ra một pion âm và để đối tác quark u của nó lại trong neutron ddu ban đầu. Kết quả chung là ddu mất một “d” và thêm một “u”, biến nó thành uud – một proton. Pion âm là một hạt ảo, nên nó chỉ trong tíc tắc (thời gian quá ngắn để mà đo) gia nhập với proton ban đầu. Phần quark lên của pion phân hủy một trong các quark lên của proton, và còn lại quark xuống từ pion. Kết quả là proton uud đã trở thành neutron ddu.



## PROTON VÀ NEUTRON TRAO ĐỔI QUARK



Gell-Mann đã phát triển một lý thuyết mới của tương tác mạnh dựa trên đối xứng SU(3) đã được quan sát thấy. Lý thuyết đó phát biểu rằng proton, neutron, và các baryon khác cấu tạo gồm ba quark, và chúng tương tác bằng cách trao đổi các meson ào, chúng gồm một quark và một phản quark.

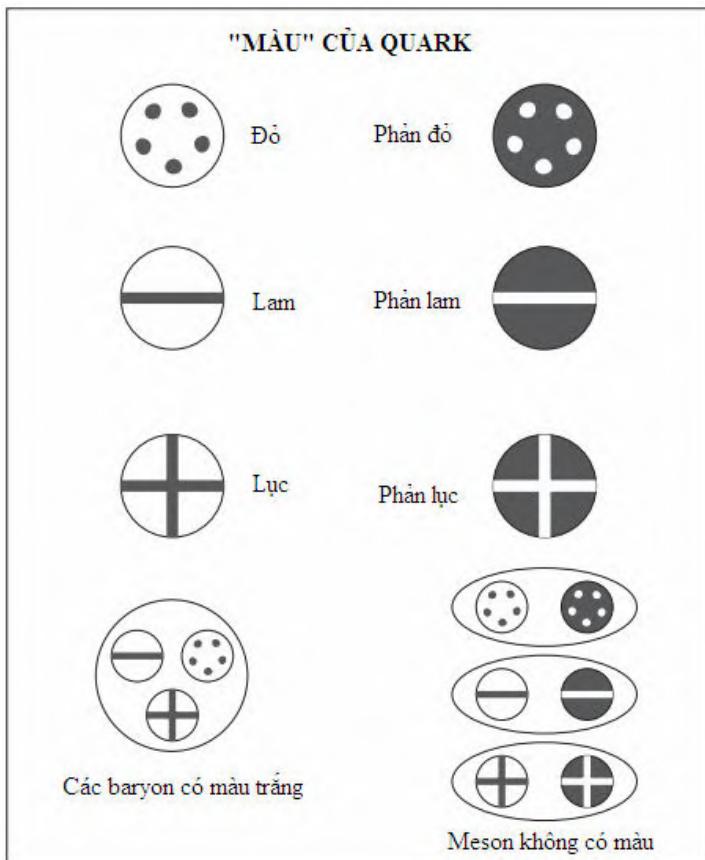
Những sự trao đổi tương tự xảy ra với các hạt pion dương ào do proton phát ra và bị hấp thụ bởi neutron hoặc các pion trung hòa ào trao đổi giữa các cặp proton hoặc các cặp neutron. Nếu một va chạm đủ năng lượng, thì một pion không còn là ào nữa và có thể bị run lắc khỏi hạt nhân. Khi điều đó xảy ra với pion trung hòa, thì quark và phản quark của nó nhanh chóng hủy lẫn nhau, và kết quả là một cặp tia gamma hoặc một electron và một positron vọt ra ở tốc độ cao theo hai hướng ngược nhau. Các pion tích điện có một quark và phản quark thuộc hai mùi khác nhau (một lên, một xuống), nên chúng không hủy lẫn nhau. Hạt pion đó tồn tại trong khoảng 26 nano giây, giữ lại với nhau bằng lực hạt nhân yếu, trước khi phân hủy thành các muon và muon neutrino (phát hiện ra lần đầu tiên tại Phòng thí nghiệm quốc gia Brookhaven năm 1962). Trông như ngắn ngủi, nhưng thời gian đó bằng 300 triệu lần thời gian sống của các pion trung hòa và đủ lâu cho các pion tích điện chuyển động nhanh để lại những vết tích dễ nhận thấy trong buồng dò tìm.

Phản quan trọng nhất của lý thuyết trên là lời giải thích của nó cho câu hỏi các quark liên kết với nhau như thế nào và tại sao liên kết đó lại chặt chẽ tới mức không ai từng phát hiện ra một hạt với điện tích phân số. Không giống như lực hấp dẫn và lực điện từ, chúng tác dụng lên các tính chất của vật chất có thể đo đếm với các vật thể hàng ngày – khối lượng và điện tích – lực hạt nhân tác dụng lên một tính chất chỉ tồn tại trong các



quark. Các nhà vật lí không có tên gọi cho tính chất đó, nhưng rõ ràng là nó có ba dạng, nên Gell-Mann gọi nó là *màu* và đã đặt ra các tên đỏ, lục và lam, giống như sự phát sáng tổng hợp của ba chấm tạo ra hình ảnh truyền hình màu. Lí thuyết của ông phát biểu rằng mỗi mùi của quark xuất hiện với ba màu. Các phản quark xuất hiện với các phản màu. Khi ba quark thuộc những màu khác nhau đến chung với nhau như để tạo ra màu trắng, thì chúng biểu hiện một lực hút khủng khiếp lên nhau, tạo ra một baryon. Tương tự, nếu một quark với một màu đặc biệt tiến đến với một phản quark có cùng phản màu, thì chúng liên kết mạnh, tạo ra một meson. Không giống như lực hấp dẫn và lực điện từ, chúng giảm khi các hạt chuyển ra xa nhau, lực màu hành xử giống như một cuộn lò xo, hút các quark lại với nhau với cường độ tăng dần khi chúng càng ra xa nhau. Đó là nguyên do vì sao các quark liên kết không thể chia tách được.

Lí thuyết đó tỏ ra thành công đến mức Gell-Mann được tặng thưởng Giải Nobel Vật lí năm 1969 cho “những đóng góp và khám phá của ông về sự phân loại các hạt cơ bản và các tương tác của chúng”. Trích dẫn trên không nhắc đến các quark, vì khi ấy, không ai có bằng chứng xác thực rằng chúng thật sự tồn tại. Giống như các photon và phản vật chất khi lần đầu tiên được đề xuất, các quark tỏ ra là những câu trúc toán học hữu dụng cho dù chúng có mặt hay không dưới dạng một thực thể vật lí đích thực. Nhưng không giống như Planck và Dirac, hoặc có lẽ đã rút kinh nghiệm từ họ, Gell-Mann tin chắc các quark không phải là thứ bị đặt trong lí thuyết của ông.



Phản quan trọng của lí thuyết quark là lời giải thích tại sao các quark không tồn tại riêng lẻ. Chúng có một tính chất mà Gell-Mann gọi là “màu”; màu có ba giá trị - đỏ, lam và lục – và chúng kết hợp với nhau tạo ra màu trắng. Thay vì yếu dần giống như lực hấp dẫn, lực màu tăng lên khi các quark càng cách xa nhau, điều đó giải thích vì sao chúng luôn luôn liên kết với nhau.

Các nhà vật lí khác tán thành và bắt tay vào tìm kiếm chúng. Đầu năm 1968, tại Trung tâm Máy gia tốc Thăng Stanford (SLAC), các nhà nghiên cứu đi theo con đường giống như Rutherford đã dùng để tìm ra hạt nhân. Họ hướng một chùm electron năng lượng cao vào các proton và nhìn vào hình ảnh tản xạ. Các thí nghiệm cực kì khó thực hiện



vì các electron cần phải được gia tốc đến những tốc độ cao sao cho bước sóng của chúng nhỏ hơn các proton (Các electron trong nguyên tử có bước sóng có thể sánh với kích thước quỹ đạo của chúng, lớn chừng bằng 100.000 lần proton). Ngoài ra, như trong thí nghiệm Rutherford, đa số các electron sẽ đi qua mà không chạm trúng hạt nhân. Các nhà vật lí tại CERN đã tiến hành những thí nghiệm tương tự sử dụng neutrino. Năm 1972, các kết quả thí nghiệm đã sáng tỏ. Sự tản xạ electron và neutrino khỏi proton là không đều. Những so sánh cẩn thận các kết quả cho thấy các proton dường như vón cục lại theo kiểu giống như lí thuyết quark tiên đoán, gồm ba hạt với điện tích phân số.

## Quark duyên và lực điện yếu

Một khuôn khổ có sức mạnh trong lịch sử vật lí có thể gọi là sự đơn giản hóa qua thống nhất. Xuyên suốt thế kỉ cho đến những năm 1960, những thí dụ nổi bật nhất của khuôn khổ đó là bảng tuần hoàn các nguyên tố, thuyết điện từ Maxwell, thuyết tương đối Einstein, và cơ học lượng tử. Lí thuyết quark của Gell-Mann tiếp tục xu hướng đã bắt đầu với bảng tuần hoàn. Bảng tuần hoàn mang trật tự đến cho danh sách tăng dần của các nguyên tố, và lí thuyết quark thuần hóa vườn bách thú hạ nguyên tử ngang bướng. Hệ phương trình Maxwell thông nhất các lực điện và từ trước đó tách rời nhau mặc dù rõ ràng là có liên hệ với nhau và, như một hệ quả, chứng tỏ rằng ánh sáng là một hiện tượng điện từ. Thuyết tương đối Einstein chứng minh rằng không gian và thời gian, cái con người cảm nhận là những thực thể khác nhau, là những mặt thật sự khác biệt của một không thời gian đơn nhất. Tương tự, công trình của ông đã thống nhất khối lượng và năng lượng. Cơ học lượng tử thì loại bỏ những khác biệt giữa hạt và sóng, mặc dù con người cảm nhận hai thực thể đó khác nhau.

Do thuyết tương đối và cơ học lượng tử thách đố cách thức hàng ngày nhìn nhận thế giới tự nhiên, nên nhiều người có thể gọi chúng là phức tạp, nhưng các nhà vật lí nhận ra chúng là một phần của một khuynh hướng tiến tới sự đơn giản hóa toán học. Khám phá ra hai lực hạt nhân của thế kỉ 20 – lực mạnh và lực yếu – dường như hướng tới sự giản hóa. Tuy nhiên, đa số các nhà vật lí tin rằng các lực cơ bản có thể thống nhất, và số người trong họ đã đi tìm một khuôn khổ toán học để thực thi nhiệm vụ đó. Đầu thập niên 1960, Sheldon Glashow (1932– ), một giáo sư trẻ tại Stanford và rồi tại đại học California, bắt đầu tìm cách hợp nhất lực điện từ và lực hạt nhân yếu. Ông chuyển đến đại học Harvard vào năm 1966, nơi ông tiếp tục công trình đó cùng với giáo sư Steven Weinberg (1933– ). Đồng thời, tại trường Cao đẳng Hoàng gia London, vị giáo sư người gốc Pakistan, Abdus Salam (1926–96), đang tấn công vào bài toán đó một cách độc lập.



Các nhà vật lí thống nhất lực điện từ và lực hạt nhân yếu. Từ trái sang: Abdus Salam, Steven Weinberg, Sheldon Glashow. (Ảnh: AIP Emilio Segrè Visual Archives)

Năm 1969, John Iliopoulos và Luciano Maiani đến Harvard và cùng nghiên cứu với Glashow. Năm 1970, họ phát triển một lí thuyết lực “diện yếu” kết hợp lực hạt nhân yếu và



lực điện từ. Giống như nhiều lí thuyết mới, nó mang lại một số bất ngờ. Trong số đó nổi bật nhất là sự tiên đoán một mùi thứ tư của quark mà Glashow gọi là duyên. Khi Glashow, Salam và Weinberg cùng chia sẻ giải Nobel Vật lí 1979, các hạt chứa quark duyên đã được phát hiện ra. Chương tiếp theo sẽ nhắc lại câu chuyện khám phá nổi tiếng ra một hạt đầu tiên như vậy ở hai phòng thí nghiệm nằm hai bên bờ Thái Bình Dương.

## Các boson chuẩn, trường Higgs và nguồn gốc của khối lượng

Khi Gell-Mann cân nhắc không biết các proton và neutron có là hạt cơ bản hay không, thì Peter Higgs (1929– ) ở trường đại học Edinburgh tại Scotland tự hỏi không biết vì những hạt đó và những hạt khác nữa lại có khối lượng trong khi photon thì không có. Năm 1964, ông đề xuất rằng vũ trụ chứa đầy một loại trường lực thứ ba, ngoài trường điện từ và trường hấp dẫn. Các hạt có khối lượng của chúng thông qua tương tác của chúng với trường đó, các nhà vật lí gọi là trường Higgs theo tên nhà vật lí đã nghĩ ra nó.

Trường Higgs cũng dẫn đến sự tiên đoán của một hạt mới, hay có lẽ một tập hợp những hạt mới, gọi là các *boson* Higgs. Nguyên nhân cho tiên đoán đó là vì các lực cơ bản khác đều đi cùng với các hạt mang lực, cái các nhà vật lí gọi là các *boson chuẩn*. Trong điện động lực học lượng tử (QED), lực điện từ có từ sự tráo đổi các photon. Lí thuyết điện yếu thì xây dựng trên một cặp hạt W, một dương và một âm, là hạt mang lực. Lí thuyết điện yếu bổ sung thêm hạt Z trung hòa cho khuôn khổ lí thuyết. Và lí thuyết ấy được gọi là sắc động lực học lượng tử (QCD), mô tả lực mạnh theo kiểu giống với QED, xây dựng trên các boson chuẩn mang tên kì quái là *gluon*. Như hai chương tiếp theo sẽ mô tả, các gluon, W và Z, đều đã được thực nghiệm phát hiện ra. Các hạt Higgs cho đến nay vẫn chưa được tìm thấy, có khả năng là vì không có máy gia tốc nào có thể đạt đủ mức năng lượng để lắc chúng ra khỏi trường Higgs. Nhiều nhà vật lí vẫn hi vọng khám phá ấy rồi sẽ đến, nhưng trong khi chờ đợi, thì hạt Higgs vẫn chẳng gì hơn là một khái niệm toán học mà thôi.

## Các máy dò hạt mới

Mặc dù nghiên cứu lí thuyết át trời tin tức những năm 1960 về nỗ lực tìm hiểu các hạt hạ nguyên tử, nhưng thập niên này cũng có một số phát triển đáng kể trong kĩ thuật dò tìm hạt. Đặc biệt, các nhà vật lí đã phát triển hai dụng cụ rất khác nhau để dò tìm các sự kiện hạ nguyên tử. Thứ nhất là buồng tia chớp do các nhà vật lí tại CERN thiết kế và tinh chỉnh trong suốt thập niên này. Các cơ sở máy gia tốc hạt khác sớm theo kịp với các buồng tia chớp của riêng họ. Các ảnh chụp buồng bọt tiết lộ các đường đi của hạt hạ nguyên tử, nhưng các nhà thực nghiệm phải chụp số lượng lớn ảnh trong những khoảng thời gian chừng một giây – thời gian cần thiết để tái sinh buồng cho một quan sát mới – với hi vọng tìm ra bằng chứng của những sự kiện hiếm hoi và rất ngắn ngủi. Trong đa số trường hợp, sự kiện xảy ra khi buồng đang tái sinh và do đó thoát khỏi sự dò tìm. Buồng tia chớp có thời gian tái sinh ngắn hơn nhiều so với buồng bọt. Các bộ phận chính của chúng là các tấm kim loại nhiễm điện với một chất khí xen ở giữa. Khi máy dò nhận thấy một hạt đang tìm đi qua, nó gửi tín hiệu để tích điện các tấm kim loại và kích hoạt một sự phóng điện (và một camera) nhanh đến mức vết ion hóa để lại phía sau trong chất khí chưa kịp mờ đi. Các tia lửa điện đi theo những đường dẫn ion hóa, và các ảnh chụp cho biết các tương tác đã xảy ra. Như vậy, buồng tia chớp cho các nhà vật lí một kĩ thuật chụp lấy nhiều sự kiện đang quan tâm hơn.

Giá trị của buồng tia chớp được nhận ra ngay tức thời, nhưng một dự án nghiên cứu khác với một máy dò hạt mới dường như hơi bất thường, và sự phản hồi khoa học của nó có vẻ kém rõ ràng hơn. Năm 1967, ở sâu dưới lòng đất trong Mỏ vàng Homestake ở South



Dakota, Raymond Davis, Jr. (1914–2006), thuộc Phòng thí nghiệm quốc gia Brookhaven, đã xây dựng một máy dò hạt neutrino có bộ phận “khủng” nhất là một bể chứa 100.000 gallon chất tẩy rửa. Lý do sử dụng chất tẩy rửa là vì hàm lượng lớn các nguyên tử chlorine của nó. Hạt nhân thuộc một đồng vị chlorine đặc biệt, trong những trường hợp hiếm (nhưng phổ biến hơn đa số các hạt nhân khác), sẽ bắt lấy một neutrino. Sự bắt giữ biến đổi một trong các neutron của nó thành proton – một sự kiện phân hạch ngược. Bản thân hạt nhân đó trở thành một đồng vị của argon.

Lí do đặt máy dò hạt dưới lòng đất là để che chắn nó khỏi các tia vũ trụ. Đất đá ở phía trên máy dò hạt sẽ chặn dừng lại hầu như mọi thứ, nhưng các neutrino thì đi qua đều đẽn vì một sự kiện phân hạch ngược đòi hỏi một sự va chạm gần như trực diện lên trên một neutron bên trong hạt nhân. Davis xem dụng cụ của ông là một máy dò neutrino từ Mặt trời đến. Mặt trời phát ra vô số neutrino là hệ quả của các sự kiện nhiệt hạch hạt nhân sản sinh năng lượng của nó. Các ngôi sao khác cũng phát ra neutrino, nhưng chúng ở quá xa nên các neutrino của chúng cũng chẳng đáng quan tâm. Đa số các neutrino đi xuyên qua Trái đất mà không tương tác gì cả, nên cần một thể tích lớn để dò tìm dấu chỉ là vài ba sự kiện. Máy dò neutrino Homestake là cái thứ hai Davis xây dựng. Ông đã xây dựng một cái nhỏ hơn tại quặng đá vôi Ohio vào năm 1961. Máy dò hạt đó chứng tỏ các neutrino có thể phát hiện ra được, nhưng Davis biết ông cần một dụng cụ lớn hơn để mang về những kết quả đáng kể.

Nguyên do chính dò tìm neutrino mặt trời là để kiểm tra lí thuyết về những phản ứng nhiệt hạch đa dạng cấp nguồn cho các ngôi sao. Lí thuyết đó tiên đoán số lượng neutrino được trông đợi đi qua Trái đất trong mỗi giây. Từ con số đó, các nhà vật lí có thể tính ra lượng argon trông đợi trong chất tẩy rửa sau một sự lần phoi xạ lâu. Các kết quả thực nghiệm của máy dò hạt trên mang lại một bất ngờ: Số lượng neutrino mặt trời phát hiện ra ít hơn nhiều so với trông đợi. Các máy dò neutrino khác, lớn hơn đã được xây dựng, đáng chú ý nhất là Kamiokande và sau này là Super-Kamiokande thuộc Trung tâm Quốc tế Vật lí Hat Sơ cấp, Đại học Tokyo, Nhật Bản, dưới sự chỉ đạo của giáo sư Masatoshi Koshiba (1926– ). Những máy dò hạt này xác nhận sự thiếu hụt neutrino và mang lại một ước tính chính xác hơn rằng hai phần ba lượng neutrino mặt trời đã không được trông thấy. Hoặc là lí thuyết nhiệt hạch mặt trời sai, hoặc là các neutrino không bị bắt giữ như trông đợi, hoặc là các máy dò hạt không phát hiện ra các sự kiện bắt giữ. Bài toán “thảm hụt neutrino” không có lời giải đáp mãi cho đến năm 2001 (xem chương 11), và lời giải đã mang lại cho các nhà vật lí sự tin tưởng rằng họ đã nhận ra tập hợp đầy đủ của các hạt sơ cấp. Năm sau đó, Davis và Koshiba được trao giải thưởng Nobel vật lí 2002 “cho những đóng góp tiên phong cho thiên văn vật lí học, đặc biệt là sự dò tìm các neutrino vũ trụ”.

## Bằng chứng vũ trụ học cho Big Bang

Trong khi nhiều nhà vật lí đang làm việc trong địa hạt hạ nguyên tử, thì công việc của những người khác đưa họ vào một thái cực khác – đó là toàn bộ vũ trụ. Vũ trụ học đang trên hành trình của nó trở thành một lĩnh vực nghiên cứu chính cho các nhà vật lí, một xu hướng sẽ xuyên suốt thế kỉ 20 và cho đến ngày nay.

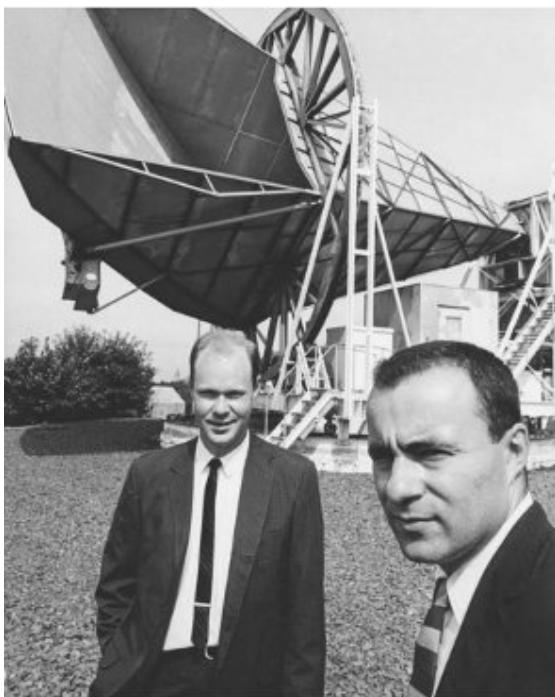
Tại Caltech, nhà nghiên cứu khét mòn Robert Wagoner (1938– ) làm việc với Willy Fowler và Fred Hoyle, sử dụng các kỹ thuật (đã mô tả trong chương trước) mà Hoyle, Fowler, và Burbidges tìm ra đã khá thành công trong việc tính ra độ phong phú của các đồng vị trong các ngôi sao. Lần này, họ áp dụng lí thuyết đó cho Big Bang và cho mô hình trạng thái dừng của Hoyle, tính ra được sự phong phú như trông đợi của hydrogen, deuterium, và helium trong các vùng nằm giữa các sao. Các con số tính toán của họ cho



mô hình Big Bang phù hợp khá tốt với các chất khí giữa các sao đã quan sát thấy – tốt hơn nhiều so với các tiên đoán của mô hình trạng thái dừng của Hoyle.

Hoyle không nghi ngờ các tính toán đó, nhưng ông vẫn nhận thấy lí thuyết Big Bang khó mà chấp nhận. Trong phần còn lại của quãng đời làm việc thâm niết của mình, ông đã tóm lấy những dữ liệu mới cho thấy những vết rạn hiện diện trong lí thuyết đó và đề xuất những cải tiến cho nó hoặc cho cách tiếp cận trạng thái dừng của ông. Bất chấp những quan điểm phi chính thống của ông về Big Bang, các nhà vũ trụ học, kể cả ngày nay, vẫn tiếp tục tôn kính Hoyle và công trình của ông. Họ đang bận rộn thu thập và phân tích những dữ liệu mới với những thiết bị mới, và các kết quả có đủ những nút thắt lòng thông rằng các quan điểm của Hoyle cho đến nay không thể nào bác bỏ hoàn toàn.

Trong năm trước đó, 1965, hai nhà khoa học tại phòng thí nghiệm Bell, Arno Penzias (1933– ) và Robert Wilson (1936– ), công bố một loại quan sát rất khác ủng hộ mô hình Big Bang. Họ đang chuẩn bị một anten đĩa vi sóng, một bộ phận cũ của một hệ viễn thông vệ tinh trước đây, dùng làm kính thiên văn vô tuyến. Cho dù họ nhìn theo hướng nào, họ thật bất ngờ phát hiện ra một tín hiệu mạnh ở bước sóng khoảng 7 cm. Ban đầu, họ cho rằng họ đang phát hiện ra sự nhiễu điện tử do bản thân thiết bị, mặc dù nó được cho là rất nhạy và do đó không bị nhiễu. Thậm chí họ còn nghi ngờ và kiểm tra, lau sạch các vết phân chim bồ câu trên anten, nhưng tín hiệu vẫn còn. Cuối cùng, họ bác bỏ mọi nguồn gốc khác ngoài một bức xạ thật sự từ không gian vũ trụ đến. Hơn nữa, họ nhận thấy cường độ của nó là như nhau theo mọi hướng và bước sóng của nó phù hợp với cái được trông đợi từ những tàn dư xa xôi của Big Bang, nếu một sự kiện như vậy thật sự đã từng xảy ra.



Arno Penzias (trái), Robert Wilson, và chiếc kính thiên văn vô tuyến đã phát hiện ra bức xạ nền vũ trụ. (Ảnh: AIP Emilio Segrè Visual Archives)

Năm 1978, khi Penzias và Wilson cùng chia nhau nửa giải Nobel vật lí, thì các nhà thiên văn khác đã phát hiện ra những biến thiên nhỏ xíu trong bức xạ nền vũ trụ này, mang lại những gợi ý của sự phát triển ban đầu của vũ trụ. Khi các kính thiên văn ngày một lớn hơn và nhạy hơn được đưa vào khai thác, các nhà thiên văn vô tuyến thế kỉ 21 tiếp tục sục sạo nền vũ trụ đi tìm những tiếng vọng của vụ nổ thời cổ xưa đã dẫn đến trạng thái hiện nay của vũ trụ.



Bằng chứng tăng dần cho Big Bang đã khiêm Andrei Sakharov (1921–89), một nhà vật lí ở Liên Xô (nay là Nga), phát triển một lí thuyết liên hệ vũ trụ học với thế giới hạ nguyên tử. Không có gì trong lí thuyết lượng tử hay các lí thuyết hạ nguyên tử khác thiên về vật chất hoặc phản vật chất. Nhưng vũ trụ hiện nay có thura thai vật chất thay vì có lượng bằng nhau của vật chất và phản vật chất. Để cho một tình huống như vậy tiến triển, Sakharov nhận ra rằng các đối xứng và các định luật bảo toàn nhất định phải bị phá vỡ dưới các điều kiện cực đoan của Big Bang. Bằng chứng thực nghiệm sau đó chứng tỏ rằng quan điểm này là đúng. Ngoài vật lí học, Sakharov còn được biết tới nhiều hơn với tài lãnh đạo của ông trong hai lĩnh vực khác. Ông đã lãnh đạo các nỗ lực Xô Viết phát triển bom khinh khí (năng lượng nhiệt hạch) trong những năm 1950, nhưng vào thập niên 1960, ông ngày một dính líu nhiều hơn với các vấn đề luân lí của công trình đó và những tác động sinh học nghiêm trọng phát sinh từ việc kiểm tra các thiết bị nhiệt hạch hạt nhân, chứ chưa nói tới một cuộc chiến tranh năng lượng nhiệt hạch. Ông phát biểu và công bố các bài báo về những vấn đề đó, dẫn đến chỗ ông bị rút quyền lực và các đặc lợi nghiên cứu trong các phòng thí nghiệm quân sự. Sau này, ông thêm quyền con người vào danh sách các vấn đề chính trị mà ông quan tâm. Năm 1975, trước sự khinh rẻ của chính phủ nước ông và sự tôn vinh của đa phần còn lại của thế giới, Sakharov được trao giải thưởng Nobel hòa bình.

### **Nhà khoa học của thập niên: Murray Gell-Mann (1929–)**

Từ thời thơ ấu, Murray Gell-Mann đã làm lóa mắt mọi người trước sự xuất sắc của ông. Lên 3 tuổi, ông đã có thể nhận những con số lớn với nhau trong đầu mình. Lên 7 tuổi, ông đã thắng trong cuộc thi viết chính tả với một học sinh lớn hơn ông 5 tuổi. Đa số người lớn không biết nên làm gì với ông. Không biết cha mẹ ông nên nuôi một người con như vậy ra sao? Và làm sao các thầy giáo có thể chỉ bảo cho một cậu học trò có những ý tưởng mới ngay tức thì và vượt xa các bạn học đến ba bước?

Cha của Murray là một trí thức thất chí. Isidore Gellmann sinh ở Vienna, nước Áo; ông bắt đầu học triết học và toán học ở đó khi cha mẹ của ông, đã di cư sang Bờ Đông Manhattan, thành phố New York, cần sự giúp đỡ của ông. Ở New York, ông lấy cái tên kém mùi Do Thái hơn là Arthur và thêm một dấu gạch nối để làm cho tên ông nổi bật hơn. Ông học tiếng Anh nhanh chóng và nhận thấy khả năng ngôn ngữ của mình sẽ là tấm vé dẫn ông đến thành công. Ông lập trường Arthur Gell-Mann để dạy những người Anh di cư khác. Đó là một ý tưởng tuyệt vời, nhưng Arthur là một thầy giáo nghiêm khắc và độc đoán. Học trò của ông cần học từ vựng cơ bản và cấu trúc câu đê thích nghi với lối sống Mĩ, nhưng ông cứ khăng khăng giảng dạy một danh sách dài ngoằn các quy tắc ngữ pháp và thuật ngữ. Ngôi trường của ông đã không trụ qua nổi Đại Khủng hoảng. Năm 1932, Arthur tìm được công việc tốt nhất mà ông có thể tìm, làm bảo vệ ngân hàng. Ông giữ tích cực cho đầu óc mình bằng cách nghiên cứu thuyết tương đối của Einstein, nhưng rồi ông phải bỏ cuộc vì gia đình và cuộc sống thường nhật. Trong khi đó, vợ của ông, Pauline, bắt đầu lâm bệnh tâm thần. Trốn tránh những khó khăn trước mắt, bà thoát vào một thế giới ước mơ không có phiền muộn. Bà cười cười nói nói một cách quái đản, cho dù mọi thứ đang diễn ra không đúng xung quanh bà.

Cậu trai trẻ Murray sớm biết phải chuyển sang dựa vào người anh trai, Ben, thay vì vào cha mẹ mình. Ben, lớn hơn Murray gần 10 tuổi, là một người ham học và hai cậu con trai trở thành những người bạn đồng hành tốt của nhau. Đi thăm các bảo tàng và công viên ở thành phố New York trở thành hoạt động yêu thích của họ và khám phá các trò tiêu khiển yêu thích. Murray cũng cần được giáo dục chính thống, nhưng rõ ràng chỗ của ông không phải là một trường học bình thường. Các thầy giáo trong lớp của ông chẳng biết làm gì với ông cả. May thay, thầy giáo dạy piano của ông đã đưa cậu Murray 8 tuổi đến gặp ngài hiệu trưởng trường Columbia Grammar, một ngôi trường tư nhân giàu có ở Bờ Tây Manhattan.



Ngài hiệu trưởng nhận ra các năng khiếu của cậu con trai và đã sắp xếp một suất học bổng trọn gói. Cả bố mẹ đang quan tâm của ông cũng nhận ra đây đúng là cái con trai họ cần, và họ đã chuyển đến một căn chung cư cùng dãy với ngôi trường trên. Đây không phải là cơ hội duy nhất mà Arthur giữ vai trò quan trọng trong việc hướng dẫn sự học hành của người con trai. Arthur đã khuyến khích sở thích toán học của Murray và can ngăn con trai thi vào khảo cổ học hay ngôn ngữ học ở trường đại học. Nhưng chủ nghĩa cầu toàn khắt khe của Arthur cuối cùng đã trở thành một gánh nặng cho Murray trong những năm tháng đại học của ông.



*Murray Gell-Mann nhận ra một tính chất ông gọi là “tính lạ” được báo toàn trong các tương tác do lực hạt nhân mạnh gây ra. Tính chất đó đưa ông đến một đối xứng toán học giữa các tính chất của baryon và sau đó đề xuất rằng các baryon và meson là những hạt cấu tạo từ các quark. (Ảnh: AIP Emilio Segrè Visual Archives)*

Tại Columbia Grammar, các bạn học của Murray và cả thầy giáo của ông không thể đuổi kịp ông. Vốn quan tâm xa rộng, ông chẳng học được gì ở đó. Có khả năng hơn, ban giám hiệu trường đã cho Murray cái ôn cần để tự học, và rồi họ bước ra khỏi hành trình của ông. Ít ra thì Columbia Grammar cũng cho ông cơ hội để vào trường đại học Ivy League. Ở tuổi 15, Murray vào trường đại học Yale với một suất học bổng trọn gói, mặc dù trường này khi ấy vẫn có hạn ngạch khắt khe 10% cho sinh viên Do Thái. Mặc dù ít nhất là trẻ hơn 3 tuổi so với các bạn cùng lớp, nhưng trong khi đa phần trong số họ phải chật vật mới nắm bắt kịp chương trình mới, thì Murray nhẹ nhàng trải qua các khóa học của mình, cả về toán cao cấp và vật lí học. Rồi ông vấp phải rào cản khi đến lúc viết luận văn của mình. Ông không nhờ cố vấn của mình giúp đỡ, vì ông biết rằng ông không bao giờ có thể viết cái gì đủ tốt cho người cha yêu ngôn ngữ của mình.

Không có luận văn, ông xin việc được ở Yale và mỗi trường đại học Ivy League khác, trừ trường Harvard, không có trao học bổng. Ông miễn cưỡng chấp nhận một lời mời từ MIT, Viện Công nghệ Massachusetts. Nó đã và vẫn là một trong những chương trình đào tạo vật lí tốt nhất ở Mỹ, nhưng nó không phải là trường thuộc hệ thống Ivy League. Ông tâm sự như thế này: “Một chút suy nghĩ đã thuyết phục tôi rằng tôi có thể thử ở MIT, và rồi tự từ sau nếu như tôi muốn, chứ không còn cách nào khác”.

Chương trình của MIT phù hợp tốt với ông, và ông hoàn thành luận án tiến sĩ ở đó lúc ở tuổi 21, mặc dù luận án của ông đã gấp trực trặc hoãn lại 6 tháng. Trên tiến trình đó, ông đã học được một lý thuyết có chút ít giá trị là nếu nó không phù hợp với bằng chứng quan sát hay thực nghiệm, thì ông sẽ đấu tranh cho tính đơn giản toán học trong các lý thuyết của ông hễ khi nào có thể. Đó là triết lí sau này đã đưa ông đến với các quark, và bát đao, và giải thưởng Nobel. Ông được yêu cầu thuyết giảng khi nhận giải Nobel, nhưng một lần nữa



hòn đá tảng lại xuất hiện trên đường, và ông chưa bao giờ đệ trình một bản viết nào cho bộ sưu tập Nobel.

Murray Gell-Mann luôn có sở thích rộng, cả trong khoa học và trong cuộc sống riêng tư. Trong khi làm việc tại Viện Nghiên cứu Cao cấp Đại học Princeton, ông đã gặp một phụ nữ trẻ người Anh, Margaret Dow, trợ lí cho một nhà khảo cổ học ở đó. Murray vẫn thích khảo cổ học, mặc dù cha của ông ngăn không cho ông nghiên cứu nó ở trường. Và kinh nghiệm của ông ở các công viên New York biến ông thành một người quan sát chim chóc say sưa, một sự đồng cảm mà Margaret chia sẻ. Trong một chuyến đi đáng nhớ cùng với nhau, họ đã đến một hòn đảo nằm ngoài khơi Scotland để tìm kiếm chim hải âu rụt cổ. Họ chỉ nhìn thấy một con, nhưng thế đã là đủ. Sau đó, họ đã kết hôn vào năm 1955, và chim hải âu rụt cổ trở thành mối nhân duyên của họ.

Hôn nhân đã làm thay đổi con người Murray Gell-Mann. Trước khi gặp Margaret, ông thật lối lạc và thường đặt mình vào trong công việc nhiều hơn trong cuộc sống. Cái chết của bà vì căn bệnh ung thư vào năm 1981 đã tàn phá con người ông, và nó đến đồng thời khi ông đang vật lộn để giữ nguyên vẹn mối quan hệ của ông với người con gái đã tham gia vào những hoạt động chính trị hết sức bất hạnh. Vài năm sau đó, ông lại gặp khó khăn để giữ quan hệ với người con trai của mình.

Murray Gell-Mann tái hôn vào năm 1992 khi đang ở giữa một nhiệm vụ viết lách khó khăn khác nữa, một quyền tự truyện. Ông đã bỏ lỡ thời hạn cuối cùng, và dù với sự hỗ trợ của người vợ của ông, Marcia Southwick, ông không thể nào viết nên một bản thảo hài lòng. Nhà xuất bản cho đình chỉ dự án. May thay, một nhà xuất bản mới và sự hỗ trợ biên tập đã cho phép ông hoàn thành *Hạt quark và Con báo đốm*, câu chuyện của cuộc đời ông và sự nghiệp khoa học của ông, mà ông đặt tit con là *Những cuộc phiêu lưu vào Thế giới đơn giản và phức tạp*, năm 1994. Hiện nay, ông đã đoàn tụ với các con, và trải qua phần lớn thời gian trong một ngôi nhà thoáng đãng ở Santa Fe, New Mexico, chứa đầy các tác phẩm văn hóa, nghệ thuật, và sách vở.

## Những phát triển khác trong thập niên 1960

### Vật lí và công nghệ

Khi mở màn thập niên 1960, chưa có con người nào từng được phóng vào quỹ đạo xung quanh Trái đất. Vào cuối thập niên đó, con người đã bay trên quỹ đạo và đi bộ trên Mặt trăng. Các nhà vật lí tham gia hầu như vào mọi khía cạnh của các sứ mệnh đó, nhưng công việc chủ yếu mang tính kĩ thuật và công nghệ và do đó không phải là tiêu điểm của tập sách này. Danh sách đọc thêm ở cuối chương này có kể lại chi tiết một số câu chuyện lịch sử thú vị của sự thám hiểm vũ trụ chiếm phần lớn các thành tích của thập niên 1960. Những kì công đó không chỉ có sự thám hiểm của con người trên Mặt trăng và Trái đất, mà còn có một số con tàu vũ trụ gửi đến những hành tinh khác.

Thám hiểm vũ trụ không phải là lĩnh vực công nghệ duy nhất trải qua sự tiến bộ đến kinh ngạc trong thập niên 1960. Ngành điện tử học bán dẫn tiến bộ nhanh khi ngày càng có nhiều transistor và các nguyên tố mạch điện khác có thể gói ghém vào trong các mạch tích hợp. Mỗi tiến bộ trong công nghệ dẫn đến khả năng thực hiện các phép toán toán học phức tạp hơn trong thời gian ngắn hơn, sử dụng ít năng lượng hơn. Năm 1970, các máy vi tính đã trở nên thiết yếu không chỉ cho khoa học và kĩ thuật mà còn cho đa số công việc hiện đại và làm ăn tài chính. Máy tính cá nhân và Internet sẽ chưa xuất hiện trong một thập kỉ nữa, nhưng các chuyên gia đang hình dung ra những tiến bộ đó. Những đoạn tương tự như đoạn này có thể xuất hiện trong những chương còn lại của quyển sách này, nhưng chúng sẽ không cung cấp thêm thông tin gì đặc biệt: Quyển sách này không được dự tính là một quyển lịch sử công nghệ và do đó sẽ thiếu những chi tiết cần thiết để giải thích trọn



vẹn các phát triển thuộc ngành điện tử học. Thay vào đó, trọng tâm ở đây là bàn về những đóng góp chính mà các nhà vật lí đã mang đến cho điện tử học.

Một đóng góp như vậy xuất hiện năm 1962 từ một chàng nghiên cứu sinh 22 tuổi người xứ Wales tại Đại học Cambridge, nước Anh. Brian Josephson (1940– ) nhận ra rằng cơ học lượng tử cho phép electron tạo nên các cặp Cooper (xem chương trước) băng qua một khe cách điện mỏng giữa hai lớp siêu dẫn. Ông dự đoán hiện tượng ngày nay gọi là hiệu ứng Josephson cực kì nhạy với sự thay đổi từ trường và mô tả những hiệu ứng đó có thể khai thác như thế nào trong các cấu trúc điện tử nhỏ được gọi một cách tự nhiên là lớp tiếp xúc Josephson. Năm sau đó, các nhà khoa học tại Phòng thí nghiệm Bell đã chế tạo ra tiếp xúc Josephson đầu tiên, và năm 1964, các nhà khoa học tại Phòng nghiên cứu Ford đã phát minh và chế tạo ra dụng cụ giao thoa lượng tử siêu dẫn đầu tiên (SQUID), cho phép họ đo những biến thiên trong từ trường nhỏ hơn nhiều so với trước đó. Ngày nay, SQUID được sử dụng để thực hiện bất kì phép đo nhạy nhất nào trong khoa học và công nghệ, và các kỹ sư đang hướng đến một công nghệ mới của các máy tính lượng tử hoạt động trên tiếp xúc Josephson. Công trình của Brian Josephson đã mang lại cho ông quyền chia sẻ giải Nobel vật lí 1973.



# 8



## 1971 – 1980 Bắt đầu một sự tổng hợp mới

Trong bảy thập niên đầu của thế kỉ 20, các nhà vật lí đã chứng kiến một sự chuyển biến ngoạn mục của nền khoa học của họ. Các định luật Newton, các phương trình Maxwell và thuyết nguyên tử không còn nói lên toàn bộ câu chuyện của vật chất và năng lượng nữa. Giờ thì thuyết tương đối và cơ học lượng tử nằm tại trung tâm của lí thuyết vật lí; các nguyên tử được biết là có cấu tạo gồm những hạt còn nhỏ hơn nữa, một số hạt đó tương tác thông qua các lực hạt nhân yếu và mạnh trước đây chưa biết tới; và các nhà vật lí đã tìm thấy nhiều hạt khác còn nhỏ hơn cả hạt nhân nhưng không là bộ phận của bất kì vật chất nào đã biết. Bát đạo của Gell-Mann mang trật tự đến cho thế giới hạ nguyên tử, nhưng một số vật lí vẫn nghĩ các quark chẳng gì hơn ngoài những công cụ toán học hữu dụng. Ngay cả sự tiên đoán một mùi quark thứ tư (duyên) vào năm 1970, cái dẫn đến sự thống nhất lực điện từ và lực hạt nhân yếu, cũng không thăng nổi những người thuộc chủ nghĩa hoài nghi cao độ. Vì thế, lúc bắt đầu thập niên thứ tám của thế kỉ 20, nghiên cứu về các hạt hạ nguyên tử diễn ra mạnh mẽ. Nhưng vào cuối thập kỉ đó, các quark đã được quan sát thấy ở nhiều baryon, và đã có bằng chứng của một mùi quark thứ năm và khả năng đáng ngờ của một quark thứ sáu.

Từ viễn cảnh lịch sử, toàn bộ những bộ phận chính của cái gọi là *mô hình chuẩn của vật lí hạt* đã có mặt vào cuối thập niên 1970. Nhưng lúc đó, các nhà vật lí vẫn nghi vấn không biết nền khoa học của họ có đang tiến tới một kho kem chứa đầy mùi quark, giống như vườn bách thú hạt trước đó hay không. Khả năng đó vẫn để mở cho đến những năm đầu của thế kỉ 21, khi các nhà vật lí tìm thấy bằng chứng chắc chắn rằng không có nhiều hơn sáu loại quark mà họ đã biết hoặc đã nghi ngờ trong 25 năm qua. Nhìn lại quá khứ, có thể nói rằng những năm 1970 đã đánh dấu một thời kì chuyển tiếp: thời kì củng cố và áp dụng những ý tưởng mới, sự bắt đầu của một thời kì tổng hợp. Tất nhiên, những đổi mới trong vật lí học vẫn tiếp tục sau đó, nhưng đa số những phát triển mới là những ứng dụng chứ không phải những đột phá lí thuyết.

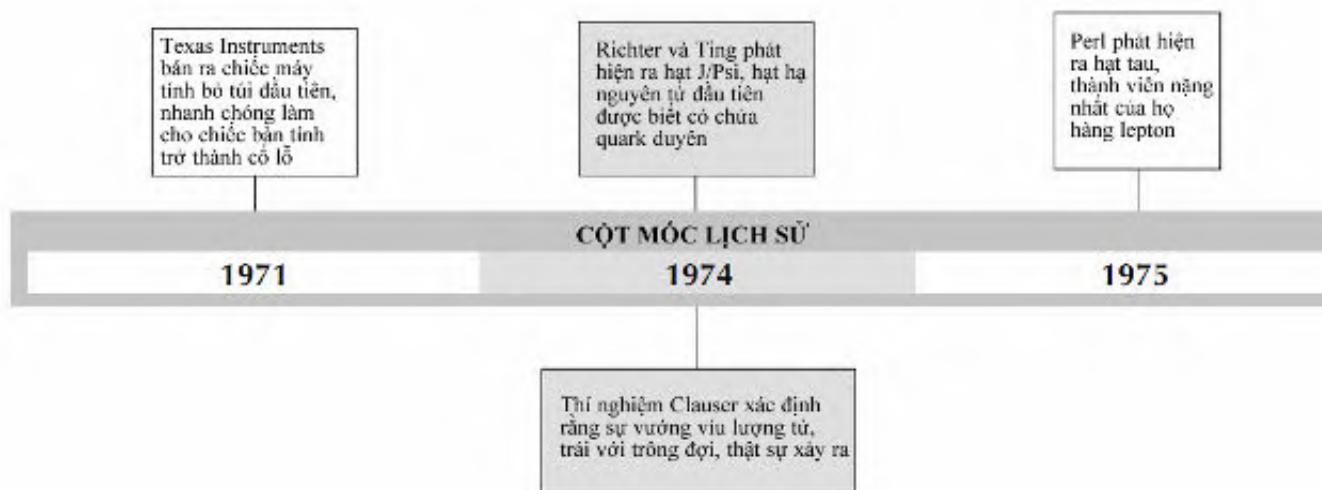
Chương này cũng mang tính quá độ. Phần còn lại của quyển sách này sẽ nhấn mạnh vào các ứng dụng của vật lí nhiều hơn là vào các ý tưởng gây chuyển biến. Vì lí do đó, nhà vật lí của thập niên 1970 là một người đã phân thân giữa nghiên cứu cơ bản và ứng dụng, Luis Alvarez (1911–88) tại Phòng thí nghiệm Lawrence Berkeley thuộc Đại học California. Alvarez giành giải Nobel vật lí 1968 cho những cách tân trong công nghệ buồng bọt dẫn đến sự khám phá ra vô số hạt hạ nguyên tử, nhưng có lẽ ông được nhớ tới nhiều nhất cho sự làm chuyên biến kiến thức khoa học của sự tiêu khối trên Trái đất. Năm 1980, ông và đội nghiên cứu của mình đã báo cáo bằng chứng rằng một tiểu hành tinh cỡ bằng ngọn núi đã lao vào hành tinh chúng ta cách đây 65 triệu năm trước. Một vụ va chạm như thế sẽ làm khởi phát một chuỗi sự kiện làm tuyệt diệt nhiều giống loài. Nó trông như

một ý tưởng điên rồ khi lần đầu tiên đề xuất, nhưng ngày nay nó được chấp nhận rộng rãi là lời giải thích hợp lí nhất cho sự kết thúc của thời đại khủng long.

## Các quark: từ đáy đến đỉnh

Như đã lưu ý ở chương trước, vào năm 1972, các nhà vật lí đã gián tiếp quan sát thấy các quark. Các quark không thể tách rời lẫn nhau, nhưng một loạt thí nghiệm tán xạ electron tại Trung Tâm Máy gia tốc Thắng Standford (SLAC) ở California và các thí nghiệm tán xạ neutrino tại CERN ở Thụy Sĩ đã tiết lộ cấu trúc nội của các proton, neutron và các baryon lỏng. Tất cả những hạt đó giống như những cái bát chứa ba thực thể độc lập, giống hệt như lí thuyết Gell-Mann đã tiên đoán.

Vậy thì các quark lên, xuống và lạ đã ở vào chỗ của chúng trong số những thành phần cơ bản của vật chất cùng với electron, neutrino, và các lepton khác. Nghiên cứu tiếp tục đổi mới với quark duyên. Vào sáng hôm 11 tháng 11, 1974, tại một cuộc họp định kì của ủy ban cố vấn tại SLAC, hai nhà vật lí bắt đầu nhận ra rằng họ đã tìm thấy nó. Samuel Chao Chung Ting (1936– ) thuộc Phòng thí nghiệm quốc gia Brookhaven ở Long Island, New York, gặp gỡ Burton Richter (1931– ) thuộc SLAC và loan báo, “Burt à, tôi có một số chuyện vật lí thú vị kể cho anh nghe đây”.

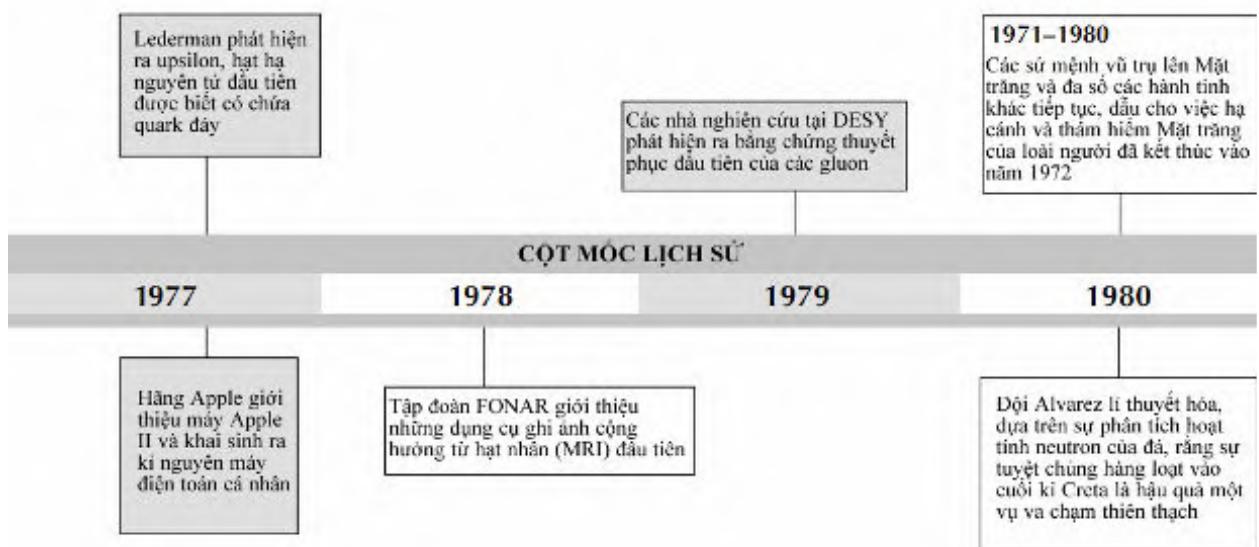


Richter đáp lời một cách thân tình. “Sam à”, ông nói, “tôi có một số câu chuyện vật lí muốn kể cho anh nghe”. Trong các thí nghiệm khác nhau ở hai phía của Bắc Mỹ, mỗi người trong hai người đã tìm thấy bằng chứng của hạt mới giống nhau. Đội nghiên cứu của Richter đặt tên cho nó bằng kí tự Hi Lạp psi, còn Ting thì chọn chữ J, trông tựa như kí tự Trung Quốc cho chữ Ting. Họ nhanh chóng đi đến thống nhất kí hiệu chung là J/psi, tên gọi hạt vẫn mang cho đến ngày nay. Richter và Ting biết rằng nó có khối lượng hơn ba lần khối lượng một hạt proton và thường phân hủy thành những hạt khác sau khoảng một trăm phần tí tỉ của một giây. Thời gian đó thật ngắn ngủi, nó kéo dài khoảng bằng 1000 lần cái họ trông đợi cho một sự cộng hưởng nặng, hay trạng thái kích thích, của một hạt khác đã biết (giống như các cộng hưởng sao delta, sigma và sao xi đã mô tả ở chương trước). Đó là cái khiến nó thật hấp dẫn. Nếu nó không phải là một trạng thái kích thích, nó phải là một hạt mới, và nó phải có một tính chất làm hoãn lại sự phân hủy của nó.

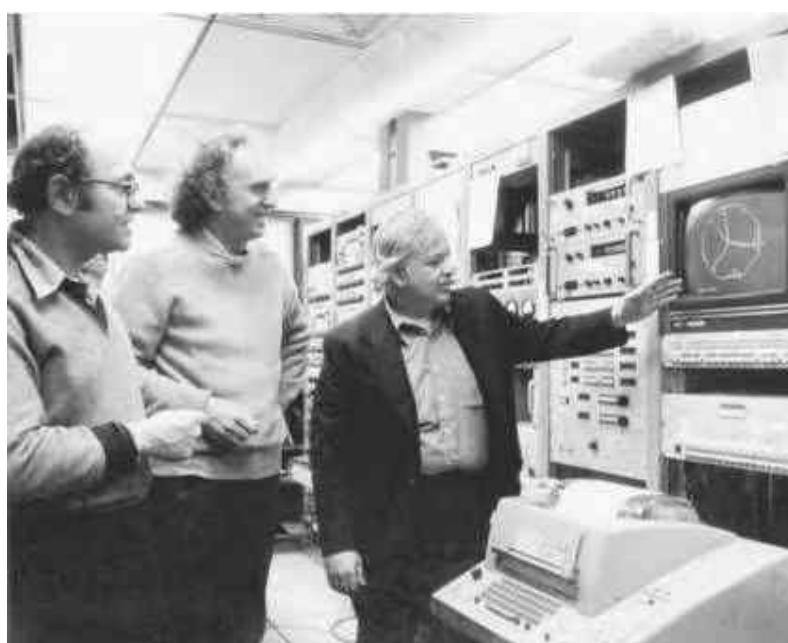
Sau vài tháng làm thí nghiệm và lập lí thuyết bổ sung, các nhà vật lí đi đến một nhất trí. Tính chất chưa biết của J/psi phải là tính duyên, và hạt đó là một meson cấu tạo



gồm một quark duyên và một phản quark duyên. Ủy ban Nobel đã chặng trì hoãn công nhận thành tựu này. Richter và Ting cần nhận giải Nobel vật lí 1976.



Các nhà vật lí hạt bắt đầu tự hoan nghênh nhau là đã hoàn thành cây họ hàng của vật chất. Các quark lên và xuống kết hợp với các lepton quen thuộc – electron và neutrino electron – cấu tạo nên vật chất bình thường. Tính lạ và tính duyên cấu tạo nên bộ đôi quark nặng hơn và có các đối tác lepton định luật muon và neutrino muon. Khuôn khổ đó dường như bao gồm tất cả các hạt hạ nguyên tử đã biết. Nhưng đồng thời khi Richter, Ting, và những người khác đang khám phá ra hạt J/psi và suy luận ra nó có tính duyên, thì một đội nghiên cứu tại SLAC, đứng đầu là Martin Perl (1927– ), đang phát hiện ra sự kiện đầu tiên trong một chuỗi sự kiện khó hiểu. Cuối cùng, họ nhận ra rằng họ đã khám phá ra một lepton mới nặng gấp khoảng 17 lần muon và khoảng 3500 lần electron. Họ đặt tên cho nó bằng kí tự Hi Lạp tau. Việc khám phá ra nó đưa đến cho Perl chia sẻ giải Nobel vật lí năm 1995 “cho những đóng góp tiên phong với ngành vật lí lepton”, cùng với Frederick Reines, người cùng với Clyde Cowan lần đầu tiên phát hiện ra neutrino electron (xem chương 6).



Burton Richter (phải), người đồng khám phá ra quark duyên, đang xem màn hiển thị sự kiện hạ nguyên tử cùng với Martin Perl (giữa) và Gerson Goldhaber (trái). (Ảnh: Interactions.org, SLAC)



Lepton mới đó không có các quark phù hợp nào đã biết hoặc một neutrino tương ứng, nhưng khuôn khổ của vật lí hạt cho thấy phải có cả hai thứ đó. Neutrino sẽ khó tìm nhưng dễ đặt tên (neutrino tau). Các quark đó sớm được kí hiệu là  $t$  và  $b$ , tương ứng với một trong hai bộ tên gọi: đỉnh (top) và đáy (bottom), hoặc sự thật (truth) và đẹp (beauty). Cho dù chúng được gọi là gì đi nữa, thì cũng cần năng lượng cao hơn để mang chúng vào tồn tại (Cuối cùng các nhà vật lí đã không chế được quark đỉnh và đáy). Năm 1977, một đội do Leon Lederman (1922– ) đứng đầu, tại Phòng thí nghiệm Máy gia tốc Quốc gia Fermi (Fermilab) ở Batavia, Illinois, gần Chicago, đã phát hiện ra một hạt họ gọi là upsilon và sớm xác lập rằng nó là đối tác xinh đẹp của J/psi duyên dáng. Nó một meson gồm một quark đáy và phản quark tương ứng của nó. Các đội Fermilab cuối cùng còn tìm ra quark đỉnh vào năm 1995 và neutrino tau vào năm 2000. Lederman chia sẻ giải Nobel vật lí 1988, không phải cho khám phá ra quark đáy, mà cho sự tiên đoán trước đó của ông về sự tồn tại của neutrino muon. Những người nhận giải chung với ông là Melvin Schwartz (1932–2006) và Jack Steinberger (1921– ), cả hai đều làm việc tại Đại học Columbia ở thành phố New York, những người đã phát hiện ra neutrino muon trong một thí nghiệm tại Brookhaven năm 1962.

Một khám phá đáng chú ý khác trong ngành vật lí hạt xuất hiện năm 1979 tại phòng thí nghiệm Deutsches Elektronen Synchrotron (DESY) ở Hamburg, Đức. Các nhà nghiên cứu ở đó đã quan sát thấy bằng chứng có sức thuyết phục đầu tiên của các gluon, các boson chuẩn được cho là được các quark tráo đổi làm hạt mang lực mạnh.

## Các lí thuyết thống nhất lớn

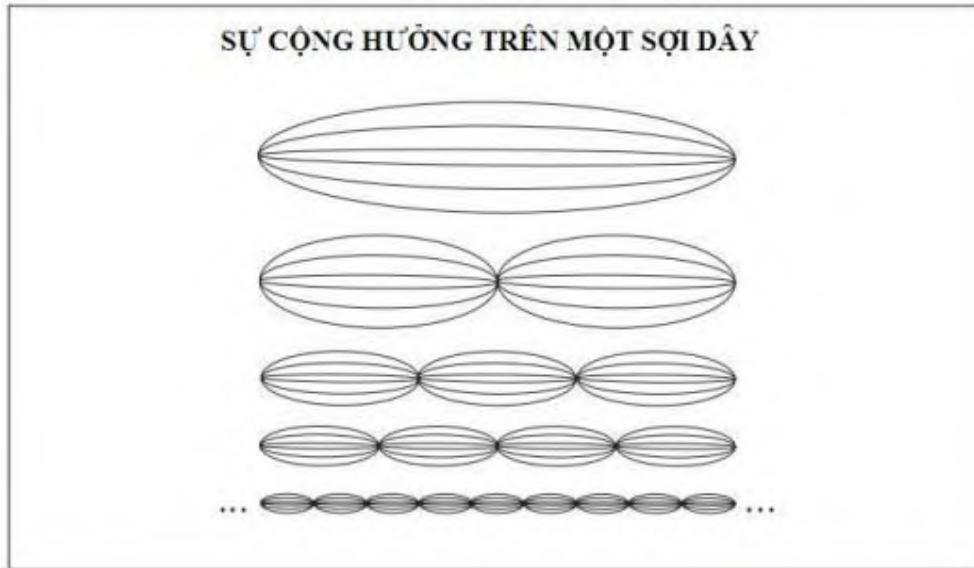
Sự khám phá ra quark duyên là bằng chứng thực nghiệm mà các nhà lí thuyết, như Sheldon Glashow và các đồng nghiệp của ông (xem chương trước) cần đến để ủng hộ cho sự thống nhất của họ đối với lực điện từ và lực yếu. Chi tiết cụ thể của lí thuyết điện yếu của họ quá tiến bộ so với quyển sách này nhưng có thể mô tả một cách khái quát. Giống như lí thuyết lực mạnh của Gell-Mann, lí thuyết áy thống nhất lực điện từ và lực hạt nhân yếu dựa trên sự đối xứng toán học. Đối với các nhà toán lí, thành công đó đã đưa họ đến chỗ tìm kiếm một sự đối xứng còn sâu sắc hơn nữa bao hàm cả lực hạt nhân mạnh. Họ gọi mục tiêu đó là Lí thuyết Thống nhất Lớn, hay GUT.

Glashow và nhiều người khác đã đề xuất một số phương pháp khác nhau để đạt tới một GUT, nhưng không một đề xuất nào tỏ ra thành công. Một số công thức dường như phức tạp không cần thiết và đưa ra các tiên đoán không thể nào kiểm tra trên thực nghiệm. Một nỗ lực rất hấp dẫn – và có thể kiểm tra – hướng tới GUT đưa các nhà vật lí đến với một loạt thí nghiệm trong đó họ sử dụng các máy dò neutrino để tìm kiếm các phân hủy proton. Trước khi lí thuyết đó được phát triển, các nhà vật lí xem proton là bền vững mãi mãi, nhưng giờ thì một số người tự hỏi không biết proton có phân hủy trong những dịp cực kì hiếm hay không – hiếm đến mức có lẽ một proton trong cơ thể người sẽ phân hủy trong thời gian ngang ngửa với một đời người. Các máy dò neutrino cỡ lớn sẽ làm sáng tỏ những sự kiện hiếm như vậy, nhưng sau một số thí nghiệm chủ chốt, không có sự phân hủy proton độc thân nào được xác nhận.

Các nỗ lực GUT không hoàn toàn bị bỏ rơi. Thật ra, một phương pháp đã đưa đến một vài thập niên nghiên cứu lí thuyết và vì thế đáng được nhắc tới ở đây và trong những chương sau. Dưới sự chỉ đạo của John H. Schwarz (1941– ), làm việc tại khoa vật lí ở Caltech sau khi hoàn thành luận án tiến sĩ tại Đại học California, Berkeley, phương pháp áy được gọi là *lí thuyết dây*. Lí thuyết đó mô tả các hạt sơ cấp bằng một sự tương đương toán học với một sợi dây, một đối tượng một chiều có thể dao động trong không gian ba chiều. Các phiên bản ban đầu của lí thuyết dây có 10 chiều (9 chiều không gian cộng với 1



chiều thời gian), và nó tiên đoán các hạt hạ nguyên tử là một tập hợp những dao động được phép của sợi dây đó.



Lí thuyết dây mô tả các hạt hạ nguyên tử là các cộng hưởng trên một sợi dây nhiều chiều, giống hệt như một sợi dây đàn có thể dao động theo nhiều mốt để tạo ra các nốt khác nhau. Các mốt của sợi dây một chiều biểu diễn ở đây đều có các nút (các điểm cố định) tại hai đầu dây, nhưng bước sóng của dao động có thể biến thiên. Nốt cơ bản trên cùng cộng hưởng với một đoạn lên-xuống trên sợi dây. Nốt bội thứ hai, nằm ngay bên dưới với hai đoạn, có bước sóng dài bằng phân nửa nốt cơ bản. Các nốt bội khác có hai, ba, bốn, ..., chín và nhiều đoạn hơn. Một cách tiếp cận toán học tương tự với nhiều chiều mang lại các tính chất của các hạt hạ nguyên tử, ví dụ như proton và neutron, và các cộng hưởng của chúng, ví dụ như các hạt delta đã trình bày ở chương 7.

Đặc biệt, sợi dây ấy có thể dao động theo nhiều mốt và tạo ra các âm khác nhau – nốt cơ bản cộng với một loạt nốt bội (xem giản đồ hình trên). Tương tự, mỗi một trong 9 chiều của lí thuyết dây tương ứng với một tính chất của vật chất, và các mốt dao động được phép tương ứng với các hạt hạ nguyên tử khác nhau. Một lí do chính cho sự hấp dẫn cao độ của lí thuyết dây là nó không chỉ bao hàm các tương tác điện yếu và tương tác mạnh, mà còn bao hàm cả tương tác hấp dẫn.

Schwarz công bố bài báo đầu tiên của ông về lí thuyết dây vào năm 1971, nhưng nó cần có sự chấp nhận rộng rãi của cơ học lượng tử hay thuyết tương đối. Lí thuyết dây khi ấy và hiện nay vẫn ở trong giai đoạn trung gian giữa đề xuất và xác nhận thực nghiệm. Nó giống như lượng tử Planck trước khi có công trình của Einstein về hiệu ứng quang điện, hay tiên đoán của Dirac về phản vật chất trước khi khám phá ra positron. Các kết quả toán học của nó dường như áp dụng được cho vật lí, nhưng không có hiện tượng thực nghiệm nào có thể ràng buộc nó một cách trực tiếp.

## Sự vướng víu lượng tử

Năm 1969, John F. Clauser (1942– ) ở Đại học Columbia cùng với các đồng nghiệp ở Đại học Boston và Harvard, đã đề xuất một phương pháp sử dụng ánh sáng phân cực để kiểm tra một trong các tiên đoán bất thường và gây tranh cãi nhất của cơ học lượng tử, đó là hiện tượng *vướng víu*. Albert Einstein có một tên gọi khác cho nó, “tác dụng ma quỷ từ xa”. Thực ra, nó là chỉ trích chính yếu của ông đối với thuyết lượng tử, ngoài câu nói nổi tiếng của ông, “Chúa không chơi xúc xắc”(xem chương 5). Sự vướng víu được hiểu tốt nhất bằng cách khảo sát một thí dụ đặc biệt. Đây không phải là thí nghiệm mà Clauser đề

xuất, vì để giải thích điều đó sẽ cần dành một đoạn giải thích ánh sáng phân cực và spin của các photon. Thí dụ này miêu tả sự vuông víu của các hạt spin  $-1/2$ , ví dụ như proton, neutron, hay electron. Giả sử hai hạt, đi qua cùng một điểm trong khi đang chuyển động theo hai hướng ngược nhau, tương tác sao cho spin của chúng hướng ngược chiều nhau, một hướng sang đông và một hướng sang tây. Một thời gian sau, mỗi hạt trong chúng đi qua một máy dò hạt đo spin theo hướng bắc-nam.

Theo cơ học lượng tử, hàm sóng hạt độc thân cho mỗi hạt là sự pha trộn ngang nhau của các trạng thái spin bắc và spin nam. Do đó, mỗi máy dò có khả năng ghi nhận một spin hướng về bắc bằng với khả năng ghi nhận một spin hướng về nam. Spin của hạt theo hướng bắc-nam không được xác định cho đến khi các phép đo xảy ra. Vì hai hạt bây giờ phân cách nhau trong không gian nhưng spin của chúng được đo đồng thời, nên không có cách nào cho một máy dò spin bắc-nam ảnh hưởng đến máy kia. Như vậy, sử dụng các hàm sóng hạt độc thân, phân tích mang lại khả năng ngang nhau cho hai phép đo spin là cùng chiều (bắc hết hoặc nam hết) hoặc ngược chiều (một bắc, một nam).

Nhưng khi thực hiện phân tích sử dụng hàm sóng hai hạt, kết quả là các spin vẫn ngược chiều. Trước khi các hạt đi vào máy dò tương ứng của chúng, không có hạt nào có một hướng ưu tiên bắc-nam đặc biệt hết. Nhưng việc phát hiện một spin là hướng bắc buộc spin kia là hướng nam. Các hạt đó, mặc dù cách xa nhau, có spin của chúng bị vuông víu vĩnh viễn. Với Einstein, tác dụng này là “ma quỷ” vì không có thời gian để truyền thông tin từ hạt này xuyên khoáng cách đến hạt kia, nhưng hạt kia vẫn phản ứng tức thì trước phép đo của hạt này. Năm 1974, Clauser và đội của ông đã xây dựng một thiết bị mà ông và các đồng nghiệp Harvard và Boston của mình đề xuất hồi năm 1969. Họ hi vọng bác bỏ sự vuông víu lượng tử, vì nó dường như vi phạm các quy luật tương đối tính của sự nhân quả, nhưng thay vì thế, họ phát hiện ra nó là một hiện tượng có thật.

Cho đến ngày nay, một số nhà vật lí vẫn tranh luận rằng thí nghiệm trên là không hoàn thiện, nhưng khi mỗi sự phê bình được xử lý, thì hiện tượng vuông víu lượng tử vẫn tồn tại. Khám phá đó đã mở ra một số khả năng công nghệ quan trọng, đặc biệt trong lĩnh vực ngày nay gọi là điện toán lượng tử.

## Các ứng dụng của vật lí và liên hệ với các khoa học khác trong thập niên 1970

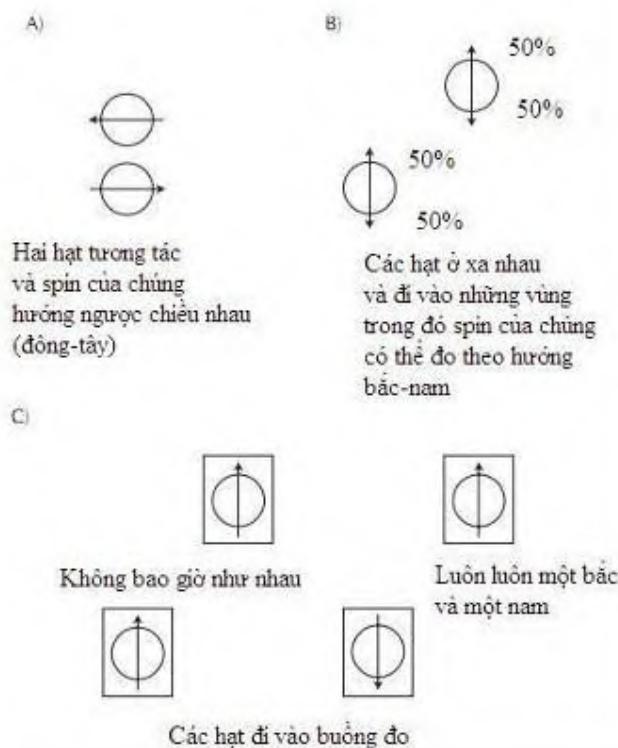
Vật lí nổi đình nổi đám trong những năm 1970 không những vì những khám phá liên tục trong địa hạt hạ nguyên tử, mà còn vì nhiều ứng dụng của vật lí trong các khoa học khác, trong kỹ thuật và công nghệ. Trong ngành điện tử học, các kỹ thuật vi chế tạo mới, nhiều trong số đó dựa trên sự phát triển của các vật liệu mới và các dụng cụ tân tiến như laser, đưa đến các mạch tích hợp có tính phức tạp ngày một tăng dần. Toàn bộ các đơn vị xử lí trung tâm của các máy vi tính có thể đặt năm trên một con chip. Công suất tính toán đã có lần cần đến những căn phòng điều hòa không khí to lớn với dịch vụ điện riêng của chúng giờ có thể đặt trong những dụng cụ đủ nhỏ để mang theo người. Năm 1971, Texas Instruments bắt đầu bán ra những chiếc máy tính điện tử bỏ túi đầu tiên. Các kỹ sư, đã từng được nhận dạng qua các bàn trượt chính xác đeo bên thắt lưng của họ, giờ đã có các dụng cụ điện tử cầm tay có thể tính toán nhanh hơn và chính xác hơn. Vào giữa thập niên 1970, kỷ nguyên của điện toán cá nhân đã bắt đầu khởi động, với Apple II dẫn đầu cuộc đua vào năm 1977.



## SỰ VƯỚNG VĨU LƯỢNG TỬ

Sự vướng víu lượng tử, cái Einstein gọi là “tác dụng ma quỷ từ xa”, đã được xác nhận trong các thí nghiệm như thí nghiệm này. Nếu như một tính chất của hai hạt có thể đưa vào một mối liên hệ đặc biệt khi các hạt tương tác, thí dụ như sự sắp thẳng hàng hướng spin của chúng ngược nhau theo chiều đông-tây, thì sự vướng víu lượng tử phát biểu rằng mối liên hệ đó vẫn tiếp tục ngay cả khi hai hạt ở cách xa nhau. Thí dụ, nếu spin của một hạt sau đó được đo theo hướng bắc-nam, thì cơ học lượng tử tiên đoán rằng nó có khả năng ngang nhau hướng theo chiều bắc hoặc chiều nam. Nếu hàm sóng lượng tử của các hạt là độc lập, thì các spin bắc-nam của chúng sẽ có khả năng hướng theo hai chiều là ngang nhau.

Nhưng hóa ra spin của các hạt bị vướng víu qua một hàm sóng lượng tử hai hạt. Do đó, việc đo một hạt là hướng bắc buộc hạt kia là hướng nam, mặc dù không có đủ thời gian để gửi thông tin từ hạt này đến hạt kia ở tốc độ ánh sáng.

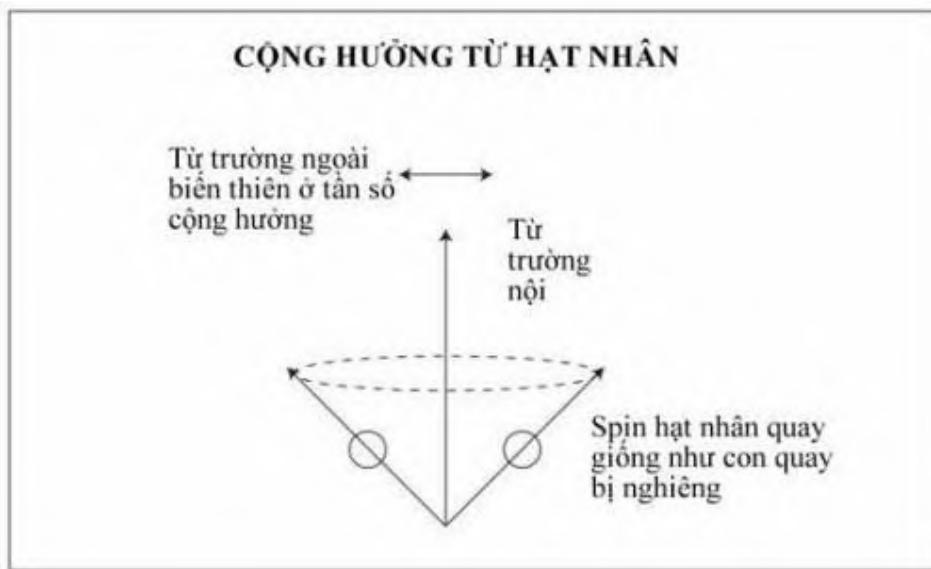


Hiệu quả của sức mạnh điện toán mới còn đưa đến một ứng dụng y khoa mới của một kĩ thuật mà các nhà vật lí và nhà hóa học đã sử dụng để nghiên cứu cấu trúc bên trong của chất rắn, đó là sjw cộng hưởng từ hạt nhân, hay NMR. Kĩ thuật này hoạt động trên thực tế là các proton và neutron, giống như electron, có spin. Các tính chất từ quen thuộc của một số chất, ví dụ như sắt, thu được từ spin của các electron. Trong khuôn khổ lượng tử của vạn vật, các electron spin lên có xu hướng ghép cặp với các electron spin xuống, nhưng đặc biệt nếu có một số lẻ electron, thi không phải electron nào của một nguyên tử cũng có đối tác. Khi cấu trúc tinh thể là thích hợp, thì các spin electron chưa ghép cặp có xu hướng sắp thẳng hàng, tạo ra từ tính mạng. Đồng thời, trong hạt nhân, các proton và neutron với spin ngược nhau cũng ghép thành cặp. Một lần nữa, đặc biệt khi có một số lẻ proton hoặc neutron, thi hạt nhân còn lại một hoặc nhiều spin chưa ghép cặp và do đó có thể tác dụng như một nam châm nhỏ xíu.

Các nam châm hạt nhân sắp thẳng hàng với từ trường nội của vật liệu, và chúng còn phản ứng với từ trường ngoài. Nếu như từ trường ngoài quay, thì hạt nhân có thể hành xử giống như một con quay bị nghiêng. Trục từ của nó sẽ vạch ra một quỹ đạo tròn ở một tần số tự nhiên nhất định. Khi tần số của từ trường quay khớp với tần số tự nhiên đó, thì hạt nhân hấp thụ năng lượng. Đó là hiện tượng cộng hưởng – trong trường hợp này là cộng hưởng từ hạt nhân – giống như đã trình bày ở những phần trước của quyển sách này. Các tần số tự nhiên và hướng của NMR cho phép các nhà khoa học xác định từ trường nội của vật liệu và từ đó hiểu rõ hơn về cấu trúc tinh thể của nó. Việc khám phá ra NMR và lợi ích của nó trong việc tìm hiểu các tính chất của chất rắn đã mang giải thưởng Nobel vật lí 1952 về cho Felix Bloch (1905–83) và Edward Purcell (1912–97).



Nhưng ngoài cộng đồng nghiên cứu khoa học, NMR không nhận được sự thu hút lớn trong những năm 1970 cho đến khi Paul Lauterbur (1929–2007) thuộc trường đại học Bang New York ở Stony Brook đề xuất một kỹ thuật sử dụng các phép đo NMR để tạo ảnh của một lát mỏng vật chất. Peter Mansfield (1933– ) thuộc trường đại học Nottingham, Vương quốc Anh, đã mở rộng các kỹ thuật của Lauterbur cho các cộng hưởng của hạt nhân hydrogen trong vật chất sống và phát triển các kỹ thuật chụp ảnh nhanh. Raymond Damadian (1936 – ) đã thành lập Tập đoàn FONAR vào năm 1978 để sản xuất các máy quét NMR đầu tiên. Do xu hướng chung của công chúng hay liên hệ từ *hạt nhân* với các rủi ro về sức khỏe và vũ khí, cho nên các dụng cụ y khoa đó nhanh chóng được đặt tên là dụng cụ chụp ảnh cộng hưởng từ (MRI). Lauterbur và Mansfield cùng nhận giải Nobel sinh lý học hay y khoa năm 2003. Damadian, tin rằng những đóng góp công nghệ của ông cho MRI xứng đáng được vinh danh ngang như các thành quả của Lauterbur và Mansfield, đã chạy cả một trang in trên tờ *New York Times*, khẳng định rằng ủy ban xét giải đã không công bằng với ông, vì đã cho ông ra rìa.



Hiện tượng cộng hưởng từ hạt nhân (NMR), minh họa ở đây, là chìa khóa dẫn đến kỹ thuật y khoa hết sức có giá trị: chụp ảnh cộng hưởng từ hạt nhân (MRI).

Một phát triển khoa học chủ chốt nữa liên quan nhiều đến vật lý học là kết quả công bố của nhà vật lý đạt giải Nobel Luis Alvarez thuộc trường đại học California, Berkeley, rằng ông; con trai của ông, nhà địa chất Berkeley Walter Alvarez (1940– ); các nhà hóa học Berkeley Frank Asaro (1927– ) và Helen Michel (1933?– ) đã làm sáng tỏ nguyên nhân của sự tuyệt chủng hàng loạt vào cuối kỷ Creta, cách nay 65 triệu năm. Kết luận của họ là một tiểu hành tinh lớn cõi đỉnh Everest đã lao vào Trái đất và gây ra một loạt thảm họa toàn cầu đã quét sạch nhiều loài, trong đó có loài khủng long.

Nghiên cứu trên bắt đầu triển khai khi Walter Alvarez từ Italy trở về mới một mẫu đá chứa một lớp mỏng trầm tích tách biệt rạch rời các hóa thạch khác nhau thuộc kỷ Creta (Phân trăng) và kỷ Tertiary (kỷ thứ ba) trong lịch sử Trái đất, cái gọi là ranh giới K-T. Ông đã hỏi cha mình xem có cách nào đo xem lớp trầm tích đó lắng đọng mất bao lâu hay không. Luis Alvarez là một chuyên gia về tia vũ trụ, và ông nhận thấy ông có thể sử dụng cơn mưa hạt đều đặn từ vũ trụ đến để trả lời câu hỏi của con trai ông. Đặc biệt, nguyên tố hiếm iridium, một thành viên thuộc họ hàng bạch kim, có thể phát hiện ra bằng một kỹ thuật gọi là phân tích hoạt hóa neutron (xem chương 4). Khi một neutron năng lượng cao va chạm với một hạt nhân iridium, thì iridium sinh ra một tia gamma đặc trưng. Việc đo



lượng iridium trong lớp đó, ông kết luận, sẽ cho phép họ tính xem lớp đó hình thành mất bao lâu.

Từ một bằng chứng địa chất khác nữa, Walter Alvarez biết rằng lớp trầm tích đó mất vài nghìn năm để tích lũy. Sử dụng ước tính của Luis Alvarez về lượng iridium tiêu biểu, các chuyên gia hoạt hóa neutron Asaro và Michel không chắc chắn nó có đủ để đo hay không. Tuy nhiên, họ vừa mới có một hệ hoạt hóa neutron tiên tiến trong phòng thí nghiệm của mình và hăm hở bắt tay vào việc. Phép đo của họ thật sừng sót. Iridium có trong lớp mỏng đó nhiều bằng lượng tích góp bình thường trong nửa triệu năm. Họ đã kiểm tra và xác nhận các phép đo của mình. Sau đó, họ bắt đầu nêu giả thuyết cho cái có thể gây ra “dị thường iridium” đó. Ý tưởng duy nhất được nghiên cứu cẩn thận là giả thuyết tiểu hành tinh. Có vẻ thật kì cục, nhưng có thể kiểm tra nó bằng cách đo các loại đá ranh giới K-T khác lấy từ những địa điểm khác. Vì thế, năm 1980 họ đã công bố các kết quả của mình và chờ đợi các phép đo khác ủng hộ hoặc thách thức giả thuyết của họ.



Luis Alvarez (phải) cùng đội khoa học của con trai ông, Walter Alvarez, Frank Asaro, và Helen Michel (từ phải sang trái), đã sử dụng phép phân tích hoạt tính neutron để phát hiện ra cái gọi là dị thường iridium đưa đến một lý thuyết được chấp nhận rộng rãi rằng một vụ va chạm với tiểu hành tinh đã gây ra sự tuyệt chủng hàng loạt đã kết thúc kỷ Creta và thời đại của khủng long. (Ảnh: AIP Emilio Segrè Visual Archives)

Các lớp K-T khác lấy từ khắp nơi trên thế giới thể hiện những kết quả tương tự. Cuối cùng, các nhà khoa học không những chấp nhận các kết luận của nhóm Berkeley, mà còn tìm ra cái họ tin là miệng hố va chạm tiểu hành tinh ấy, đã bị xói mòn nhưng vẫn có thể nhận ra qua các sai lệch tinh vi của từ trường và trường hấp dẫn, tại Chicxulub, trên Bán đảo Yucatán thuộc Mexico.

Một lĩnh vực khác trong đó các nhà vật lí giữ một vai trò nổi bật trong thập niên 1970 là thám hiểm vũ trụ, đặc biệt là hệ mặt trời. Các sứ mệnh mặt trăng Apollo tiếp tục cho đến năm 1972, một vài phi thuyền đã thám hiểm Kim tinh và Hỏa tinh, và hai sứ mệnh Voyager đã khảo sát các hành tinh ngoài, Mộc tinh, Thổ tinh, Thiên vương tinh và Hải vương tinh cùng các vệ tinh của chúng. Thông tin thêm về những sứ mệnh này, độc giả có thể tìm thấy ở các tài liệu tham khảo liệt kê ở cuối sách.

## Nhà khoa học của thập niên: Luis Alvarez (1911–1988)

Nói ngắn gọn, Luis Walter Alvarez là đa tài. Cho dù là tham gia truy tìm các hạt hạ nguyên tử, sự phòng vệ của quốc gia ông, nghiên cứu về vụ án mạng của tổng thống John F. Kennedy, tìm kiếm các căn buồng ẩn trong một kim tự tháp Ai Cập, hay khám phá và giải thích các manh mối về sự tuyệt chủng của loài khủng long trong một lớp mỏng trầm tích, “Luie” (như tên gọi hầu hết mọi người trong cộng đồng khoa học dành cho ông) có một phương pháp độc đáo để xem xét các vấn đề, cái mang lại cho ông những giải pháp hết sức sáng tạo.

Sinh ở San Francisco, ngày 13/06/1911, Luis có tổ tiên gốc gác ở Tây Ban Nha, nơi ông bà nội của ông chào đời trước khi di cư sang Los Angeles qua con đường Cuba, và Ireland là quê hương xứ sở của họ hàng truyền giáo nhà bên ngoại của ông. Cha của ông, Walter Clement Alvarez, là một bác sĩ và nhà nghiên cứu y khoa thành đạt, người đã cho phép cậu bé Luis thỏa sức khám phá các công cụ và thiết bị trong phòng thí nghiệm của ông. Năm lên 10, cậu Luis đã biết cách sử dụng toàn bộ các thiết bị nhỏ trong phòng thí nghiệm đó và có thể nối mạch điện.

Năm 1925, gia đình Alvarez chuyển đến Rochester, Minnesota, ở đó, tiến sĩ Alvarez đảm đương một chức vụ trong Bệnh viện Mayo nổi tiếng. Thời học trung học, Luis làm việc ở bệnh viện với vai trò người học nghề mùa hè trong cửa hàng thiết bị, và sau khi tốt nghiệp, ông vào Đại học Chicago, nơi ông khám phá thế giới vật lí. Ở đó, ông đã có cơ hội hiếm hoi sử dụng thiết bị và làm việc với các kỹ thuật viên của nhà vật lí huyền thoại Albert A. Michelson (1852–1931), người có những phép đo chính xác của tốc độ ánh sáng lần đầu tiên gây ra sự nghi ngờ đối với sự tồn tại của chất éte thám dãm vũ trụ (xem Giới thiệu và chương 1). May mắn có một trí nhớ ngoại hạng và sự say mê đê tài nghiên cứu của nhà vật lí ấy, Alvarez đã đọc và tóm tắt mọi bài báo mà Michelson đã viết.

Trong khi vẫn còn là một sinh viên, năm 1934, Luis đã học lái máy bay và có thể tự điều khiển chỉ sau ba giờ chỉ dẫn. Kinh nghiệm trận mạc của ông đã phát huy tác dụng trong Thế chiến thứ hai và ông vẫn là một phi công tích cực cho đến năm 73 tuổi.

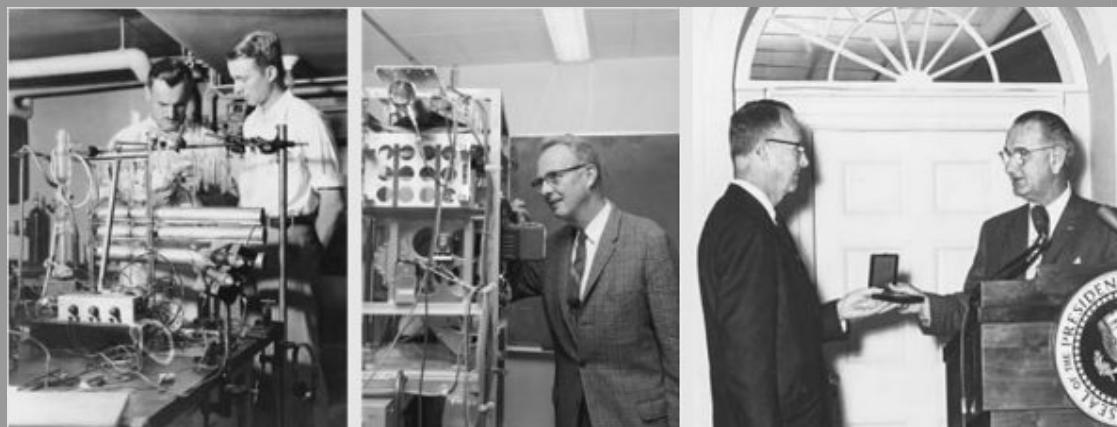
Sau khi tốt nghiệp Đại học Chicago năm 1936, Luis Alvarez chấp thuận lời mời từ Ernest Orlando Lawrence (xem chương 4) đến tiếp tục học tại Berkeley, ở đó, cuối cùng ông đã trở thành một cán bộ giảng dạy. Các mối quan hệ gia đình đã hỗ trợ, vì cha của Alvarez đã giúp xin thêm tiền tài trợ cho một trong các cyclotron của Lawrence, và chị của ông thì làm việc cho Lawrence với vai trò thư ký ngoài giờ. Nhưng tài năng của ông nhanh chóng chứng minh cho lời mời đó. Ông đã đọc ngẫu nghiên mọi bài báo viết về vật lí hạt nhân. Hàng năm sau đó, ông đã làm ngạc nhiên các nhà khoa học bởi việc tái dựng một đồ thị hay nhớ lại một sự kiện mờ mịt, và trích dẫn tham khảo gốc của các tác giả, tạp chí và năm xuất bản. Thỉnh thoảng, ông cho họ biết chính xác quyền tạp chí đó đặt tại chỗ nào trong thư viện và họ sẽ tìm thấy nội dung đó ở trang phía bên trái hay bên phải.

Nhưng không phải chỉ có trí nhớ tốt. Trong nghiên cứu của mình, Luis Alvarez quyết định thực hiện một phép đo mà Hans Bethe (xem chương 4) nói là không thể nào thực hiện, và ông đã chứng minh Bethe sai lầm. Trong bốn năm, ông còn thực hiện một vài khám phá quan trọng khác, bao gồm sự phóng xạ của đồng vị tritium của hydrogen (số nguyên tử 3: 1 proton + 2 neutron) và một dạng biến đổi phóng xạ gọi là sự bắt electron, trong đó một proton hợp nhất với một trong những electron trong cùng của nguyên tử tạo ra một neutron. Năm 1940, Thế chiến thứ hai đã làm gián đoạn nghiên cứu của ông về vật lí hạt nhân. Ông đến Phòng thí nghiệm Bức xạ thuộc Viện Công nghệ Massachusetts (MIT), ở



đó ông nghiên cứu về các hệ radar cho đến năm 1943. Ông đã phát triển hai phát minh quan trọng, một cho hệ thống đánh bom radar, và một để đánh lừa đoàn thủy thủ của tàu ngầm kẻ thù dưới mặt nước nghĩ rằng một máy bay tấn công đang bay ra xa. Sau đó, ông đến Chicago và rồi Los Alamos để sử dụng trí tuệ lỗi lạc của ông cho bài toán làm thế nào kích nổ các quả bom nguyên tử (xem chương 5). Năm 1946, nước Anh đã tôn vinh Alvarez cho nghiên cứu của ông tại MIT.

Khi chiến tranh kết thúc, Alvarez trở lại Berkeley, nơi ông đã phát minh hoặc phát triển một vài kĩ thuật gia tốc các hạt hạ nguyên tử và phát hiện ra các sản phẩm của những tương tác năng lượng cao mang lại. Đáng chú ý nhất là một cải tiến cho kĩ thuật buồng bọt, cái mang đến sự khám phá ra nhiều hạt hạ nguyên tử và các cộng hưởng. Không có những khám phá đó, cái mang về cho ông giải thưởng Nobel vật lí 1968, Murray Gell-Mann sẽ không bao giờ có thể nghĩ ra bát đao của ông.



Sự nghiệp đa tài của Luis Alvarez. Từ trái sang phải: Là sinh viên nghiên cứu tia vũ trụ năm 1933 cùng với cô vân của ông, Arthur Compton tại Đại học Chicago. Với màn hiển thị buồng bọt tại Berkeley. Nhận Huân chương Khoa học Quốc gia từ tổng thống Lyndon B. Johnson.

Alvarez có niềm đam mê và kiến thức rộng, điều đó đưa ông đến với một vài dự án hấp dẫn sau này trong sự nghiệp của ông. Năm 1964, ủy ban nghiên cứu vụ ám sát tổng thống John F. Kennedy năm 1963 đã mời ông phân tích hình ảnh chuyên động nghiệp dư nổi tiếng của vụ bắn tỉa. Đồng thời, tiếc nuối nhu cầu của ông với kính hai tròng, ông đã phát minh ra thấu kính có tiêu cự biến thiên, cái mang đến một công ty kinh doanh thiết bị quang học hết sức thành công. Vài năm sau đó, ông đã nghĩ ra một cách sử dụng các muon tia vũ trụ để khảo sát phần bên trong của kim tự tháp Chefren tìm các món đồ bí mật. Các kết quả của ông cho thấy không có căn buồng ẩn nào, nhưng dự án vẫn thu hút sự tưởng tượng của những người nghe nói về nó.

Năm 1977, khi bước vào tuổi nghỉ hưu, Luis Alvarez bắt đầu đi chứng minh cái là công trình hấp dẫn và đáng nhớ nhất của ông. Bắt đầu từ một hòn đá mang đến cho ông như một món quà của người con trai Walter, một giáo sư địa chất học tại Berkeley. Hòn đá ấy có chứa một lớp đất sét hay trầm tích đánh dấu ranh giới giữa hai thời kì địa chất, kì Phấn trắng và kì Thứ ba. Kì Phấn trắng rõ ràng đã kết thúc đột ngột với sự tuyệt chủng của nhiều loài, trong đó có loài khủng long. Nhưng đột ngột như thế nào thì Walter lấy làm nghi ngờ. Phải chăng có cái gì đó trong lớp trầm tích ấy mang lại một dấu hiệu nào đó? Như đã đề cập trong phần chính của chương này, kiến thức của Luis về tia vũ trụ đã mang họ đến một kết quả bất ngờ và một kiến thức mới về lịch sử của sự sống trên Trái đất và vai trò mà các vụ va chạm vũ trụ có thể có đối với nó.

Richard A. Muller, một đồng nghiệp Berkeley và là một trong những người học trò thành công nhất của ông, đã viết về Luis Alvarez như sau:

Tôi luôn nhớ Luis Alvarez là một người thích suy nghĩ hơn mọi thứ khác... Chỉ một trong mười ý tưởng, ông nói, là đáng theo đuổi thôi. Chỉ một phần mười trong số này sẽ kéo dài một tháng. Chỉ một phần mười trong số đó sẽ dẫn đến một khám phá. Nếu những con số này là đúng, thì Luis phải có hàng chục nghìn ý tưởng.

Nhiều ý tưởng của Luis Alvarez – nhà khoa học đạt giải Nobel, người nhận Huy chương Khoa học quốc gia [Mĩ], và là người yên nghỉ trong nhà tưởng niệm các nhà phát minh quốc gia – đã làm thay đổi nền vật lí và làm biến chuyển thế giới.

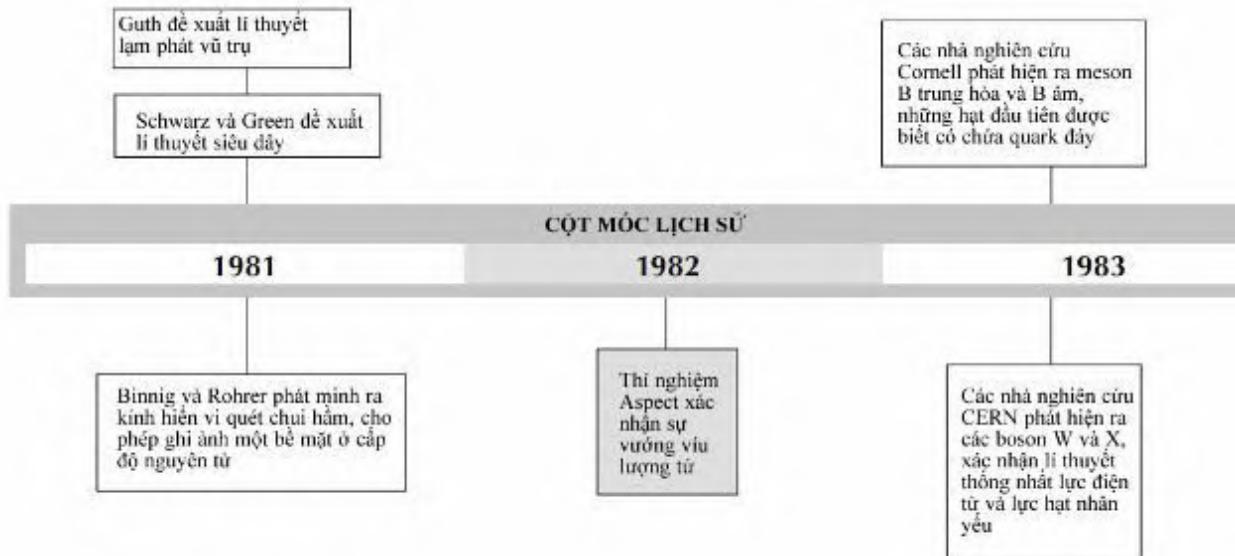


9



## 1981 – 1990 Mở rộng tầm ảnh hưởng

Như đã lưu ý trong chương trước, 20 năm cuối của thế kỉ 20 dường như nổi bật lên với các ứng dụng của vật lí hơn là những lí thuyết mới hay những thí nghiệm đột phá không thể tin nổi. Từ *dường như* trong câu vừa nói là rất quan trọng. Một câu hỏi hợp lí là không biết đây thật sự là một xu hướng lịch sử hay chỉ đơn thuần phản ánh sự thiếu viễn tưởng lịch sử. Có lẽ 20 năm thì không đủ để nhận ra bản chất cách mạng của một lí thuyết hay khám phá mới. Tuy nhiên, khi nhìn ngược về những năm 1980 từ đầu thế kỉ 21 thật cho thấy sự quan tâm ngày càng nhiều của công chúng đối với vật lí học và vai trò của các nhà vật lí trong xã hội. Phần nào, điều đó có thể quy cho bản chất của các khám phá, thí dụ như giả thuyết của đội Alvarez về vụ va chạm với tiểu hành tinh. Nó cũng có thể liên quan đến nền chính trị đang biến chuyển, đưa đến sự tài trợ của chính phủ dành cho các ứng dụng của khoa học thay vì cho nghiên cứu mới. Nhưng có lẽ yếu tố quan trọng nhất trong sự nhận thức của công chúng bắt nguồn từ một sự thay đổi trong bản thân cộng đồng vật lí học. Nhiều nhà vật lí nhận ra rằng sự ủng hộ của công chúng dành cho khoa học của họ sẽ có lợi nếu họ đưa ra nhiều liên hệ hơn với những người không làm khoa học háo hức muốn tìm hiểu về những ý tưởng và những khám phá mới của thế kỉ trong lĩnh vực vật lí và thiên văn học.



Đặc biệt, hai nhà vật lí rất khác nhau với cách tiếp cận và sở thích rất khác nhau đã tận dụng sự ham hiểu biết đó theo những cách thật đáng chú ý. Phần lớn qua loạt phim truyền hình *Vũ trụ* của ông và qua các sách vở của ông, vị giáo sư thiên văn học tại trường Đại học Cornell, Carl Sagan (1934–96) đã nổi lên là một thần tượng viết về vũ trụ. Bên kia

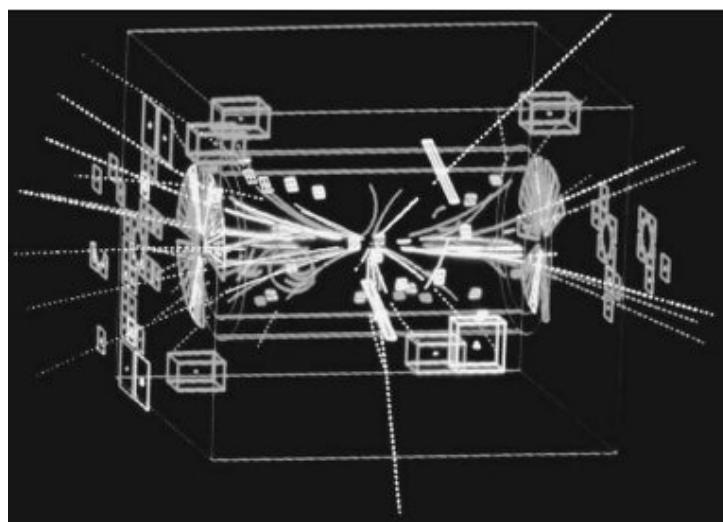


Đại Tây Dương, tại trường Đại học Cambridge ở nước Anh, Stephen Hawking (1942– ), giáo sư toán học ngạch Lucasian, chiếc ghế từng thuộc về Isaac Newton vĩ đại, đã thông lĩnh sự yêu thích của công chúng dành cho thuyết tương đối và cơ học lượng tử với việc xuất bản một cuốn sách gây sốt bất ngờ, *Lược sử thời gian*.

Khán giả truyền hình yêu thích sự say mê chân thật của Sagan về vũ trụ, và ông trở thành người nổi tiếng; nhưng tiếng tăm của ông cũng mang lại sự chỉ trích. Những người phi báng xem tác phẩm truyền hình của ông là tự lăng xê, được sản xuất để khuấy động nỗi sợ hãi trong trí tuệ của Carl Sagan như những kí quan của vũ trụ. Nhưng họ chỉ là thiểu số. Cho dù động cơ của ông là gì đi nữa, thì Sagan đã giành được phần lớn sự hoan nghênh của công chúng là khích lệ sự đam mê khoa học. Ông còn dùng nó để xúc tiến vận động chính trị, như mô tả ở phần dưới. Tiếng tăm của Hawking một phần vì ông dám thử giải thích các khái niệm gây thách thức của cơ học lượng tử và thuyết tương đối với độc giả phổ thông mà không cần sử dụng các công thức toán phức tạp, và một phần vì ông có một câu chuyện đời tư hấp dẫn. Vì lí do đó, và vì tác phẩm của Sagan chủ yếu mang tính thiên văn học chứ không thuộc về vật lí, cho nên Hawking là nhà khoa học chính của chương này.

## Vật lí hạt cơ bản và Các hiệu ứng lượng tử

Tiền bộ trong ngành vật lí hạt tiếp tục trong thập niên 1980 với việc xây dựng hoặc nâng cấp các máy gia tốc hạt tạo ra các va chạm năng lượng ngày càng cao hoặc có những kỹ thuật dò hạt tốt hơn. Các hạt mới phát hiện ra trong những năm 1980 không có gì bất ngờ. Thay vào đó, sự dò tìm ra chúng đã xác nhận các tiên đoán trước đó. Thí dụ, năm 1983, các đội nghiên cứu tại CERN phát hiện ra các hạt W và Z, các boson chuẩn trao đổi trong tương tác yếu. Mặc dù những hạt này đã được lường trước, nhưng việc phát hiện ra chúng thật hào hứng. Như đã lưu ý trong chương 7, lí thuyết tương tác yếu đòi hỏi các hạt W dương và âm. Công trình của đội Sheldon Glashow kết hợp tương tác yếu với tương tác điện từ còn đưa đến các tiên đoán ra một mùi quark mới (duyên) và hạt Z trung hòa. Việc khám phá ra hạt J/psi vào năm 1974 đã xác nhận sự tồn tại của quark duyên, cho nên việc dò tìm ra hạt Z được háo hức trông đợi là mảnh cuối cùng của bằng chứng ủng hộ cho sự thống nhất điện yếu.



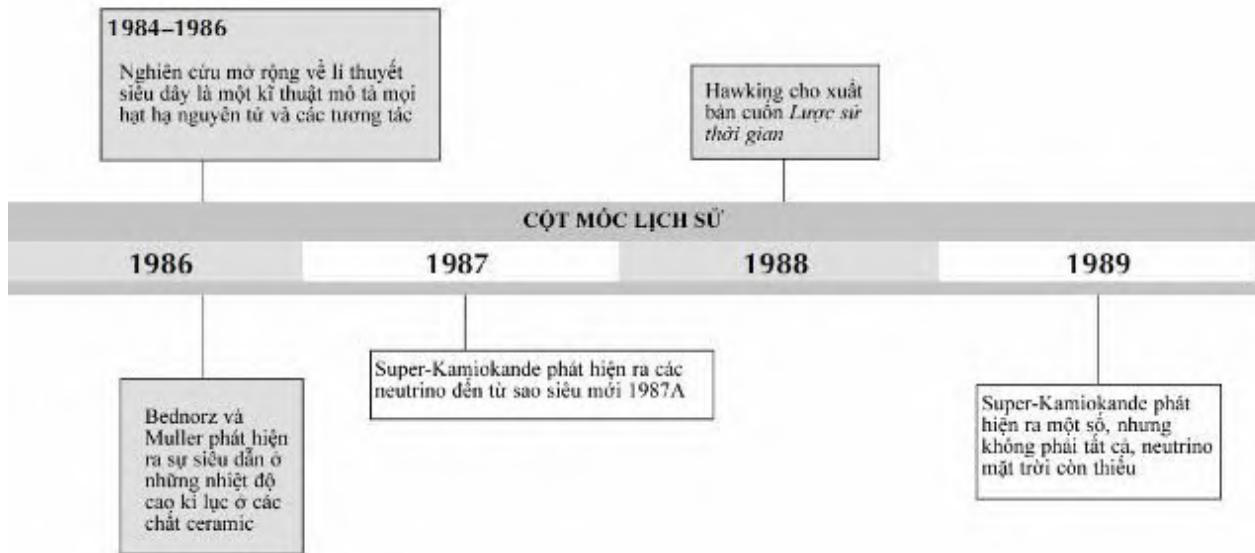
Sự phân hủy của một hạt Z thành một electron và positron, sự kiện Z đầu tiên được ghi nhận bởi các máy dò UA1 tại CERN vào hôm 30/04/1983.

Một khám phá nữa đến từ Đại học Cornell, nơi các nhà nghiên cứu đã xây dựng một dụng cụ gọi là Vòng Trữ Electron Cornell (CESR) vào cuối những năm 1970. Năm



1979, CESR tạo ra những va chạm electron-positron đầu tiên của nó. Năng lượng cao sinh ra khi một electron và positron hủy lẫn nhau khiến người ta có thể tạo ra và phát hiện các hạt chứa quark đáy, đặc biệt là hai loại meson B đã được phát hiện ra vào năm 1983:  $B_0$  trung hòa điện (một quark đáy cộng với một phản quark xuồng) và  $B^-$  tích điện âm (một quark đáy cộng với một phản quark lên). Các nhà vật lí đặc biệt quan tâm một tính chất đặc biệt gọi là sự vi phạm đối xứng CP, cái được trông đợi và thật sự biểu hiện bởi các boson  $B_0$ . (CP là viết tắt cho “tính chẵn lẻ điện tích”, sự kết hợp của điện tích đảo ngược và ảnh qua gương). Tính chất đó lần đầu tiên được quan sát thấy ở các meson  $K_0$  (một quark xuồng cộng với một phản quark lạ) và cần thiết cho việc phát triển kiến thức phân biệt giữa vật chất và phản vật chất.

Cũng trong thập niên 1980, sự tích góp dữ liệu dần dần trong các máy dò neutrino lớn, dưới lòng đất, tiếp tục ủng hộ những kết quả ban đầu của Raymond Davis (xem chương 6). Với các nâng cấp thiết bị, số lượng neutrino mặt trời phát hiện được đã đạt tới con số 2000, và tỉ lệ đó vẫn chỉ bằng một phần ba cái người ta trông đợi. Năm 1987, ánh sáng đã đi đến Trái đất từ một sự kiện sao siêu mới trong Đám mây Magellan Lớn lảng giềng (ở xa 170.000 năm ánh sáng). Theo các lí thuyết thiên văn vật lí về sao siêu mới, người ta trông đợi tìm thấy một luồng neutrino. Các nhà vật lí, đứng đầu là Masatoshi Koshiba tại thí nghiệm Super-Kamiokande mới của nước Nhật đã phát hiện ra 12 neutrino đến từ ngôi sao ở xa đang bùng nổ đó, xác nhận sự hiểu biết của các nhà thiên văn vật lí về quá trình sao siêu mới và mang sự tín nhiệm đến cho dữ liệu của các máy dò khổng lồ của họ. Năm 1989, Koshiba tường thuật rằng nhóm của ông đang phát hiện ra các neutrino mặt trời ở tốc độ cao hơn Davis đã có, nhưng vẫn còn kém hơn trông đợi nhiều. Việc phát hiện ra các neutrino đến từ sao siêu mới 1987° chứng tỏ rằng máy dò hạt không thể đảm nhận cho các neutrino mặt trời còn thiếu, và lí thuyết của các quá trình hạt nhân trong các ngôi sao có vẻ không ổn. Từ đó, các nhà vật lí nhận ra kiến thức của họ về hành trạng neutrino là không hoàn chỉnh. Một cái gì đó đang xảy ra với các neutrino giữa Mặt trời và máy dò hạt, nhưng đó là cái gì?



Bằng chứng ủng hộ cho một hiện tượng khó hiểu khác, sự vướng víu lượng tử, cũng phát triển trong những năm 1980. Năm 1982, tại Viện Quang học ở Orsay, Pháp, Alain Aspect (1947– ) nghĩ ra một thí nghiệm kiểm tra sự vướng víu theo một cách khác với Clauser đã làm (xem chương trước). Cả thí nghiệm Aspect lẫn Clauser đều là những thí dụ của sự kiểm tra các bất đẳng thức Bell, thiết lập năm 1964 bởi nhà vật lí CERN người gốc Belfast, John Bell (1928–90), để xác định xem sự vướng víu lượng tử có thật sự xảy ra



hay không. Thí nghiệm Aspect giải quyết những mối ngờ vực nhất định về giá trị của thí nghiệm Clauser và sự giải thích của nó. Để giải những thí nghiệm đó, các mối quan tâm ở đây đòi hỏi một trình bày triết lí và toán học nằm ngoài khuôn khổ của quyển sách này. Tuy nhiên, điều quan trọng là các kết quả của nhóm Aspect ủng hộ cho kết luận ban đầu của Clauser. Thí nghiệm đó đã thuyết phục đa số những người còn nghi ngờ rằng tự nhiên thật sự bị chi phối bởi các nguyên lí cơ lượng tử dẫn tới sự vướng víu, cho dù hiện tượng đó có “ma quái” như thế nào chăng nữa đối với một số người.

## GUT, Lí thuyết siêu dây và Sự lạm phát vũ trụ

Sự vướng víu lượng tử không phải là khám phá duy nhất của thập niên 1970 và 1980 mà nhiều nhà vật lí xem là khó hiểu, kì quặc, hay ma quái. Các phép đo chi tiết của bức xạ vi sóng vũ trụ (xem chương 7) theo những hướng khác nhau đều phù hợp với nhau đến kỉ lạ. Tại sao lại khó hiểu như thế? Hãy xét một nhà quan sát đứng trên mặt đất nhìn vào những hướng đối diện nhau trên bầu trời và đo nhiệt độ của bức xạ nền vũ trụ. Tại nơi cực độ nhất, hai địa điểm cách nhau khoảng cách bằng hai lần quãng đường ánh sáng đã truyền đi kể từ thời Big Bang. Tình huống đó sẽ luôn luôn đúng cho những vùng mà tại mọi thời điểm trong quá khứ vũ trụ là giãn nở, trừ khi sự giãn nở đó nhanh hơn ánh sáng. Vì thuyết tương đối cầm các hạt chuyển động nhanh hơn ánh sáng, cho nên những vùng đó không bao giờ có thể trao đổi năng lượng hoặc tác động lên nhau. Phân tích cơ học thống kê của Big Bang tiên đoán một lượng biến thiên ngẫu nhiên nhất định trong nhiệt độ giữa những vùng không gian khác nhau. Đối với những vùng ở đủ gần để truyền thông tin hoặc trao đổi năng lượng lẫn nhau, sự chênh lệch nhiệt độ của chúng sẽ giảm bớt; nghĩa là chúng sẽ đạt tới sự cân bằng nhiệt với nhau. Tuy nhiên, với những vùng không gian cách nhau những khoảng rộng lớn, thì sự biến thiên đã tồn tại từ thời Big Bang đó sẽ vẫn hiện diện. Nhưng nó không hiện diện. Sự biến thiên do được trong nhiệt độ của bức xạ nền vũ trụ cho thấy ngay cả những vùng không gian cách nhau xa rộng nhất cũng đã đạt tới sự cân bằng nhiệt. Chúng không thể truyền thông tin với nhau trong lúc này, nhưng chúng phải trao đổi năng lượng vào lúc nào đó trong quá khứ.

Làm thế nào điều đó lại xảy ra như vậy? Năm 1981, Alan Guth (1947– ), một giáo sư vật lí tại Viện Công nghệ Massachusetts, đề xuất một lời giải thích cho kết quả kỉ lạ đó. Ý tưởng của ông, cái ông gọi là *sự lạm phát*, hòa trộn một lí thuyết thống nhất lớn (GUT) với cơ sở vật lí của sự chuyển tiếp pha, thí dụ như sự đông đặc hay nóng chảy. Như ông giải thích, trong khoảng thời gian ngắn không tưởng tượng nổi sau Big Bang, toàn thể vũ trụ trải qua một sự biến đổi pha trong đó bản thân không gian giãn nở ở tốc độ lớn hơn nhiều so với tốc độ ánh sáng. Trước khi có sự chuyển tiếp pha đó, toàn bộ vật chất/năng lượng là thống nhất. Điều đó dẫn tới sự cân bằng nhiệt giữa tất cả các vùng của vũ trụ, kể cả những vùng ở quá xa nhau để truyền thông tin sau sự chuyển tiếp đó. Đồng thời khi Guth đề xuất sự lạm phát vũ trụ, John Schwarz và Michael Green (1946– ) đã sửa đổi lí thuyết dây bằng cách thêm vào một chiều nữa và gọi nó là lí thuyết siêu dây. Khi thập niên này trôi qua, các nhà vật lí khác đã thêm vào nhiều chiều nữa – số lượng chính xác thì tùy thuộc vào phiên bản của lí thuyết siêu dây mà những nhà vật lí đó ưa thích. Số lượng nhà vật lí tham gia nghiên cứu lí thuyết dây tăng nhanh trong giai đoạn 1984-1986, khi họ nhận ra cơ sở toán học đó có thể mô tả mọi hạt hạ nguyên tử và các tương tác của chúng.

GUT, lí thuyết siêu dây và sự lạm phát vũ trụ mang lại những mô tả toán học hữu ích trói buộc vũ trụ học – ngành khoa họa nghiên cứu hành trạng của vũ trụ như một thực thể - và vật lí hạt hạ nguyên tử lại với nhau. Những phương pháp đó đã được phát triển để mang lại một nền tảng cho một sự đa dạng của những hiện tượng vật lí đã quan sát thấy, nhưng không có lí thuyết nào trong số chúng cho đến nay đưa đến một tiên đoán một hiện tượng có thể kiểm tra nhưng chưa được trông thấy. Cho đến khi điều đó xảy ra, một số nhà



vật lí vẫn miễn cưỡng xem bất kì một trong những cách tiếp cận đó là một “lí thuyết” đang nở hoa, vì các nhà khoa học thường để dành tên gọi cho những ý tưởng không những được sự ủng hộ của một lượng lớn bằng chứng mà còn chứng minh được sức mạnh tiên đoán của chúng. Tập sách này tuân theo các thuật ngữ phổ dụng, sử dụng “lí thuyết dây” và “lí thuyết thống nhất lớn” làm thí dụ, mặc dù việc gọi chúng là những lí thuyết có lẽ là cường điệu quá mức.

## Đôi nét về các sách phổ biến kiến thức vật lí và khoa học trong thập niên 1980

Cuối thập niên 1980, vật lí học đã đạt tới cao điểm lịch sử của nó giống như hồi cuối thế kỉ 19. Cơ học lượng tử, thuyết tương đối và các lí thuyết tương tác hạt nhân đã thay thế cho cơ học Newton, hệ phương trình Maxwell và thuyết nguyên tử là nền tảng cơ sở của vật lí học, nhưng các lí thuyết siêu dây và lạm phát vũ trụ đề xuất những ý tưởng cơ bản khác cho đến bây giờ chưa phát hiện ra. Liệu các lí thuyết mới có hoàn thành tâm thảm mênh mông vật lí, hay chúng sẽ làm cho nó tháo rời ra từng sợi chỉ một, giống hệt như sự phỏng xạ và lượng tử Planck đã làm trong những thập niên đầu của thế kỉ 20? Những câu hỏi kiểu như thế đã lèo lái nghiên cứu của Stephen Hawking tại Cambridge. Hawking còn bị mê hoặc bởi câu hỏi nêu ra bởi những người có học nhưng không phải là nhà vật lí, và ông cất công đi trả lời những câu hỏi đó. Kết quả là quyển sách năm 1988 mang tựa đề *Lược sử thời gian: Từ Big Bang tới các lỗ đen*.

Khi độc giả xem qua các trang sách trên, họ bắt gặp nhiều ý tưởng thách thức quan điểm trực giác của họ về không gian, thời gian, và vật chất. Đối với nhiều người, quyển sách mang lại một chuyến du ngoạn trí tuệ thú vị, nhưng rốt cuộc họ gặp khó khăn ở việc giải thích cái họ vừa học được. Tuy nhiên, phong cách hành văn cuốn hút của Hawking khiến độc giả đi giới thiệu quyển sách ấy với bạn bè của mình. Quyển sách trên lập tức trở thành sách bán chạy nhất, mặc dù đa số mọi người mua nó chưa bao giờ đọc trọn vẹn hoặc xem qua hết các điểm trình bày trọng yếu nhất của nó. Đối với họ, thế là đủ để chia sẻ với sự nhiệt tình của Hawking dành cho những câu hỏi và tranh luận của ông về thời gian, không gian, vật chất và năng lượng. Độc giả còn thấy quyển sách ấy nổi tiếng vì sự nỗ lực khi Hawking viết nó. Hawking bị liệt cả tay chân nên ông phải nói chuyện với sự hỗ trợ của một máy vi tính và một máy phân tích giọng nói, ông điều khiển chúng với sự hỗ trợ của một dụng cụ phản ứng với những cử động nhẹ của bàn tay ông. Một con người tật nguyền mà vẫn làm công tác khoa học và viết một cuốn sách như vậy cho đông đảo công chúng thật sự là đáng kính nể.

Mặc dù *Lược sử thời gian* thu hút sự chú ý của công chúng, nhưng Hawking không phải là nhà khoa học nổi tiếng nhất của thập niên 1980. Vinh quang đó thuộc về Carl Sagan, một tác giả của nhiều quyển sách khoa học thường thức và các bài báo đăng trên các tạp chí nói về khoa học, trong đó có quyển sách năm 1979 của ông, *Trí tuệ Broca*, nói về sự sống ngoài hành tinh và sự sống nhân tạo, tác phẩm giành giải thưởng Pulitzer, một trong những giải thưởng danh giá nhất trong giới nghệ thuật và văn chương. Sagan còn là một nhân vật truyền hình với sự xuất hiện khá thường xuyên với tư cách khách mời trong chương trình *Tonight Show with Johnny Carson* của hãng NBC và là người chỉ đạo loạt phim truyền hình *Vũ trụ*, tác phẩm mang lại tập sách bán chạy nhất có cùng tiêu đề.

Niềm đam mê khoa học lớn nhất của Sagan là dành cho tìm kiếm sự sống trên những thế giới khác, cái ông thường liên hệ với các vấn đề môi trường trên Trái đất. Luận án tiến sĩ của ông vào cuối thập niên 1950 bao gồm một phân tích khí quyển của Kim tinh, nơi ông cho rằng giàu carbon dioxide đến mức nó gây ra một *hiệu ứng nhà kính* không kiểm soát nổi, hiện tượng trong đó bầu khí quyển của một hành tinh tác dụng như thế một



nhà kính thủy tinh. Bầu khí quyển áy trong suốt với năng lượng mặt trời ở dạng ánh sáng khả kiến, chúng truyền qua và làm nóng bề mặt của hành tinh, nhưng nó giữ lại ánh sáng hồng ngoại phát ra bởi bề mặt nóng của hành tinh. Trên Kim tinh, Sagan kết luận, hiện tượng đó dẫn tới nhiệt độ bề mặt đủ nóng để làm tan chảy nhôm. Liệu một số phản tương tự có xảy đến với Trái đất không? Từ lâu trước khi sự ám lên toàn cầu trở thành một đe tài chính trị nóng bỏng trên thế giới, Sagan là một trong những nhà khoa học đầu tiên gióng lên tiếng chuông cảnh báo về tốc độ đang tăng dần của sự đốt nhiên liệu hóa thạch. Sự đốt nhiên liệu đó đã tạo ra sự gia tăng có thể đo được lượng carbon dioxide khí quyển trên Trái đất. Sự gia tăng trong tương lai làm tăng thêm rủi ro của sự ám lên toàn cầu và phá vỡ khí hậu của Trái đất. Cuối thập niên 1980, một số nhà khoa học đã thấy những dấu hiệu rắc rối rằng những biến đổi áy đã bắt đầu, mặc dù các quan sát đó cũng có thể giải thích là sự biến thiên thông thường thôi. Cho dù một xu hướng như thế đã bắt đầu, nhưng hãy còn quá sớm để nói các hoạt động của con người, như sự đốt dầu mỏ và than đá, có là nguyên nhân cho những biến đổi đó hay không.



Carl Sagan nổi tiếng với các sách phổ biến khoa học và loạt phim truyền hình *Vũ trụ*. (Ảnh: Đại học Cornell, AIP Emilio Segrè Visual Archives)

Trong khi đó, Sagan và các đồng sự của ông nhìn thấy một nguy cơ còn lớn hơn nữa cho sự sống trên Trái đất, một hiện tượng gọi là mùa đông hạt nhân mà họ cho rằng sẽ là kết cục cho một chiến tranh hạt nhân trong đó các bên tham chiến cho nỗi hết các kho vũ khí nhiệt hạch của mình. Trong một bài báo khoa học trở nên nổi tiếng là TTAPS, viết tắt 5 ký tự đầu của các tác giả (S là Sagan), các nhà nghiên cứu đã đưa ra một phân tích dựa trên kết quả của đội Alvarez và những người khác về những sự biến đổi khí hậu toàn cầu diễn ra sau vụ va chạm tiểu hành tinh đã kết thúc Kỉ Phấn trắng. Sự kiện đó đã tạo ra một đám mây bụi toàn cầu và một cơn bão đá rực rỡ thổi tung lên không gian và rơi trở vào Trái đất dưới dạng các thiên thạch, làm các cánh rừng khắp toàn cầu cháy lên rùng rực. Trong

nhiều năm, một màn khói bụi bao phủ chặn hết đa phần ánh sáng mặt trời, và mang lại thời tiết băng giá trên khắp hành tinh. TTAPS cho rằng một cuộc chiến tranh hạt nhân có thể làm dâng lên một đám mây bụi tương tự với kết cục không kém phần thảm khốc.

Như thường xảy ra với những khẳng định mang tính kịch tính như vậy, bài báo TTAPS vấp phải nhiều chỉ trích bởi những người không tán thành quy mô của sự biến đổi khí hậu do mà một cuộc chiến hạt nhân có thể gây ra. Tuy nhiên, các dự báo TTAPS đã bổ sung thêm một xu hướng mới vào những cuộc thương thuyết quốc tế về sự phổ biến hạt nhân. Nó thường được xem là một yếu tố quan trọng trong động thái đưa các quốc gia tiến đến hiệp ước cắt giảm vũ khí hạt nhân trong thập niên 1980. Sagan có vẻ là người thứ năm trong 5 tác giả của nghiên cứu ấy, nhưng rõ ràng ông là người giành được nhiều sự ủng hộ của công chúng. Thật trớ trêu, các lập luận của ông ủng hộ cho các kết luận của nghiên cứu trên đã phá vỡ một nguyên tắc mà nhờ đó ông trở nên nổi tiếng: “Các khẳng định không bình thường đòi hỏi bằng chứng không bình thường”. Bằng chứng cho mùa đông hạt nhân không phải là không bình thường, và Sagan biết thế. Nhưng theo quan điểm của ông, các hệ quả mới là thảm khốc – còn tồi tệ hơn cả sự tàn phá không thể tưởng tượng nổi mà bắn thân các quả bom sẽ gây ra. Thế giới sẽ không có cơ hội để kiểm chứng xem kết quả TTAPS lạ thường đó có đúng hay không.

## Các đột phá trong ngành vật lí vật chất ngưng tụ

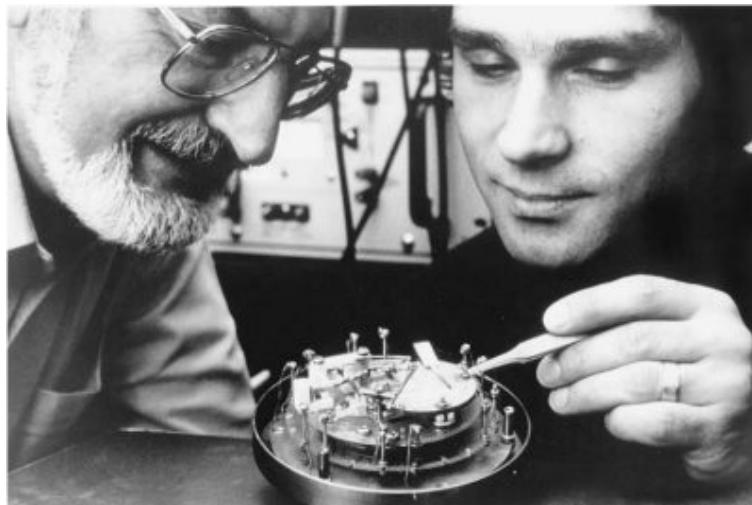
Vào đầu thập niên 1980, đa số các nhà vật lí bắt đầu gọi ngành vật lí chất rắn bằng một tên gọi mới, ngành vật lí vật chất ngưng tụ, sau sự tiên phong của nhà khoa học đạt giải Nobel Philip W. Anderson (1923– ), người đã đổi tên nhóm nghiên cứu của ông vào năm 1967, và Hội Vật lí Hoa Kì, cơ quan đã đặt lại tên cho Phân viện Vật lí Chất rắn cũ vào năm 1978. Cho dù tên gọi là gì, thì đây là lĩnh vực có hai trong những đột phá quan trọng nhất trong ngành vật lí học trong thập niên 1980, cả hai thành tựu đều nhanh chóng được công nhận bởi giải thưởng Nobel.

Đột phá thứ nhất xuất hiện năm 1981, khi hai nhà nghiên cứu tại Phòng Nghiên cứu IBM Zurich ở Thụy Sĩ, Gerd Binnig (1947– ) và Heinrich Rohrer (1933– ) phát minh ra một dụng cụ cho phép các nhà khoa học tạo ra hình ảnh của từng nguyên tử một trên bề mặt của một chất liệu, đó là kính hiển vi quét chui hầm (STM). STM khai thác lợi ích của hiện tượng cơ lượng tử gọi là sự chui hầm, kết quả của bản chất sóng của các đối tượng thường được xem là hạt. Thí dụ, đa số electron trên bề mặt của một chất rắn thường được xem là thuộc về những nguyên tử nhất định, nhưng thật ra hàm sóng của chúng trải rộng ra khỏi phạm vi nguyên tử. Khi đầu của một cái kim băng kim loại rất nhọn đặt rất gần bề mặt đó, thì hàm sóng của các electron tại đầu nhọn của kim và của các electron trên bề mặt chất liệu chồng lấn lên nhau. Các phép tính cơ lượng tử mang lại kết quả này: Tại mọi thời điểm, có cơ hội tìm thấy một electron từ kim nhọn ở trong chất liệu và ngược lại. Cái kim càng gần bề mặt, thì cơ hội xảy ra điều đó càng lớn. Thông thường, một điện áp ion hóa nhất định sẽ là cần thiết để hút một electron ra khỏi đầu kim hoặc bề mặt và băng qua khe trống giữa chúng, nhưng hiện tượng cơ lượng tử đó cho phép sự truyền electron xảy ra ngay cả ở giá trị điện áp thấp hơn nhiều. Nó giống như là các electron chui qua một hàng rào mà chúng không có đủ năng lượng để vượt qua và hiện ra ở phía bên kia. Khe trống càng nhỏ, thì dòng điện chui hầm càng lớn. Vì thế, nếu như cái kim quét tới lui trên một bề mặt, thì cõi của dòng điện chui hầm phản ánh cái kim ở gần một nguyên tử đến mức nào. Binnig và Rohrer đã hoàn thiện một kỹ thuật phát hiện ra dòng điện chui hầm và hiển thị nó kiểu như hình ảnh ti vi.

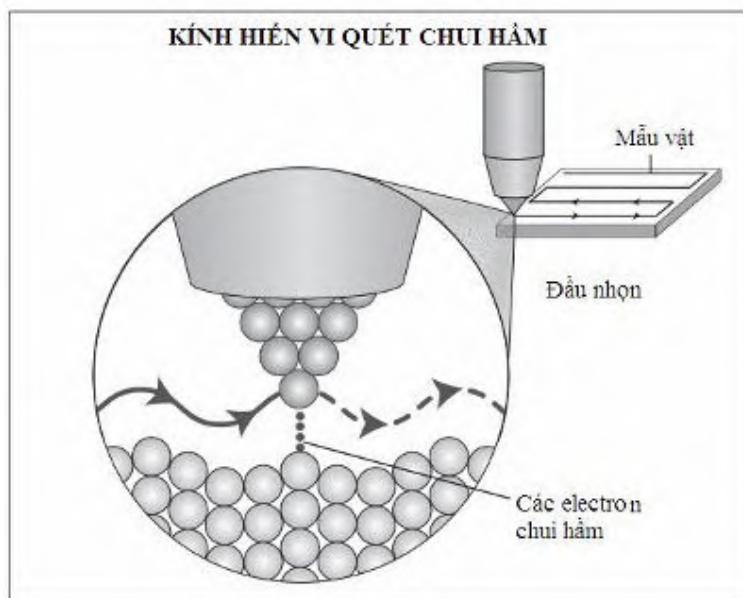
Vào lúc hai nhà nghiên cứu trên nhận giải Nobel Vật lí năm 1986, một số biến thể của kỹ thuật STM đã mang lại những kết quả hết sức giá trị. Các kính hiển vi lực nguyên tử



đang đo và hiển thị sự biến thiên của lực điện giữa đầu kim và bề mặt, và những dụng cụ khác thậm chí còn di chuyển tùng nguyên tử một để tạo ra những cấu trúc nhân tạo (Để chứng minh khả năng đó, IBM đã viết tên hằng minh với các nguyên tử xenon trên nickel bằng các kí tự chấm ma trận cao vài nguyên tử).



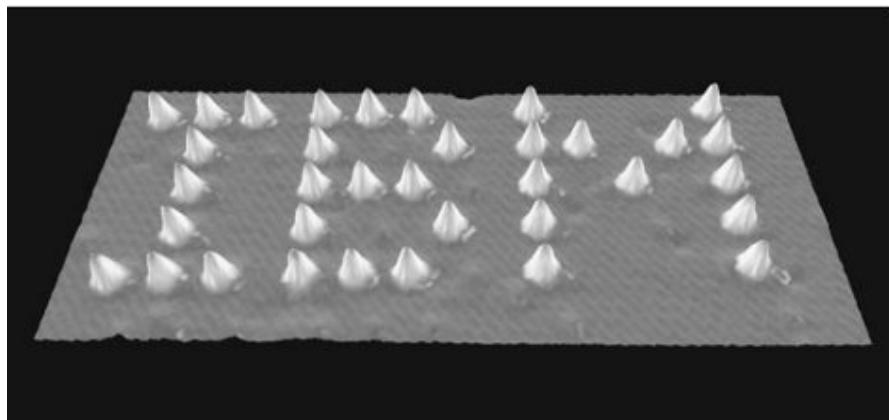
Gerd Binnig (phải) và Heinrich Rohrer, cùng với thiết bị đã dẫn tới sự phát triển của kính hiển vi quét chui hầm (AIP Emilio Segrè Visual Archives)



Kính hiển vi quét chui hầm khai thác lợi ích của hiện tượng lượng tử gọi là sự chui hầm để tạo ra ảnh của các nguyên tử trên bề mặt của một mẫu vật.

Giành một giải Nobel Vật lí chỉ trong 5 năm khám phá là một thành tựu nổi bật, và các đồng sự khoa học của Binnig và Rohrer tại IBM Zurich đã tổ chức ăn mừng tin tốt lành ấy. Họ có chút ngờ vực rằng họ sẽ lại có dịp ăn mừng tương tự vào năm sau đó cho J. Georg Bednorz (1950– ) và K. Alexander Müller (1927– ), những người đã xào nấu ra một công thức cho một khám phá giành giải Nobel khác. Công trình của họ vào năm 1986 đã mang đến một làn sóng toàn cầu nghiên cứu các chất siêu dẫn mới và một giải thưởng Nobel năm 1987. Không như đa số các nhà nghiên cứu sự siêu dẫn đang làm việc với các hợp kim, Bednorz và Müller lại nghiên cứu hiện tượng đó trong các chất liệu ceramic, vốn là hợp chất cứng nhưng giòn của kim loại và phi kim, bao gồm cả các oxide.





Sử dụng cùng các nguyên lí đã dẫn tới sự phát triển của kính hiển vi quét chui hầm (STM), có thể thao tác với từng nguyên tử một, như thể hiện trong ảnh chụp STM này của các nguyên tử xenon lập thành chữ IBM trên một tinh thể nickel (IBM).

Đối với đa số các nhà khoa học yêu thích sự siêu dẫn, điều đó dường như là một sự lựa chọn kì cục, vì cả lí thuyết lẫn thực nghiệm đều cho biết nhiệt độ tại đó ceramic trở nên siêu dẫn thậm chí còn lạnh hơn cả nhiệt độ cần thiết đối với các kim loại. Như đã lưu ý trong chương 2, Heike Kamerlingh Onnes đã khám phá ra hiện tượng trên vào năm 1911 ở một sợi mỏng thủy ngân đông lạnh ở nhiệt độ thấp – nhỉnh hơn  $4^{\circ}\text{C}$  ( $39^{\circ}\text{F}$ ) trên không độ tuyệt đối một chút thôi – đến mức mọi chất khí, kể cả helium, đều biến thành chất lỏng. Khi trình bày sự siêu dẫn, các nhà vật lí và nhà khoa học khác mô tả nhiệt độ theo thang đo kelvin, hoặc độ Celsius trên không độ tuyệt đối, và tập sách này sẽ tuân theo sự chọn lựa đó. Ví dụ, nhiệt độ chuyển pha siêu dẫn của thủy ngân là  $4,3\text{ K}$ . Lí thuyết Bardeen, Cooper, và Schrieffer (BCS) năm 1957 (xem chương 6) cho biết cơ chế cơ lượng tử của sự siêu dẫn là sự trao đổi các phonon (các lượng tử dao động hay năng lượng âm) giữa các cặp Cooper của các electron. Lí thuyết BCS hướng các nhà khoa học và kỹ sư vật liệu (các nhà nghiên cứu chuyên về chế tạo và nghiên cứu các vật liệu mới) đến các hợp kim trở nên siêu dẫn ở những nhiệt độ ngày một cao hơn. Vào thập niên 1970, họ đã phát triển các hợp kim có nhiệt độ chuyển pha cao đến  $23\text{ K}$ . Ở nhiệt độ này còn băng giá đó, sự tiến bộ bị chững lại. Mục tiêu kì vọng là tạo ra sự siêu dẫn ở một nhiệt độ có thể thu được với nitrogen lỏng ( $77\text{ K}$  hoặc cao hơn) dường như nằm ngoài tầm với.



J. Georg Bednorz (trái) và Alexander Müller, những người có nghiên cứu về sự siêu dẫn ở các vật liệu ceramic mang lại cho họ giải Nobel Vật lí năm 1987, một năm sau khi những người đồng nghiệp IBM của họ Binnig và Rohrer nhận giải (IBM Corporate Archives)

Lí do mong chờ mục tiêu đó thật đơn giản. Sản xuất helium lỏng thì đắt tiền hơn nhiều so với nitrogen lỏng. Để làm chậm sự bay hơi của helium quý giá, toàn bộ hệ thống helium lỏng thực tế phải được bao quanh bởi nitrogen lỏng. Điều đó làm hạn chế các ứng dụng công nghệ của sự siêu dẫn chỉ với một vài ứng dụng khai thác từ trường rất cao tạo ra bởi các nam châm điện chế tạo bằng các cuộn dây siêu dẫn. Đặc biệt, các hợp kim siêu dẫn có tính kinh tế thực tiễn trong phép chụp ảnh cộng hưởng từ (xem chương 8) và trong các nam châm mạnh cần thiết để điều khiển các chùm hạt trong các máy gia tốc hạt. Việc loại bỏ nhu cầu helium lỏng sẽ làm cho các nam châm đó kém phức tạp đi nhiều và giảm chi phí xây dựng và điều hành.

Vậy thì tại sao Bednorz và Müller lại khảo sát các ceramic chứ không phải các hợp kim? Một phần câu trả lời đơn giản là vì sự hiếu kì, họ muốn xem lí thuyết BCS có áp dụng được cho những vật liệu khác ngoài hợp kim ra hay không. Họ sớm nhận thấy là nó không thể. Một trong các ceramic mà họ khảo sát có nhiệt độ chuyển tiếp pha siêu dẫn cao hơn đáng kể so với lí thuyết BCS tiên đoán. Vì nhiệt độ chuyển tiếp vẫn rất thấp, nên sự chênh lệch đo theo thang kelvin là rất nhỏ, nhưng nó là đáng kể khi tính theo tỉ suất phần trăm. Họ nhìn thấy kết quả đó là một gợi ý cho một lộ trình mới dẫn tới sự siêu dẫn ngoài các cặp Cooper và các phonon, và họ bắt đầu tìm kiếm các ceramic khác với điểm chuyển tiếp cao hơn đáng kể. Đầu năm 1986, họ phát hiện thấy sự siêu dẫn ở một họ ceramic gọi là perovskite. Đặc biệt, lanthium-barium-đồng oxide siêu dẫn lên tới 35 K, tăng 50% so với bất kì chất siêu dẫn nào được biết trước đó. Kết quả đó đã kích thích một cuộc đua đi tìm các ceramic siêu dẫn ở cao hơn nhiệt độ của nitrogen lỏng. Trong vòng nhiều tháng, các nhà khoa học đã thành công. Thật bất ngờ, mục tiêu mới là nhiệt độ phòng (chừng 300 K), nhưng sự tiến bộ tiếp tục bị chững lại ở khoảng 130 K, không cao hơn bao nhiêu so với nhiệt độ chuyển tiếp cực đại đã thu được khi Bednorz và Müller giành giải thưởng Nobel Vật lí năm 1987.

Vì vật liệu ceramic có tính giòn, nên chúng khó chế tạo thành dây sợi, làm hạn chế những ứng dụng thực tiễn của chúng cho đến nay. Sự siêu dẫn nhiệt độ phòng dường như vẫn là một mục tiêu không thể đạt tới vì hai nguyên do. Thứ nhất, cho đến nay các nhà vật lí chưa phát triển được một lí thuyết mới hay một sự trau chuốt của lí thuyết BCS để giải thích cái đang xảy ra trong những ceramic này. Thứ hai, đã chẳng có sự tiến bộ nào hướng đến sự siêu dẫn ở những nhiệt độ cao hơn kể từ cuối những năm 1980. Dựa trên lịch sử của sự siêu dẫn, lĩnh vực trên có lẽ còn mang lại nhiều giải thưởng Nobel nữa nếu có một ai đó thực hiện một bước đột phá thuộc một trong hai lĩnh vực vừa nói.

### Nhà khoa học của thập niên: Stephen Hawking (1942– )

Ngày 8 tháng 1 năm 1942, Stephen Hawking chào đời trong một bệnh viện ở Oxford, Anh quốc. Bố mẹ của ông, Frank và Isobel Hawking đã chọn Oxford làm nơi ở cho cậu con trai của họ, thay vì ở gần nhà họ ở Highgate, vùng ngoại ô phía bắc thành London, để tránh nạn Đức ném bom. Mặc dù Thế chiến thứ hai đang diễn ra, những không lực Đức và Anh đều thống nhất không ném bom các trung tâm đại học của hai phía, Oxford và Cambridge, Heidelberg và Göttingen. Cả hai nơi đó và năm tháng chào đời của Hawking đều quan trọng. Ông học đại học ở Oxford và lấy bằng tiến sĩ ở Cambridge, nơi sau này ông đảm nhận vị trí từng là chỗ của ngài Isaac Newton, người tính đến khi ấy vừa mới qua lần sinh nhật thứ 300.

Có lẽ còn trùng hợp đặc biệt hơn nữa là ngày 8 tháng 1 là kỉ niệm ngày mất lần thứ 300 của Galileo Galilei. Với việc hướng chiếc kính thiên văn của ông lên bầu trời, Galileo đã làm thay đổi nhận thức của loài người về những hành tinh khác và vị trí của Trái đất trong



vũ trụ. Trong sự nghiệp của mình, Hawking sẽ trở thành một trong những nhà vật lí thế kỉ 20 làm thay đổi kiến thức khoa học về bản thân vũ trụ. Đối với các đồng nghiệp của ông, trí tuệ lỗi lạc và các án phẩm khoa học của Hawking là những đóng góp quan trọng nhất của ông, nhưng đối với xã hội rộng rãi hơn bên ngoài, thì Hawking nổi tiếng và được đánh giá cao với các quyển sách phổ biến khoa học của ông và với sự lạc quan không thể dập tắt của ông trước số phận bệnh tật ngã.

Stephen nổi bật vì trí thông minh xuất chúng và tinh thần tự do tự nhiên. Cha mẹ ông đều tốt nghiệp trường Oxford, nhưng họ gặp nhau tại học viện y khoa nơi Frank đang nghiên cứu bệnh học nhiệt đới, còn Isobel thì đang làm thư ký. Họ bị xem là có phần lập dị ở St. Albans, cách London 20 dặm về phía bắc, nơi họ chuyển đến lúc Stephen lên tám. Isobel là một trí thức có mối giao tiếp xã hội rộng và nghiêng về các lực lượng chính trị cánh tả, còn Frank thì tham đạm đến mức đáng trách. Ông ít chi tiền cho việc trung diện hoặc cho chiếc xe hơi của gia đình, một chiếc taxi London cũ ông mua với giá 50 bảng.

Trong những năm tháng trung học của Stephen tại trường St. Albans danh tiếng, ông là một học trò bình thường và không có gì xuất sắc. Ông làm tốt các bài thi hơn là bài tập ở nhà, vì ông thích xây dựng các mô hình và phát minh ra các trò chơi phức tạp hơn là làm bài tập ở nhà. Trước mắt, ông nhắm tới mục tiêu là một nhà nghiên cứu giống như cha mình. Stephen thích toán và vật lí, nhưng Frank thuyết phục ông theo học ngành hóa, cái ông xem là có tính thực tiễn hơn, so với toán học. Khi Stephen bắt đầu học thuyết tương đối, việc thiếu các khóa học toán chính thống đã gây cho ông không ít khó khăn, nhưng điều đó khiến ông có hướng suy nghĩ trực quan hơn trong các phương trình. Điều đó tỏ ra là một lợi thế lớn đối với ông khi bệnh tật ập đến và việc viết ra các biểu thức toán học ngày một trở nên khó khăn.

Hawking vào trường Oxford năm 1959, lúc 17 tuổi, vào thời điểm khi mà sự tài hoa của một sinh viên được xem là có giá trị hơn sự nỗ lực hết mình. Chỉ có các kì thi mới là

Khi Hawking bắt đầu làm nghiên cứu tại Cambridge, thì thảm kịch ập đến. Ông biết ông bị mắc chứng xơ cứng cơ vận động (ALS), một chứng bệnh tấn công các cơ, cuối cùng dẫn tới bại liệt và cái chết. Đó là căn bệnh đã cướp đi mạng sống của ngôi sao bóng rổ danh tiếng Lou Gehrig và xóa sổ cái tên Gehrig khỏi làng thể thao nước Mỹ. Dự đoán của bác sĩ là ông chỉ sống hai năm nữa thôi. Lúc đầu, Hawking thấy mình chẳng có nguyên do gì để tiếp tục dự án tiến sĩ, vì ông chẳng có thời gian để hoàn thành nó. Tuy nhiên, sự lạc quan



Stephen Hawking, nhà vật lí danh tiếng, tác giả quyển *Lược sử thời gian* (Ảnh: AIP Emilio Segrè Visual Archives, Physics Today Collection)

quyết định, và giống như nhiều bạn học cùng lớp, ông đã thi đỗ. Ba năm sau, ông sẵn sàng tốt nghiệp. Trường Oxford có bốn mức bằng cấp, và ông được xếp giữa mức hạng nhất và hạng nhì. Ông trình bày với hội đồng xét duyệt rằng ông dự định làm nghiên cứu khoa học ở Cambridge nếu như ông tốt nghiệp hạng cao nhất, và hội đồng đã đồng ý cấp bằng hạng nhất cho ông.

cô hữu của ông cuối cùng đã thắng thế. Ông nhận ra rằng hễ chừng nào ông còn sống và có trí tuệ sáng suốt, ông nên sống vì một cái gì đó. Ông biết bản thân mình sẽ cần sự hỗ trợ, nhưng ông quyết định làm việc trong đa phần thời gian nào mà ông còn có được. Không ai giúp ông nhiều hơn Jane Wilde, người ông gặp trong một buổi tiệc vào năm 1963, không lâu sau khi triệu chứng bệnh ALS của ông khởi phát. Bệnh tật tàn khốc không làm trở ngại con đường tình yêu, và ông cùng Jane sớm trở thành vợ chồng. Các triệu chứng ALS của ông tiến triển nhưng ở tốc độ chậm hơn nhiều so với dự đoán, và ông lấy bằng tiến sĩ vào mùa hè năm 1965. Cặp tình nhân trẻ làm lễ cưới vào tháng 7 năm đó.

Hawking xin vào làm nhà nghiên cứu vật lí lí thuyết tại Cambridge, và ông được nhận vào. Bất chấp bệnh tật hoành hành, ông và Jane vẫn cố gắng sống một cuộc sống bình thường như bao người, kể cả việc có con. Trong công việc, chẳng mất bao lâu thời gian để ông thu hút sự chú ý của các nhà vật lí danh tiếng. Ông chọn nghiên cứu các lỗ đen, đối tượng đã được tiên đoán hồi thập niên 1930 (xem chương 4) nhưng chưa bao giờ được quan sát thấy. Ông muốn hòa giải mô tả toán học của một lỗ đen, cái tiên đoán một “kì dị” mật độ vô hạn tại tâm của nó, với thế giới vật lí trong đó các kì dị là chuyện không thể. Hợp tác với Roger Penrose (1931– ) thuộc trường Oxford, người có năng khiếu toán học bổ sung cho trí tuệ vật lí của ông, Hawking đã phát triển một lí thuyết mô tả cơ sở vật lí của các lỗ đen nhưng tránh được điểm kì dị.

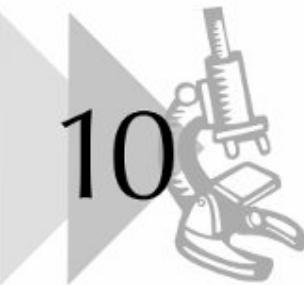
Vào đầu thập niên 1970, các nhà thiên văn phát hiện ra một vật thể phát ra tia X nằm trong chòm sao Cygnus, và họ đặt tên cho nó là Cygnus X-1. Năm 1974, Hawking và đa số các nhà thiên văn vật lí biểu hiện 80% chắc chắn rằng vật thể đó là một lỗ đen với một ngôi sao quay xung quanh nó. Các tia X là kết quả của sự phát xạ từ các chất khí của ngôi sao trên khi chúng bị hút vào trong lỗ đen và bị nung nóng lên những nhiệt độ cao khủng khiếp. Vốn ranh mãnh, Hawking đã tự cấp cho mình một “hợp đồng bảo hiểm” nếu như ông phạm sai lầm. Ông đánh cược với người bạn thân, Kip Thorne (1940– ), một nhà thiên văn vật lí tại Caltech, hứa đặt mua cho Thorne một năm tạp chí *Penthouse* nếu Cygnus X-1 hóa ra có chứa một lỗ đen. Nếu không thì ông sẽ có miễn phí bốn năm tạp chí *Private Eye* của Anh. Năm 1990, mức độ chắc chắn rằng Cygnus X-1 là một lỗ đen đã tăng lên 95%, và Hawking đã thua cuộc.

Năm 1982, đối mặt trước những khoản chi tiêu lớn cho phí chăm sóc sức khỏe của ông và tiền học phí của con ông, Hawking chuyển sang tìm nguồn thu nhập bổ sung. Ông luôn luôn thích chia sẻ nghiên cứu của mình với một cộng đồng độc giả rộng rãi hơn là chỉ với các đồng nghiệp và sinh viên của mình, và ông tin tưởng rằng ông có thể viết một quyển sách ngắn cho độc giả phổ thông, nói về các quan điểm độc đáo của ông về vũ trụ. Tập sách *Lược sử thời gian: Từ Big Bang tới các lỗ đen* đã không xuất hiện thuận lợi như ông nghĩ – nó không được xuất bản mãi cho đến năm 1988, nhưng sự thành công của nó đã vượt ngoài sự trông đợi lạc quan nhất của ông.

Bất chấp tình trạng bệnh tật, Hawking luôn xem cuộc sống của ông là “bình thường”, ngay cả sau đợt phẫu thuật mở khí quản khẩn cấp đã cướp đi giọng nói của ông vào năm 1985. Người bình thường thỉnh thoảng hay li hôn, và Jane cùng Stephen Hawking đã li dị vào năm 1990. Ông và một trong những người y tá của mình, Elaine Mason, bỏ chồng bỏ vợ đến sống với nhau, và cuối cùng thì lấy nhau. Chồng của Elaine, David, đã thiết kế phần cứng máy tính cho chiếc xe đẩy của Hawking.

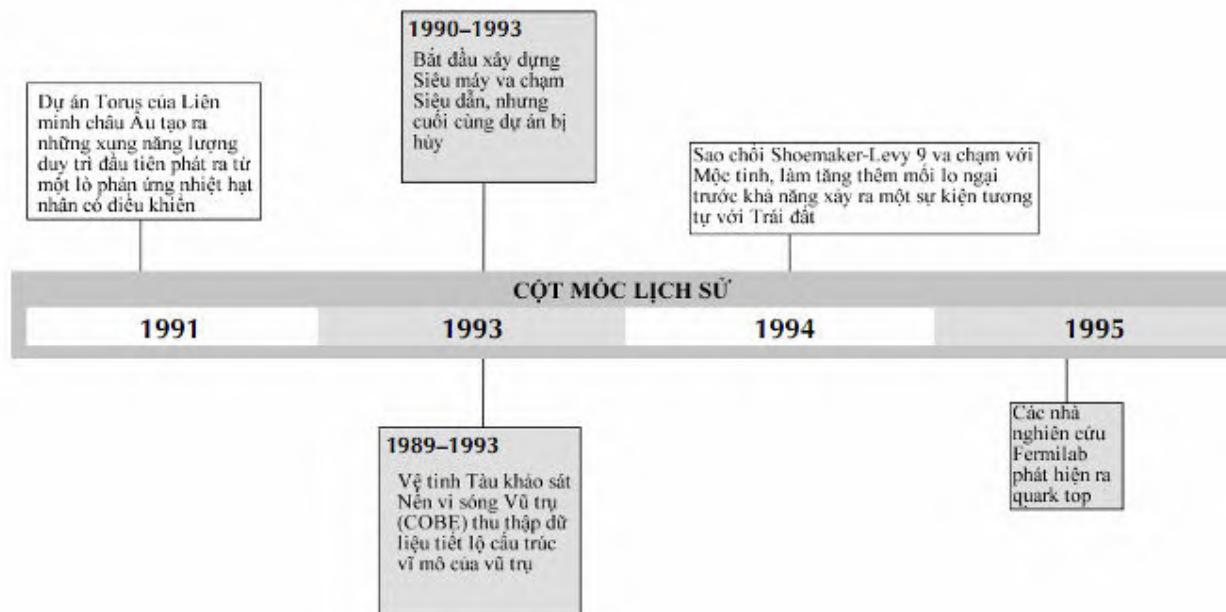
Ngày nay, Stephen Hawking vẫn đang tiếp tục nghiên cứu và viết lách. Năm 2002, trường Đại học Cambridge đã tổ chức kỉ niệm sinh nhật lần thứ 60 của ông với một hội nghị chuyên đề mang tên *Tương lai của Vật lí lí thuyết và Vũ trụ học*, xuất bản các bài thuyết trình dưới dạng một quyển sách, và phát chúng trên đài truyền hình BBC. Hawking chẳng đánh cược là ông còn tổ chức sinh nhật được bao nhiêu lần nữa, nhưng rõ ràng ông muốn sống lâu hơn bất kì dự đoán nào mà các bác sĩ của ông nêu ra.





## 1991 – 2000 Các kết nối vũ trụ

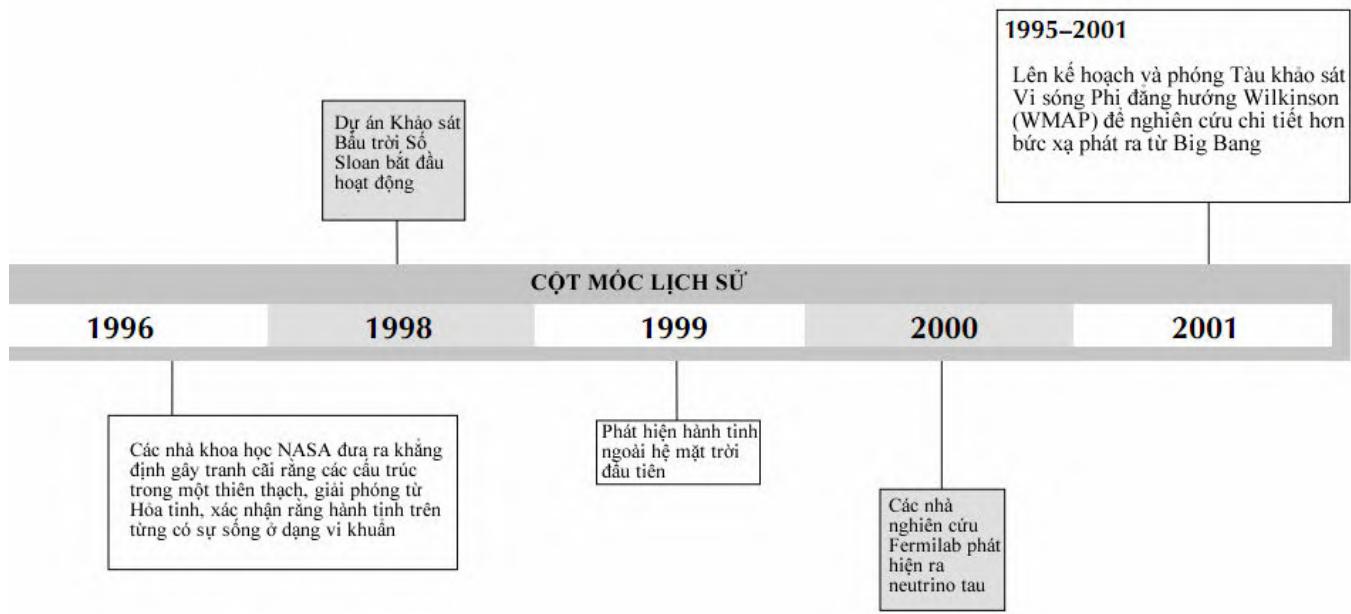
Thập niên 1990 không giải quyết gì được nhiều những câu hỏi còn bỏ ngỏ của lí thuyết dây và những nỗ lực khác nhằm thống nhất các lực cơ bản. Có một số tiến bộ nhưng chẳng bất ngờ trong ngành vật lí hạt cơ bản. Việc phát hiện ra quark đỉnh (trên) và neutrino tau tại Phòng thí nghiệm Máy gia tốc Quốc gia Fermi (Fermilab), ở Batavia, Illinois, đã hoàn tất mô hình chuẩn của ngành vật lí hạt, công trình đỉnh điểm khai nguồn bởi Gell-Mann tận 30 năm về trước. Đó cũng là giai đoạn mà những khám phá quan trọng trong những lĩnh vực khoa học khác được thực hiện bởi sự tiến bộ công nghệ không ngừng. Những người đọc các sách phổ biến khoa học của Hawking đã có những câu hỏi vũ trụ học mới để thưởng thức, mang lại bởi một đài thiên văn đang quay trên quỹ đạo gọi là Tàu khảo sát Nền vi sóng Vũ trụ (COBE) và những kết quả đầu tiên từ dự án đầy tham vọng Khảo sát Bầu trời số Sloan (SDSS). Những ai chia sẻ bầu nhiệt huyết của Sagan về nền văn minh ngoài địa cầu có cái để quan tâm với đá sao Hỏa, còn những ai chia sẻ mối quan tâm đến môi trường của ông (thường cũng là những người trên) thì lo âu bởi bằng chứng tăng dần của sự ấm lên toàn cầu do hoạt động của con người gây ra. Kiến thức vật lí ngày một trở nên quan trọng trong chính sách năng lượng toàn cầu và chính sách môi trường.



Đặc biệt ở nước Mỹ, việc giảng dạy khoa học trở thành một vấn đề chính trị nóng bỏng. Nhà khoa học nổi bật của chương này, cựu giám đốc Fermilab, Leon Lederman, luôn



luôn xem trọng việc đào tạo. Lúc về hưu, ông đã dốc bầu nhiệt huyết của mình và tranh thủ các cơ hội để tạo ra sự đổi mới phương thức tuồi trẻ học tập khoa học. Ông sử dụng uy tín nhà khoa học đạt giải Nobel của mình và địa vị của ông trong cộng đồng vật lí học để tạo điều kiện thuận lợi cho công trình mới của ông đưa đến một chương trình đào tạo khoa học mẫu mực ở các trường công Chicago và một kho tài nguyên giáo dục quốc gia về vật lí hạt cơ bản tại Fermilab và trên trang trực tuyến.



## Vật lí hạt cơ bản: Hoàn tất Mô hình Chuẩn

Sau việc khám phá ra meson J/psi và quark duyên vào năm 1974, các nhà vật lí đã có một cảm giác ngắn ngủi rằng họ đã hoàn tất bức tranh hạ nguyên tử (xem chương 8). Lúc ấy, họ biết hai “thế hệ” hạt sơ cấp. Thế hệ thứ nhất gồm các hạt cấu tạo nên vật chất bình thường: các quark up (lên) và down (xuống) kết hợp thành proton, neutron và các pion của lý thuyết lực mạnh Yukawa; cộng với hai lepton, electron và neutrino của nó. Thế hệ thứ hai gồm thêm hai quark nữa (quark lạ và quark duyên) và hai lepton nữa (muon và neutrino của nó) giải thích cho tính chất mà Gell-Mann gọi là tính lạ và tính duyên cần thiết để thống nhất lực điện yếu. Cảm giác hoàn tất bị vỡ tan tành vào năm 1975 với sự khám phá ra một lepton mới, hạt tau. Điều đó gợi ý rằng còn tồn tại một thế hệ hạt sơ cấp thứ ba, bao gồm một cặp quark khác (quark đỉnh/sự thật [top/truth] và quark đáy/đẹp [bottom/beauty]) và một neutrino tau. Không biết thế hệ đó có hoàn tất cái đang gọi là mô hình chuẩn của các hạt hạ nguyên tử hay không? Các máy gia tốc đang đạt tới các năng lượng ngày một cao hơn, cho nên câu hỏi sau đây tự nhiên phát sinh: Có một thế hệ hạt sơ cấp thứ tư, rồi thứ năm, thứ sáu, vân vân, hay không?

Khi bước sang thập niên 1990, quark đỉnh và neutrino tau vẫn chưa được phát hiện ra, và đã 15 năm trôi qua kể từ khi Lederman và đội của ông tìm ra bằng chứng của quark đáy ở dạng hạt upsilon (xem chương 7). Các nhà vật lí bắt đầu nghi ngờ rằng thế hệ thứ ba có lẽ đã là cuối cùng, nhưng họ luôn nắm lòng một câu ngạn ngữ quan trọng trong khoa học: “Không có bằng chứng không có nghĩa là bằng chứng của không có”. Vào cuối thập niên 1990 và thế kỷ thứ 20, họ vẫn thiêu bằng chứng rằng ba thế hệ hạt như thế là đủ,



nhưng họ có ý tưởng về nơi cần khảo sát: đi sâu vào lòng đất với các máy dò neutrino cỡ lớn (xem chương 11).

Các phòng thí nghiệm máy gia tốc trọng yếu trên khắp thế giới liên tục phát triển các kĩ thuật và dụng cụ dò tìm mới, và khảo sát những va chạm năng lượng ngày một cao hơn. Khi năng lượng càng cao, nó mang lại cơ hội sản sinh ra các hạt với khối lượng càng lớn. Quark đỉnh được kì vọng nặng gấp 40 lần quark đáy, nhưng vào năm 1995, công nghệ dò tìm nó mới xuất hiện. Vào năm đó, hai đội nghiên cứu tại Fermilab đã tìm thấy bằng chứng thuyết phục của các quark đỉnh trong các thí nghiệm va chạm năng lượng cao của họ. Để hoàn thiện thế hệ thứ ba của các hạt sơ cấp hạ nguyên tử, chỉ có neutrino tau vẫn chưa chịu xuất đầu lò điện. Một lần nữa, chính các nhà nghiên cứu Fermilab đã thực hiện khám phá quan trọng trên vào năm 2000, năm cuối cùng của thế kỉ 20.

Không có dấu hiệu nào của một thế hệ nữa của các hạt sơ cấp hạ nguyên tử xuất hiện ở chân trời, nhưng vẫn có sức hút quốc tế trong việc xây dựng những cỗ máy gia tốc hạt với năng lượng cần thiết để tìm kiếm boson Higgs (xem chương 7). Ở Mĩ, dự án Siêu máy va chạm Siêu dẫn (SSC) bắt đầu định hình vào những năm 1980 và được chính phủ phê duyệt vào năm 1987. Nó đòi hỏi các nam châm siêu dẫn khổng lồ cho phép các hạt chuyển động trong một đường hầm tròn chu vi 54 dặm (87 km). Giữa năm 1990, một mẫu thiết kế kĩ thuật đầy đủ đã hoàn tất, và việc xây dựng bắt đầu triển khai không bao lâu sau đó. Vào năm 1993, sau khi đã chi 2 tỉ USD cho dự án và đã làm xong 14 dặm (22,5 km) đường hầm, Quốc hội Mĩ đã hủy bỏ dự án. Các nhà khoa học chuyển hướng sang CERN tìm kiếm sự tiếp nối theo về năng lượng, nơi Máy Va chạm Hadron Lớn được trông đợi đi vào hoạt động vào năm 2007.

## MÔ HÌNH CHUẨN

### Ba thế hệ vật chất

	Thế hệ 1	Thế hệ 2	Thế hệ 3	Hạt mang lực
Quark	Lên (Up)	Duyên (Charm)	Đỉnh (Top)	Photon (Lực điện từ)
	Xuống (Down)	Lạ (Strange)	Đáy (Bottom)	Gluon (Lực hạt nhân mạnh)
Lepton	Neutrino electron	Neutrino muon	Neutrino tau	Boson Z (Lực điện yếu)
	Electron	Muon	Tau	Boson W (Lực hạt nhân yếu)

Trong khi đó, các nhà lí thuyết đang vật lộn với bài toán thiếu hụt neutrino và câu hỏi neutrino có khối lượng hay không. Khối lượng neutrino có thể tiến một hành trình dài để giải thích vấn đề thiếu hụt neutrino mặt trời. Vào những năm cuối cùng của thập niên 1990, một số nhà lí thuyết bắt đầu xem neutrino electron, neutrino muon và neutrino tau không phải là ba hạt khác nhau mà là ba mốt của cùng một hạt. Để cho giả thuyết đó phù hợp với lí thuyết vật lí, neutrino (hay các neutrino) phải có khối lượng và khối lượng đó phải thay đổi khi neutrino biến đổi mốt của nó. Nếu các neutrino thật sự là các mốt chứ không phải là những hạt riêng lẻ, thì chúng sẽ dao động giữa các mốt khi chúng truyền trong không gian. Sự dao động như vậy có nghĩa là neutrino mặt trời, phát ra dưới dạng các neutrino electron, sẽ đi tới Trái đất với một hỗn hợp bằng nhau của cả ba mốt. Nếu các máy dò neutrino chỉ phản ứng với neutrino electron, thì hai phần ba số neutrino mặt trời đó sẽ thoát khỏi phạm vi dò. Điều đó thật sự là đúng, nhưng phải sang thế kỉ mới thì kết quả rạch ròi mới xuất hiện (xem chương 11). Kết quả đó cũng bác bỏ một thế hệ thứ tư của các hạt sơ cấp hạ nguyên tử, chúng đòi hỏi một mốt neutrino thứ tư, mâu thuẫn với bằng chứng



mạnh mẽ hiện nay cho ba môt. Mô hình chuẩn của ngành vật lí hạ nguyên tử dường như đã hoàn tất với ba thế hệ của bốn hạt: một lepton và một neutrino tương ứng của nó, cộng với một cặp quark.

## Những bất ngờ trong vũ trụ học

Những khám phá trong ngành vật lí hạt cơ bản trong những năm 1990 là có thể đoán trước, nhưng còn lĩnh vực có liên quan gần gũi nhất, vũ trụ học, hóa ra lại chứa đầy những bất ngờ. Làm thế nào cơ sở vật lí của vũ trụ xem như một tổng thể lại có quan hệ gần gũi với ngành vật lí hạt cơ bản? Câu trả lời nằm ở chỗ sự nỗ lực tìm hiểu bản thân Big Bang. Trong những thời khắc đầu tiên như khoa học biết về nó, toàn bộ vật chất trong vũ trụ tập trung vào một thể tích rất nhỏ. Thời kì lạm phát vũ trụ kết thúc khi vũ trụ khoảng một phần trăm của một phần triệu triệu triệu triệu giây tuổi. Sau đó, trong vài micro giây (phần triệu của giây) đầu tiên còn lại, vật chất của vũ trụ không còn nóng và bị nén nên các meson và baryon không còn ở chung với nhau nữa. Thay vào đó, toàn bộ vật chất trong vũ trụ ở trong một dạng gọi là plasma quark-gluon. Vào giữa thập niên 1990, những cỗ máy gia tốc hạt mạnh nhất thế giới đã có khả năng tạo ra một trạng thái của vật chất tương tự như thế. Các nhà vật lí không thông nhất với nhau được rằng các plasma quark-gluon thật sự có được tạo ra trong những cỗ máy gia tốc đó hay không, nhưng họ hi vọng nhất định Máy Va chạm Hadron Lớn sẽ tạo ra được kì công như vậy. Khi điều đó xảy ra, họ hi vọng có thể thiết kế các thí nghiệm để nghiên cứu các điều kiện tồn tại ngay trước khi các meson và baryon – những hạt sơ cấp mà chúng ta biết – đi vào hiện hưu.

Nói cách khác, mục tiêu là kiểm tra các lí thuyết của tổng thể vũ trụ trong các phòng thí nghiệm của một hành tinh bé nhỏ. Sức cuốn hút đối với công việc đó ngày một tăng dần trong thập niên 1990 khi các nhà thiên văn phát triển các công cụ để trau chuốt bức tranh của họ về Big Bang bằng cách nghiên cứu ánh sáng rất sơ khởi và những ngôi sao đầu tiên. Ánh sáng đầu tiên đã rời khỏi nguồn phát của chúng cách nay bao lâu rồi? Để trả lời câu hỏi đó đòi hỏi phải xét kỹ hơn về các sự kiện xảy ra sau thời kì plasma quark-gluon, khi các quark trong vũ trụ đang nguội đi hình thành nên các cặp (meson) và các bộ ba (baryon). Khi vật chất đó ngày một lạnh đi và phân tán rộng ra hơn, lực điện từ và lực hấp dẫn bắt đầu giữ một vai trò quan trọng hơn. Sau khoảng 380.000 năm (khoảng 1/36.000 cái tuổi 13,7 tỉ năm của vũ trụ), vật chất vũ trụ đã nguội đi tới điểm các nguyên tử có thể hình thành. Tại điểm đó, vũ trụ trở nên trong suốt, cho nên đó là tuổi của ánh sáng le lói cổ xưa nhất trong phòng nền vũ trụ. Sau đó, lực hấp dẫn hút các nguyên tử lại với nhau, tạo thành các đám mây khí và các ngôi sao. Sự kiện đó xảy ra lúc khoảng 200 triệu năm – chưa tới 2% tuổi của vũ trụ.

Bức xạ nền vũ trụ chứa các thông tin về những sự kiện sơ khai đó, cho nên chúng có thể được nghiên cứu trực tiếp. Trong thời gian trước đó, từ lúc vũ trụ là một plasma quark-gluon cho đến lúc nó trở nên trong suốt, các nhà vật lí thuộc thập niên 1990 đã và đang phát triển các lí thuyết để mô tả sự tiến triển của nó. Các nhà vật lí hat hi vọng nghiên cứu plasma quark-gluon đó trong các máy gia tốc hạt của họ, còn các nhà thiên văn thì hi vọng phát hiện ra ánh sáng sơ khai nhất và những ngôi sao đầu tiên với những tiến bộ công nghệ mới nhất của họ. Một lí thuyết giải thích thành công cả hai hệ thống quan sát có thể hợp nhất tất cả các lực cơ bản, toàn bộ vật chất và năng lượng, và bao trùm lịch sử của toàn bộ vũ trụ từ sơ cấp cho đến vĩ mô. Đó chắc chắn sẽ là một kì công, một lí thuyết của tất cả!

Một lí thuyết thì không mạnh hơn hệ dữ liệu mà nó xây dựng trên đó. Các nhà vũ trụ học nhận ra rằng họ cần có một bức tranh cụ thể hơn nhiều của vũ trụ xa xôi, bao gồm cả phòng nền vũ trụ. Vào ngày 18 tháng 11 năm 1989, NASA đã cho phóng vệ tinh Tàu khảo sát Phòng nền Vũ trụ (COBE) vào quỹ đạo gần địa cực của Trái đất cho phép ba thiết



bị khoa học chủ chốt của nó khảo sát toàn bộ bầu trời trong hành trình một năm. Nó tiếp tục hoạt động cho đến cuối năm 1993. Nó không những mang lại bằng chứng rõ ràng ủng hộ cho lí thuyết Big Bang, mà nó còn làm sáng tỏ rằng vũ trụ có một cấu trúc tương tự như các bọt bóng xà phòng nối lại với nhau. Các nhà thiên văn vốn biết rằng các thiên hà tập trung thành các đám, nhưng COBE tiết lộ dấu hiệu của các siêu đám – tức các đám tập trung của các đám thiên hà – trải ra tựa như những tảng vật chất mỏng khổng lồ bao xung quanh những khoảng trống rỗng mênh mông. Lời giải thích có khả năng nhất cho cấu trúc đó là nó có nguyên do từ sự không đồng đều trong sự phân bố vật chất sơ khai nhất hình thành lúc Big Bang, bị thổi phồng lên bởi sức hút hấp dẫn. Những khám phá đó đã mang lại Giải Nobel Vật lí năm 2006 cho những người đứng đầu nhóm khoa học COBE, John C. Mather (1946–) và George F. Smoot (1945–).

Các kết quả của COBE thật khó hiểu, và các nhà vũ trụ muốn có nhiều thông tin hơn. Vào năm 1995, họ bắt đầu lên kế hoạch cho một dự án đầy tham vọng, Tàu khảo sát Vi sóng Phi đăng hướng Wilkinson (WMAP), để lập bản đồ phóng nền vũ trụ một cách sắc nét hơn. NASA đã phê chuẩn, đồng ý cho phát triển sứ mệnh đó vào năm 1997, và nó đã được phóng lên quỹ đạo vào ngày 30 tháng 6 năm 2001. Các kết quả sơ bộ đáng chú ý của dự án đang triển khai này, trong đó có việc xét lại nhu cầu cần có hàng số vũ trụ Einstein (xem chương 2-3), đã được mô tả trong chương 11.

Cả COBE lẫn WMAP không dự định phát hiện hay đo lường tùng thiên hà một. Nói chung, chúng thuộc về các nghiên cứu nằm trong một rừng nghiên cứu khổng lồ, nhưng trừ khi có ai đó chỉ tên được từng bụi cây riêng lẻ, còn không thì các kết luận vẫn đáng nghi ngờ. Đó là động lực cho dự án Khảo sát Bầu trời Số Sloan (SDSS) bắt đầu vào năm 1998 là một dự án 5 năm, nhằm tổng điều tra dân số thiên hà trong một phần tư của bầu trời. Dự án bao gồm một số lượng lớn các đài thiên văn mặt đất lớn nhất trên thế giới, và Kính thiên văn vũ trụ Hubble, tất cả đều đang khảo sát ở những giới hạn của sự quan sát. Giống như WMAP, SDSS đã mang lại những kết quả đáng kể (xem chương 11), và cả hai hiện đang làm sáng tỏ cho các nghiên cứu vũ trụ học.

## Các phát triển khác liên quan đến vật lí trong thập niên 1990

Nghiên cứu và tiến bộ tiếp tục phát triển trong một số lĩnh vực công nghệ liên quan đến vật lí trong thập niên 1990, nhưng không có những đột phá lớn nào. Sự phát triển công nghệ điện tử tiếp tục trên con đường dễ thấy rõ của nó, nhưng các thành tựu chủ yếu tập trung vào các kĩ thuật xử lí chất liệu dẫn tới sự thu nhỏ kích cỡ và tăng tốc độ, chứ không phải những nguyên lí vật lí mới. Những tiến bộ đó đã làm tăng thêm nhu cầu sử dụng và số lượng điện thoại, và sự bùng nổ của Internet và World Wide Web. Những người chưa bao giờ nghe nói tới e-mail và “lướt net” vào năm 1991, thì chỉ vài năm sau đã trở thành những người dùng thường xuyên. Tương tự, nghiên cứu tiếp tục triển khai trong lĩnh vực siêu dẫn, nhưng không ai thực hiện bước đột phá nào, hoặc là tìm ra những họ chất liệu siêu dẫn mới, hoặc là phát triển một lí thuyết kiểu BCS áp dụng cho các chất siêu dẫn nhiệt độ cao mới của thập niên 1980.

Thập niên 1990 đã bắt đầu với niềm hi vọng dùng sự nhiệt hạt nhân làm một nguồn cấp điện tối hậu. Năm 1991, dự án Torus Liên minh châu Âu (JET) đã tạo ra những xung năng lượng duy trì đầu tiên từ một lò phản ứng nhiệt hạt nhân có điều khiển. Dự án tiếp tục triển khai, nhưng tính khả thi thương mại tương lai của nó vẫn hết sức mơ hồ. Thật không may, vì vào cuối thập niên 1990, một số tổ chức khoa học chính yếu đã tuyên bố rằng việc đột các nhiên liệu hóa thạch là một vấn đề toàn cầu nghiêm trọng. Một số nhà khoa học cảnh báo rằng nhiệt độ đang tăng dần, đặc biệt ở Bắc Cực, là dấu hiệu của những vấn đề



lớn thách thức sự ổn định chính trị và sự phát triển kinh tế trong thế giới thế kỉ 21. Điều quan trọng là đi tìm các nguồn năng lượng không sản sinh ra carbon dioxide.

Trong các ngành khoa học vật chất, một vài sự kiện quan trọng trong lĩnh vực thiên văn học hành tinh đã thu hút sự chú ý của công chúng. Năm 1994, “chuỗi cườm” kì lạ của sao chổi Shoemaker-Levy 9, đã phát hiện ra trước đó một năm, lao vào các chỏp mây của Mộc tinh, tạo ra cảnh tượng hoành tráng khi đá vũ trụ va chạm thường xuyên với các hành tinh. Khi đó, lời giải thích của đội Alvarez về sự bất thường iridium là hệ quả của một vụ va chạm tiểu hành tinh hồi 65 triệu năm trước được chấp nhận rộng rãi. Đa số các nhà khoa học xem hố Chicxulub là “vết súng”. Sự kết hợp của hai sự kiện ngoạn mục đã làm tăng thêm nhận thức của công chúng trước sự nguy hiểm rất thực tế nhưng xa xôi của các vụ va chạm vũ trụ. Các nhà văn viễn tưởng đã sáng tác nhiều tiểu thuyết và kịch bản phim (thí dụ như *Chạm trán Khốc liệt* and *Quyết chiến*) dựa trên các va chạm đến từ vũ trụ, nhưng điều quan trọng hơn, một số chính phủ đã tăng thêm tài trợ cho các dự án nhận dạng cái gọi là các vật thể gần Trái đất có nguy cơ va chạm với hành tinh chúng ta.

Một khám phá hành tinh học đình đám khác xuất hiện vào năm 1996, khi một nhóm nhà khoa học NASA đưa ra một công bố đầy kịch tính về một thiên thạch mà họ đang nghiên cứu. Tên gọi là Thiên thạch ALH84001, tảng đá trên trước đó được nhận dạng là một mảnh của sao Hỏa đã bắn vọt vào vũ trụ do một cú va chạm thiên thạch và cuối cùng rơi xuống Trái đất. Nó là một tảng đá cổ và phức tạp với một lịch sử địa chất hấp dẫn, trong đó có những giọt trầm tích nhỏ lắng đọng bởi nước chảy trong lịch sử sao Hỏa thời sơ khai. Các ảnh chụp hiển vi điện tử và phân tích vi cơ cho thấy các khoáng chất và cấu trúc được xem là những dấu hiệu của sự sống vi sinh trong một tảng đá trên Trái đất. Có thể sự sống đã phát sinh trên sao Hỏa đồng thời với lúc nó phát sinh trên Trái đất chăng? Bằng chứng thật trêu người nhưng không có sức thuyết phục. Các nhà phê bình thì đưa ra những lời giải thích khác, và các luận cứ xác thực cho kết luận ban đầu tiếp tục được nêu ra. Mặc dù không có bên nào có được kết luận cuối cùng, nhưng cả hai phe đều thống nhất rằng cần có thêm bằng chứng mới có thể kết luận dứt khoát được. Một bằng chứng như vậy có thể sẽ xuất hiện trong vòng chừng vài thập niên tới, là kết quả của các sứ mệnh rõ bót (và có khả năng cả con người nữa) lên sao Hỏa.

Vào giữa thập niên 1990, sự chú ý của công chúng chuyển sang các hành tinh nằm ngoài Hỏa tinh và Mộc tinh. Một vài đội nghiên cứu thiên văn đã phát triển các kỹ thuật nhận dạng các hành tinh ngoài hệ mặt trời, nghĩa là các đồng hành hành tinh của những ngôi sao khác, ngoài Mặt trời của chúng ta ra. Vào cuối thế kỉ 20, người ta đã biết có hàng chục ngôi sao có các hành tinh, và rõ ràng những hệ hành tinh như thế là phổ biến. Công nghệ kính thiên văn chưa phát triển tới mức có thể nhận dạng ra các hệ hành tinh có thể chứa những vật thể giống Trái đất, nhưng một số thiết bị săn lùng hành tinh đặt trên mặt đất và trong không gian đã và đang được phát triển khi thế kỉ mới và thiên niên kỉ mới bắt đầu vào năm 2001.

#### Nhà khoa học của thập niên: Leon Lederman (1922–)

Đối với Leon Lederman, sự thành công bắt đầu với một chút khôi hài. Như ông trả lời một phóng viên hồi năm 1992, khôi hài là “một kết quả gây sốc kì lạ, một điểm nút cho câu chuyện anh kể, và đó là cái thể hiện trong nghiên cứu [khoa học]”. Như đa số các hồ sơ trong tập sách này nhắc tới, các nhà khoa học thành công thường không giải những bài toán khó chỉ với những kỹ năng siêu hạng. Nhiều con người lỗi lạc với những kỹ năng đó đã chẳng tìm ra một giải pháp nào. Đó là một bước ngoặt trí tuệ khác thường, khả năng nhìn thấy một vấn đề từ một góc độ khác mà trong đa số trường hợp, thường thì nó mở ra một cánh cửa trước đây chẳng ai để ý thấy. Trong cuộc đời thành công ở nhiều cấp độ - khoa học, quản lí và dịch vụ công – Lederman luôn có sở trường tiến thẳng tới trung tâm của



một ván đè và theo đuổi những cái khác mà nó cũng có thể giải quyết.

Leon Lederman chào đời ở thành phố New York, vào ngày 15 tháng 7 năm 1922, là con trai thứ hai trong một gia đình dân di cư Do Thái gốc Nga. Mặc dù cha mẹ ông chẳng có người nào đi học, nhưng họ xem trọng sự giáo dục và đã khích lệ Leon vào trường Cao đẳng thành phố New York, nơi ông theo đuổi chuyên ngành hóa học và tốt nghiệp vào năm 1943. Sau đó, ông phục vụ ba năm trong quân đội Mĩ, nơi ông nghiên cứu về radar. Khi rời quân ngũ, ông vào trường Đại học Columbia và nghiên cứu vật lí. Việc thích nghi với trường lớp quá thật khó khăn sau khoảng thời gian phục vụ trong quân đội thời chiến, và các điểm số năm nhất của ông thật tệ. Ông sớm lấy lại nền tảng của mình, tốt nghiệp cử nhân vào năm 1948, và tiếp tục học lên tiến sĩ vào năm 1951.

Ông có một số lời mời công tác, trong đó có lời mời ở lại trường Columbia, nơi họ vừa mới bắt đầu phát triển một chương trình về vật lí hạt cơ bản. Ông đã khởi động một số dự án thuộc lĩnh vực đó và quyết định ở lại đó trong vài ba năm để giữ tinh thần nhiệt huyết. Một vài năm đó hóa ra đã thành sự nghiệp của một đời. Phần lớn nhờ vào nghiên cứu của Lederman, trường Columbia đã trở thành một trong những trung tâm nghiên cứu vật lí năng lượng cao hàng đầu thế giới. Vào cuối những năm 1950 và đầu những năm 1960, ông là một phần của đội khoa học đã phát hiện ra sự vi phạm đối xứng CP trong sự phân hủy của kaon (đã mô tả ngắn gọn trong chương trước khi nói về meson B). Năm 1962, Lederman và các đồng nghiệp của ông tại Columbia đã phát triển một phương pháp tạo ra và phát hiện các muon neutrino, công trình mà nhờ đó, 26 năm sau, họ đã giành Giải Nobel Vật lí.



Leon Lederman vào sáng hôm trao giải Nobel Vật lí năm 1988 (Ảnh: Interactions.org và Fermilab Visual Media Services)

Lederman là một trong những người nỗ lực sáng lập Fermilab, và ông bắt đầu làm việc ở đó trong khi vẫn giữ cương vị người đứng đầu Phòng thí nghiệm vật lí năng lượng cao Nevis danh tiếng của trường Columbia. Năm 1977, ông lãnh đạo đội khoa học tìm ra hạt upsilon, chứng minh sự tồn tại của quark đáy (bottom). Ông rời trường Columbia vào năm 1979 để làm giám đốc Fermilab, chức vụ ông giữ liên tục trong 10 năm. Với vai trò giám đốc, Lederman là một vị lãnh đạo trùm sinh. Ông sử dụng tiếng tăm hài hước của mình mà tuyên bố rằng ông không nghiêm túc cho lắm, nhưng các dự án là những công việc quan trọng và đòi hỏi sự sáng tạo nhất và làm việc cật lực nhất của mọi người.

Lederman tiếp cận nghiên cứu khoa học với đa phần kinh nghiệm giáo dục của một nhà khoa học, một nền giáo dục không bao giờ dừng lại miễn là nhà khoa học còn sống. Là một vị giáo sư, ông giảng dạy và học hỏi từ hơn 50 sinh viên. Tại Columbia, nếu ông nghỉ một học kì để dành thời gian cho công trình thực nghiệm của mình, thì khi trở lại, ông luôn giảng dạy với chương trình tăng cường và nặng tải hơn. Ông tin rằng mỗi người trẻ tuổi đáng được hưởng một nền giáo dục nghiêm túc và ông để ý thấy nhiều trường tiêu học và

trung học không làm tròn bổn phận giáo dục khoa học như thế. Ông muốn làm một cái gì đó cho nền giáo dục, và ông đã giành Giải Nobel năm 1988 vì đã biến điều đó thành có thể.

“Tôi không muốn thấy mọi người nhìn nhận vấn đề này với sự sợ hãi như thế”, ông trả lời với một phóng viên báo chí. “Tôi thật sự đã có chút ý nghĩ thoáng qua về nó. Trên hết thảy, anh nên trở thành một chuyên gia về mọi thứ. Người ta phỏng vấn anh. “Ngài nghĩ gì về món nợ của đất nước Brazil, hay an ninh xã hội, hay chiếc áo đầm của phụ nữ?” Ông nhận ra rằng lúc này ông đã có cơ hội tốt. “Nếu anh muốn làm cái gì đó qua con đường giáo dục, hay chính sách khoa học, hay... thay đổi các điều luật, hay làm cho mọi người tích cực lên, thì chàng trai trẻ à, việc có một giải Nobel sẽ giúp anh rất nhiều! Anh có thể tiếp cận những nơi bình thường rất khó tiếp cận”.

Không chỉ có giải Nobel mở ra những cánh cửa mới đó cho Leon Lederman. Không bao lâu sau khi ông rời Columbia đến điều hành Fermilab, ông bắt đầu thấy nhớ việc giảng dạy và ông nhanh chóng tìm giải pháp trở lại tham gia vào công tác giáo dục. Ông khởi xướng một chương trình dành cho học sinh trung học gọi là chương trình Vật lí Sáng Chú nhật. Như thường lệ, Lederman không chỉ giảng dạy, mà ông còn học hỏi nữa. Ông phát hiện ra rằng nhiều giáo viên không có sự chuẩn bị chu đáo để xử lý với những học sinh có năng khiếu. Ông bắt đầu nhìn vào hệ thống giáo dục hổ khi nào công việc cho phép ông có thời gian. Năm 1988, ông chuyển đến Chicago, nơi hệ thống giáo dục công lập có 400.000 học sinh, và quyết định thực hiện một sự đổi mới.

Sở trường nhìn nhận vấn đề một cách khác đi của Lederman đưa ông đến với câu hỏi này: Với rất nhiều học sinh trong hệ thống trường lớp, vì sao có ít người trong số chúng dẫn thân cho khoa học? Đa số thanh niên bước vào trường học với nhiều câu hỏi, và câu hỏi vốn là bản chất của khoa học. Cái gì xảy ra với chúng trên con đường học vấn? Lederman nhận ra cái thường xảy ra, không phải cái xảy ra mà là cái không xảy ra. Có quá ít giáo viên được đào tạo toán học và khoa học, và vì thế họ chẳng biết nên làm thế nào để khích lệ học sinh. Thường thì họ thấy các câu hỏi thật đáng sợ, và họ hăm hở dập tắt trí tò mò của học sinh. Họ không phải là những giáo viên tệ, mà chỉ vì không được đào tạo tốt. Lederman tổ chức một hoạt động nhằm chứng tỏ cho các giáo viên thấy niềm vui khoa học qua một chương trình mẫu gọi là Viện hàn lâm Giáo viên. Nếu nó có tác dụng ở Chicago, thì nó cũng có tác dụng ở những thành phố khác.



Leon Lederman thể hiện sự hài hước của ông bên cạnh một sản phẩm trưng bày của Fermilab: máy điều lạnh, dụng cụ cần thiết để duy trì nhiệt độ rất thấp cần thiết cho các nam châm siêu dẫn dùng để tạo ra từ trường nhằm điều khiển đường đi của các hạt hạ nguyên tử trong các máy gia tốc hạt. (Ảnh: Fermilab Visual Media Services)

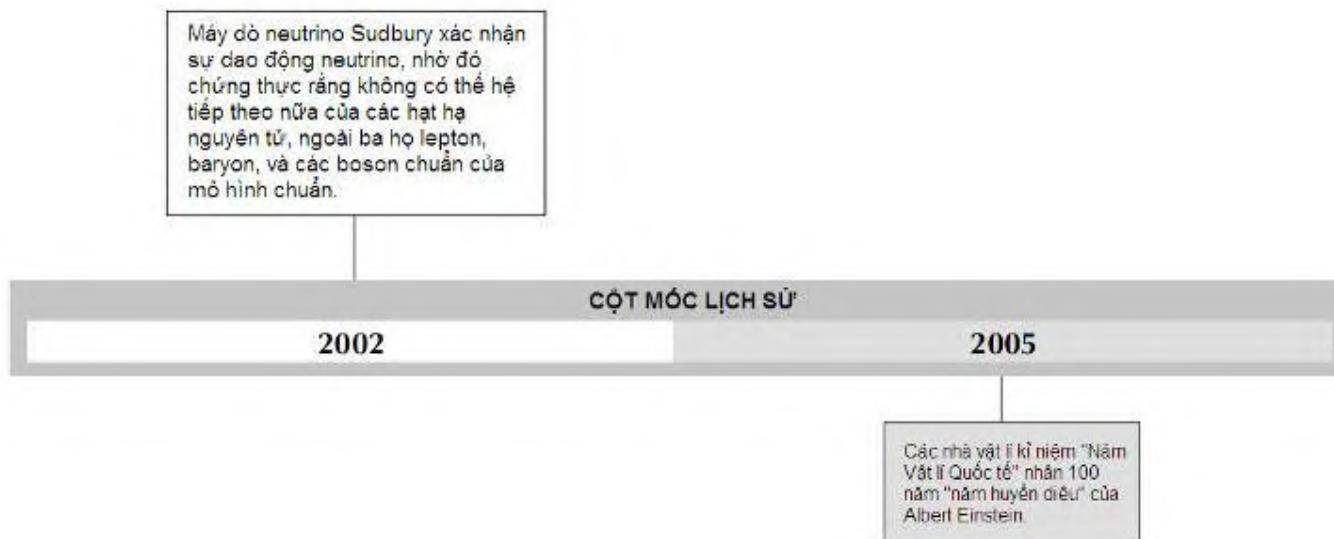
Vai trò lãnh đạo của Lederman ở Viện hàn lâm Giáo viên thành công chả kém gì công việc của ông ở Fermilab, cho nên sự ảnh hưởng của ông vẫn còn tiếp tục sau khi ông không còn đảm đương trọng trách nữa. Năm 1995, sáu năm sau khi ông nghỉ hưu không làm giám đốc Fermilab nữa, các nhà khoa học Fermilab đã phát hiện ra quark đỉnh (top) tìm kiếm bấy lâu, và vào năm 2000, các nhà nghiên cứu Fermilab khác đã hoàn tất mô hình chuẩn của ngành vật lí hạt cơ bản với việc phát hiện ra neutrino tau. Sự nghiên cứu sôi nổi như vậy chỉ là một phần của sức ảnh hưởng và di sản của Leon Lederman. Tại Trung tâm Khoa học Lederman và Trung tâm Tài nguyên Giáo viên của Fermilab, các tinh nguyện viên và các chuyên gia vẫn đang thực hiện tầm nhìn giáo dục của ông; và trong các trường công ở nhiều thành phố Mĩ, giáo viên và học sinh đang nhận nhận khoa học theo những phương pháp mới. Cha mẹ của ông, những người dạy ông về giá trị của sự giáo dục, hẳn là rất tự hào.





## Kết luận: **Các thách thức mang tính toàn cầu và vũ trụ trong thế kỉ 21**

Mặc dù con số 100 không có tầm quan trọng đặc biệt gì trong tự nhiên, nhưng loài người với bàn tay 10 ngón vốn xem những thế kỉ mới và những lễ kỉ niệm trăm năm là những sự kiện hứa hẹn, là những thời điểm hợp lí để nhìn lại quá khứ và hướng tới tương lai. Điều đó luôn luôn là tốt đẹp, vì việc tìm hiểu quá khứ mang lại những cái nhìn sâu sắc, mới mẻ cho tương lai. Những thế kỉ mới và những lễ kỉ niệm trăm năm thường dẫn tới những quyển sách như quyển này, hoặc những quyển sách khác trong bộ sách *Nền khoa học Thế kỉ Hai mươi*. Năm 2005 được ghi nhớ đặc biệt cho các nhà vật lí. Các hiệp hội khoa học chính đã chọn năm 2005 là “Năm Vật lí Quốc tế” để kỉ niệm sự kiện 100 năm trước đó một nhân viên thuộc sở cấp băng sáng chế tên gọi là Albert Einstein đã công bố ba bài báo trọng yếu làm chấn động các nền tảng của ngành vật lí học. Kiến thức của nhân loại về không gian, thời gian, vật chất và năng lượng đã thay đổi về căn bản và dẫn tới một cuộc cách mạng về khoa học và công nghệ vẫn tiếp diễn cho đến ngày nay.



Lúc bắt đầu thế kỉ 20, lí thuyết vật lí xây dựng trên các định luật Newton của chuyển động và hấp dẫn, hệ phương trình điện từ học Maxwell, và bản chất nguyên tử của vật chất dường như đã mang lại sự hiểu biết gần như hoàn chỉnh về tự nhiên. Những lí thuyết đó giải thích hầu như mọi thứ, ngoại trừ một vài hiện tượng mới như tia X, sự phóng xạ, công cụ toán học của Planck gọi là lượng tử, các “tiểu thể” hạ nguyên tử cấu tạo nên tia cathode, và các thí nghiệm đều thất bại trước việc phát hiện ra chất ê te thám dãm toàn vũ trụ. Tuy nhiên, chẳng ai trông đợi bất kì hiện tượng nào trong số đó đòi hỏi sự thay đổi căn bản trong bản thân nền vật lí. Đa số các nhà vật lí cảm thấy họ và ngành khoa học của họ có một nền tảng lí thuyết chắc chắn và đang khép lại các lí thuyết cho tất cả vạn vật.



Ngày nay, các nền tảng mới của vật lí học là thuyết tương đối, thuyết lượng tử, và mô hình chuẩn của ngành vật lí hạt nguyên tử. Những lí thuyết này đã thành công rực rỡ trong việc mô tả và tiên đoán đa số các hiện tượng tự nhiên, mang lại những phép đo và những dụng cụ có khả năng sản sinh ra những chi tiết mà trước đó người ta không thể tưởng tượng nổi. Giờ thì các nhà vật lí nghĩ rằng một “lý thuyết của tất cả” có thể đã ở trong tầm với của họ. Lý thuyết đó sẽ kết hợp thế giới lượng tử rời rạc với không thời gian tron tru của thuyết tương đối, và nó sẽ thống nhất thế giới hạ nguyên tử với vũ trụ mênh mông bởi việc hợp nhất cả ba lực cơ bản – lực hấp dẫn, lực tương tác điện yếu (lực điện từ cộng với lực hạt nhân yếu), và lực hạt nhân mạnh – thành một lực. Nhưng có một sự khác biệt to lớn giữa các nhà vật lí đương đại đang đi tìm một lý thuyết của tất cả với các đồng nghiệp của họ hồi đầu thế kỉ 20, những người từng nghĩ rằng vật lí học đã đạt tới các lý thuyết cho tất cả vạn vật. Sự khác biệt đó là lịch sử được kể lại chi tiết trong quyển sách này. Nhìn ngược về những phát triển đáng kinh ngạc trong ngành vật lí học thế kỉ 20, một vài nhà vật lí sẽ bất ngờ nếu như một sự cơ cấu lại các nền tảng của ngành khoa học của họ lại nằm ở phía trước, trong thế kỉ thứ 21. Những năm đầu của thế kỉ mới này đã chứng minh các nhà vật lí đã học được rất nhiều về vũ trụ, tuy vậy họ vẫn chưa hiểu nổi rất nhiều thứ khác.

## Bản chất của vật chất được xét lại

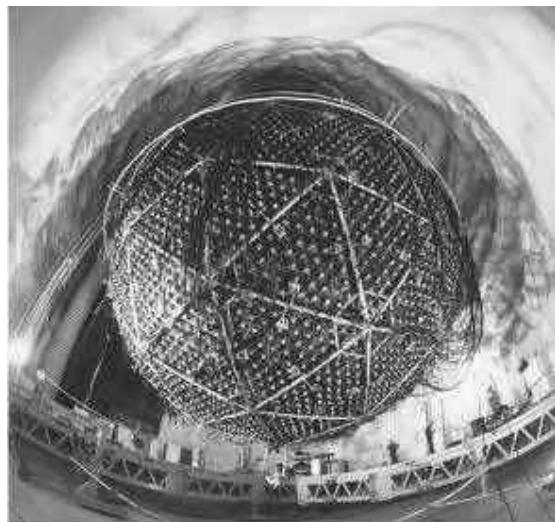
Kể từ năm 2000, phần nhiều trong số những kết quả mới nổi bật nhất trong ngành vật lí học lại đến từ các quan sát thiên văn. Những chiếc kính thiên văn mới đặt trên quỹ đạo đã cho phép các nhà thiên văn quan sát vũ trụ trong những vùng phổ điện từ mà trước đây không thể thâm nhập do sự hấp thụ xảy ra trong khí quyển. Ngay cả trong những vùng phổ mà thiên văn học truyền thống đã nghiên cứu, nay các nhà thiên văn cũng thu thập được vô số dữ liệu và hình ảnh mới từ những chiếc kính thiên văn mặt đất lớn hơn, với năng suất được cải thiện bởi sự truyền thông hiện đại tốc độ cao và các kỹ thuật quan trắc tiên tiến. Các dự án như *Tàu thăm dò Vi sóng Phi đẳng hướng Wilkinson* (WMAP) và *Chương trình Đầu trời Số Sloan* (SDSS), đã mô tả trong chương trước, đã đưa các nhà vật lí đến với những câu hỏi mới về vật chất. Trái lại, nền thiên văn học neutrino đã hóa giải các bí ẩn của chúng rằng thế hệ quark và lepton thứ ba đã hoàn tất mô hình chuẩn của ngành vật lí hạt cơ bản.

Như đã lưu ý trong chương cuối, các nhà vật lí lí thuyết bắt đầu xem các neutrino electron, muon và tau không phải là những hạt riêng biệt mà là những môt khác nhau của cùng một hạt. Theo các lí thuyết của họ, các neutrino do Mặt trời phát ra xuất phát dưới dạng các neutrino electron, nhưng sẽ dao động giữa các môt trên hành trình của chúng đi đến Trái đất. Khi chúng đi tới máy dò neutrino đặt trong mỏ vàng Homestake, chỉ một phần ba trong số chúng là neutrino electron, phần còn lại là neutrino muon và neutrino tau, với số lượng ngang nhau. Máy dò hạt ở Homestake chỉ nhạy với các neutrino electron, thành ra nó chỉ ghi nhận được một phần ba số neutrino đến so với khi không có dao động môt. Kết quả đó đã xác nhận chắc chắn hơn khi các nhà vật lí hiệu chỉnh lí thuyết phản ứng nhiệt hạt nhân của mặt trời. Trong khi đó, máy dò neutrino Super Kamiokande ở Nhật Bản thì có phần nhạy với các neutrino muon. Điều đó giải thích cho số lượng sự kiện phát hiện nhiều hơn của nó. Các nhà vật lí cần có thêm dữ liệu để xác nhận sự dao động neutrino, và kết quả đó xuất hiện vào năm 2001 từ Đài thiên văn Neutrino Sudbury ở Canada, nơi các nhà khoa học đã thiết kế và xây dựng một máy dò neutrino nhạy với cả ba môt neutrino. Mô hình chuẩn đã thật sự hoàn chỉnh với ba thế hệ quark và lepton.

Mô hình có vẻ đã hoàn chỉnh, nhưng liệu có khả năng là có những họ vật chất hoàn toàn chưa được khám phá ra trong vũ trụ, mỗi họ có một tập hợp hạt sơ cấp riêng của nó, hay không? Câu hỏi đó có vẻ hơi gượng gạo, nhưng nhiều nhà vật lí đang xem xét nó một



cách nghiêm túc. Các lí giải của nó đến từ lí thuyết lỗ quan sát. Lí thuyết đó là lí thuyết dây. Vì nó hình dung ra các chiều du, nên nó còn cho phép các đối xứng khác nữa, mang đến những khả năng lí thuyết gọi là vật chất gương và siêu vật chất. Các quan sát phần lớn đến từ WMAP và SDSS và cái họ nói về lượng khối lượng trong vũ trụ, nhưng những ý kiến thảo luận sớm nhất có từ một bài báo mang tính bước ngoặt của các nhà thiên văn Vera Rubin (1928– ) và William K. Ford vào năm 1970. Quan sát tốc độ quay của một thiên hà ở gần, họ có thể ước tính ra lực hút hấp dẫn cần thiết để tác dụng lên các ngôi phía ngoài của nó. Từ giá trị gia tốc đó, họ có thể xác định khối lượng của thiên hà. Sau đó, bằng cách điều tra tổng số ngôi sao trong thiên hà đó, họ có thể ước tính khối lượng đó tỏa sáng bao nhiêu. Trước sự bất ngờ của họ, khối lượng của các ngôi sao chiếm chỉ hơn 10% tổng khối lượng một chút. Gần 90% là vật chất tối thuộc một thành phần chưa biết. Hàng thập kỉ đã đi qua kể từ kết quả của Rubin/Ford, vật chất tối dường như là một thành phần của mỗi thiên hà mà tốc độ quay có thể đo được.



Đài thiên văn Neutrino Sudbury, nơi xác nhận hiện tượng dao động một neutrino hồi năm 2001. Để ước định kích cỡ, hãy để ý những người đang đứng tại lối đi bên dưới. (Ảnh: Phòng thí nghiệm quốc gia Ernest Orlando Lawrence Berkeley)

Mặc dù thật hợp lí nếu giả định rằng phần nhiều vật chất tối cấu tạo gồm các hạt sơ cấp của mô hình chuẩn, nhưng cho đến nay chẳng ai kiểm tra được giả thuyết đó. Nó có thể là cái gì đó kì lạ hơn. Khả năng đó còn đáng tin hơn nữa trong ánh sáng của những kết luận gần đây từ dữ liệu WMAP và SDSS. Ngay khi các nhà khoa học nhận ra rằng vũ trụ đang giãn nở, họ đã bắt đầu nghi vấn số phận cuối cùng của nó sẽ đi về đâu. Khi các thiên hà tách ra xa nhau, lực hút hấp dẫn lẫn nhau của chúng sẽ giảm yếu dần. Có ba kịch bản khả dĩ, tùy thuộc vào tổng khối lượng của vũ trụ. Có thể nhiều các kịch bản đó bằng cách so sánh chúng với số phận khả dĩ của một quả đạn pháo phóng thẳng lên từ bề mặt Trái đất. Nếu quả đạn pháo chuyển động chưa tới tốc độ thoát (khoảng 40 000 km/h khi phóng lên từ mặt đất), thì cuối cùng nó sẽ ngừng chuyển động đi lên và rơi trở xuống mặt đất. Nếu nó chuyển động nhanh hơn vận tốc thoát, thì nó sẽ chuyển động chậm dần đến một vận tốc tối thiểu nhất định và tiếp tục chuyển động ra xa mãi mãi. Nếu nó chuyển động đúng bằng tốc độ thoát, thì nó không rơi trở xuống nhưng tốc độ của nó giảm dần về zero. Vận tốc thoát phụ thuộc vào khối lượng và kích cỡ của Trái đất. Nếu hành tinh chúng ta có kích cỡ bằng nhau vậy nhưng khối lượng lớn hơn, thì quả đạn pháo cần được phóng lên ở tốc độ cao hơn mới thoát ra ngoài được.

Điều tương tự đúng đối với vũ trụ. Không biết khối lượng của nó có đủ lớn để đảo ngược sự giãn nở bắt đầu với vụ nổ lớn và dẫn tới một vụ co lớn (vũ trụ “đóng kín”) hay không? Khối lượng của nó có quá nhỏ nên sự giãn nở sẽ tiếp tục mà không bị hạn chế (vũ trụ mở) hay không? Hay khối lượng của nó đúng vừa vặn, cái gọi là vũ trụ Goldilocks hay vũ trụ phẳng, cho nên nó sẽ đạt tới một trạng thái gần như ổn định? Khi thế kỷ 20 kết thúc,

các phép đo tốt nhất cho thấy vũ trụ không có khả năng gần với phẳng, và dữ liệu WMAP dường như xác nhận kết luận đó. Có thể có một định luật vạn vật nào đó mà chúng ta chưa biết chắc chắn dẫn tới một vũ trụ phẳng chứ không đóng kín hoặc mở hay không?

Tuy nhiên, một số phép đo SDSS của các sao siêu mới ở xa đe xuất một kết luận khác hoàn toàn. Thay vì đang chậm đi, tốc độ giãn nở của vũ trụ dường như đang tăng lên! Nếu đúng như vậy, thì còn có cái gì đó, ngoài lực hấp dẫn ra, đang tác dụng. Có lẽ có một dạng vật chất nào đó chưa biết, không nhìn thấy, tạo ra một lực đẩy hay một hiệu ứng phản hấp dẫn, cái các nhà khoa học đang gọi là năng lượng tối. Có lẽ sự giãn nở kì lạ như trên là do hằng số vũ trụ của thuyết tương đối tổng quát Einstein. Ông đã từng gọi hằng số đó là sai lầm ngớ ngẩn nhất của mình một khi sự giãn nở của vũ trụ được phát hiện ra, nhưng có lẽ sự sai lầm đó là việc quá nhanh chóng gạt bỏ hằng số đó ra khỏi các phương trình của ông. Có lẽ còn có những hiệu ứng vật lí chưa biết đang dẫn tới sự hiểu không đúng dữ liệu. Rõ ràng lí thuyết đó có một số điều mới lồng leó. Người ta sẽ còn khám phá ra điều gì nữa khi họ cố gắng đưa vào những manh mối đó những cách tiếp cận mới và các phép đo mới? Rõ ràng lịch sử không kết thúc tại điểm kết của một thế kỉ!

## “Mọi thứ” là gì?

Những kết quả khó hiểu đó còn ảnh hưởng đến quá trình hướng đến một “lý thuyết của tất cả”. Khi lý thuyết dây phát triển, nó phải đi đến chỗ mô tả nhiều vũ trụ có khả năng xảy ra, mỗi một vũ trụ trong số đó có một tập hợp khác nhau của những hằng số cơ bản (như hằng số Planck, hằng số liên hệ các khối lượng với lực hấp dẫn giữa chúng, tốc độ ánh sáng, diện tích nguyên tố và khối lượng của các hạt sơ cấp). Có phải vũ trụ đã biết là vũ trụ duy nhất tồn tại, hay không thời gian trong đó loài người sinh sống đơn thuần là một lát mỏng bốn chiều của một thực tại rộng lớn hơn nhiều? Nếu đây là vũ trụ duy nhất, thì tại sao nó lại có những hằng số đặc biệt như thế?

Một số nhà vật lí xem nhiều khả năng thể hiện trong lý thuyết dây là có tính khích lệ. Một số người khác thì xem nó là hết sức đáng ngờ vì nó có thể điều chỉnh để khớp với mọi quan sát, và cho đến nay nó chưa mang lại những tiên đoán có thể kiểm tra được. Có lẽ những điều mới lồng leó trong lý thuyết dây có liên quan đến những khám phá kì lạ trong thời gian gần đây trong ngành vũ trụ học. Điều đó có ý nghĩa gì cho tương lai của lý thuyết dây và, thật vậy, toàn bộ các lý thuyết vật lí? Câu kết luận hợp lý duy nhất là tương lai của khoa học là không thể dự báo trước như cách nay 100 năm về trước nữa.

David Gross (1941– ) thuộc Viện Vật lí Lí thuyết Kavli ở trường đại học California, Santa Barbara, đồng ý như vậy. Gross cùng chia sẻ Giải thưởng Nobel Vật lí năm 2004 cho sự phát triển lý thuyết sắc động lực học lượng tử (phiên bản lực mạnh của điện động lực học lượng tử) trong những năm 1970 và từng là một người đe xướng mạnh mẽ cho lý thuyết dây. Công trình nghiên cứu của ông đã khiến ông là người được chọn phát biểu bế mạc tại Hội nghị Vật lí Solvay lần thứ 23, tổ chức tại Brussels, Bỉ, vào tháng 12 năm 2005, một sự kiện uy tín với lịch sử tận năm 1911, năm Rutherford công bố khám phá của ông về hạt nhân nguyên tử. “Nhiều người trong chúng ta nghĩ rằng lý thuyết dây là một bức phá rất ngoạn mục với các quan niệm trước đây của chúng ta về thuyết lượng tử. Nhưng nay chúng ta biết rằng lý thuyết dây rốt lại chẳng mang tính bức phá nhiều như thế”.

Ông so sánh trạng thái hiện tại của lý thuyết dây với các khám phá gây hoang mang dư luận của sự phóng xạ, do Becquerel phát hiện ra vào năm 1896, được Rutherford và Soddy mô tả chi tiết trong thập niên đầu của thế kỉ 20, nhưng không được giải thích cho đến khi cơ học lượng tử được phát triển. Các nhà vật lí “đang thiếu cái gì đó cơ bản tuyệt đối” vào lúc tổ chức Hội nghị Solvay lần thứ nhất, ông lưu ý như thế. “Có lẽ chúng ta cũng đang thiếu cái gì đó tương tự như vậy”.



Một số người có thể xem các lời lẽ của Gross về tương lai của vật lí học là bi quan, nhưng họ không nên hiểu như thế. Thành phần lí thuyết còn thiếu đó là một thách thức, chứ không phải là một thất bại. Các nhà vật lí luôn dẫn thân vào những công cuộc truy vấn khó khăn. Những Einsteins, Rutherford, Paulis, Meitners, Feynmans, Bardeens, Gell-Manns, Alvarezes, Hawkings, và Ledermans mới đã vào cuộc, tìm kiếm những phương pháp mới xem xét những bài toán cũ. Không biết nền vật lí thế kỉ 21 có thu về hạt Higgs, một lí thuyết siêu dẫn nhiệt độ cao, hay một lí thuyết của tất cả hay không? Không biết các công nghệ phát sinh từ vật lí học có mang đến điện năng nhiệt hạch, các máy tính lượng tử, hay các chất liệu mới lạ hay không?

Câu trả lời cho nhiều câu hỏi trong số đó hầu như chắc chắn là có.



## PHỤ LỤC

### Bảng tuần hoàn các nguyên tố hóa học

Năm 1869, Dmitry Mendeleyev đã nghĩ ra các hàng và cột của các nguyên tố hóa học, nhóm chúng lại theo các tính chất của chúng. Ông gọi nó là bảng tuần hoàn các nguyên tố. Bắt đầu tại góc trên bên trái với nguyên tử nhẹ nhất, hydrogen, ông đặt có kí hiệu hóa học vào cột đầu tiên của bảng theo trật tự khối lượng nguyên tử tăng dần. Sau đó, ông di chuyển sang phải từ cột này sang cột tiếp theo, đặt các nguyên tử có các tính chất vật lí và hóa học giống nhau ở liền nhau trong các hàng.

Bảng tuần hoàn hóa học hiện đại, có ở trang sau, đảo ngược lại vai trò của các hàng và cột so với cách sắp xếp của Mendeleyev. Sự sắp xếp đó đã phục vụ các nhà khoa học trong gần một thế kỉ rưỡi qua, mang lại chỗ trống để bổ sung thêm các nguyên tố mới khi chúng được khám phá hay tổng hợp ra.

Bảng tuần hoàn hóa học là một thành tựu lớn, nhưng những câu hỏi quan trọng vẫn còn đó. Cái gì phân biệt các nguyên tử thuộc nguyên tố này với các nguyên tử thuộc nguyên tố khác, và làm thế nào những khác biệt đó mang lại tính quy cũ của bảng tuần hoàn? Câu trả lời đến từ những bước đột phá trong ngành vật lí hồi cuối thế kỉ thứ 19 và một phần tư đầu của thế kỉ 20 – đặc biệt là sự khám phá ra electron và hạt nhân nguyên tử, và sự phát triển của cơ học lượng tử.

Mảnh ghép cuối cùng của câu đố là đề xuất hồi năm 1924 của Wolfgang Pauli về spin electron và nguyên lí loại trừ của ông vào năm 1925. Cùng với nhau, những thành tựu này đã mang lại cơ sở cho hành trạng tuần hoàn của các nguyên tố.



BÀNG TUẦN HOÀN CÁC NGUYỄN TÓ HÓA HỌC

Con só trong ngoặc là số khối của các đồng vị bền nhất



## CÁC NGUYỄN TÓ HÓA HỌC

(g) Không (c) kim loại nguyên tố									
nhôm	Al	13	chì	pb	62	scandium	kí hiệu	a.n	
hotorium	Bh	107	lutetium	Lu	71	seaborgium	a.n		
cadmium	Cd	48	manganese	Ni	25	bạc			
chromium	Cr	24	neptunium	Ni	109	tantalum			
cobalt	Co	27	thủy ngân	Hg	80	technetium	Tc	43	(g) kim loại kiềm thổ (c) kim loại nguyên tố
darmstadtium	Ds	29	molybdenum	Mo	42	thallium	Tl	81	(g) kim loại kiềm thổ (c) kim loại nguyên tố
dubnium	Db	105	nickel	Ni	28	titanium	Ti	22	(g) kim loại kiềm thổ (c) kim loại nguyên tố
gallium	Ga	31	nobiunium	Nb	41	thiếc	Sn	50	magnesium
vàng	Au	79	osmium	Os <sup>***</sup>	76	tungsten	W	74	Mg
hafnium	Hf	72	palladium	Pd <sup>***</sup>	46	uranium	Uub	112	Ka
hassium	Hs	108	bạch kim	Pt <sup>***</sup>	78	ununtrium	Uut	113	strontium
indium	In	49	rhenium	Re	75	ununquadium	Unq	114	(g) chalcogen (c) phi kim
iridium	Ir	77	rodiuim	Rh <sup>***</sup>	45	vanadiuim	V	23	(g) không (c) phi kim
sắt	Fe	26	roentgenium	Rg	111	yttrium	Y	39	nguyên tố
lawrencium	L	103	ruthenium	Ru <sup>***</sup>	44	kẽm	Zn	30	kí hiệu
			rutherfordium	Rf	104	zirconium	Zr	40	a.n
(g) actinoid (c) kim loại nguyên tố									
actinium	Ac	89	astatine	At <sup>*</sup>	85	fluorine	F	9	nguyên tố
americium	Am	95	bromine	Br	75	iodine	I	53	phi kim
berkelium	Bk	97	chlorine	Cl	17				
californium	Cf	98							
curium	Cm	96							
einsteinium	Es	99							
fermium	Fm	100							
mendelevium	Md	101							
neptunium	Np	93							
nobelium	No	102							
plutonium	Pu	94							
protactinium	Pa	91							
thorium	Th	90							
uranium	U	92							
(g) pnictogen (c) kim loại nguyên tố									
stibene	As <sup>*</sup>	33	nitrogen	N	?				
antimony	Sb <sup>*</sup>	51	phosphorus	P <sup>**</sup>	15				
bismuth	Bi	83	ununpentium	Up	115				
(g) halogen (c) phi kim nguyên tố									
astatine	At <sup>*</sup>	85	fluorine	F	9	oxygen	O	8	nguyên tố
bromine	Br	75	iodine	I	53	phosphorus	P	15	phi kim
chlorine	Cl	17				silicon	Si	14	
(g) không (c) kim loại nguyên tố									
cerium	Ce	58	europium	Eu	63	gadolinium	Gd	64	(g) không (c) phi kim
holmium	Ho	67	europium	Eu	63	lanthanum	La	57	(g) khí trơ (c) phi kim
neodymium	Nd	60	europium	Eu	63	neodymium	Nd	60	
praseodymium	Pr	59	europium	Eu	63	praseodymium	Pr	59	
promethium	Pm	61	europium	Eu	63	promethium	Pm	61	
samarium	Sm	62	europium	Eu	63	samarium	Sm	62	
terbium	Tb	65	europium	Eu	63	terbium	Tb	65	
hélium	Tm	69	europium	Eu	63	thulium	Tm	69	
ytterbium	Yb	70	europium	Eu	63	ytterbium	Yb	70	
(g) không (c) phi kim nguyên tố									
carbon	C	6	hydrogen	H	1				

\* = bán dẫn (c)  
\*\* = phi kim (c)  
\*\*\* = kim loại đúc tiền (g)  
\*\*\*\* = kim loại quý (g)



## Các nhà vật lí đoạt giải Nobel

Vật lí học không phải là một khoa học đơn độc. Nó có quan hệ mật thiết với hóa học qua thuyết nguyên tử, với sinh học qua các kỹ thuật đo lường quan trọng như quang phổ học và tinh thể học, với thiên văn học qua vũ trụ học và sự nhiệt hạch, và với các khoa học vật chất khác như địa chất học và khí tượng học. Tương tự như vậy, các thành tựu khoa học hay công nghệ quan trọng đều có gốc rễ của chúng ở vật lí học. Vì thế, giải thưởng Nobel Vật lí thường trao cho các nhà khoa học về căn bản là làm việc trong những ngành khoa học khác, và một số nhà vật lí lớn đã giành giải thưởng Nobel trong những ngành khoa học khác, và cả giải thưởng Nobel Hòa bình danh giá nữa.

Danh sách dưới đây gồm những người giành giải Nobel Vật lí từ năm 1901 đến năm 2000 cung cấp một bảng danh mục gồm nhiều nhà vật lí lớn thuộc thế kỷ thứ 20 và các thành tựu của họ. Nhiều thành tựu khoa học to lớn của những năm sau này của thế kỷ thứ 20 vẫn chưa giành được giải Nobel và có lẽ chẳng bao giờ nhận được sự ghi nhận như thế. Những thành tựu khác, như công trình của Raymond Davis về thiên văn học neutrino đã giành giải Nobel vào năm 2000.

Website của Quỹ Nobel (<http://nobelprize.org>) cung cấp đầy đủ thông tin về tiêu sử và bài thuyết trình Nobel của tất cả những người trúng giải. Các mô tả ngắn của các giải thưởng dưới đây được trích dẫn từ website trên. Quốc tịch của những người trúng giải được tính tại thời điểm trao giải.

### 1901

Wilhelm Conrad Röntgen (1845–1923), Đức

*Công nhận những lợi ích đặc biệt mang lại bởi việc khám phá ra các tia sau này mang tên ông.*

### 1902

Hendrik Antoon Lorentz (1853–1928), Hà Lan, và Pieter Zeeman (1865–1943), Hà Lan

*Công nhận lợi ích đặc biệt mà họ mang lại bởi các nghiên cứu của họ về tác động của từ trường lên các hiện tượng bức xạ.*

### 1903

Antoine-Henri Becquerel (1852–1908), Pháp

*Công nhận những lợi ích đặc biệt mang lại bởi việc khám phá ra hiện tượng phóng xạ tự phát.*

và Pierre Curie (1859–1906), Pháp, và Marie Curie, tên thường gọi Skłodowska, (1867–1934), Pháp

*Công nhận những lợi ích đặc biệt mà họ mang lại bởi những nghiên cứu chung của họ về các hiện tượng bức xạ mà giáo sư Henri Becquerel đã phát hiện ra.*



**1904**

Ngài Rayleigh (John William Strutt, 1842–1919), Anh

*Cho các nghiên cứu của ông về tỉ trọng của các chất khí quan trọng nhất và cho khám phá ra argon của ông cùng với những nghiên cứu này.*

**1905**

Philipp Eduard Anton von Lenard (1862–1947), Đức

*Cho công trình của ông về tia cathode.*

**1906**

Joseph John Thomson (1856–1940), Anh

*Công nhận những giá trị to lớn của các nghiên cứu lí thuyết và thực nghiệm của ông về sự dẫn điện bởi các chất khí.*

**1907**

Albert Abraham Michelson (1852–1931), Mĩ

*Cho các thiết bị quang chính xác của ông và các nghiên cứu quang phổ và đo lường được thực hiện với sự hỗ trợ của chúng.*

**1908**

Gabriel Lippmann (1845–1921), Pháp

*Cho phương pháp tái dựng màu sắc nhiếp ảnh dựa trên hiện tượng giao thoa.*

**1909**

Guglielmo Marconi (1874–1937), Italy, và Karl Ferdinand Braun (1850–1918), Đức

*Công nhận những đóng góp của họ cho sự phát triển của điện báo không dây.*

**1910**

Johannes Diderik van der Waals (1837–1923), Hà Lan

*Cho công trình của ông về phương trình trạng thái cho các chất khí và chất lỏng.*

**1911**

Wilhelm Wien (1864–1928), Đức

*Cho những khám phá của ông về các định luật chi phối sự bức xạ nhiệt.*

**1912**

Nils Gustaf Dalén (1869–1937), Thụy Điển

*Cho phát minh của ông về các máy điều chỉnh tự động dùng kết hợp với các bộ trũ khí để thắp sáng các ngọn hải đăng và phao biển.*

**1913**

Heike Kamerlingh Onnes (1853–1926), Hà Lan

*Cho các nghiên cứu của ông về các tính chất của vật chất ở nhiệt độ thấp mang đến, không kể những lợi ích khác, sự sản xuất helium lỏng.*



**1914**

Max von Laue (1879–1960), Đức

*Cho khám phá của ông về sự nhiễu xạ tia X bởi các tinh thể.*

**1915**

William Henry Bragg (1862–1942), Anh, và William Lawrence Bragg (1890–1971), Anh

*Cho những đóng góp của họ trong sự phân tích cấu trúc tinh thể bằng phương tiện tia X.*

**1916**

Không trao giải.

**1917**

Charles Glover Barkla (1877–1944), Anh

*Cho khám phá của ông về bức xạ Röntgen đặc trưng của các nguyên tố.*

**1918**

Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858–1947), Đức

*Công nhận những lợi ích mà ông mang lại cho sự tiến bộ của Vật lí học bởi khám phá của ông về các lượng tử năng lượng.*

**1919**

Johannes Stark (1874–1957), Đức

*Cho khám phá của ông về hiệu ứng Doppler ở các tia ống và sự tách vạch phổ trong điện trường.*

**1920**

Charles-Édouard Guillaume (1861–1938), Thụy Sĩ

*Công nhận lợi ích mà ông mang lại cho các phép đo chính xác trong Vật lí học bởi khám phá của ông về các dị thường trong hợp kim thép nickel.*

**1921**

Albert Einstein (1879–1955), Đức và Thụy Sĩ

*Cho những đóng góp của ông cho Vật lí Lý thuyết, và đặc biệt là cho khám phá của ông về định luật quang điện.*

**1922**

Niels Henrik David Bohr (1885–1962), Đan Mạch

*Cho những đóng góp của ông cho sự nghiên cứu cấu trúc của các nguyên tử và sự bức xạ phát ra từ chúng.*

**1923**

Robert Andrews Millikan (1868–1953), Mĩ

*Cho công trình của ông về điện tích nguyên tử của điện học và về hiệu ứng quang điện.*



**1924**

Karl Manne Georg Siegbahn (1886–1978), Thụy Điển

*Cho những đóng góp của ông và nghiên cứu về quang phổ học tia X.*

**1925**

James Franck (1882–1964), Đức, và Gustav Ludwig Hertz (1887–1975), Đức

*Cho khám phá của họ về các định luật chi phối tác động của một electron lên nguyên tử.*

**1926**

Jean-Baptiste Perrin (1870–1942), Pháp

*Cho công trình của ông về cấu trúc rời rạc của vật chất, và đặc biệt cho khám phá của ông về sự cân bằng trầm tích.*

**1927**

Arthur Holly Compton (1892–1962), Mỹ

*Cho khám phá của ông về hiệu ứng mang tên ông.*

và Charles Thomson Rees Wilson (1869–1959), Anh

*Cho phương pháp của ông làm cho đường đi của các hạt tích điện có thể nhìn thấy qua sự ngưng tụ của hơi.*

**1928**

Owen Willans Richardson (1879–1959), Anh

*Cho công trình của ông về hiện tượng phát xạ nhiệt electron và đặc biệt cho việc khám phá ra định luật mang tên ông.*

**1929**

Louis-Victor-Pierre-Raymond de Broglie (1892–1987), Pháp

*Cho khám phá của ông về bản chất sóng của các electron.*

**1930**

Ngài Chandrasekhara Venkata Raman (1888–1970), Ấn Độ

*Cho công trình của ông về sự tán xạ ánh sáng và cho việc khám phá ra hiệu ứng mang tên ông.*

**1931**

Không trao giải.

**1932**

Werner Karl Heisenberg (1901–76), Đức

*Cho sự sáng tạo ra cơ học lượng tử, mà ứng dụng của nó, không kể những lợi ích khác, đã dẫn tới sự khám phá ra các dạng thù hình của hydrogen.*

**1933**

Erwin Schrödinger (1887–1961), Áo, và Paul Adrien Maurice Dirac (1902–84), Anh

*Cho sự khám phá ra các dạng thức hữu ích mới của thuyết nguyên tử.*



**1934**

Không trao giải.

**1935**

James Chadwick (1891–1974), Anh

*Cho sự khám phá ra neutron.*

**1936**

Victor Franz Hess (1883–1964), Áo

*Cho khám phá của ông về bức xạ vũ trụ.*

và Carl David Anderson (1905–91), Mĩ

*Cho khám phá của ông về positron.*

**1937**

Clinton Joseph Davisson (1881–1958), Mĩ, và George Paget Thomson (1891–1975), Anh

*Cho khám phá thực nghiệm của họ về sự nhiễu xạ electron bởi các tinh thể.*

**1938**

Enrico Fermi (1901–54), Italy

*Cho những minh chứng của ông về sự tồn tại của các nguyên tố phóng xạ mới sinh ra bởi sự chiếu xạ neutron, và cho khám phá có liên quan của ông về các phản ứng hạt nhân gây ra bởi các neutron chậm.*

**1939**

Ernest Orlando Lawrence (1901–58), Mĩ

*Cho sự phát minh và phát triển cyclotron và cho các kết quả thu được với nó, đặc biệt là các nguyên tố phóng xạ nhân tạo.*

**1940-42**

Không trao giải.

**1943**

Otto Stern (1888–1969), Mĩ

*Cho sự đóng góp của ông đối với sự phát triển của phương pháp tia phân tử và khám phá của ông về moment từ của proton.*

**1944**

Isidor Isaac Rabi (1898–1988), Mĩ

*Cho phương pháp cộng hưởng của ông dùng để ghi các tính chất từ của hạt nhân nguyên tử.*

**1945**

Wolfgang Pauli (1900–58), Áo

*Cho sự khám phá ra Nguyên lí Loại trừ, còn gọi là Nguyên lí Pauli.*



## 1946

Percy Williams Bridgman (1882–1961), Mĩ

*Cho sự phát minh ra một thiết bị tạo ra những áp suất cực cao, và cho những khám phá được thực hiện với nó trong lĩnh vực vật lí áp suất cao.*

## 1947

Ngài Edward Victor Appleton (1892–1965), Anh

*Cho các nghiên cứu của ông về cơ sở vật lí của bầu khí quyển tầng cao, đặc biệt cho sự khám phá ra cái gọi là lớp Appleton.*

## 1948

Patrick Maynard Stuart Blackett (1897–1974), Anh

*Cho sự phát triển của ông về phương pháp buồng mây Wilson, và những khám phá của ông cùng với phương pháp đó trong lĩnh vực vật lí hạt nhân và bức xạ vũ trụ.*

## 1949

Hideki Yukawa (1907–81), Nhật Bản

*Cho dự đoán của ông về sự tồn tại của các meson trên cơ sở công trình lí thuyết về các lực hạt nhân.*

## 1950

Cecil Frank Powell (1903–69), Anh

*Cho sự phát minh của ông về phương pháp nghiệp ảnh nghiên cứu các quá trình hạt nhân, và những khám phá của ông về các meson được thực hiện với phương pháp này.*

## 1951

Ngài John Douglas Cockcroft (1897–1967), Anh, và Ernest Thomas Sinton Walton (1903–95), Ireland

*Cho công trình tiên phong của họ về sự biến tố của hạt nhân nguyên tử gây ra bởi các hạt nguyên tử gia tốc nhân tạo.*

## 1952

Felix Bloch (1905–83), Mĩ, và Edward Mills Purcell (1912–97), Mĩ

*Cho sự phát triển của họ về những phương pháp mới dùng trong các phép đo từ hạt nhân chính xác và những khám phá liên quan với nó.*

## 1953

Frits (Frederik) Zernike (1888–1966), Hà Lan

*Cho minh chứng của ông về phương pháp tương phản pha, đặc biệt cho phát minh của ông ra kính hiển vi tương phản pha.*

## 1954

Max Born (1882–1970), Anh

*Cho nghiên cứu cơ bản của ông về cơ học lượng tử, đặc biệt cho cách luận giải thống kê của ông về hàm sóng.*

và Walther Bothe (1891–1957), Cộng hòa liên bang Đức



*Cho phương pháp ngẫu nhiên và những khám phá của ông thực hiện với phương pháp ấy.*

## 1955

Willis Eugene Lamb (1913– ), Mĩ

*Cho những khám phá của ông về cấu trúc tinh tế của quang phổ hydrogen.*

và Polykarp Kusch (1911–93), Mĩ

*Cho sự xác định chính xác của ông về moment từ của electron.*

## 1956

William Bradford Shockley (1910–89), Mĩ, John Bardeen (1908–91), Mĩ, và Walter Houser Brattain (1902–87), Mĩ

*Cho các nghiên cứu của họ về chất bán dẫn và khám phá của họ về hiệu ứng transistor.*

## 1957

Chen Ning Yang (1922– ), Trung Quốc, Tsung-Dao Lee (1926– ), Trung Quốc

*Cho nghiên cứu sắc sảo của họ về cái gọi là các định luật chẵn lẻ đã đưa đến những khám phá quan trọng về các hạt sơ cấp.*

## 1958

Pavel Alekseyevich Cherenkov (1904–90), Liên Xô, Ilya Mikhailovich Frank (1908–90), Liên Xô, và Igor Yevgenyevich Tamm (1895–71), Liên Xô

*Cho sự khám phá và luận giải về hiệu ứng Cherenkov.*

## 1959

Emilio Gino Segrè (1905–89), Mĩ, và Owen Chamberlain (1920–2006), Mĩ

*Cho khám phá của họ về phản proton.*

## 1960

Donald Arthur Glaser (1926– ), Mĩ

*Cho sự phát minh ra buồng bọt.*

## 1961

Robert Hofstadter (1915–90), Mĩ

*Cho các nghiên cứu tiên phong của ông về sự tán xạ electron trong hạt nhân nguyên tử và cho những khám phá thu được từ đó của ông về cấu trúc của các nucleon.*

và Rudolf Ludwig Mössbauer (1929– ), Cộng hòa liên bang Đức

*Cho các nghiên cứu của ông về sự hấp thụ cộng hưởng của bức xạ gamma và khám phá của ông trong mối liên hệ này với hiệu ứng về sau mang tên ông.*

## 1962

Lev Davidovich Landau (1908–68), Liên Xô

*Cho các lý thuyết tiên phong của ông về vật chất ngưng tụ; đặc biệt là helium lỏng.*



## 1963

Eugene Paul Wigner (1902–95), Mĩ

*Cho những đóng góp của ông đối với thuyết hạt nhân nguyên tử và các hạt sơ cấp, đặc biệt qua sự khám phá và ứng dụng các nguyên lý đối xứng cơ bản.*

và Maria Goeppert-Mayer (1906–72), Mĩ, và J. Hans D. Jensen (1907–73), Cộng hòa liên bang Đức

*Cho các khám phá của họ về cấu trúc lớp vỏ hạt nhân.*

## 1964

Charles Hard Townes (1915– ), Mĩ, Nicolay Gennadiyevich Basov (1922–2001), Liên Xô, và Aleksandr Mikhailovich Prokhorov (1916–2002), Liên Xô

*Cho công trình nghiên cứu cơ bản trong lĩnh vực điện tử học lượng tử, cái đã mang đến sự xây dựng các máy dao động và máy khuếch đại dựa trên nguyên lý maser-laser.*

## 1965

Sin-Itiro Tomonaga (1906–79), Nhật Bản, Julian Schwinger (1918–94), Mĩ, và Richard P. Feynman (1918–88), Mĩ

*Cho công trình nghiên cứu cơ bản của họ về điện động lực học lượng tử, với những hệ quả sâu sắc đối với ngành vật lí hạt sơ cấp.*

## 1966

Alfred Kastler (1902–84), Pháp

*Cho sự khám phá và phát triển các phương pháp quang dùng để nghiên cứu các cộng hưởng Hertz trong nguyên tử.*

## 1967

Hans Albrecht Bethe (1906–2005), Mĩ

*Cho những đóng góp của ông đối với lý thuyết phản ứng hạt nhân, đặc biệt là những khám phá của ông về sự sản sinh năng lượng trong các sao.*

## 1968

Luis Walter Alvarez (1911–88), Mĩ

*Cho những đóng góp mang tính quyết định của ông đối với ngành vật lí hạt sơ cấp, đặc biệt là sự khám phá ra một lượng lớn các trạng thái cộng hưởng, thực hiện qua sự phát triển của ông về kỹ thuật sử dụng buồng bọt hydrogen và phân tích dữ liệu.*

## 1969

Murray Gell-Mann (1929– ), Mĩ

*Cho những đóng góp và khám phá của ông về sự phân loại các hạt sơ cấp và các tương tác của chúng.*

## 1970

Hannes Olof Gösta Alfvén (1908–95), Thụy Điển

*Cho công trình nghiên cứu cơ bản và những khám phá về từ thủy động lực học với những ứng dụng phong phú trong những lĩnh vực khác nhau của ngành vật lí plasma.*



và Louis-Eugène-Félix Néel (1904–2000), Pháp

*Cho công trình nghiên cứu cơ bản và những khám phá về tính phản sắt từ và sắt từ mang đến những ứng dụng quan trọng trong ngành vật liệu chất rắn.*

## 1971

Dennis Gabor (1900–79), Anh

*Cho sự phát minh của phát triển của ông về phương pháp ảnh nổi ba chiều.*

## 1972

John Bardeen (1908–91), Mĩ, Leon Neil Cooper (1930– ), Mĩ, và John Robert Schrieffer (1931– ), Mĩ

*Cho lý thuyết phát triển chung của họ về sự siêu dẫn, thường gọi là lý thuyết BCS.*

## 1973

Leo Esaki (1925– ), Nhật Bản, và Ivar Giaever (1929– ), Mĩ

*Cho những khám phá thực nghiệm, tương ứng, của họ về các hiện tượng chui hầm trong chất bán dẫn và chất siêu dẫn.*

và Brian David Josephson (1940– ), Anh

*Cho những dự đoán lý thuyết của ông về các tính chất của một siêu dòng chảy qua rào chắn đường hầm, đặc biệt là những hiện tượng thường được gọi là hiệu ứng Josephson.*

## 1974

Ngài Martin Ryle (1918–84), Anh, và Antony Hewish (1924– ), Anh

*Cho sự nghiên cứu tiên phong của họ về thiên văn học vô tuyến: Ryle, cho các quan sát và phát minh của ông, đặc biệt là kỹ thuật tổng hợp mở; và Hewish, cho vai trò quyết định của ông trong sự khám phá ra các pulsar.*

## 1975

Aage Niels Bohr (1922– ), Đan Mạch, Ben Roy Mottelson (1926– ), Đan Mạch, và Leo James Rainwater (1917–86), Mĩ

*Cho sự khám phá ra mối liên hệ giữa chuyển động tập thể và chuyển động hạt trong hạt nhân nguyên tử và sự phát triển lý thuyết về cấu trúc của hạt nhân nguyên tử dựa trên mối liên hệ này.*

## 1976

Burton Richter (1931– ), Mĩ, và Samuel Chao Chung Ting (1936– ), Mĩ

*Cho công trình tiên phong của họ về sự khám phá ra một hạt sơ cấp nặng thuộc một loại mới.*

## 1977

Philip Warren Anderson (1923– ), Mĩ, Ngài Nevill Francis Mott (1905–96), Anh, và John Hasbrouck van Vleck (1899–1980), Mĩ

*Cho các nghiên cứu lý thuyết cơ bản của họ về cấu trúc điện tử của các hệ từ tính và mất trật tự.*



## 1978

Pyotr Leonidovich Kapitsa (1894–1984), Liên Xô

*Cho những phát minh và khám phá cơ bản của ông trong lĩnh vực vật lí nhiệt độ thấp.*

và Arno Allan Penzias (1933– ), Mĩ, và Robert Woodrow Wilson (1936– ), Mĩ

*Cho sự khám phá ra bức xạ nền vi sóng vũ trụ.*

## 1979

Sheldon Lee Glashow (1932– ), Mĩ, Abdus Salam (1926–96), Pakistan, và Steven Weinberg (1933– ), Mĩ

*Cho những đóng góp của họ đối với lí thuyết tương tác yếu và tương tác điện từ thống nhất giữa các hạt sơ cấp, trong đó, không kể những thứ khác, có sự tiên đoán dòng trung hòa yếu.*

## 1980

James Watson Cronin (1931– ), Mĩ, và Val Logsdon Fitch (1923– ), Mĩ

*Cho sự khám phá ra các vi phạm của các nguyên lí đối xứng cơ bản trong sự phân hủy của các meson K trung hòa.*

## 1981

Nicolaas Bloembergen (1920– ), Mĩ, và Arthur Leonard Schawlow (1921–99), Mĩ

*Cho sự đóng góp của họ đối với sự phát triển của quang phổ học laser.*

và Kai M. Siegbahn (1918– ), Thụy Điển

*Cho sự đóng góp của ông đối với sự phát triển của quang phổ học electron phân giải cao.*

## 1982

Kenneth G. Wilson (1936– ), Mĩ

*Cho lí thuyết của ông về các hiện tượng tới hạn liên quan đến các chuyển tiếp pha.*

## 1983

Subramanyan Chandrasekhar (1910–95), Mĩ

*Cho các nghiên cứu lí thuyết của ông về các quá trình vật lí có tầm quan trọng đối với cấu trúc và sự phát triển của các sao.*

và William Alfred Fowler (1911–95), Mĩ

*Cho các nghiên cứu lí thuyết và thực nghiệm của ông về các phản ứng hạt nhân có tầm quan trọng trong sự hình thành các nguyên tố hóa học trong vũ trụ.*

## 1984

Carlo Rubbia (1934– ), Italy, và Simon van der Meer (1925– ), Hà Lan

*Cho những đóng góp có tính quyết định của họ cho một dự án lớn mang lại sự khám phá ra các hạt W và Z, hạt trung chuyển của tương tác yếu.*



## **1985**

Klaus von Klitzing (1943– ), Cộng hòa liên bang Đức

*Cho sự khám phá ra hiệu ứng Hall lượng tử.*

## **1986**

Ernst Ruska (1906–88), Cộng hòa liên bang Đức

*Cho công trình nghiên cứu cơ bản của ông về quang học electron, và cho sự thiết kế ra chiếc kính hiển vi điện tử đầu tiên.*

và Gerd Binnig (1947– ), Cộng hòa liên bang Đức, và Heinrich Rohrer (1933– ), Thụy Sĩ

*Cho sự thiết kế của họ về kính hiển vi quét chui hầm.*

## **1987**

J. Georg Bednorz (1950– ), Cộng hòa liên bang Đức, và K. Alexander Müller (1927– ),  
Thụy Sĩ

*Cho bước đột phá quan trọng của họ trong việc khám phá ra sự siêu dẫn ở các chất liệu ceramic.*

## **1988**

Leon M. Lederman (1922– ), Mĩ, Melvin Schwartz (1932–2006), Mĩ, và Jack Steinberger (1931– ), Thụy Sĩ

*Cho phương pháp chùm neutrino và minh chứng của cấu trúc kép của các lepton qua sự khám phá ra neutrino muon.*

## **1989**

Norman F. Ramsey (1915– ), Mĩ

*Cho sự phát minh ra phương pháp trường dao động tách biệt và công dụng của nó trong maser hydrogen và các đồng hồ nguyên tử khác.*

và Hans G. Dehmelt (1932– ), Mĩ, Wolfgang Pauli (1913–93), Cộng hòa liên bang Đức

*Cho sự phát triển kỹ thuật bẫy ion.*

## **1990**

Jerome I. Friedman (1930– ), Mĩ, Henry W. Kendall (1926–99), Mĩ, và Richard E. Taylor (1929– ), Canada

*Cho các nghiên cứu tiên phong của họ về sự tán xạ sâu, phi đàn hồi, của các electron lên proton và các neutron liên kết, hiện tượng có tầm quan trọng thiết yếu đối với sự phát triển của mô hình quark trong ngành vật lí hạt cơ bản.*

## **1991**

Pierre-Gilles de Gennes (1932– ), Pháp

*Cho sự khám phá ra các phương pháp phát triển để cho việc nghiên cứu các hiện tượng trật tự trong các hệ đơn giản có thể khai quát hóa cho các dạng phức tạp hơn của vật chất, đặc biệt là cho các hệ tinh thể lỏng và polymer.*

## **1992**

Georges Charpak (1924– ), Pháp



*Cho sự phát minh và phát triển của ông về các máy dò hạt, đặc biệt là buồng tì lê đa dây.*

### **1993**

Russell A. Hulse (1950– ), Mĩ, Joseph H. Taylor Jr. (1941– ), Mĩ

*Cho sự khám phá ra một loại pulsar mới, khám phá đã mở ra những khả năng mới cho nghiên cứu sự hấp dẫn.*

### **1994**

Bertram N. Brockhouse (1918–2003), Canada, và Clifford G. Shull (1915–2001), Mĩ

*Cho những đóng góp tiên phong đối với sự phát triển của các kỹ thuật tán xạ neutron dùng trong nghiên cứu vật chất ngưng tụ, Brockhouse cho sự phát triển quang phổ học neutron, và Shull cho sự phát triển kỹ thuật nhiễu xạ neutron.*

### **1995**

Martin L. Perl (1927– ), Mĩ, Frederick Reines (1918–98), Mĩ

*Cho những đóng góp thực nghiệm tiên phong đối với ngành vật lí học lepton. Perl cho sự khám phá ra lepton tau, và Reines cho sự dò tìm neutrino.*

### **1996**

David M. Lee (1931– ), Mĩ, Douglas D. Osheroff (1945– ), Mĩ, và Robert C. Richardson (1937– ), Mĩ

*Cho sự khám phá của họ về sự siêu chảy ở helium-3.*

### **1997**

Steven Chu (1948– ), Mĩ, Claude Cohen-Tannoudji (1933– ), Pháp, và William D. Phillips (1948– ), Mĩ

*Cho sự phát triển các phương pháp làm lạnh và bẫy nguyên tử bằng ánh sáng laser.*

### **1998**

Robert B. Laughlin (1950– ), Mĩ, Horst L. Störmer (1949– ), Cộng hòa liên bang Đức, và Daniel C. Tsui (1939– ), Mĩ

*Cho sự khám phá của họ về một dạng chất lỏng lượng tử mới với các trạng thái kích thích tích điện phân số.*

### **1999**

Gerardus 't Hooft (1946– ), Hà Lan, và Martinus J. G. Veltman (1931– ), Hà Lan

*Cho sự giải thích cấu trúc lượng tử của các tương tác điện yếu trong vật lí học.*

### **2000**

Zhores I. Alferov (1930– ), Nga, Herbert Kroemer, (1928– ), Cộng hòa liên bang Đức, và Jack S. Kilby (1923–2005), Mĩ

*Cho công trình nghiên cứu cơ bản về thông tin và công nghệ viễn thông. Alferov và Kroemer cho sự phát triển các cấu trúc lai bán dẫn dùng trong điện tử học tốc độ cao và quang điện tử học, và Kilby cho phần đóng góp của ông cho sự phát minh ra mạch tích hợp.*



## Thuật ngữ

**bài toán nhiều vật** – sự phân tích của một mô hình vật lí liên quan đến tương tác của nhiều hơn hai vật, thí dụ như hành trạng của các electron trong chất rắn.

**bảng tuần hoàn các nguyên tố hóa học** – một sự sắp xếp các nguyên tố hóa học thành các hàng và cột thể hiện sự tương đồng tính chất vật lí và hóa học của chúng.

**baryon** – một hạt hạ nguyên tử nặng ít nhất bằng một proton, cấu tạo gồm ba quark và phản ứng với lực hạt nhân mạnh.

**bát đạo** – thuật ngữ vay mượn từ Phật giáo để mô tả sự đối xứng toán học nền tảng của các baryon.

**biến tố** - sự biến đổi hạt nhân này thành hạt nhân khác do sự phân hủy phóng xạ gây ra.

**boson (boson chuẩn)** – nói chung, là một hạt hạ nguyên tử có spin nguyên; đặc biệt, một boson chuẩn được trao đổi để tạo ra một lực cơ bản, thí dụ như photon đối với lực điện từ, gluon đối với lực hạt nhân mạnh, và các hạt W và Z đối với lực yếu.

**buồng mây** – dụng cụ trong đó sự ngưng tụ của một chất hơi làm hé lộ đường đi của các ion như các ion sinh ra trên đường đi của một hạt hạ nguyên tử tích điện; buồng mây được sử dụng trong các nghiên cứu buổi đầu về tia vũ trụ và các hạt hạ nguyên tử.

**bức xạ vật đen** – năng lượng điện từ phát ra bởi một vật là hệ quả của nhiệt độ của nó.

**chất bán dẫn** – chất liệu có các tính chất điện nằm giữa tính chất của chất cách điện và chất dẫn điện; độ dẫn của một chất bán dẫn có thể điều khiển bằng cách tạo ra những thay đổi nhỏ trong thành phần của nó.

**chất bán dẫn loại n** – một loại chất bán dẫn có số electron nhiều hơn số lỗ trống.

**chất bán dẫn loại p** - một loại chất bán dẫn có số lỗ trống nhiều hơn số electron.

**chuẩn hóa lại** – một kỹ thuật toán học áp dụng cho điện động lực lượng tử, cho phép xử lý các vô hạn trong các phương trình trước đó không giải quyết được.

**chuyển động Brown** – một hiện tượng trong đó những hạt nhỏ, thí dụ như các hạt bụi hoặc phấn hoa, chuyển động theo những quỹ đạo bất quy tắc khi lơ lửng trong một chất khí hoặc chất lỏng.

**cộng hưởng** – hiện tượng xảy ra với một tần số tự nhiên tương thích với tần số kích thích, thí dụ như dao động của một sợi dây hoặc cột không khí trong một nhạc cụ.

**cơ học lượng tử** - một phân ngành của vật lí học xây dựng trên mô tả lượng tử của vật chất và năng lượng có bản chất lưỡng tính sóng-hạt.

**cơ học thống kê** – một phương pháp toán học áp dụng cho vật lí học nhằm liên hệ các tính chất vi mô như chuyển động của từng nguyên tử hoặc phân tử trong một chất khí với các tính chất vi mô (tổng thể) như nhiệt độ và áp suất.

**cyclotron** – dụng cụ làm gia tốc các hạt hạ nguyên tử lên những năng lượng rất cao khi chúng đi theo một quỹ đạo xoắn ốc bên trong một từ trường rất mạnh.

**dải dẫn** – một tập hợp gồm các mức năng lượng electron xếp khít nhau trong chất rắn, trong đó các electron không thuộc một nguyên tử đặc biệt nào và do đó có thể chuyển động tự do bên trong chất liệu.



**dải hóa trị** - một tập hợp gồm các mức năng lượng electron sít nhau trong một chất rắn, trong đó các electron được chia sẻ giữa một vài nguyên tử và do đó tham gia vào liên kết hóa học trong chất liệu.

**dịch chuyển Lamb** – một sự phân tách nhỏ trong quang phổ của hydrogen, lần đầu tiên được quan sát bởi Willis Lamb và là yếu tố cần thiết để tìm hiểu điện động lực học lượng tử.

**diode** – một dụng cụ điện tử chỉ cho phép dòng điện chạy qua theo một chiều.

**điện động lực học lượng tử** (QED) – một phân ngành của vật lí học xây dựng lí thuyết Maxwell cho tương thích với bản chất lượng tử của vật chất và năng lượng.

**điện trở** - một tính chất của vật chất cản trở dòng điện đi qua nó.

**đồng vị** - các hạt nhân có cùng số nguyên tử nhưng khác nhau số khồi.

**electron** – một hạt hạ nguyên tử nhỏ, tích điện âm, phát hiện ra trong tia cathode vào năm 1897, và sau này được biết là cái xác định hành trạng hóa học và điện học của nguyên tố và là cơ sở cho thuật ngữ điện tử học.

**ê te truyền sáng** – một chất giả thuyết từng được cho là tràn ngập không gian, là đối tượng mang sóng điện từ.

**giao thoa** - hiện tượng xảy ra khi các sóng chồng chất lên nhau; đối với hai sóng ánh sáng có cùng bước sóng, hiện tượng này mang lại một dải vân sáng và tối.

**gluon** – boson chuẩn trao đổi giữa các quark, nhờ đó tác dụng như một hạt trung chuyển lực hạt nhân mạnh.

**hàm sóng** – một biểu thức toán học dùng trong phương trình Schrödinger mô tả vị trí của một vật bằng một biến dạng sóng trong không gian thay vì một điểm cố định.

**hằng số Planck** – một tỉ số cơ bản trong tự nhiên liên hệ năng lượng của một lượng tử với tần số của sóng điện từ tương ứng của nó.

**hằng số vũ trụ** - một đại lượng phát sinh trong mô tả toán học của thuyết tương đối rộng Einstein; giá trị và dấu đại số của nó xác định vũ trụ đang giãn nở hay co lại, và đang giãn nở hay co lại nhanh như thế nào.

**hệ phương trình Maxwell** – một tập hợp gồm bốn công thức mô tả mối liên hệ tương hỗ giữa điện học và từ học và dự đoán sự tồn tại của sóng điện từ truyền đi ở tốc độ ánh sáng.

**hệ quy chiếu** – một điểm gốc và tập hợp các hướng trong không gian (thí dụ bắc-nam đông-tây, trên-dưới) trên đó vị trí và chuyển động tương đối của một vật có thể mô tả được. Chất ê te truyền sáng từng được giả định là một hệ quy chiếu tuyệt đối, bất động, mãi cho đến khi thuyết tương đối hẹp của Einstein chứng minh rằng không tồn tại hệ quy chiếu nào như vậy cả.

**hệ quy chiếu tuyệt đối** – xem **hệ quy chiếu**

**hệ quy chiếu tương đối** - xem **hệ quy chiếu**

**hiệu ứng nhà kính** – hiện tượng trong đó khí quyển của một hành tinh cho phép năng lượng mặt trời đi vào nhưng chặn bớt bức xạ hồng ngoại phát ra, đưa đến một nhiệt độ hành tinh cao hơn đáng kể so với trường hợp khi hành tinh không có khí quyển.

**hiệu ứng quang điện** – hiện tượng trong đó việc chiếu ánh sáng có thể làm cho các electron thoát ra khỏi một bề mặt kim loại.

**hóa trị** - một tính chất của nguyên tử, biểu diễn bằng một con số dương hoặc âm mô tả cách thức nguyên tử nhận thêm và cho đi electron trong một phản ứng hóa học.



**hợp chất** – chất hóa học cấu tạo từ một sự kết hợp đặc biệt của các nguyên tố.

**hủy cặp** – sự kiện trong đó hai hạt tương tác và phản hủy lẫn nhau, thí dụ như sự kết hợp của một electron và một lỗ trống trong chất bán dẫn, hoặc sự kết hợp của một hạt và phản hạt của nó.

**ion hóa** – sự tạo thành các nguyên tử tích điện gọi là **ion**.

**isospin** – một tính chất cơ lượng tử của các baryon có cùng loại đối xứng gương là sự quay hoặc sự từ hóa; thí dụ, proton có isospin +1/2, còn neutron có isospin -1/2.

**kaon (meson K)** – một loại meson phát hiện ra vào năm 1947 và sau này được tìm thấy có chứa một quark “lạ”.

**không thời gian** – sự kết hợp bốn chiều của không gian và thời gian thu được từ thuyết tương đối Einstein.

**lạm phát** – một lí thuyết giải thích sự đồng đều bất ngờ của bức xạ nền vũ trụ vào một thời kì rất ngắn ngay sau Big Bang, khi vũ trụ và bản thân không thời gian giãn nở ở tốc độ nhanh hơn tốc độ ánh sáng nhiều lần.

**lepton** – hạt hạ nguyên tử nhẹ không phản ứng với lực hạt nhân mạnh; lepton bao gồm electron, muon, tau, và các neutrino và phản neutrino của chúng.

**lí thuyết dây** – một phương pháp toán học được nghĩ ra để thống nhất các lực cơ bản và giải thích các hạt cơ bản là những dao động được phép trên một sợi dây 10 chiều.

**lí thuyết siêu dây** – một cải tiến đối với lí thuyết dây, bổ sung thêm một chiều thứ 11.

**lí thuyết thống nhất lớn (GUT)** – một mục tiêu của các nhà vật lí lí thuyết, những người đang tìm kiếm một lí thuyết thống nhất tất cả các lực trong tự nhiên.

**liên kết cộng hóa trị** – một loại liên kết hóa học trong đó các nguyên tử tham gia cùng chia sẻ electron.

**liên kết ion** – một loại liên kết hóa học trong đó các nguyên tử tham gia trao đổi các electron, nhờ đó trở thành các ion tích điện dương được giữ lại với nhau bằng lực hút điện.

**lỗ đen** – một ngôi sao co lại đậm đặc tới mức không gì có thể thoát ra khỏi nó, kể cả ánh sáng.

**lỗ trống** – một vùng trong chất bán dẫn trong đó thiếu một electron, và hành xử như thế nó là một điện tích dương, linh động.

**lớp vỏ** – một tập hợp các mức năng lượng tương ứng với các số lượng tử nhất định. Tính chất hóa học của các nguyên tố và các tính chất vật lí nhất định của hạt nhân thể hiện sự tuần hoàn do cách thức các electron, proton, và neutron lắp đầy lớp vỏ.

**lực điện từ** – một lực cơ bản của tự nhiên, bao gồm lực điện và lực từ, và là cơ sở của sóng điện từ, trong đó có ánh sáng.

**lực hạt nhân mạnh** – một lực cơ bản của tự nhiên tác dụng giữa các quark và gây ra sự liên kết proton và neutron bên trong hạt nhân.

**lực hạt nhân yếu** – một lực cơ bản của tự nhiên tác dụng bên trong hạt nhân và chi phối quá trình phân rã beta.

**lực hấp dẫn** – một lực cơ bản của tự nhiên tạo ra sự hút giữa hai vật bất kì miễn là có khối lượng.

**lượng tử** – gói năng lượng do Planck nghĩ ra để giải thích hình dạng của phổ bức xạ vật đen; sau này được khái quát hóa thành một gói của bất kì thực thể vật lí nào, thí dụ như điện tích hoặc xung lượng góc của một hạt, chúng biến thiên từng bậc chứ không liên tục.



**màu** – tính chất của một quark tương tác với lực hạt nhân mạnh, tương đương với điện tích dương hoặc âm đối với lực điện từ.

**meson** – một hạt hạ nguyên tử khối lượng trung bình gồm một quark và một phản quark; tên gọi sử dụng lúc đầu là pion.

**mesotron** – tên gọi ban đầu dùng để chỉ các muon, hạt đầu tiên được khám phá ra có khối lượng trong ngưỡng trung gian giữa khối lượng của electron và của proton.

**mô hình chuẩn của vật lí hạt cơ bản** – một sự mô tả của các hạt cơ bản cấu tạo nên toàn bộ vật chất mà chúng ta biết dưới dạng ba thế hệ lepton và quark cộng với các boson chuẩn là hạt trung chuyển các lực hạt hạ nguyên tử cơ bản.

**mùi** – một thuật ngữ dùng để phân biệt những loại quark khác nhau; mùi của một quark có thể up (lên), down (xuống), strange (lạ), charm (duyên), top (đỉnh), hoặc bottom (đáy).

**muon** – một hạt hạ nguyên tử là tương đương thế hệ thứ hai của electron trong mô hình chuẩn.

**neutron** – hạt hạ nguyên tử có khối lượng lớn hơn khối lượng proton một chút nhưng không mang điện; các nhân cấu tạo gồm các proton và neutron liên kết với nhau bằng lực hạt nhân mạnh.

**nguyên lí bất định** – một hệ quả của bản chất lượng tử của vật chất và năng lượng do Werner Heisenberg khám phá ra, phát biểu rằng sự tồn tại của các giới hạn tự nhiên trên độ chính xác của phép đo các cặp đại lượng năng lượng và thời gian, hoặc vị trí và xung lượng.

**nguyên tố** - chất hóa học cấu tạo từ chỉ một loại nguyên tử.

**nguyên tố phóng xạ** - các nguyên tố hóa học có số nguyên tử lớn hơn giá trị 92 của uranium.

**nguyên tử** - hạt nhỏ nhất của một chất có thể nhận ra dưới dạng một nguyên tố hóa học.

**nhiều loạn** – một thay đổi nhỏ về các tình huống vật lí thường mang lại một sự hiệu chỉnh nhỏ đối với một lý thuyết đã biết, thường là bước đầu tiên trong một phân tích bài toán nhiều vật.

**nhiều xạ tia X** – hiện tượng trong đó tương tác của tia X với một chất rắn tạo ra hình ảnh tiết lộ thông tin về cấu trúc tinh thể của chất rắn đó.

**nucleon** – một proton hoặc neutron; số khối của một hạt nhân bằng tổng số nucleon mà nó chứa.

**phản vật chất** – một loại vật chất có những tính chất y hệt với đối tác vật chất bình thường của nó, ngoại trừ mang điện tích và tính chẵn lẻ ngược lại.

**phản ứng dây chuyền** – một chuỗi phản hạch trong đó các neutron sinh ra trong một sự kiện phản hạch có thể làm cho một hoặc nhiều hạt nhân khác phân rã, mang lại một sự giải phóng năng lượng nhanh chóng và dữ dội.

**phản hạch** – một quá trình phóng xạ trong đó một hạt nhân chia tách thành hai hạt nhân nhỏ hơn và giải phóng một vài neutron.

**phản rã alpha** – xem **tia alpha**

**phản rã beta** – xem **tia beta**

**phân tích hoạt tính neutron** – một kỹ thuật dùng để xác định thành phần hóa học và đồng vị của một chất liệu bằng cách bắn phá nó bằng các neutron và đo sự phóng xạ thu được.



**phân tử** - một sự kết hợp đặc biệt của các nguyên tử cấu tạo nên hạt nhỏ nhất của một chất có thể nhận dạng là một hợp chất nhất định.

**phonon** – một lượng tử hay một gói năng lượng dao động.

**phóng xạ** - một quá trình hạ nguyên tử trong đó một hạt nhân phát ra các hạt giàu năng lượng hoặc tia gamma.

**photon** – một lượng tử hay một gói năng lượng ánh sáng.

**pion** – meson trao đổi giữa các nucleon, tạo ra lực hạt nhân mạnh.

**positron** – phản hạt của electron.

**proton** – hạt hạ nguyên tử có một đơn vị điện tích dương và một đơn vị số khối; hạt nhân của hydrogen bình thường là một hạt proton.

**pulsar** – một loại sao phát ra ánh sáng ở dạng xung rất đều đặn, ngày nay được biết là một sao neutron đang quay nhanh.

**quang phổ** - những màu sắc khác nhau chứa trong ánh sáng, hoặc tổng quát hơn là các bước sóng đa dạng trong các sóng mang năng lượng bất kì, thường được trình bày là một biểu đồ liên tục của cường độ theo bước sóng hoặc một dải vạch đặc trưng cho cường độ ở những bước sóng nhất định.

**quang phổ kê** - dụng cụ quang phân tách ánh sáng (hoặc một sóng điện từ khác) thành các bước sóng thành phần của nó và đo cường độ của chúng.

**quang phổ liên tục** – xem **quang phổ**.

**quang phổ vạch** – xem **quang phổ**.

**quark** – một loại hạt hạ nguyên tử được xem là viên gạch cấu trúc của các baryon và meson, nghĩa là các hạt tương tác thông qua lực hạt nhân mạnh.

**sao neutron** – một ngôi sao siêu đậm đặc trong đó toàn bộ vật chất của nó đều bị nén thành neutron (xem pulsar).

**sắc động lực lượng tử** (QCD) – lí thuyết mô tả lực hạt nhân mạnh là hệ quả của các quark đang trao đổi một loại boson gọi là gluon.

**sắt từ** - một tính chất của những loại vật chất nhất định, thí dụ như sắt, cho phép nó phát triển và duy trì một từ trường vĩnh cửu.

**siêu chảy** – một tính chất cơ lượng tử quan sát thấy ở helium lỏng trong đó nó mất hết độ nhớt, sự cản trở đối với chuyển động chảy, khi ở dưới một nhiệt độ nhất định nào đó.

**siêu dẫn** – một tính chất cơ lượng tử của những chất nhất định làm cho chúng mất hết điện trở khi ở dưới một nhiệt độ nhất định.

**sóng dừng** – hình ảnh đứng yên của dao động thu được từ sự giao thoa ổn định của hai sóng hoặc là một hiện tượng cộng hưởng.

**số khối** - một con số đặc trưng cho khối lượng của một hạt nhân, bằng tổng số proton và neutron mà nó có.

**số lượng tử** - một giá trị mô tả một tính chất vật lí có thể nhận các bội số nguyên của một giá trị cơ bản, thí dụ như hằng số Planck (hoặc giá trị nửa nguyên, như trong trường hợp spin).

**số nguyên tử** - một con số đặc trưng cho vị trí của một nguyên tố trong bảng tuần hoàn hóa học, bằng số lượng proton có trong hạt nhân của nguyên tố đó.



**spin** – một tính chất cơ bản của các hạt hạ nguyên tử, biểu diễn bằng một số lượng tử kí hiệu là  $s$ , tương ứng với từ tính cổ hữu của chúng.

**sự tách vạch phổ** - hiện tượng trong đó một vạch phổ tách thành một số vạch khi có sự tác dụng của một trường ngoài như điện trường hoặc từ trường.

**sự vướng víu** – xem **sự vướng víu lượng tử**.

**sự vướng víu lượng tử** - hiện tượng trong đó việc xác định trạng thái lượng tử của một hạt ngay tức thì ảnh hưởng đến trạng thái lượng tử của hạt kia ở cách xa, vì mối quan hệ giữa những trạng thái đó đã được xác lập trước đó; khi lần đầu tiên được tiên đoán, Einstein đã gọi hiện tượng này là “tác dụng ma quỷ từ xa”.

**tán xạ** - hiện tượng trong đó một dòng hạt hoặc năng lượng bị chêch hướng do tương tác với một tấm bia. Hình ảnh thu được tiết lộ các chi tiết của tấm bia, thí dụ như sự tán xạ của hạt alpha cho biết cấu trúc hạt nhân của nguyên tử.

**tia alpha** (hay **hạt alpha**) – dạng phóng xạ có tính đâm xuyên kém nhất. Hạt alpha là hạt nhân helium, và quá trình tạo ra chúng thường được gọi là phân rã alpha.

**tia beta** (hay **hạt beta**) – một dạng phóng xạ có tính đâm xuyên mạnh hơn tia alpha, nhưng kém đâm xuyên hơn tia gamma. Hạt beta là electron và quá trình tạo ra chúng trong hạt nhân thường được gọi là phân rã beta.

**tia cathode** – một dòng hạt âm phát ra từ một điện cực bị đốt nóng trong ống chân không, phát hiện ra vào năm 1897, có bản chất là các hạt electron.

**tia gamma** (hay **bức xạ gamma**) – dạng phóng xạ có tính đâm xuyên cao nhất. Tia gamma là các photon năng lượng cao.

**tia vũ trụ** - các hạt năng lượng cao đi đến Trái đất từ những phần xa xôi của vũ trụ hoặc kết quả từ sự tương tác của các hạt như thế với ranh giới trên cùng của bầu khí quyển Trái đất.

**tinh thể** - một chất rắn được đặc trưng bởi sự sắp xếp ba chiều, lặp lại đều đặn của các nguyên tử của nó.

**tính chẵn lẻ** - thuộc tính thuận trái hoặc thuận phải cổ hữu của một hạt hạ nguyên tử chỉ có thể quan sát trong các quá trình liên quan đến lực hạt nhân yếu, thí dụ như phân rã beta.

**tính lạ** - một tính chất cơ lượng tử được tìm thấy là bảo toàn trong sự biến đổi của các hạt hạ nguyên tử dưới tác động của lực hạt nhân mạnh; sau này được công nhận bằng tổng số quark lạ.

**transistor** – một dụng cụ điện tử cấu tạo từ chất liệu bán dẫn có thể hoạt động như một bộ khuếch đại hoặc một công tắc điều khiển được.

**vật lí chất rắn** – một phân ngành của vật lí học nghiên cứu các tính chất của chất rắn: sau này được mở rộng để bao hàm cả ngành vật lí vật chất ngưng tụ.

**vật lí vật chất ngưng tụ** - một phân ngành của vật lí học, một sự khai quát hóa của vật lí chất rắn để bao gồm mọi chất có các tính chất phụ thuộc vào sự tương tác lẫn nhau của những tập hợp lớn của các nguyên tử, bao gồm các chất lỏng, các chất rắn kêt tinh, và các chất rắn vô định hình.

**vô định hình** – một loại chất rắn trong đó các nguyên tử không có sự sắp xếp trật tự của mạng tinh thể.

**vũ trụ học** – nghiên cứu khoa học về vũ trụ xem như một tổng thể.



## Tài liệu tham khảo

### Sách

- Adams, Steve. *Frontiers: Twentieth-Century Physics*. New York: Taylor và Francis, 2000.
- Alvarez, Luis W. Alvarez, *Adventures of a Physicist*. New York: Basic Books, 1987.
- Alvarez, Walter. *T-Rex and the Crater of Doom*. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1997.
- Boden, David, với lời nói đầu mới của Simon Singh. *E=mc<sup>2</sup>: The Biography of the World's Most Famous Equation*. 2001.
- Bortz, Fred. *Collision Course! Cosmic Impacts and Life on Earth*. Brookfield, Conn.: Millbrook Press, 2001.
- Bortz, Fred. *The Electron*. New York: Rosen Publishing, 2004.
- Bortz, Fred. *Martian Fossils on Earth? The Story of Meteorite ALH84001*. Brookfield, Conn.: Millbrook Press, 2001.
- Bortz, Fred. *The Neutrino*. New York: Rosen Publishing, 2004.
- Bortz, Fred. *The Neutron*. New York: Rosen Publishing, 2004.
- Bortz, Fred. *The Photon*. New York: Rosen Publishing, 2004.
- Bortz, Fred. *The Proton*. New York: Rosen Publishing, 2004.
- Bortz, Fred. "What Killed the Dinosaurs?" Chap. 2, *To the Young Scientist: Reflections on Doing and Living Science*. Danbury, Conn.: Franklin Watts, 1997.
- Breithaupt, Jim. *Teach Yourself Physics*. Chicago: NTC/Contemporary Publishing, 2002.
- Bromley, D. Allan. *A Century of Physics*. New York: Springer, 2002.
- Burrows, William E. *The Infinite Journey: Eyewitness Accounts of NASA and the Age of Space*. New York: Discovery Books, 2000.
- Burrows, William E. *This New Ocean: The Story of the First Space Age*. New York: Random House, 1998.
- Calaprice, Alice, với lời nói đầu của Freeman Dyson. *The New Quotable Einstein*. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 2005.
- Calder, Nigel. *Einstein's Universe: The Layperson's Guide*. New York: Penguin, 2005.
- Cassidy, David. *Uncertainty: The Life and Science of Werner Heisenberg*. New York: W. H. Freeman, 1991.
- Cathcart, Brian. *The Fly in the Cathedral: How a Group of Cambridge Scientists Won the International Race to Split the Atom*. New York: Farrar, Straus and Giroux, 2004.
- Cernan, Eugene, với Don Davis. *The Last Man on the Moon*. New York: St. Martin's, 1999.
- Chapple, Michael. *Schaum's A to Z Physics*. New York: McGraw-Hill, 2003.
- Charap, John M. *Explaining the Universe: The New Age of Physics*. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 2002.
- Chown, Marcus. *The Magic Furnace: The Search for the Origin of Atoms*. New York: Oxford University Press, 2001.
- Close, Frank, Michael Marten, và Christine Sutton. *The Particle Odyssey: A Journey to the Heart of Matter*. New York: Oxford University Press, 2002.
- Cole, K. C. *The Hole in the Universe: How Scientists Peered over the Edge of Emptiness and Found Everything*. New York: Harcourt, 2001.
- Cornwell, John. *Hitler's Scientists: Science, War, and the Devil's Pact*. New York: Viking, 2003.



- Cropper, William H. *Great Physicists: The Life and Times of Leading Physicists from Galileo to Hawking*. New York: Oxford University Press, 2001.
- Dauber, Philip M., và Richard A. Muller. *The Three Big Bangs: Comet Crashes, Exploding Stars, and the Creation of the Universe*. New York: Perseus Books, 1997.
- Dennis, Johnnie T. *The Complete Idiot's Guide to Physics*. Indianapolis, Ind.: Alpha Books, 2003.
- The Diagram Group. *The Facts On File Physics Handbook*. New York: Facts On File, 2000.
- Dyson, Marianne. *Space and Astronomy: Decade by Decade*. New York: Facts On File, 2007.
- Einstein, Albert, với lời giới thiệu mới của Brian Green. *The Meaning of Relativity*. 5th ed. 1954. Reprint, Princeton, N.J.: Princeton University Press, 2005.
- Falk, Dan. *Universe on a T-Shirt: The Quest for the Theory of Everything*. New York: Arcade Publishing, 2002.
- Fleisher, Paul. *Relativity and Quantum Mechanics: Principles of Modern Physics*. Minneapolis, Minn.: Lerner Publications, 2002.
- Fermi, Laura. *Atoms in the Family: My Life with Enrico Fermi*. Chicago: University of Chicago Press, 1954.
- Feynman, Michelle. *Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Path: The Letters of Richard P. Feynman*. New York: Basic Books, 2005.
- Feynman, Richard. *The Feynman Lectures on Physics*. 3 vols. Reprint, Boston: Addison-Wesley Longman, 1970.
- Feynman, Richard. *QED: The Strange Theory of Light and Matter*. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1986.
- Feynman, Richard. *Surely You're Joking, Mr. Feynman: Adventures of a Curious Character*. New York: W. W. Norton, 1985.
- Feynman, Richard. *What Do You Care What Other People Think? Further Adventures of a Curious Character*. New York: W. W. Norton, 1988.
- Frisch, Otto. *What Little I Remember*. Cambridge: Cambridge University Press, 1979.
- Gell-Mann, Murray. *The Quark and the Jaguar: Adventures in the Simple and the Complex*. New York: W. H. Freeman, 1994.
- Gleick, James. *Genius: The Life and Science of Richard Feynman*. New York: Pantheon, 1992.
- Gribbin, John với Mary Gribbin. *Stardust: Supernovae and Life; The Cosmic Connection*. New Haven, Conn.: Yale University Press, 2001.
- Griffith, W. Thomas. *The Physics of Everyday Phenomena*. 4th ed. Boston: WCB/McGraw Hill, 2004.
- Gundersen, P. Erik. *The Handy Physics Answer Book*. Detroit: Visible Ink Press, 1999.
- Hahn, Otto. *Otto Hahn: My Life, The Autobiography of a Scientist*, bản dịch của Ernst Kaiser và Eithne Wilkins. New York: Herder and Herder, 1970.
- Hawking, Stephen. *A Brief History of Time*. New York: Bantam, 1988.
- Hawking, Stephen. *The Universe in a Nutshell*. New York: Bantam, 2001.
- Heppenheimer, T. A. *Countdown: A History of Space Flight*. New York: John Wiley, 1997.
- Hoddeson, Lillian, Ernest Braun, Jürgen Teichmann, và Spencer Weart. *Out of the Crystal Maze: Chapters from the History of Solid-State Physics*. New York: Oxford University Press, 1992.
- Hoddeson, Lillian và Vicki Daitch. *True Genius: the Life and Science of John Bardeen*. Washington, D.C.: Joseph Henry Press, 2002.
- Holton, Gerald James, và Stephen G. Brush. *Physics, the Human Adventure: From Copernicus to Einstein and Beyond*. New Brunswick, N.J.: Rutgers University Press, 2001.
- James, Ioan. *Remarkable Physicists: From Galileo to Yukawa*. New York: Cambridge University Press, 2004.

- Johnson, George. *Strange Beauty: Murray Gell-Mann and the Revolution in Twentieth-Century Physics*. New York: Random House, 1999.
- Kragh, Helge. *Quantum Generations: A History of Physics in the Twentieth Century*. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1999.
- Launius, Roger D., và Howard McCurdy. *Imagining Space: Achievements \* Predictions \* Possibilities, 1950–2050*. San Francisco, Calif.: Chronicle, 2001.
- Leighton, Ralph, biên tập. *Classic Feynman: All the Adventures of a Curious Character, by Richard Feynman*. New York: W. W. Norton, 2005.
- Leiter, Darryl J. *A to Z of Physicists*. New York: Facts On File, 2003.
- Lightman, Alan. *The Discoveries: Great Breakthroughs in 20th Century Science, Including the Original Papers*. New York: Pantheon, 2005.
- McCurdy, Howard E. *Space and the American Imagination*. Washington, D.C.: Smithsonian, 1997.
- McGrath, Kimberley A., biên tập. *World of Physics*. Farmington Hills, Mich.: Thomson Gale, 2001.
- Mehra, Jagdish. *The Beat of a Different Drum: The Life and Science of Richard Feynman*. Oxford: Oxford University Press, 1994.
- Moore, Walter. *Schrödinger: Life and Thought*. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.
- Morton, Oliver. *Mapping Mars: Science, Imagination, and the Birth of a World*. New York: Picador, 2002.
- Rhodes, Richard. *The Making of the Atomic Bomb*. New York: Simon & Schuster, 1986.
- Ridgen, John S. *Einstein 1905: The Standard of Greatness*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 2005.
- Rosen, Joe. *Encyclopedia of Physics*. New York: Facts On File, 2004.
- Schumm, Bruce A. *Deep Down Things: The Breathtaking Beauty of Particle Physics*. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2005.
- Seife, Charles. *Alpha & Omega: The Search for the Beginning and the End of the Universe*. New York: Viking, 2003.
- Siegfried, Tom. *Strange Matters: Undiscovered Ideas at the Frontiers of Space and Time*. Washington, D.C.: Joseph Henry Press, 2002.
- Sime, Ruth Lewin. *Lise Meitner: A Life in Physics*. Berkeley: University of California Press, 1996.
- Smolin, Lee. *The Trouble with Physics: The Rise of String Theory, the Fall of a Science, and What Comes Next*. New York: Houghton Mifflin, 2006.
- Supplee, Curt. *Physics in the 20th Century*. New York: Harry N. Abrams, 1999.
- Trefil, James. *From Atoms to Quarks: An Introduction to the Strange World of Particle Physics*. Rev. ed. New York: Anchor Books, 1994.
- White, Michael, và John Gribbin. *Stephen Hawking: A Life in Science*. New York: Dutton, 1992.
- Woit, Peter. *Not Even Wrong: The Failure of String Theory and the Search for Unity in Physical Law*. New York: Basic Books, 2006.



## Web Sites

- Academy of Achievement. <http://www.achievement.org>. April 21, 2006.
- American Institute of Physics, Center for History of Physics. <http://www.aip.org/history>. March 27, 2006.
- American Physical Society. A Century of Physics. <http://timeline.aps.org/APS>. April 25, 2006.
- American Physical Society. Physics Central. <http://www.physicscentral.com>. April 25, 2006.
- CWP and Regents of the University of California. "Contributions of 20th-Century Women to Physics." <http://cwp.library.ucla.edu>. April 25, 2006.
- Fermilab Education Office. [http://www-ed.fnal.gov/ed\\_home.html](http://www-ed.fnal.gov/ed_home.html). April 21, 2006.
- Feynman Online. <http://www.feynman.com>. April 3, 2006.
- Garwin, Richard L. "Memorial Tribute for Luis W. Alvarez." <http://www.fas.org/rlg/alvarez.htm>. April 20, 2006.
- Lawrence Berkeley National Laboratory. Nuclear Science Division. "The ABCs of Nuclear Science." <http://www.lbl.gov/abc>. April 25, 2006.
- Lawrence Berkeley National Laboratory. Particle Data Group. "The Particle Adventure: The Fundamentals of Matter and Force." <http://particleadventure.org/particleadventure>. April 25, 2006.
- National Inventors Hall of Fame. <http://www.invent.org>. April 18, 2006.
- Nobelprize.org. <http://nobelprize.org>. March 27, 2006.
- Reyer, Steve. 1954–2004: The TR-1's Golden Anniversary. <http://people.msue.edu/~reyer/regency>. September 19, 2005.
- Robbins, Stuart. Journey through the Galaxy. <http://home.cwru.edu/~sjr16/>. April 21, 2006.
- Schwarz, Patricia. The Official String Theory Web Site. <http://www.superstringtheory.com>. April 21, 2006.
- The Science Museum. <http://www.sciencemu-seum.org.uk>. March 27, 2006.
- The Science Shelf, Books for the World Year of Physics 2005. <http://www.scienceshelf.com/WorldYearofPhysics.htm>. April 26, 2006.
- Sloan Digital Sky Survey. SDSS Sky Survey/SkyServer. <http://cas.sdss.org/dr4/en>. April 21, 2006.
- Watt, Robert D., W. Peter Trower, M. Lynn Stevenson, Richard A. Muller, and Walter Alvarez. "Luis W. Alvarez, Physics: Berkeley." <http://ark.cdlib.org/ark:/13030/hb967nb5k3>. April 20, 2006.
- Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP). <http://wmap.gsfc.nasa.gov>. April 21, 2006.
- World Year of Physics 2005. <http://www.phys-ics2005.org>. March 27, 2006.





## Lịch sử Vật lí thế kỉ 20

Alfred B. Bortz

*Trần Nghiêm dịch*

Phát hành tháng 12/2010 tại [thuvienvatly.com](http://thuvienvatly.com)

---