

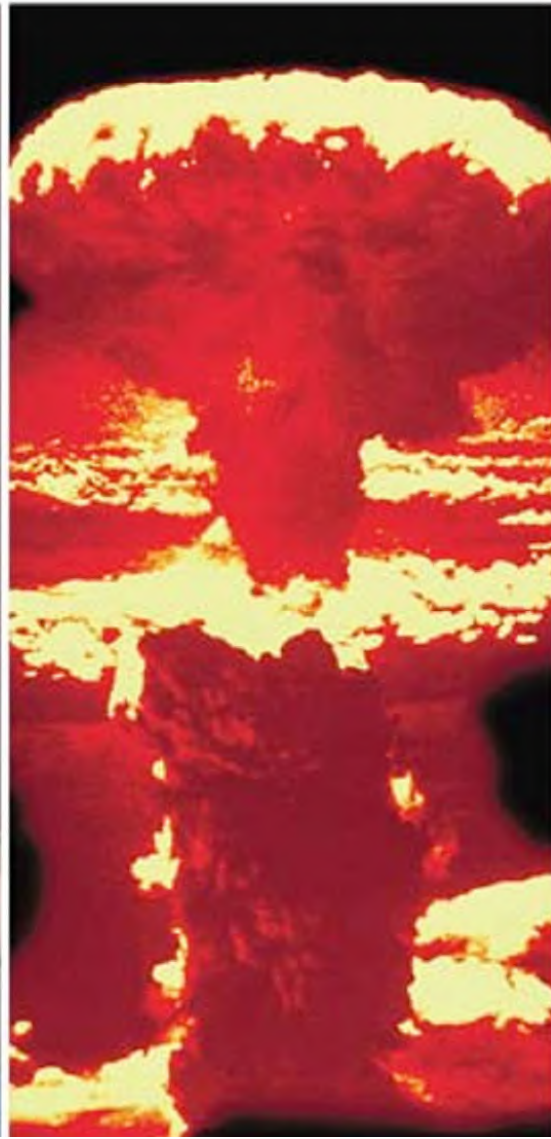


Người dịch: Trần Nghiêm

tranngiem@thuvienvatly.com

LỊCH SỬ VẬT LÝ

THẾ KỈ XX



Alfred B. Bortz, Ph.D.

Lịch sử Vật lý thế kỉ 20

Alfred B. Bortz

Trần Nghiêm dịch





MỤC LỤC

Lời nói đầu	i
Giới thiệu	iv

1. 1901 – 1910

Bình minh của vật lí học hiện đại	1
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 kĩ thuật, công nghệ và quan sát mới	17
Nhà khoa học của thập niên 1900: Albert Einstein (1879–1955)	18

2. 1911 – 1920

Những quan điểm mới về vật chất	20
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, kĩ thuật và công nghệ mới	32
Sự siêu dẫn	32
Sự trôi giạt lục địa	33
Nhà khoa học của thập niên: Ernest Rutherford (1871–1937)	34

3. 1921 – 1930

Cuộc cách mạng lượng tử	36
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

Các hạt cơ bản và nền chính trị thế giới	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:

Vật lí học trong thời kì chiến tranh	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

Vật lí học và Sự phát triển những công nghệ mới	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

Kì nguyên chinh phục và thám hiểm	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

Bắt đầu một sự tổng hợp mới	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 cộng 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 lí”. 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 vụ nổ 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 kỉ 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 lí và cho đến nay vẫn thường lảng tránh trước lời giải chính xác.

Trong thế kỉ 20, khoa học đã tìm ra phương thuốc chữa trị bệnh lao và bệnh bại liệt, nhưng những e ngại về “màng 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 kỉ 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 tiểu 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 ngụ 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 hiếu 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 chẳng, là một nỗ lực mang tính người rất cao.

Giới thiệu

Cỗ máy vũ trụ thế kỉ 19

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 thú vị, ngăn nắp. Hành trạng của nó hoàn toàn có thể tiên đoán qua các định luật tự nhiên mà họ đã biểu 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 tẩm tẩm thâu khoa học của họ.

Họ không thể nào sai lầm hơn nữa. Thay vì buộc chặt các đầu mối dẹt lỏng lẻo, 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 dẹt lại tẩm tẩm 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 tử* 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 tử 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 tử mới. Họ đã đo và phân loại các tính chất của từng nguyên tử, 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 tử và suy luận ra khối lượng nguyên tử của chúng. Khi số lượng nguyên tử đã biết tăng lên, các nhà khoa học đi tìm một khuôn khổ phân loại – một sự sắp xếp các nguyên tử sao cho những nguyên tử 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 tử*. Bắt đầu ở góc trên bên trái với nguyên tử nhẹ nhất, ông đặt các nguyên tử 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). Thịnh 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 lấp đầy sau này với những nguyên tử chưa được phát hiện ra – và ông đã đúng. Khi những nguyên tử 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 kỉ 20.

Điện từ học và Ánh sáng

Thế kỉ 19 cũng mang lại những kiến thức quan trọng về điện học, từ học, và ánh sáng. Khi thế kỉ 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 kỉ 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 sóng. 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 trú 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.

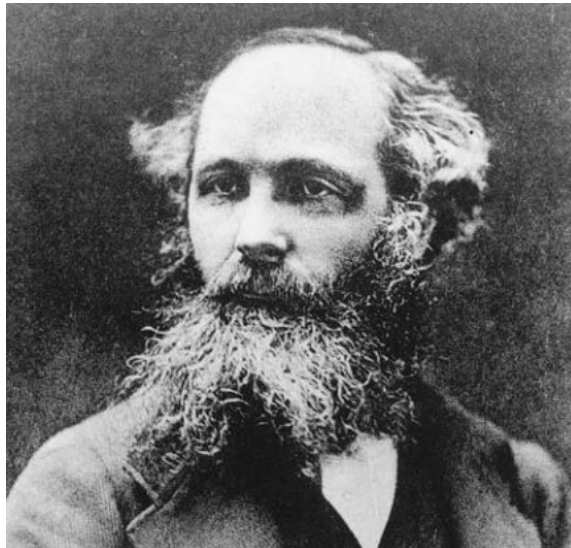
Với hệ phương trình Maxwell và bảng tuần hoàn hóa học, các nhà vật lí thế kỉ 19 cảm thấy họ đã ở gần ranh giới hiểu biết trọn vẹn về giới tự nhiên. Mọi đối tượng vật chất, cho dù lớn hay nhỏ, là gồm các nguyên tử không thể chia cắt liên kết với nhau bằng lực điện. Ở quy mô lớn hơn, ví dụ như hệ mặt trời, 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: Đây 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 lỏng lẻo 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 lỏng lẻo. 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 mươi.

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 như vậy. 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.

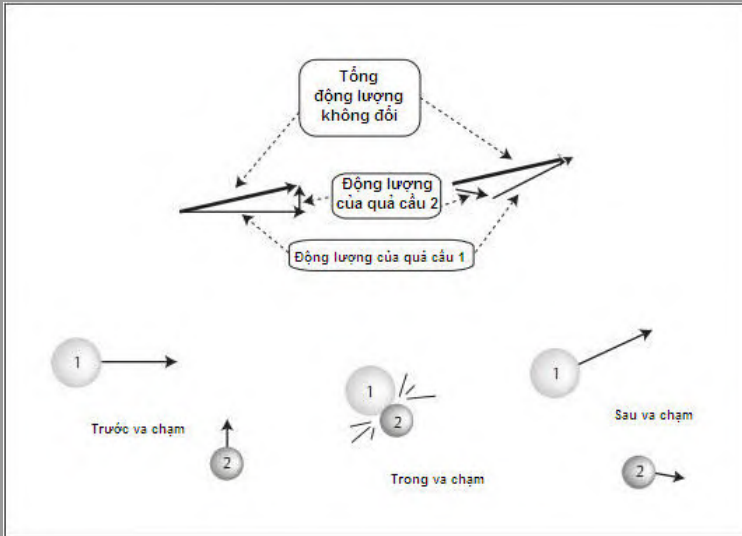
Bảo toàn khối lượng. Một trong những định luật bảo toàn quan trọng liên quan đến khối lượng. Định luật Newton thứ nhất về chuyển động định nghĩa một đại lượng gọi là quán tính, hay xu hướng của một vật duy trì vận tốc của nó, trừ khi có lực tác dụng lên nó. Số đo của quán tính là cái các nhà vật lí gọi 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 lý 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, và chạm trực diện với nhau, thì mớ hỗn tạp 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. Đúng 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 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 kiểu 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 thì hóa ra năng lượng vẫn được bảo toàn.

Một phân ngành vật lý học gọi là nhiệt động lực học mô tả cách thức nhiệt và năng lượng liên hệ với nhiệt độ. Các nhà vật lý 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 lý toán phát triển vào cuối thế kỉ thứ 19 gọi là cơ học thống kê. Cơ học thống kê cho phép các nhà vật lý 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 lý về các định luật bảo toàn khối lượng và năng lượng.



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 viện 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 này 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-tốt dường như là có khả năng nhất mang lại sự hiểu biết sâu sắc cho câu hỏi này. Tia ca-tốt là những chùm tia kì lạ xuất hiện trong ống thủy tinh hàn kín từ đó đã phần không khí đã được bơm ra ngoài. Bên trong các ống ấy là hai điện cực – một cực âm ca-tốt và một cực dương a-nốt – với một điện áp (áp suất điện) lớn giữa chúng. Khi ca-tốt 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.

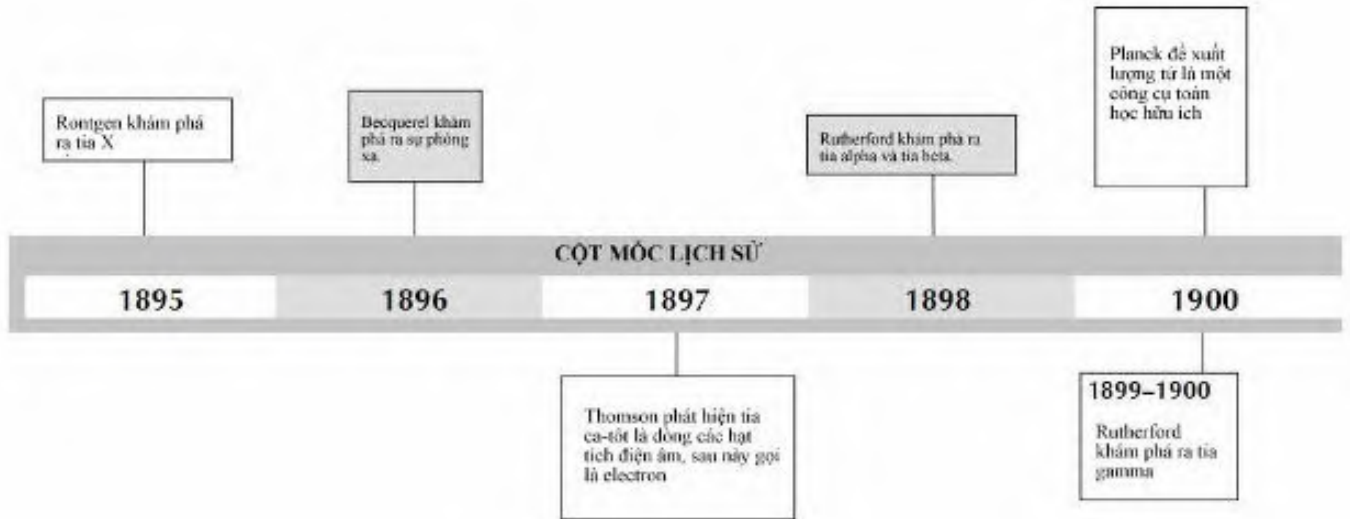
Những kết quả kì lạ

Ngày 8 tháng 11 năm 1895, nhà vật lí người Đức Wilhelm Röntgen (1845–1923) đang nghiên cứu tia ca-tốt thì ông phát hiện ra một hiện tượng lạ. Ông biết tia ca-tốt 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-tốt 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-tốt đang gây ra một dạng bức xạ chưa biết, mà ông gọi là tia X, phát ra từ a-nốt. Tia X có thể đi xuyên qua những loại vật chất nhất định – ví dụ như thủy tinh của ống tia ca-tốt – nhưng không xuyên qua những chất khác, và chúng sẽ làm đen kính ảnh. (Ngày nay, người ta biết tia X là một dạng sóng điện từ năng lượng cao).



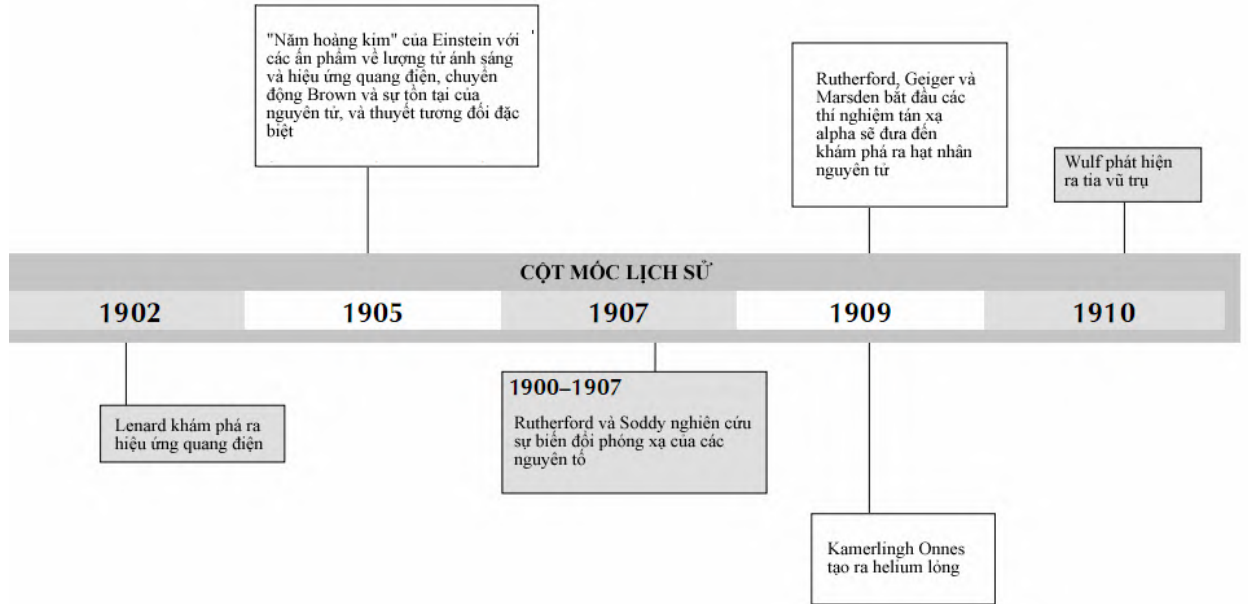
Ngày đầu tháng 3 tiếp sau đó, nhà vật lý người Pháp Henri Becquerel (1852–1908) phát hiện ra một hợp chất của uranium cũng tạo ra được bức xạ làm đen kính ảnh. Lúc đầu, ông nghĩ rằng mình đã tìm ra một nguồn khác phát ra tia X, nhưng ông sớm phát hiện thấy “tia uranium” là một hiện tượng hoàn toàn khác. Khám phá của Becquerel ngay sau đó được gọi là *sự phóng xạ*, và các vật lý 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 ký tự đầu tiên trong bộ chữ cái Hi Lạp. *Tia alpha* có thể chặn 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-tốt là hiện tượng sóng hay hạt. Năm 1897, ông công bố các kết quả của mình: Tia ca-tốt 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 lạ lùng sau đây về kích cỡ của các hạt tiểu thể: Khối 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 khả 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 lý 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 lý học khi thế kỉ 19 kết thúc. Năm 1900, lóe sáng quen thuộc của các vật bị nung nóng đã đưa nhà vật lý người Đức Max Planck (1858–1947) vào một chiều hướng bất ngờ đưa đến giải thưởng Nobel Vật lý 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 lý 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 đỏ 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 dải 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.

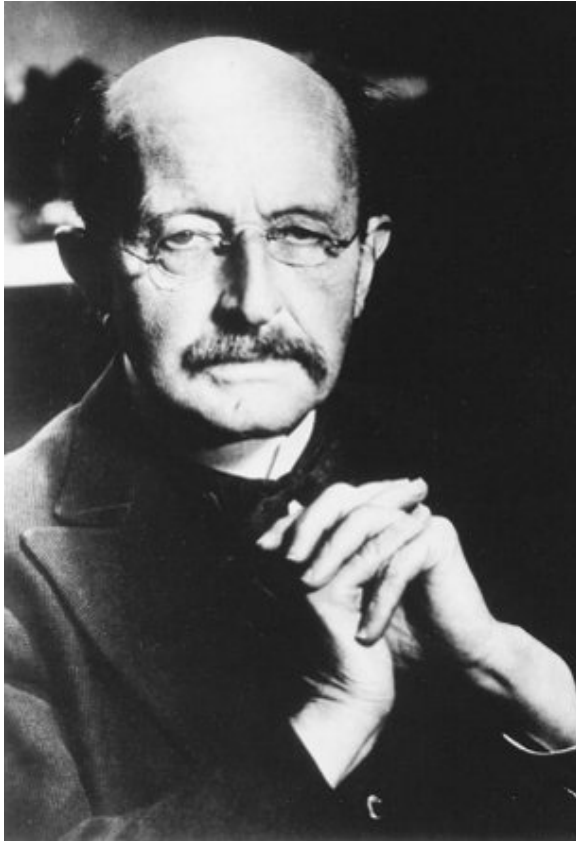


Ernest Rutherford và J.J Thomson nhiều năm sau nghiên cứu tiên phong của họ về tia ca-tốt và sự phóng xạ . (Ảnh: AIP Emilio Segrè Visual Archive, Bainbridge Collection)

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 kỳ 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 kỳ. 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.

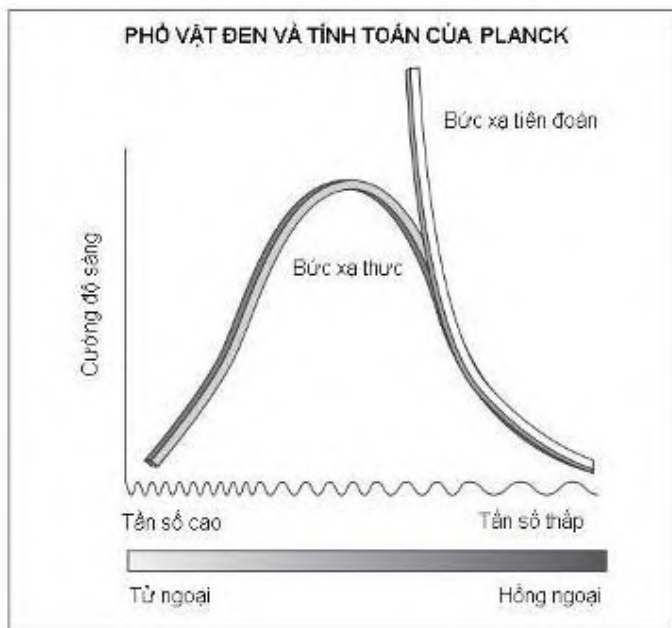


Max Planck, người có nghiên cứu ánh sáng phát ra bởi vật đen đưa đến ý tưởng lượng tử. (Ảnh: AIP Emilio Segrè Visual Archives)

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 thứ dường như là có thật. Thế kỉ 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 kỉ ấy, lí thuyết của Planck đang ngụ 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 kỉ 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 lý 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-hạt về bản chất của ánh sáng dường như chẳng đe dọa 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 phương 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 đường 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 kĩ thuật, hạng ba, ở Sở cấp bằng sáng chế Thụy Sĩ, vào năm 1902.

Công việc đó hóa ra thật lí tưởng. Nó không khổ cực 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 tập 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 thức đó - 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.

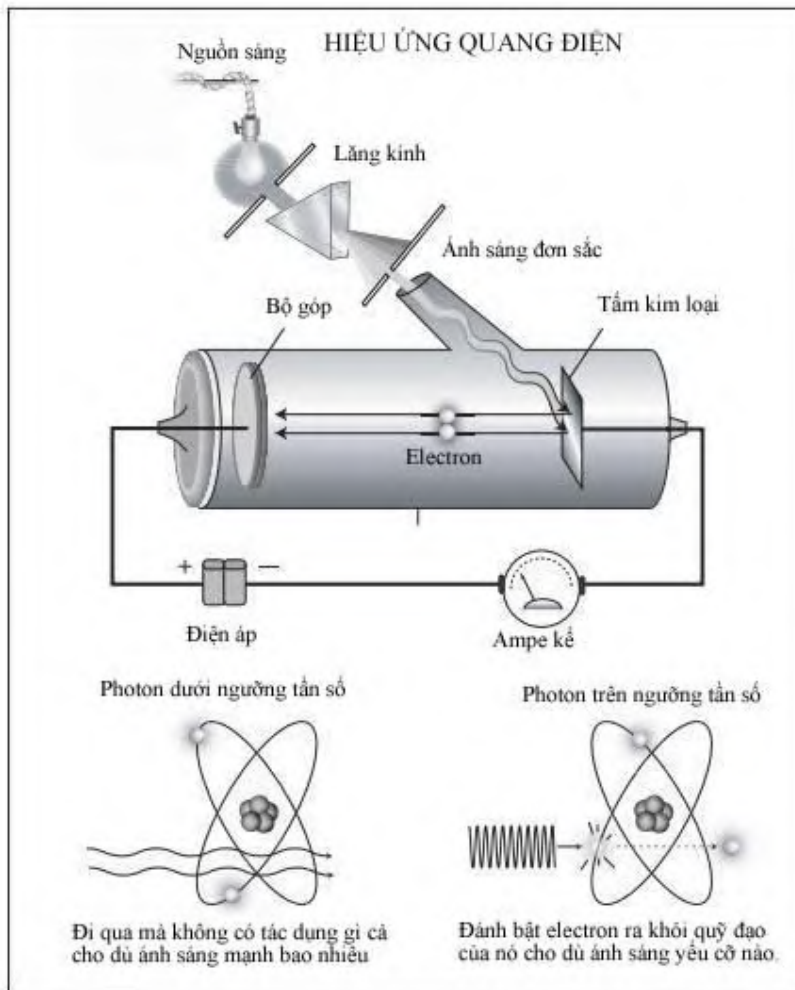
Einstein công nhận giới hạn quang điện là bằng chứng cho lượng tử Planck, vốn là phát minh mang tính toán học nhiều hơn. Chúng thật ra là các hạt – các bó năng lượng ánh sáng – sau này gọi là *photon*. Ông giải thích như sau: Để giải phóng một electron khỏi một kim loại cần một lượng năng lượng nhất 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 kí 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 lí 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 tiên 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.



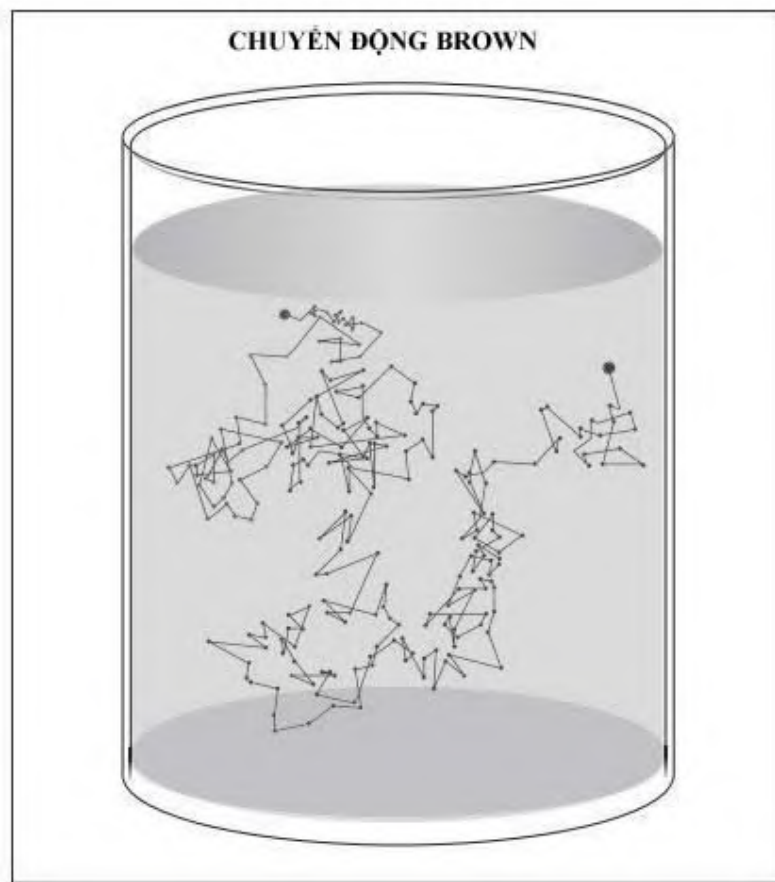
Einstein giải thích một hiện tượng gây thách đố gọi là hiệu ứng quang điện bằng cách công nhận rằng ánh sáng thật ra gồm các gói năng lượng. Nghĩa là, lượng tử Planck đã đề xuất không chỉ đơn thuần là một sự tiện lợi toán học. Ngày nay, các nhà vật lí gọi lượng tử ánh sáng là photon.

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 zig 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 từ 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) gặp 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 ấy 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 lí 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 lí 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 lí 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 hồ 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.

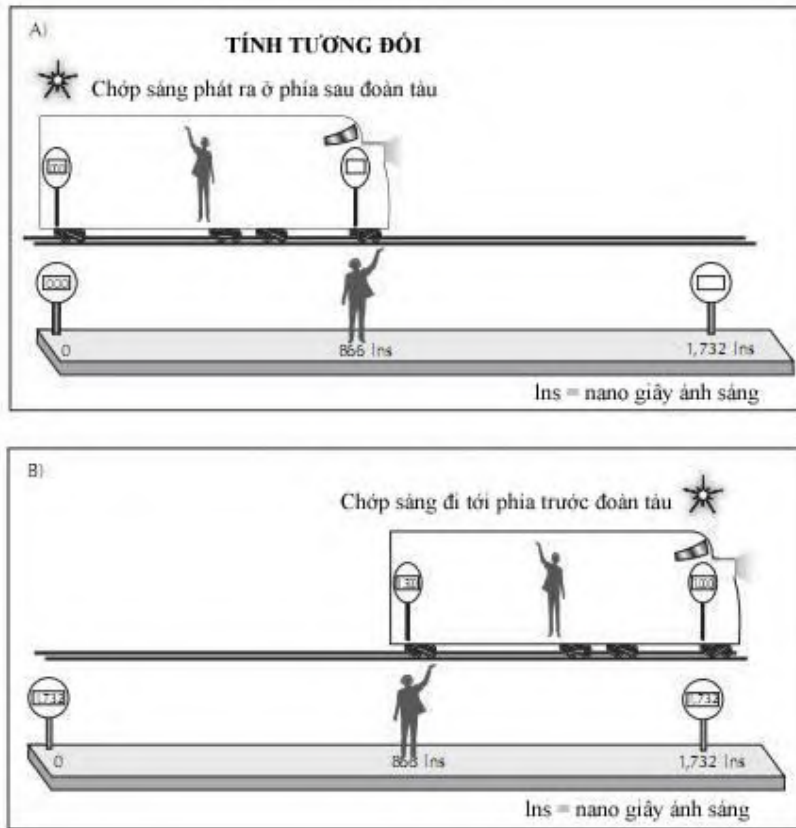
Vì nguyên lí tương đối phát biểu rằng không có hệ quy chiếu nào tốt hơn hệ kia, cho nên cả hai người đều đúng trong những quan sát của họ. Nói cách khác, các kết luận của cầu thủ ném bóng chày và của người quan sát về sự đồng thời là khác nhau, tùy thuộc vào chuyển động tương đối của họ. Từ giả sử đơn 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 kĩ 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 giản 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 phân xét bằng kinh nghiệm con người hàng ngày. Ở đây, khi nhìn bởi người quan sát trong trạm xe lửa đứng yên so với quyền 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 đứng 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 bất kể 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 để ý 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 gầy 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 vì 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 lý 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 phụ 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 từ 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 lý duy nhất thực hiện những khám phá quan trọng trong thập niên đầu tiên của thế kỷ 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 lộ trình nghiên cứu mới trong vật lý học đối với thế kỷ 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 lý 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 lý vào buổi chuyển giao của thế kỷ 20, Ernest Rutherford nhanh chóng nổi lên là một nhân vật hàng đầu trong việc tìm hiểu sự phóng xạ lẫn 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 kỷ mới thử tìm hiểu một số cơ sở hóa học rất kì 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 thể 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 phân 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. Đối 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 đề 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 lý 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?

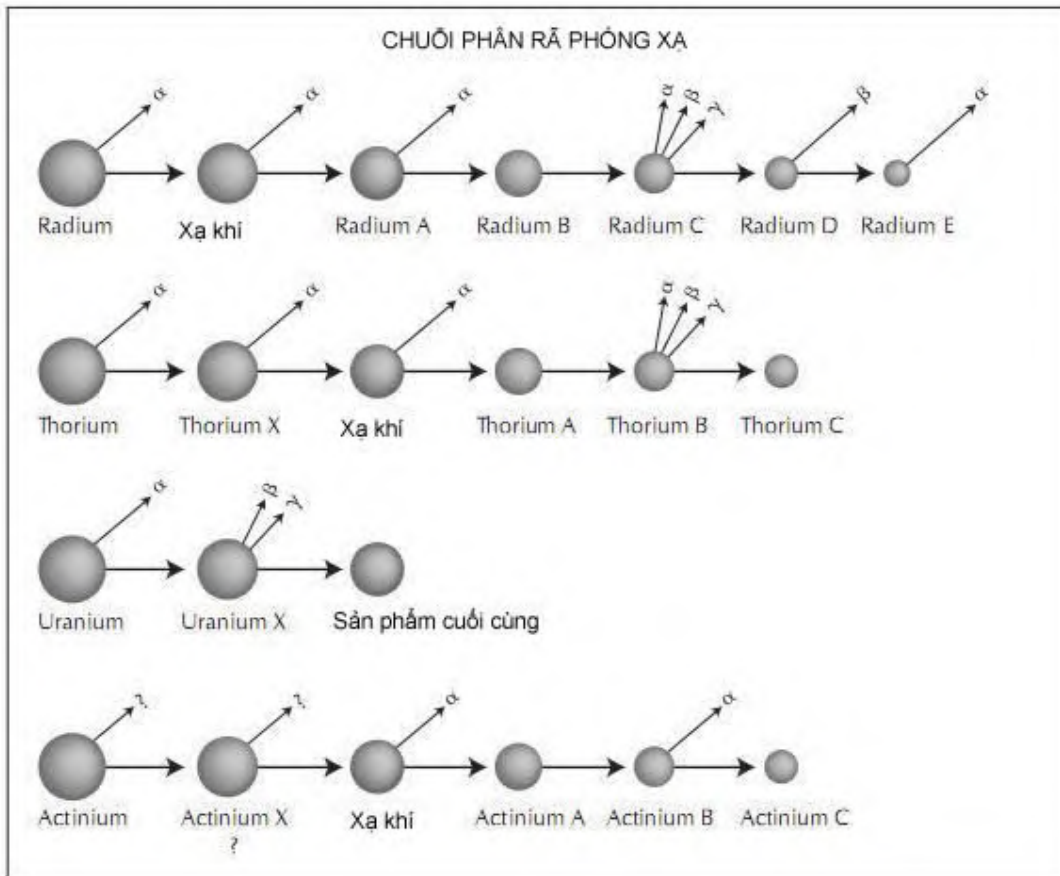
Một ý tưởng phổ biến là mô hình “bánh bông lan rắc nho” của J.J Thomson, hình dung các nguyên tử giống như món bánh ngọt yêu thích của người Anh. (Nếu Thomson là người Mĩ, ông có thể gọi nó là mẫu bánh mì nhân nho khô) Mô hình ấy hình dung nguyên tử như một cái bánh bông lan với điện tích dương của nó 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 lý 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 lý 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 gặp

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, “xạ 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 lí, 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 thể 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 thiên 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 lí thuyết nào giải thích tại sao các mẫu vân đó tồn tại. Họ trông đợi những lí 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.

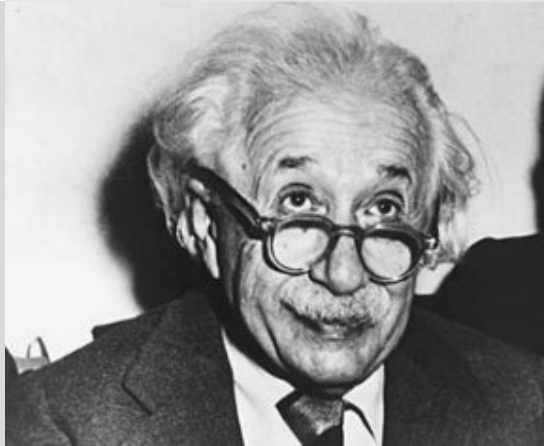


Nhà khoa học của thập niên 1900: Albert Einstein (1879–1955)

“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 kỉ 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 thềm phui bụi phấn trên quần áo của mình, mái tóc hoa râm để tự nhiên của ông cứ thối 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 cơm 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 bực bội 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.



Điện 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 đi 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 thi 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 kĩ 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 lý học) làm thay đổi tận gốc rễ nền vật lý học, như chương này đã mô tả.

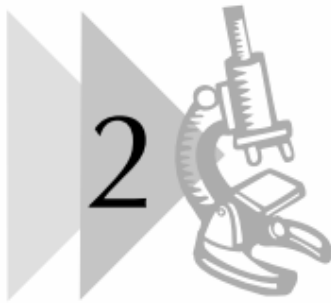
Những bài báo đó, cộng với luận án tiến sĩ của ông được công bố năm 1906, đã mang đến cho Einstein tiếng tăm trong thế giới vật lý. Ông nhận một loạt danh hiệu giáo sư, bắt đầu tại trường Đại học Zurich năm 1909, sau đó tại trường Đại học Karl-Ferdinand ở thủ đô Prague của Czech, rồi trở lại ở Viện Bách khoa Zurich. Năm 1913, Max Planck và Walter Nernst (1864–1941), một nhà vật lý Đức hàng đầu khác, đã mang đến cho Einstein cơ hội thiết lập và lãnh đạo một viện vật lý ở Berlin. Ông bắt đầu 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 lý 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 lý 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 lý ở hai bờ của Đại Tây Dương (ngoài khơi Tây Phi và ở Brazil) đã quan sát một số ngôi sao trong kì 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 lý năm 1921, không phải cho lý 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 đối 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 thuyết phục 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 lý hóa học mới* của John Dalton, cuốn sách mô tả bản chất nguyên tử của vật chất. Một trăm năm tiến 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 lý 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 lý 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.

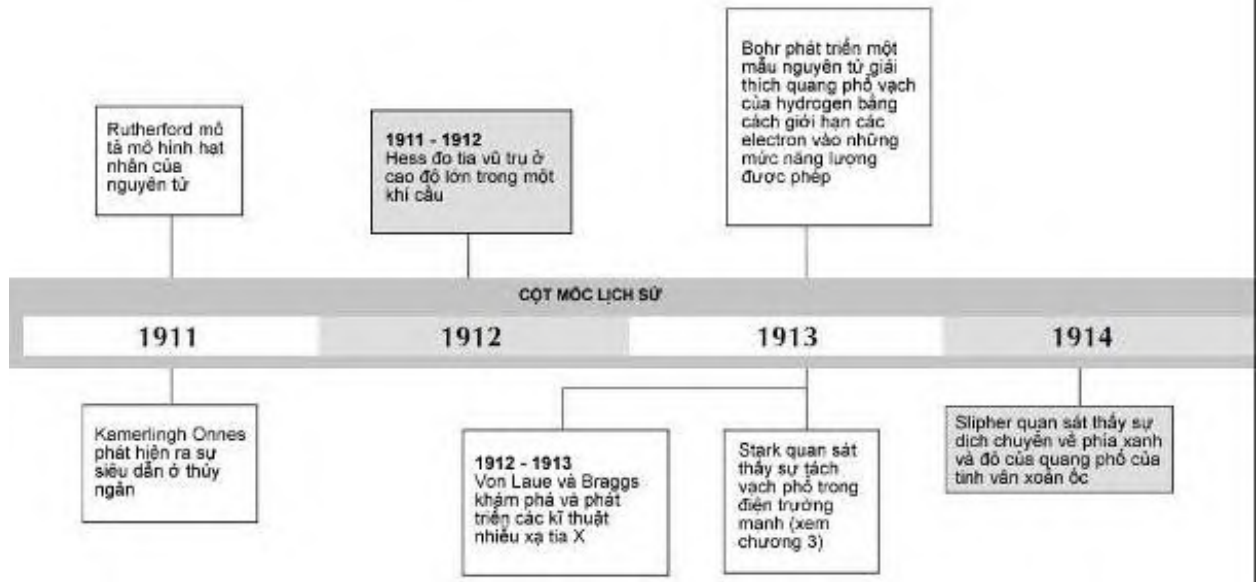
Rutherford kết luận rằng các nguyên tử không thể mô tả được bằng mô hình bánh bông lan rắc nho của Thomson, hoặc bằng mô hình quả cầu cứng mà những nhà vật lý khác ưa chuộng, mà bằng một mô hình tương tự như một hệ hành tinh giữ lại với nhau bằng lực điện thay cho lực hấp dẫn. Kết quả của các thí nghiệm 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, thỉnh thoảng, khoảng 1 hạt alpha trong 8000 hạt đến đủ gần 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.

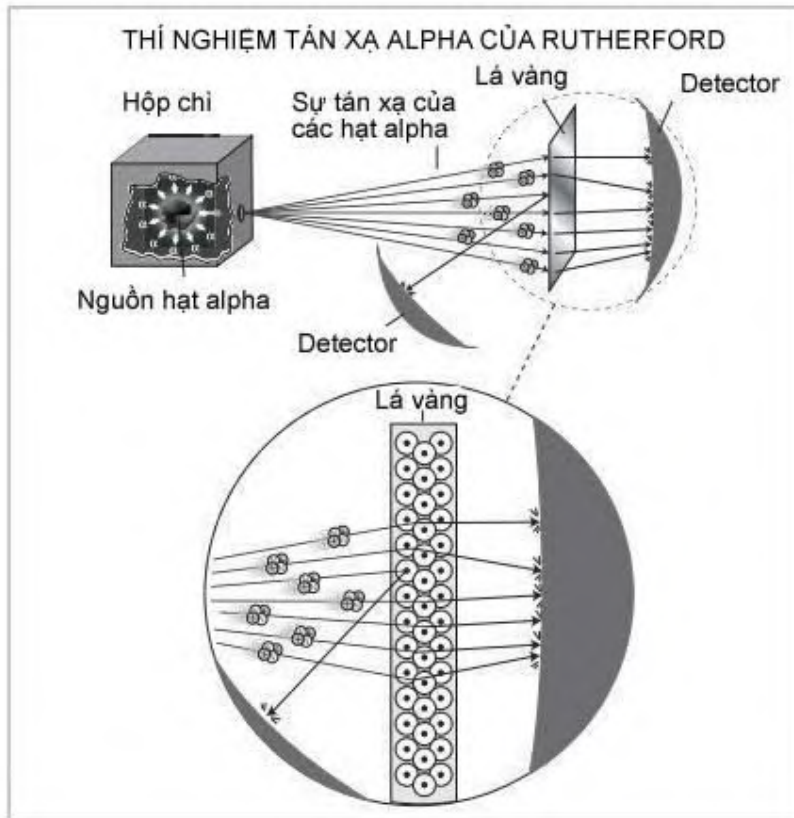
Để làm sáng tỏ điểm thứ nhất trên, khi nhà vật lý nói tới vận tốc của một vật, là nó ám chỉ cả tốc độ lẫn hướng của nó. Khi họ nói tới gia tốc của nó, thì họ đang ám chỉ tốc độ mà vận tốc của nó thay đổi, tính cả tốc độ lẫn hướng. Một hành tinh đang quay tròn bị gia tốc về phía Mặt trời bởi lực hấp dẫn, 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 rơi về phía vật ở giữa nhưng không bao giờ rơi 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?

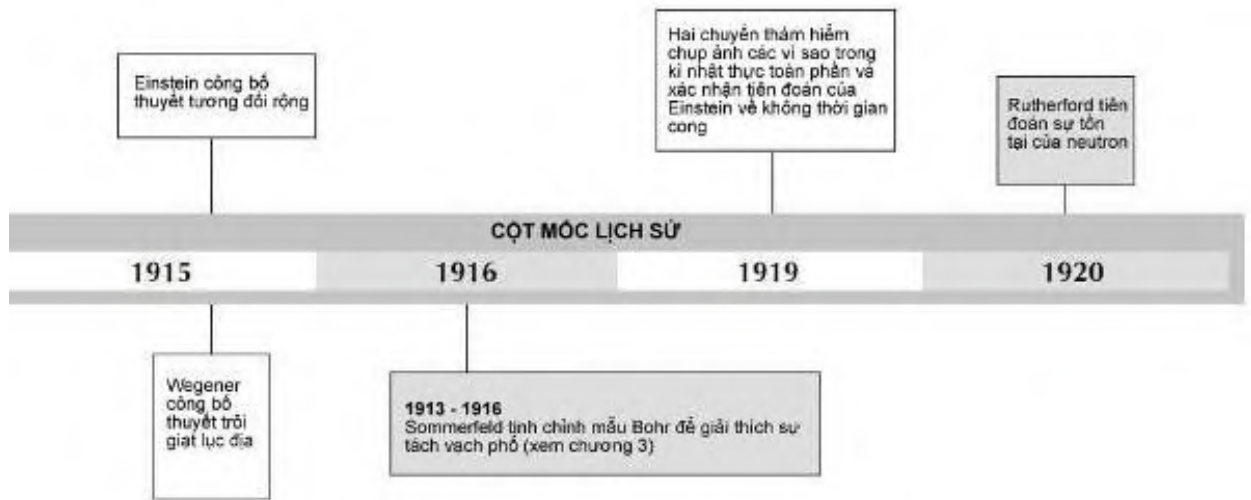
Mẫu hạt nhân của Rutherford không mang lại những cái nhìn sâu sắc ngay tức thời vào những câu hỏi đó, nhưng nó vẫn mang lại những tiện lợi quan trọng trong việc tìm hiểu những hiện tượng khác, ví dụ như sự phóng xạ. Giờ thì Rutherford có thể nhận ra các hạt alpha là hạt nhân helium và các hạt beta là 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*).



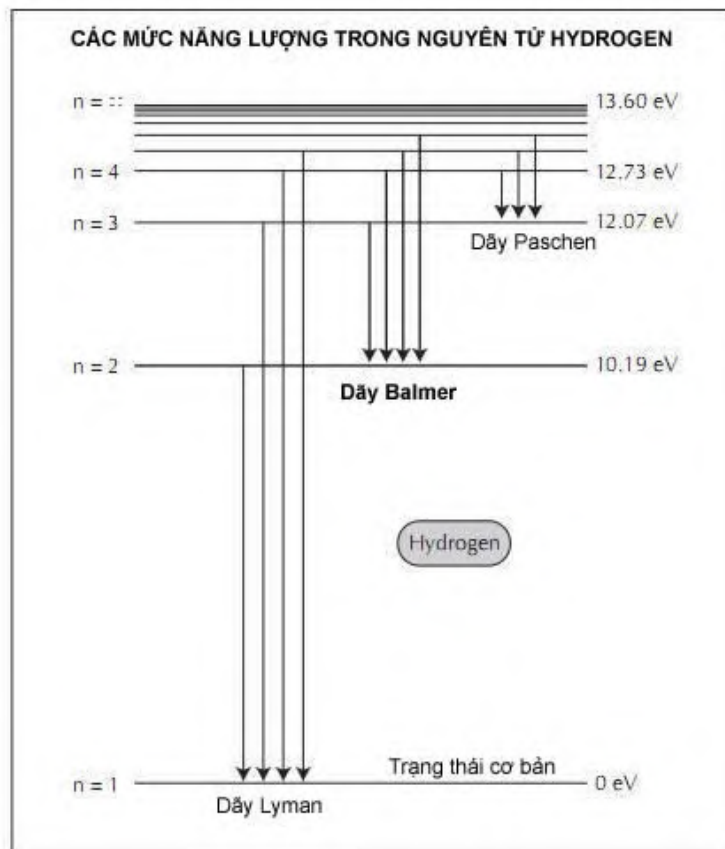
Thí nghiệm tán xạ hạt alpha của Rutherford, Hans Geiger và Ernest Marsden mang lại một khám phá bất ngờ: Một lá kim loại mỏng làm cho một phần nhỏ các hạt alpha năng lượng cao bị tán xạ xa ra hai bên hoặc thậm chí bật ngược trở lại. Từ kết quả đó, Rutherford kết luận rằng đa phần khối lượng của nguyên 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 lý 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 đề 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? Đây 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 lí 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 lý 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 điện 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. Mối 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 hệ 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, chừng nào quỹ đạo của chúng phù hợp với những điều kiện đặc biệt. Các nhà vật lý 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 lý 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 tài 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 nảy 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 (điện tích 2, khối lượng 4) kết hợp với một hạt nhân nitrogen (điện tích 7, khối lượng 14) tạo ra một proton (điện tích 1, khối lượng 1) và một đồng vị bền nhưng không phổ biến của oxygen (điện 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 lý là mọi hạt nhân được cấu thành từ các proton. Điều đó sẽ giải thích cho điện 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 lẫn nhau với lực rất lớn. Một số nhà vật lý 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 lẫn 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 lí 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 ấy 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 kĩ thuật suy luận ra sự sắp xếp bên trong của các nguyên tử hay phân tử trong chất rắn kết tinh từ hình ảnh *nhiễu 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.

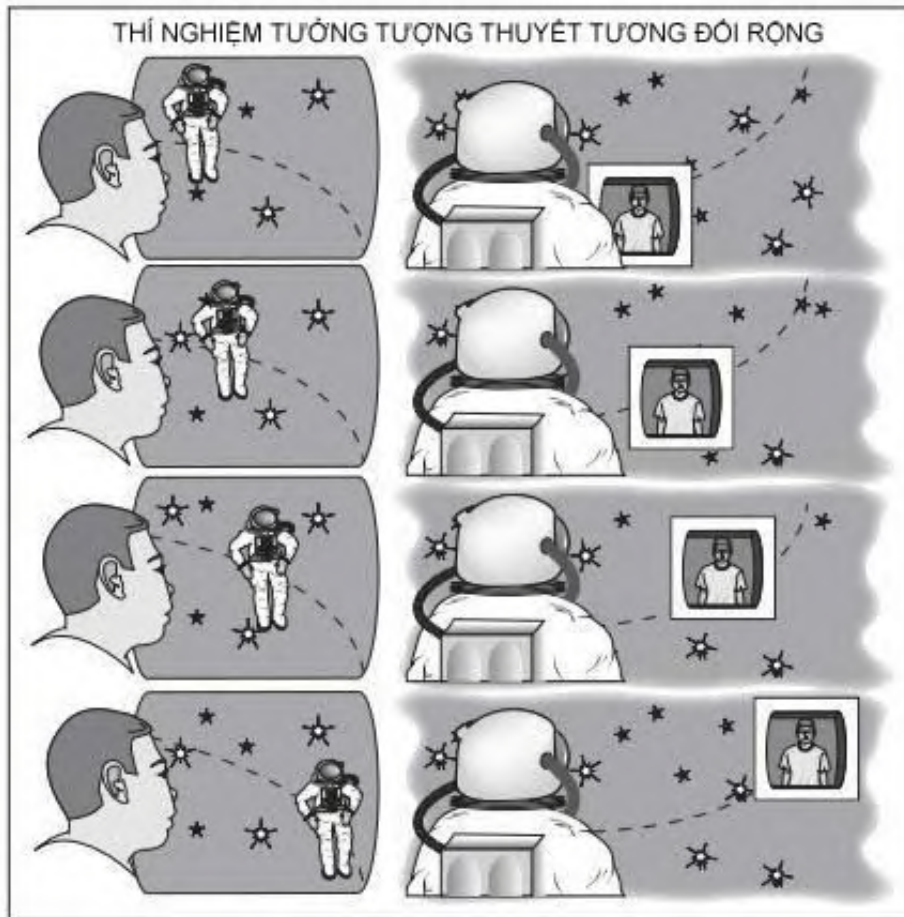
Thiên văn học và Vũ trụ học

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 tương tự 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 hấp 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 ảnh 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 đo 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 thể, 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 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 chuỗi 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 trục 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 nhất lại, và chúng lăn về phía nhau. Thật 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 lý đã quyết định kiểm tra tiên đoán đó. May thay, hệ mặt trời mang lại một cách tiên hành công việc đó trong những dịp hiếm: đó là trong những kì nhật thực toàn phần.

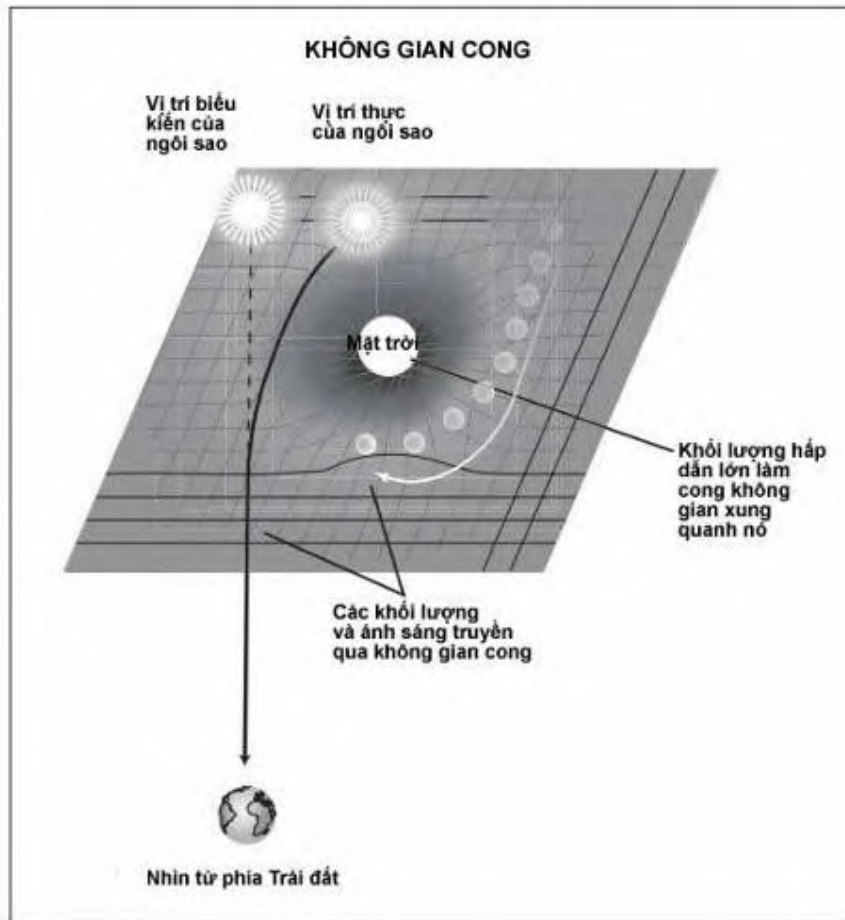
Nếu ánh sáng sao trên hành trình của nó đến Trái đất đi qua gần Mặt trời, thì lực hấp dẫn của Mặt trời đủ lớn để làm lệch quỹ đạo của chùm sáng đo một lượng có thể đo được. Trong những kì nhật thực toàn phần, các nhà thiên văn có thể quan sát và đo hình ảnh sao bình thường không nhìn thấy dưới ánh sáng 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 kì nhật 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 lý 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 khi cũng những ngôi sao đó được nhìn thấy trong đêm, 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 chưa chắc 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 nhìn 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 lý 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 lý thuyết tương đối rộng của ông được chứng minh là đúng trong kì nhật thực toàn phần năm 1919. Các vì sao ở gần hướng như Mặt trời, thường bị ẩn khuất trong chói lóa 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 kì nhật 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 Mỹ 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 kế, 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 phổ 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 trong đơi, 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 ngụ 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 dường 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.

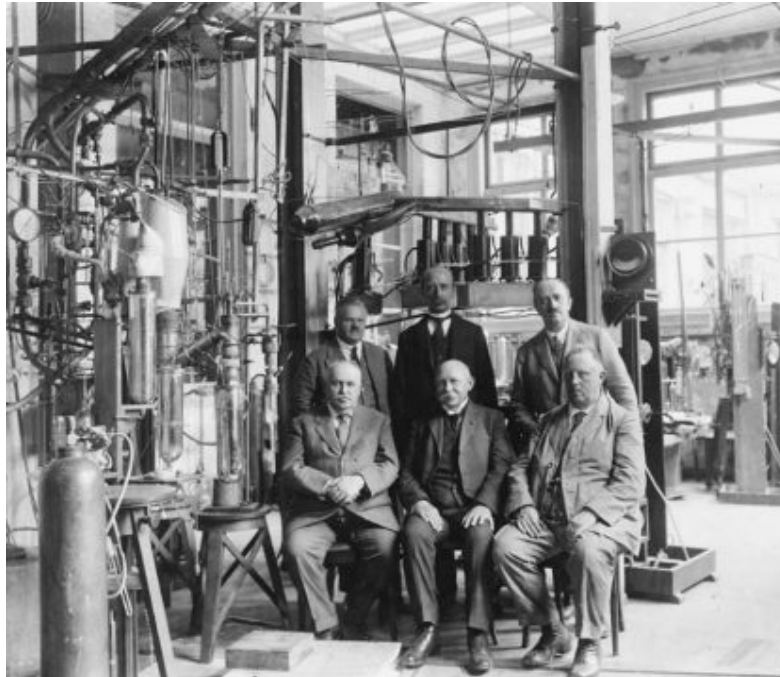
Đây là công việc khá liều lĩnh, nhưng các thiết bị đòi hỏi có con người điều khiển, cho nên ông đã xông pha. Ở trên 3.300 feet (1.000 m), ông đã phát hiện ra sự tăng đáng kể bức xạ so với tại mặt đất. Càng lên cao, ông nhận thấy càng có nhiều bức xạ. Ở 16.400 feet (5.000 m), ông phát hiện bức xạ cao 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 lí thuyết, kĩ 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 đem 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 lý 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 lý thuyết cho đến khi bất 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 lý 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 lý. 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 lý vẫn chưa đi tới một lý 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 lý làm thay đổi thế giới, việc một người đề xuất lý 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 lý 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 lý 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 giạt của các lục địa của Trái đất, cho nên những người đề xuất những lý thuyết đang tồn tại đã thắng thế trong những cuộc tranh cãi mang tính chất hàn lâm.

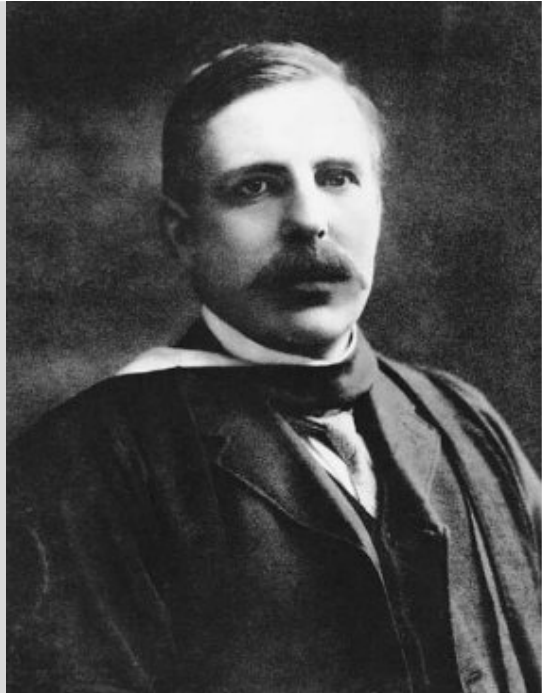
Hàng thập niên sau, sau khi Wegener qua đời, những khám phá về bên trong của Trái đất đã xác nhận những quan niệm của ông, hóa ra nó mang tính cách mạng trong lĩnh vực của ông cũng như tính cách mạng trong các công trình của Einstein, Rutherford, Bohr, và Kamerlingh Onnes.

**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 mở 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.

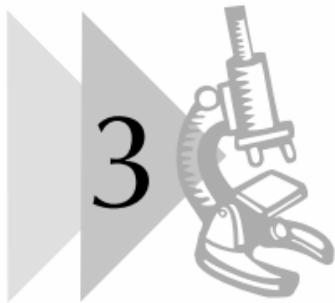
Rutherford lập tức bắt tay vào nghiên cứu về những thí nghiệm không dây và tiếp tục mang lại những kết quả quan trọng. Nhưng khi nghiên cứu của ông càng trở nên quan trọng về mặt công nghệ, thì nó càng kém hấp dẫn trên phương diện khoa học. Cho nên ông và Thomson bắt đầu tìm kiếm một lĩnh vực mới trong 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 catốt sẽ sớm 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 đều để 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 phóng 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 phóng 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 đo 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 phóng 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.

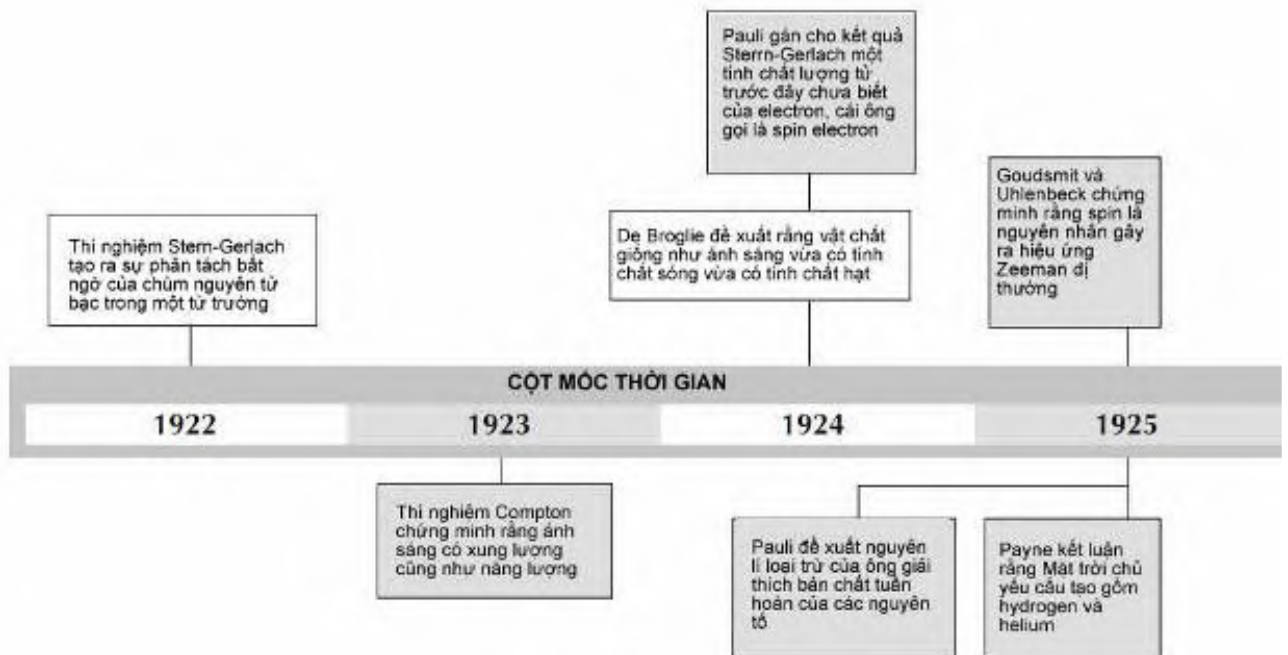
Năm 1898, tên tuổi Rutherford trở nên nổi tiếng khắp thế giới vật lí, và ông được phong giáo sư và cấp một phòng thí nghiệm riêng tại trường Đại học McGill ở Montreal. Ông sớm bắt đầu làm việc với một vị kĩ sư trẻ, R. B. Owens, người đang nghiên cứu phóng xạ phát ra từ thorium trong khi Rutherford nghiên 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 lý lượng tử xuất hiện từ nước Đức, một quốc gia bại trận thảm hại, bị bỏ rơi về chính trị, có nền kinh tế lếch thếch. Nền khoa học vật lý 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 lý 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

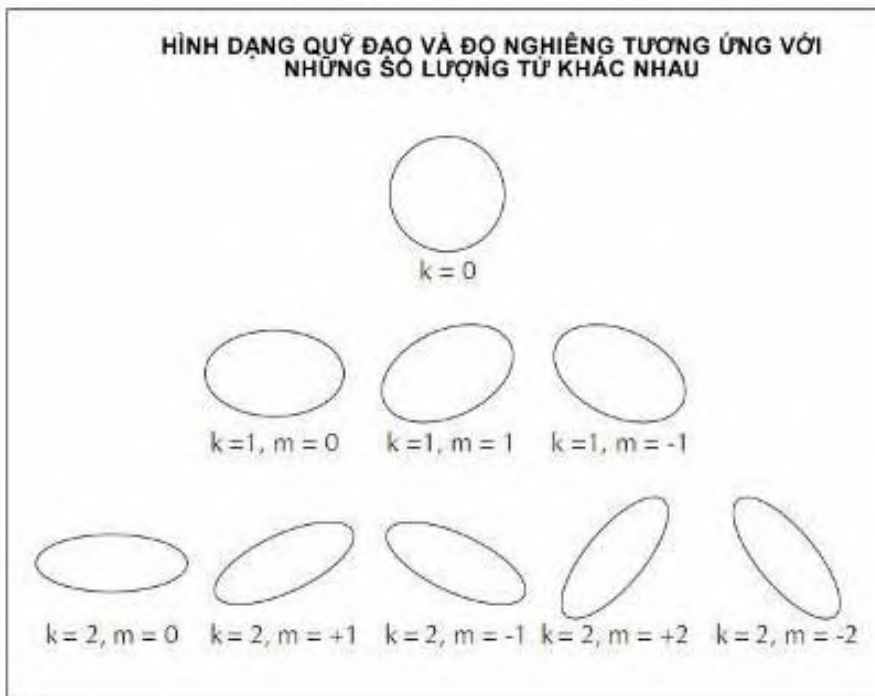
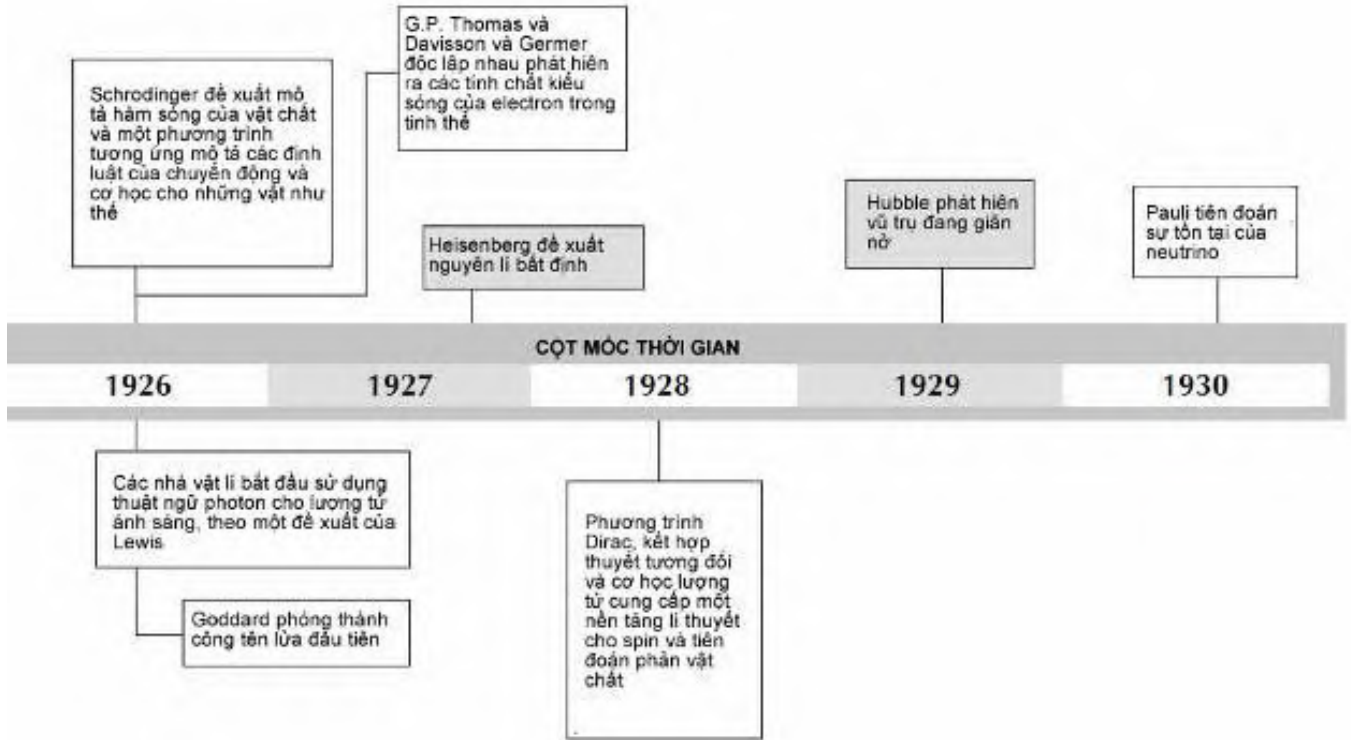
Phần nhiều sự phát triển của cơ học lượng tử được chi phối bởi những nỗ lực tìm hiểu quang phổ vạch của những nguyên tố khác nhau. Thuyết nguyên tử của Bohr đã thành công rực rỡ ở việc dự đoán quang phổ hydrogen dưới những điều kiện bình thường, nhưng nó cần phải sửa đổi để giải thích hiện tượng *tách 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 lý 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 lý 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 kể ra ở đây để trình bày thống nhất sự đơm hoa kết trái của vật lý lượng tử. Sự đổi mới của Sommerfeld là thêm cái tương đương với định luật chuyển động hành tinh thứ nhất của Kepler vào lý 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 trục 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. Đối với quỹ đạo tròn, k bằng không, nhưng lý 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 “tử” thứ ba, m . Xem hạt nhân là một quả cầu có một trục nam-bắc, lý 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 rơi 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 lý 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.



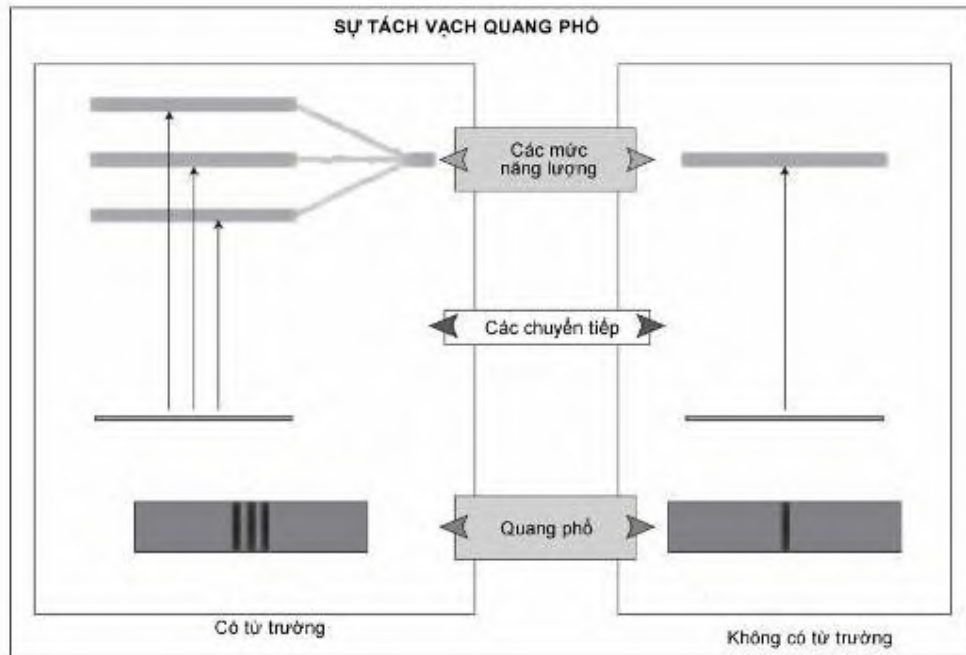
Để giải thích sự tách vạch phổ, Arthur Sommerfeld đã trau chuốt thuyết nguyên tử Bohr bằng cách thêm hai số lượng tử mới, ngoài số lượng tử chính n : số lượng tử phụ k tương ứng với sự thuôn dài của elip; và số lượng tử từ, m , tương ứng với góc trục dài của elip hợp với từ trường ngoài.

Số lượng tử từ giải thích cho sự tách vạch phổ trong từ trường, lần đầu tiên được chú ý tới bởi nhà vật lý 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 thức. 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 lý 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 dẫn 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 lý lí thuyết, đáng chú ý nhất là nhà vật lý 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 tới 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 đối 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 trơ helium, neon, argon, krypton, xenon, và radon có 2, 10, 18, 36, 54, và 86 electron, tương ứng với các mức năng lượng đã lấp 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 trơ 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 ảnh hưởng đến các thức chúng hình thành nên những hợp chất và tinh thể. 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.

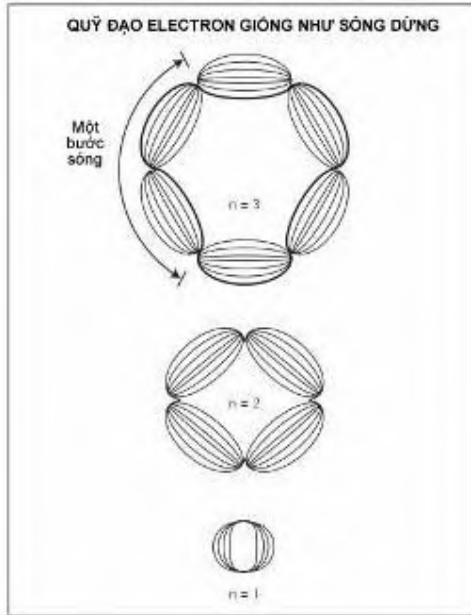
Như vậy, những đổi mới của Pauli về số lượng tử spin, s , và nguyên lí loại trừ làm được nhiều việc hơn là giải thích các hiệu ứng từ, ví dụ như hiệu ứng Zeeman dị thường và thí nghiệm Stern-Gerlach. Chúng còn làm sáng tỏ một câu đố cũ đã nửa thế kỉ tuổi; chúng là định luật tự nhiên chi phối hành trạng 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 lí 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 đề 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 lý gần đây đã chịu một sự giải thích lại triệt để về bản chất của năng lượng điện từ (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 lý người Mĩ Arthur Holly Compton (1892–1962; giải Nobel vật lý 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 phổ phân tán với màu tím ở chính giữa và các dải màu phân 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 lý 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 lý 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 lý 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 *cộng hưởng* phổ biến trong thế giới vật lý. 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 lý 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 lý 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 lý 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 lý 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 lý 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 lý thuyết, nhưng nhiều nhà vật lý 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 lý người Mỹ 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 lý khác, và một số người đề xuất rằng có lẽ ông đang trông thấy một hành trạng kiểu 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 lý 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 lý năm 1906 cho việc chứng minh tia ca-tốt 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 lý lý 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 lý 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 lý 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 lý bất định*, và nó chỉ dẫn cho các nhà vật lý 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 lý bất định muốn nói. Nguyên lý 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 lý 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 lý 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 lý bất định nổi tiếng thường mang tên ông. (Ảnh: AIP Emilio Segrè Visual Archive)

Heisenberg biểu diễn nguyên lý 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 lý 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 lý 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 lý 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 lý 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 gì 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 gộp 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 lý, 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 lý.

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 lắt léo của ông. Điều đó thường xảy ra trong vật lý học, nơi sự ngẫu biến 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 lý 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 thất 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 lý 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 lý hạ nguyên tử

Mặc dù sự nở rộ của cơ học lượng tử đã áp đảo nền vật lý 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 khám 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 lý năm 1927. Trong khi một số nhà vật lý 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 khám 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 lý 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 bọt 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 khám phá thuộc lĩnh vực thiên văn học trong thập niên 1920 hóa ra đặc biệt quan trọng đối với xu hướng vật lý sau này trong thế kỉ 20. Khảo sát bầu trời một cách có hệ thống của nhà thiên văn học người Mỹ 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 phổ 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 tca những thiên hà khác đều bị lệch về phía đỏ. Cỡ 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 rốt 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 khám 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, Cecilia 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 cử 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 khẳng khái 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 kỳ 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 kỉ 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 dọc theo thành bên trong của giếng. Không có ma sát, cơ năng toàn phần của vật (thế năng và động năng) được bảo toàn.

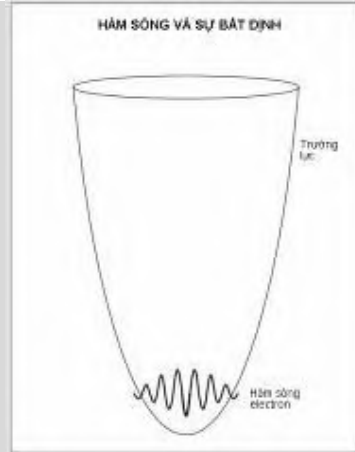
Giải các phương trình chuyển động bằng toán học, các nhà vật lí tìm thấy những đường đi được phép nhất định mà vật có thể tuân theo, tùy thuộc vào cơ năng toàn phần của nó. Một vật có khối lượng bất kì từ một hạt cát nhỏ xíu cho đến một hành tinh khổng lồ, chuyển động dưới tác dụng của lực hấp dẫn của 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 bản 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 nghi ngờ 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 lý. 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 thẳng 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 Thụy 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 vẫn 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 nhìn vào một lý thuyết sâu sắc hơn nhà vật lý 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 lý học là nguyên lý loại trừ, nguyên lý vẫn mang tên ông, nhưng có một câu chuyện khôi hài lan truyền trong cộng đồng vật lý 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 lý khác đã lắp sẵn một cái đèn nhiều ngọn cho rơi 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 lý đã phát minh ra câu chuyện Pauli cuối cùng. Họ mô tả cuộc gặp gỡ đầu tiên của Pauli với Chúa, trong đó ngài được yêu cầu phải giải thích giá trị của một hằng số vật lý 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 lý đã chuyển từ tay các nhà lý 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 lên nắm quyền lực lãnh đạo ở nước Đức và sau đó là ở Áo. Triết lý 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 lầm 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 chi tay lừa 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. Đối mặt 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.

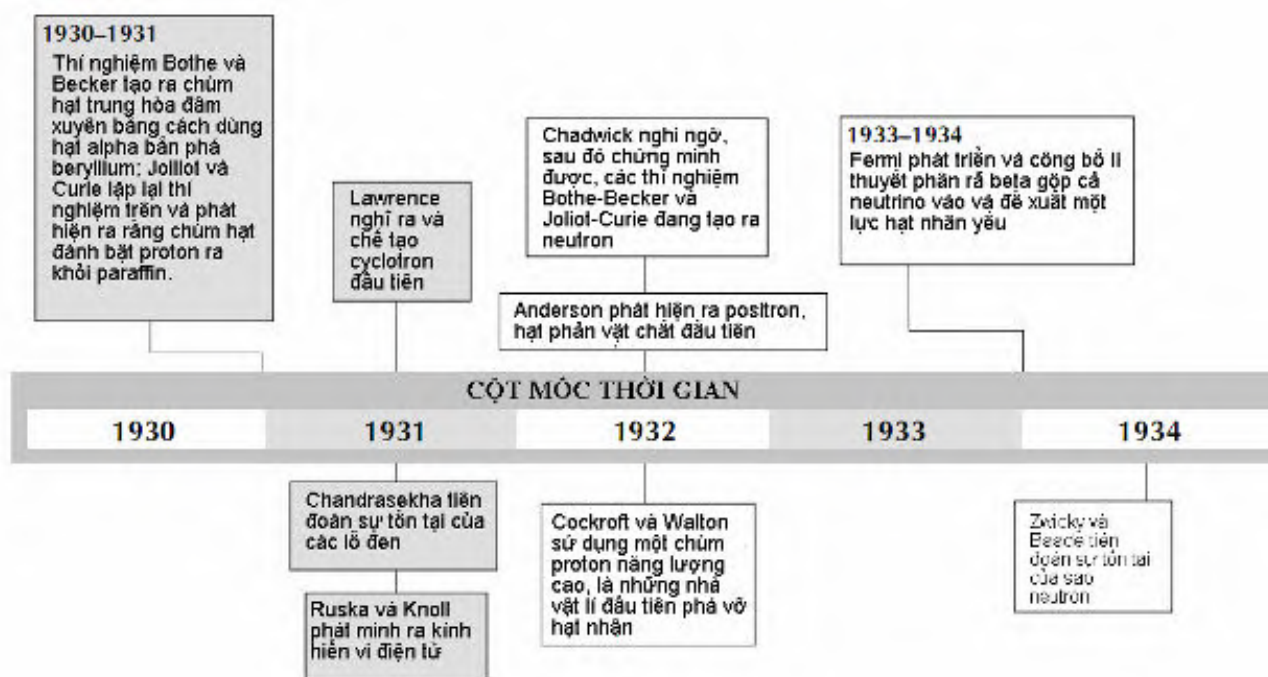
Như trường hợp 20 năm trước, nền văn hóa mở của nghiên cứu vật lý mâu thuẫn với chủ nghĩa quốc gia. Nhiều nhà vật lý hàng đầu ở những vùng nói tiếng Đức thuộc châu Âu là người Do Thái (như Einstein) hoặc có tổ tiên là người Do Thái (như Pauli). Khi quyền lực của Hitler lớn mạnh dần trong những năm 1930, nhiều người trong số họ đã cao chạy xa bay sang nước Anh, Scandinavia, và Mỹ. Những nhà vật lý 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 lý 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 đội, một nhà vật lý 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 lý 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.

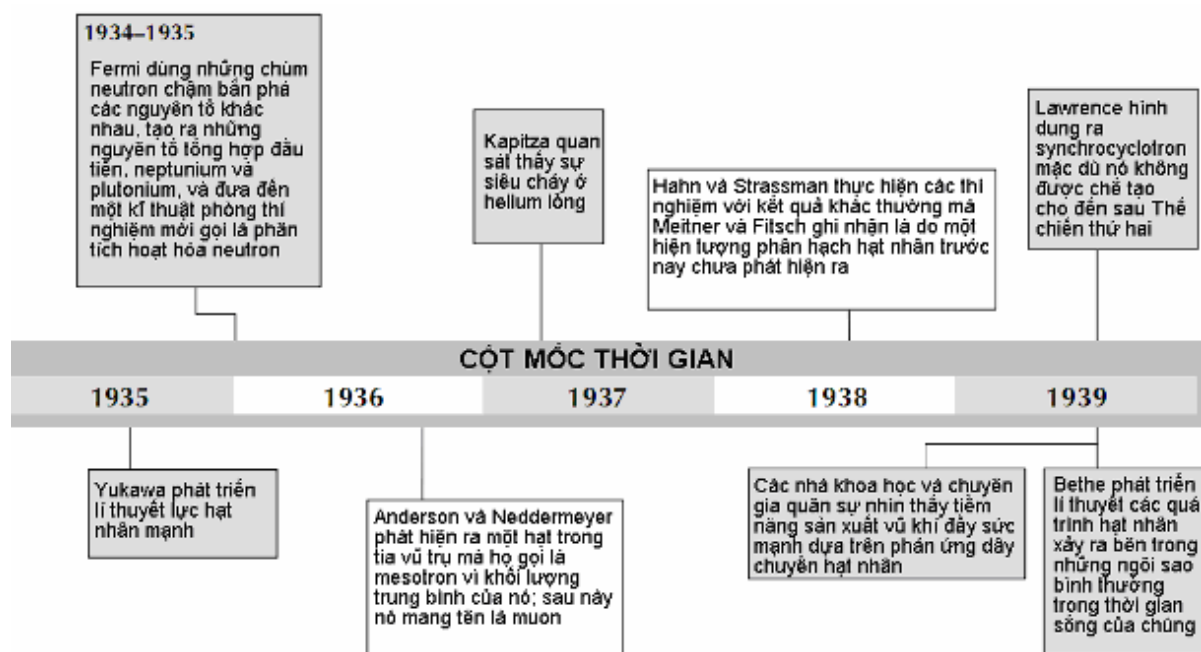
Tuy nhiên, nếu những hạt chưa phát hiện ra đó không tồn tại, thì các nhà vật lý đối mặt trước một lựa chọn còn liều lĩnh hơn nữa: từ bỏ định luật bảo toàn năng lượng ở cấp độ hạ nguyên tử. Đề xuất của Pauli có vẻ thật kì cục, nhưng nó là cái tốt nhất họ làm được. Cho nên, trong khi các nhà thực nghiệm đang trầm tư tìm cách chộp lấy những bóng ma vật chất nhỏ xíu đó, thì các nhà vật lý nghiên cứu việc tra 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 lý 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 chùm hạt 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 nảy 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 lý năm 1935, cùng năm Joliot-Curies nhận giải Nobel hóa học.



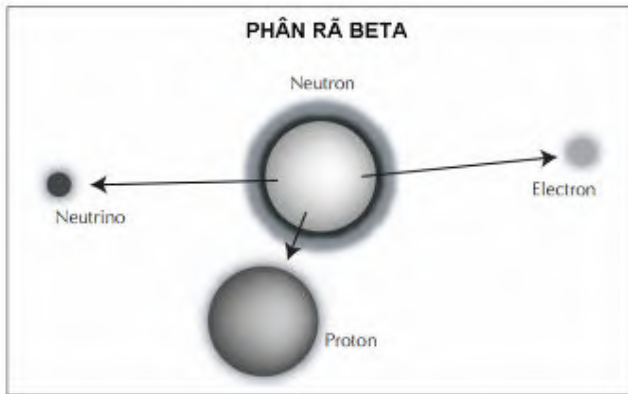
Thành phần cơ bản của nguyên tử cuối cùng đã được biết. Ở chính giữa của nguyên tử là một hạt nhân gồm các proton và neutron xác định số nguyên tử và khối lượng nguyên tử của nó. Bao xung quanh hạt nhân là các electron xác định hành trạng hóa học của nó. Tuy nhiên, những câu hỏi chính yếu về hạt nhân 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 lý 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 lý người Italy, Enrico Fermi (1901–54), làm việc tại trường đại học Rome, là người đầu tiên đi tới một lí thuyết về phân rã beta. Trong bao gộp 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 bố 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 lí 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 mỗi 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 mỗi 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

cỡ một phần bảy khối lượng của một nucleon, hay khoảng 250 lần khối 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!

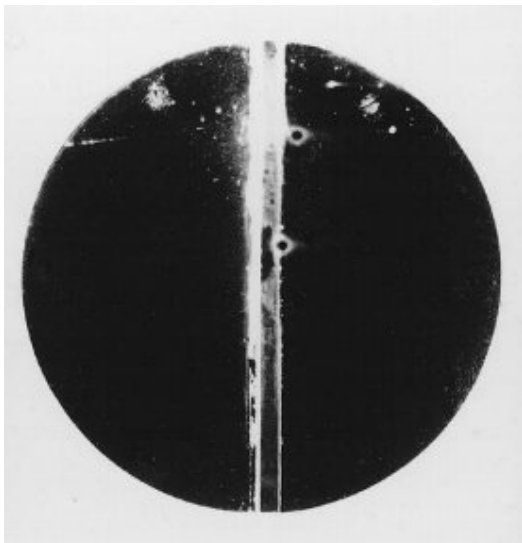
Như đã lưu ý trong chương 3, nhà vật lí người Mĩ Carl Anderson tại Caltech đã bắt đầu nghiên cứu của ông về tia vũ trụ vào năm 1930 khi còn là học trò của vị giáo sư danh tiếng Robert Millikan. Anderson sớm nổi lên là một trong những nhà nghiên cứu tia vũ trụ hàng đầu của thế giới. Không giống như những 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 hầu 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 kĩ 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 phân 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 lưng 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 kĩ 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 lý 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 lý 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 lý hoạt động của cyclotron khá đơn giản. Nó gồm một buồng chân không hình bánh kẹp 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.

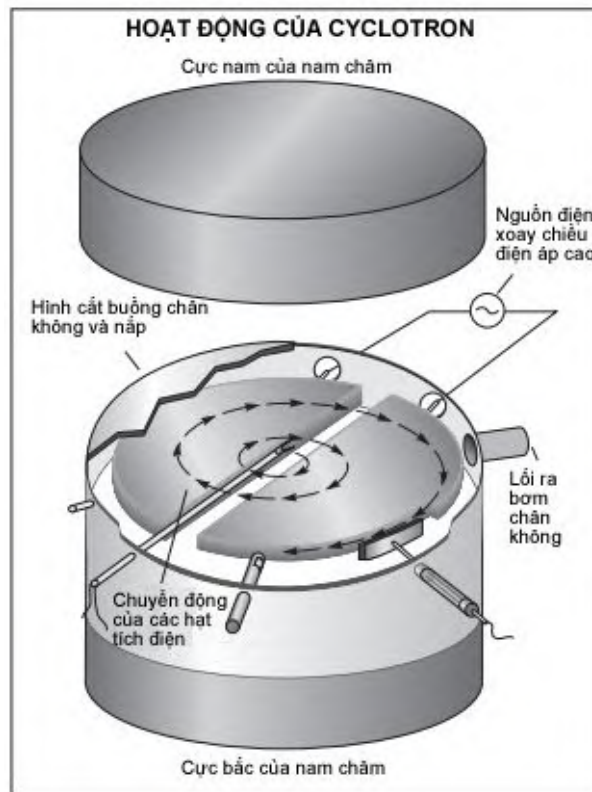


Ernest Orlando Lawrence tại bàn điều khiển của một cyclotron sơ khai.
(Ảnh: AIP Emilio Segrè Visual Archives)

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 chuyển 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 chuyển 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 chặt hơn ở cùng tốc độ). Một yếu tố nữa hạn chế năng lượng mà cỗ máy có thể phân phối là do tính tương đối. Khối lượng của một hạt năng lượng tính 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 thể 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 lý thường xây dựng sự nghiệp của họ trên công trình thực nghiệm hoặc lý thuyết, nhưng Enrico Fermi thì chọn cả hai. Sau khi phát triển một lý thuyết giải thích phân rã beta, ông chuyển sang nghiên cứu thực nghiệm để làm sáng tỏ các lực vật lý tác dụng bên trong hạt nhân.

Những báo cáo mới đó từ phòng thí nghiệm Joliot-Curie ở Paris đã kêu gọi tính hiếu kỳ 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 cẩm 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 chì hoặc các nguyên tử bàn đá cẩm 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

nhieu 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 bực bắt lấy nó.

Parafin hoặc bần 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 kĩ 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 bất cứ cái gì họ từng thấy trước đó. Trong một ấn 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 kì bán rã – thời gian nửa số lượng hạt nhân phân rã – 15 giây, 13 phút, và 100 phút. Tuy nhiên, các kết quả thật ấn 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 kì 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 đến từ những nguyên tố mới trên uranium trong một bài báo đăng trên tạp chí tiếng Đức *Zeitschrift für 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 kĩ 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 tò mò 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 đàn áp người Do Thái ở Đức, nên Meitner phải sắp 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 chôn trảy 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 kỳ bán rã 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 lý 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 lý, 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 khẳng khái 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 lý 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 nổi lại bằng một cổ chất lỏng giữ chúng lại với nhau bởi sức căng bề mặt tạo ra bởi lực hạt nhân mạnh.

Frisch lý 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 nhân để giữ chúng lại với nhau, hai mảnh vỡ, cả hai đều có điện 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 lý 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 kỹ 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 lý trong thập niên 1930, nhưng công trình rất hấp dẫn đang diễn ra trong một phân ngành khoa học khác. Thiên văn học vật lý là hoạt động được vun xới đặc biệt. Năm 1931, nhà toán học và thiên văn vật lý người Anh gốc Ấn Độ Subrahmanyan Chandrasekhar (1910–95) đã phát triển cácthuyết mô tả chu kỳ 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 lý 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 tín hiệu 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 lý nữa xuất hiện ở trường Đại học Cornell, nơi vào năm 1939 Hans Bethe (1906–2005) đã phát triển một lí 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 lý lí thuyết lỗi 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 lí 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 lý 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 kĩ 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 lí 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 kĩ 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 lấp 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 kỉ 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 lý 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 lý. 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, phóng 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 lý 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 lý cùng vị giáo sư danh tiếng Ludwig Boltzmann (1844–1906), người “đã cho bà một tầm nhìn xem vật lý 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 lý lý 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 lý 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 lý lý 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 lý 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 nghệch 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, thoải 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 lý 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 đến bất 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 lý khách mời không được trả lương. Cũng thời gian ấy, Planck giao cho bà một vị trí được trả công là trợ lý 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 lý 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 có 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 kim hãm Do Thái của chính quyền phát xít. Bà thậm chí còn bị tước hộ chiếu, khiến cho việc sắp xếp trốn chạy ra nước ngoài đặc biệt khó khăn. Với sự giúp đỡ của một người đồng nghiệp dứt lốt 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 thôn tính 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 Mỹ, nhưng bà từ chối làm bất cứ việc gì với việc chế tạo bom. Vì lí do đó, bà là nhà vật lý 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 thể 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 tám 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.



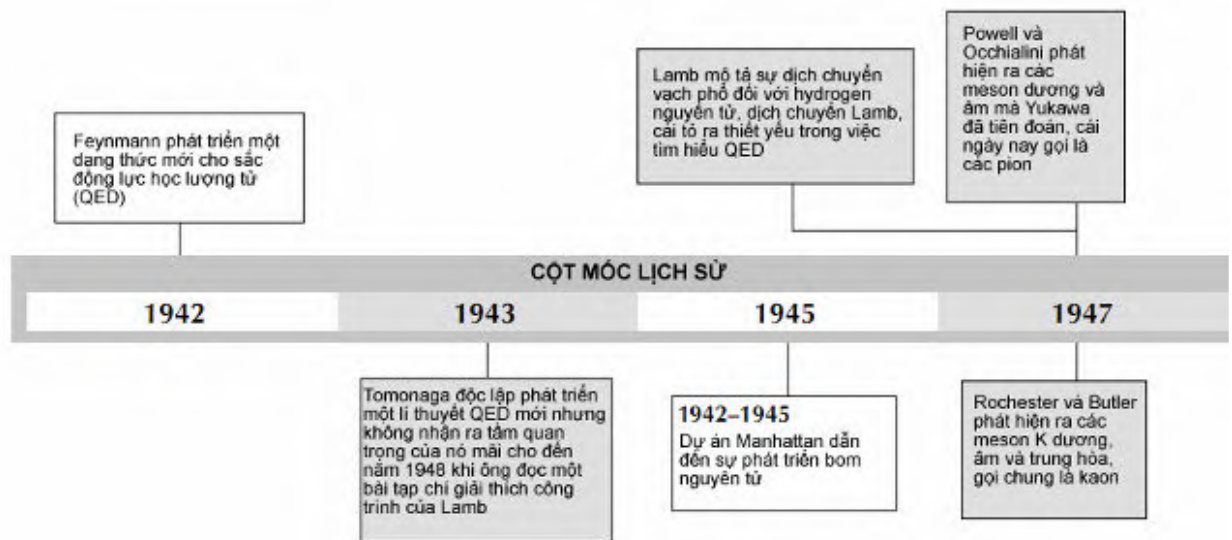
Lise Meitner, người phụ nữ tiên phong nghiên cứu khoa học, đến thăm sinh viên trường Bryn Mawr College lúc bà đã lớn tuổi. (Ảnh: AIP Emilio Segrè Visual Archives)



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 Kỳ 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.



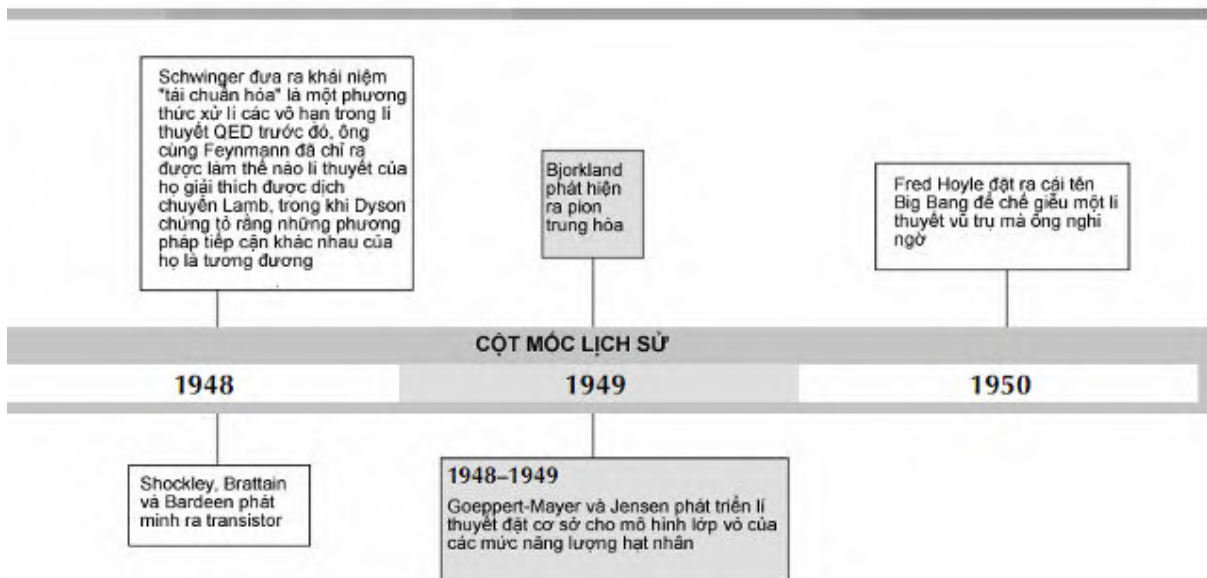
Như đã mô tả trong chương trước, thập niên 1930 là những năm tháng biến chuyển đối với nền vật lí học quốc tế khi nhiều nhà vật lí phải tìm cách trốn chạy khỏi sức mạnh quyền lực của Hitler. Đối với những người có gốc gác hoặc bà con Do Thái, đó thật sự là vấn đề sống còn; những người khác thì ra đi 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 Mỹ mới và các chương trình phát triển cũng đang bắt đầu xuất hiện. Trung tâm thu hút đối với vật lý 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”, tốn 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 chẳng nữa, thì nền văn hóa bánh xe tự do của nước Mỹ 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 lý và công nghệ trong thời chiến đã dẫn đến sự thống trị của nước Mỹ trong cả hai lĩnh vực trên xuyên suốt phần còn lại của thế kỉ 20. Vào cuối thập niên 1940, nước Mỹ 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 Mỹ 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 đến 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 Mỹ, 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 Mỹ bắt giữ, thay vì bị bắt giữ bởi đối thủ cạnh tranh toàn cầu đang xuất hiện của nước Mỹ, Liên Xô.

Một công nghệ thời chiến quan trọng nữa là radar, với những phát triển quan trọng cả ở Mỹ lẫn Anh quốc. Nhiều nhà sử học đánh giá công nghệ radar quan trọng hơn nhiều so với bất kì nỗ lực thời chiến nào khác cho dù là tên lửa hoặc bom. Sự dẫn đầu của nước Mỹ 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 lý học chứ không phải công nghệ hay chính trị. Cho nên, dầu biết tầm quan trọng của chính trị và công nghệ mang lại xu thế mới cho nghiên cứu vật lý 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 lý 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 lý, 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 lý 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 cố hữu đặt lên tính chính xác của những phép đo vật lý và trên khả năng dự báo toán học về vũ trụ. Giống như một số người đã ưa 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 lý 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 đối với nền vật lý thế kỉ 20. Einstein, Bohr, de Broglie, Pauli, Schrödinger, Heisenberg, Dirac, và nhiều nhà tiên phong khác của vật lý 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 lý 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 lý chưa tốt nghiệp 24 tuổi tại trường Đại học Princeton.

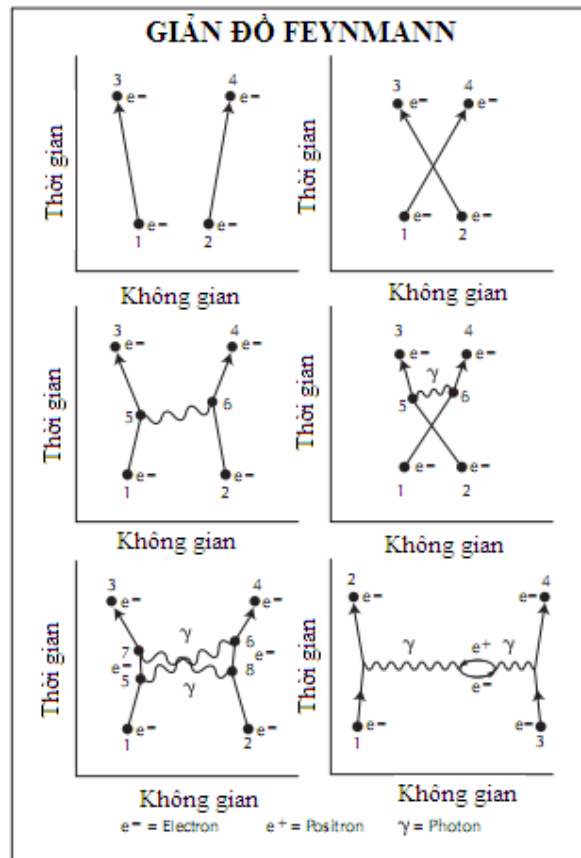
Feynman đã mang lại một phương pháp xử lí một đặc điểm toán học phiền toái trong những nỗ lực trước đó nhằm mô tả các hiệu ứng điện từ theo thuật ngữ lượng tử. Hệ phương trình Maxwell đã thống nhất thành công các lí thuyết điện học, từ học, và ánh sáng, nhưng những công thức thế kỉ 19 đó xây dựng trên 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 lý 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 lý 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 Feynman 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 lý 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–), cố 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 lý phải chấp nhận một mức độ ngẫu nhiên trong các định luật vật lý. “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 học lượng tử.

L luận án của Feynmann không mang lại một lý thuyết QED hoàn chỉnh ngay tức thời, mà nó đặt nền tảng cho một lý thuyết hoàn chỉnh sau này trong thập niên 40, sau một thời gian gián đoạn đã làm chệch 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 lý 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 lý 1955 dành cho Lamb. Nó buộc các nhà vật lý 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 lý 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 lý Hoa Kỳ 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 ẩn đi 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. Giá như cơ sở toán học của ông ít phức tạp hơn và liên hệ rõ ràng hơn với các hiện tượng vật lý, 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 trái ngược với những hiện tượng vật lý, nhưng với những nhà tư tưởng toán học ngồi 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 lý 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 lý 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 lý thuyết lại với nhau.

Người đó là chàng trai trẻ người Anh Freeman Dyson (1923–), người vào năm 1947 đã đến Mỹ từ trường Đại học Cambridge để nghiên cứu với Bethe tại Cornell. Một trong những cố vấn Cambridge dày dặn 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 lý 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 lí 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 Kỳ 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 dịch. Kết quả là một loạt bài báo đăng trên tạp chí tiếng Nhật có tên dịch ra là “Tiến bộ về vật lí lí thuyết”. Những ấn 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 ấn 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 Mỹ. 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 Mỹ.

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 bất 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.

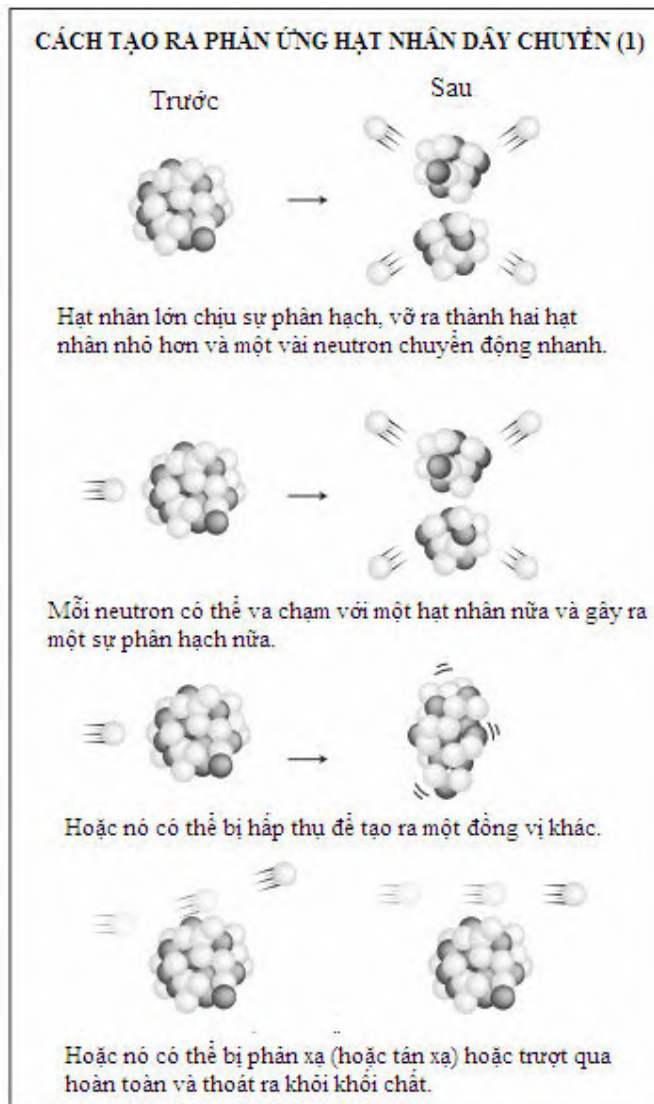
Giống như đa số những xu thế chính yếu trong lịch sử, thật khó mà xác định cụ thể thời điểm bắt đầu của “nền khoa học lớn”, nhưng sự phát triển của cyclotron vào cuối những năm 1930 chắc chắn là một thí dụ như vậy. Nếu như các máy gia tốc hạt đánh dấu sự ra đời của nền khoa học lớn, thì sự phát triển 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 thuận thực của nó. Dự án bom đòi hỏi rất nhiều nhân vật tài giỏi, cộng với sự quản lí dày dạn 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}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}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}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}U , nó chỉ bật trở ra, và thỉnh thoảng thì nó bị hấp thụ để tạo ra một hạt nhân ^{239}U có thời gian sống ngắn. Hạt nhân ^{239}U nhanh chóng phân rã bằng cách phát ra một hạt beta và trở thành neptunium (^{239}Np), hạt này hóa ra sau đó lại phân rã bằng cách phát ra một hạt beta nữa, và trở thành plutonium, ^{239}Pu . Sự phân hạch xảy ra thường xuyên hơn khi một neutron chạm trúng một hạt nhân ^{235}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 lộ trình dẫn đến một phản ứng hạt nhân dây chuyền. Một lộ 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}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 quả 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.

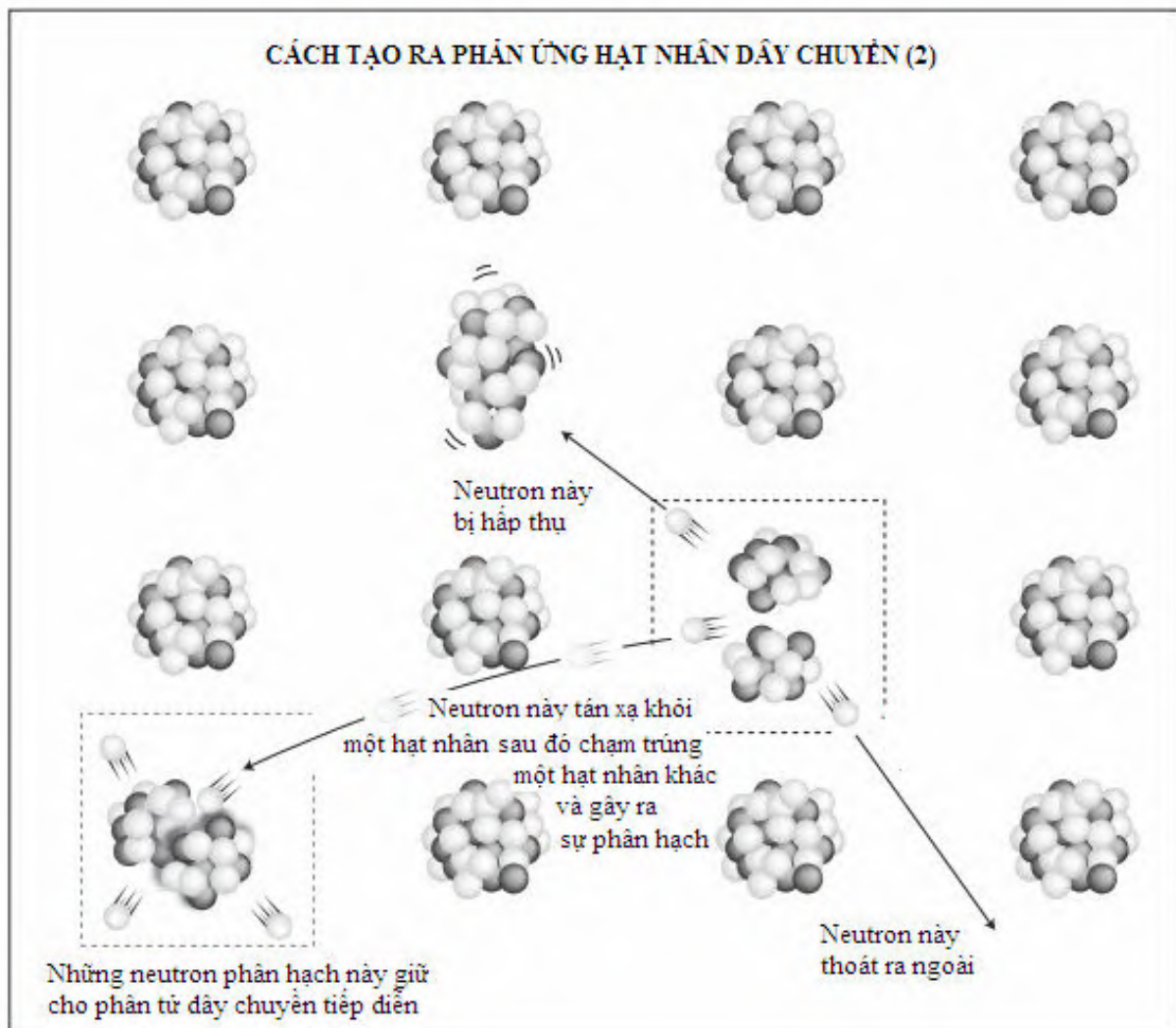


Khi một hạt nhân lớn chịu sự phân hạch, nó phát ra một vài neutron, chúng có thể hoặc không thể gây ra những sự kiện phân hạch khác.

Một phương pháp khác gây ra phản ứng dây chuyền là tách hạt nhân ^{235}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}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}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 lý nói tới một “khối lượng tới hạn” cho một phản ứng dây chuyền xảy ra. Đối với ^{235}U tinh khiết, khối lượng tới 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}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 lý. Kỹ thuật này hoạt động vì uranium phản ứng với fluorine để tạo ra một chất khí gọi

là uranium hexafluoride, hay UF_6 . Giống hệt như trọng lực tách riêng dầu và giấm trong một mớ lộn xộn thành từng lớp một, cho chất khí UF_6 đi qua một cột khuếch tán sẽ tách những phân tử chứa đồng vị ^{235}U nhẹ hơn ra khỏi những phân tử chứa ^{238}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}U trong uranium tự nhiên rất nhỏ để mà bắt đầu phân tách. Vì thế, việc thu được ^{235}U tinh khiết cao ở dạng khí là một quá trình nhiều giai đoạn.

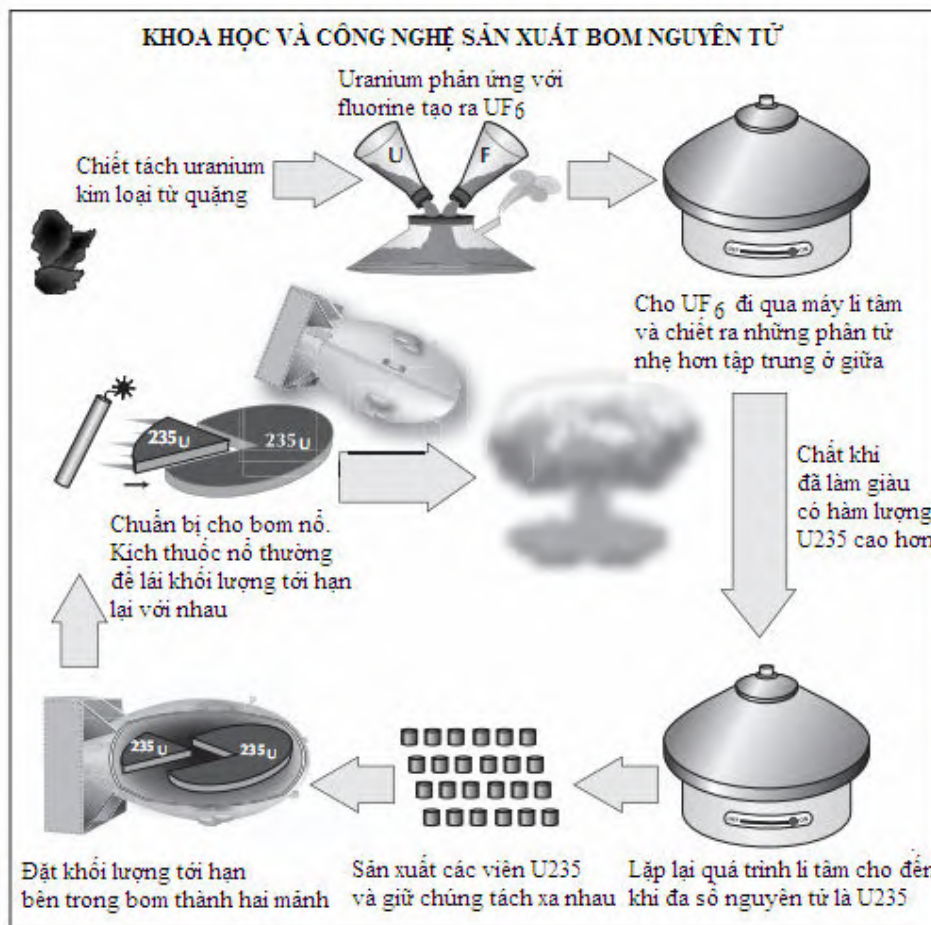


Một phản ứng dây chuyền xảy ra nếu trung bình có ít nhất một neutron sinh ra từ mỗi sự kiện phân hạch làm cho một hạt nhân nữa chịu sự phân hạch. Nếu trung bình có đúng một neutron, thì quá trình tiếp tục giải phóng năng lượng một cách đều đặn, như trong nhà máy điện hạt nhân. Nếu trung bình có hơn một 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 Mỹ bắt đầu cho xây dựng một nhà máy sản xuất ^{235}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 tới hạn. Dự án đã củng cố những nỗ lực của hai nhóm tại Chicago, nên Fermi bắt buộc dĩ phải rời 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 lý 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 lý 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 tới hạn, nhưng sẽ được phân chia sao cho phản ứng dây chuyền sẽ không bắt đầu cho đến khi các mảnh tiến lại 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 thiết kế 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 lý 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 Mỹ 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.

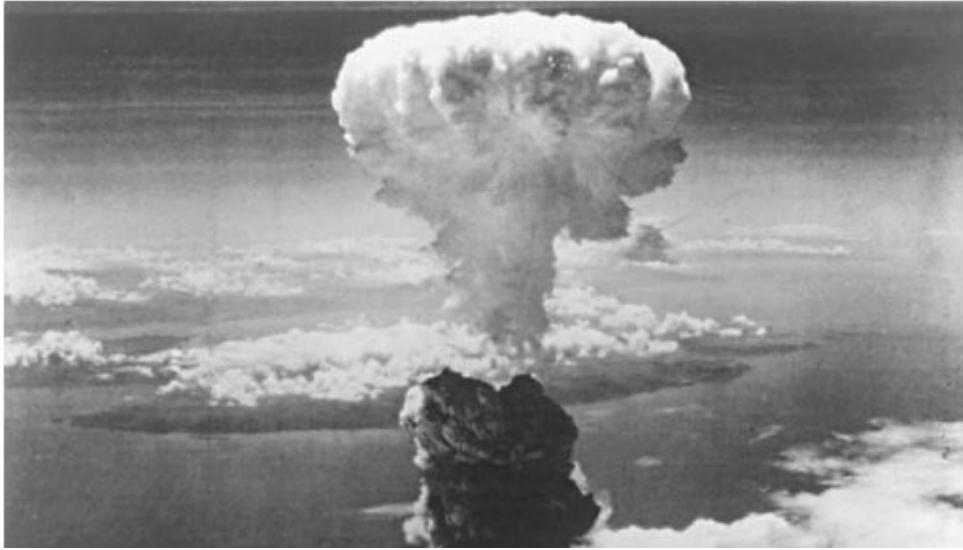


Uranium bình thường không thể duy trì một phản ứng dây chuyền vì chỉ một lượng nhỏ hạt nhân là ^{235}U có khả năng phân hạch. Đa phần hạt nhân còn lại là ^{238}U nặng hơn một chút. Để sản xuất bom, các nhà khoa học phải tách hai đồng vị ra, một quá trình nhiều giai đoạn khó thực hiện liên quan đến sự tạo thành chất khí uranium hexafluoride (UF_6). Công nghệ ngày nay sử dụng các máy li tâm tốc độ cao để tách những phân tử UF_6 nặng hơn chứa ^{238}U ra khỏi những phân tử UF_6 nhẹ hơn chứa ^{235}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 tới hạn” 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 tới hạn lại với nhau đủ lâu cho phản ứng dây chuyền xảy ra với đa số hạt nhân ^{235}U . Dùng chất nổ thông thường để lái các mảnh uranium lại với nhau là một giải pháp.

Chương trình hạt nhân của người Mỹ không dừng lại sau chiến tranh. Mặc dù sự tổn thất 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 thể 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 Mỹ. 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}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 tình báo. 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 Mỹ.

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}U có lẽ đã bắt kịp với Mỹ 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 Mỹ hướng tới việc tinh lọc ^{235}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 xấu 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 lý 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 nên 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 lý thuyết của Yukawa về lực hạt nhân mạnh. Cả hai đều nhận thấy nguyên lý bất định lượng tử đưa định luật bảo toàn năng lượng ra trước một ánh sáng mới. Trong lý thuyết của Feynmann, photon hoặc những hạt cơ bản khác có thể lập lờ 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 lý bất định. Năng lượng có lẽ không được bảo toàn trong khoảnh khắc, nhưng nguyên lý 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 lý 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 lý thuyết, hạt trao đổi trong những tương tác hạt nhân mạnh giữa các nucleon.



Hideki Yukawa, người phát triển lý 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 lý 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 nhiếp ảnh mới nhạy với những ion sinh ra bởi các electron và những hạt hạ nguyên tử khác đi qua. Khi rọi 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 nhỏ hơn một chút so với meson, 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 meson 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 meson 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, bắt 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 meson thì không. Đã đến lúc làm sáng tỏ thuật ngữ. Cuối cùng, meson 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 Occhialini 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 lấp 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 lý đã cho rằng các proton và neutron trong hạt nhân có thể lấp đầy những lớp vỏ trạng thái lượng tử giống hệt như các electron vậy, nhưng họ không có lý 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. Lý thuyết chắc chắn đầu tiên xuất hiện độc lập từ hai nhà nghiên cứu trong năm 1948-49, nhà vật lý Đức gốc Ba Lan Maria Goeppert-Mayer (1906–72), người đã di cư sang Mỹ năm 1930, và nhà vật lý người Đức Hans Jensen (1907–73), cùng hai đồng nghiệp. Lý 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 lý cho những lý 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 chế giễu 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 kì 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 gặp 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 kĩ sư áp dụng vật lý 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 lý. 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 kí *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 chưa bao giờ mang lại thành công mỹ 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 lý tại Viện Công nghệ California (Caltech), ông đảm nhận nhiệm vụ giảng dạy các khóa vật lý 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 lý*. Ngày nay, các nhà khoa học gần như thừa hưởng nhớ đến những tập sách đó từ những ngày xuân trẻ của họ, nhớ hình ảnh tác giả đang chơi trống gỗ cũng như nội dung hấp dẫn của chúng.

Nếu Melville được ghi công cho tính sáng tỏ 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 kiếm tiền 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 lý 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 lý tại Viện Công nghệ Massachusetts (MIT). Trong những năm tháng sinh viên của mình, ông được nhận vào một khóa học vật lý lý 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 kỹ thuật cơ lượng tử khéo léo mà ông đã cho đăng trên tạp chí *Physical Review* và kỹ thuật đó trở thành một công cụ toán học chuẩn cho các nhà hóa lý. 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 chẩn 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 kỳ ai – trong đó có Hans Bethe, người sáng lập nhóm vật lý lý thuyết – và sự mạo hiểm của ông, tự bổ nhiệm mình là người giám hộ an toàn. Ông sử dụng những kỹ năng bề 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 lý 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 hối 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 hiem 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 gỗ. (Ảnh: Tom Harvey, Phòng thí nghiệm quốc gia Brookhaven)