

TỪ NEWTON ĐẾN EINSTEIN

Lịch Sử Tư Duy Vật Lý Thay Đổi Thế Giới

Hành trình qua ba thế kỷ tư duy khoa học – từ cơ học cổ điển đến thuyết
tương đối
dành cho độc giả phổ thông yêu khoa học

Biên soạn: tháng 8 năm 2026

Lời nói đầu

Ngày 5 tháng 7 năm 1687, một cuốn sách mỏng bằng tiếng Latin ra đời tại London mang tên *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*. Tác giả của nó, Isaac Newton, khi đó ít ai ngờ rằng những trang giấy này sẽ định hình cách nhân loại nhìn vũ trụ suốt hơn hai trăm năm sau đó. Rồi vào năm 1905, một nhân viên văn phòng bằng sáng chế hạng ba tại Bern, Thụy Sĩ – người gần như vô danh trong giới học thuật – công bố liên tiếp bốn bài báo trong vòng vài tháng, âm thầm viết lại toàn bộ nền tảng ấy. Người đó là Albert Einstein.

Cuốn sách nhỏ này kể lại hành trình tư duy giữa hai cột mốc ấy: từ thế giới quan cơ học chắc chắn, tất định của Newton, qua cây cầu nối đầy biến động của thế kỷ 19 với điện từ học và những “đám mây” bất thường trên bầu trời vật lý cổ điển, cho đến cuộc cách mạng tương đối của Einstein đã đảo lộn hoàn toàn khái niệm không gian và thời gian.

Đây không phải là một cuốn giáo trình vật lý. Đây là câu chuyện về con người – những nghi ngờ, ám ảnh, sai lầm, và cả những khoảnh khắc lóe sáng thiên tài đã dẫn dắt loài người từ một vũ trụ được hình dung như cỗ máy đồng hồ, đến một vũ trụ nơi không gian có thể cong, thời gian có thể giãn, và khối lượng chính là năng lượng bị nén chặt.

Nội dung sách được chia thành năm phần:

1. **Bình minh của khoa học hiện đại** – bối cảnh trước Newton, với Copernicus, Kepler và đặc biệt là Galileo, người khai sinh phương pháp thực nghiệm.
2. **Newton và cơ học cổ điển** – cuộc đời, những năm đại dịch kỳ diệu, và các định luật đã thống trị vật lý suốt hai thế kỷ.
3. **Cây cầu giữa hai thế giới** – thế kỷ 19 với điện từ học của Faraday và Maxwell, cùng những dấu hiệu đầu tiên cho thấy tòa lâu đài cơ học cổ điển có vết nứt.
4. **Einstein và cuộc cách mạng tương đối** – từ cậu bé chậm nói ở Ulm đến biểu tượng khoa học toàn cầu.
5. **Di sản và kết luận** – so sánh hai thế giới quan, và ảnh hưởng của chúng lên khoa học, công nghệ ngày nay.

Các sự kiện, ngày tháng và trích dẫn trong sách được đối chiếu với các nguồn sử liệu khoa học đáng tin cậy. Đây là một câu chuyện có thật – và như mọi câu chuyện có thật vĩ đại, nó nhắc chúng ta rằng những chân lý tưởng như bất biến của hôm nay vẫn luôn có thể được viết lại bởi một tư duy đủ táo bạo vào ngày mai.

Chúc bạn có một hành trình đọc thú vị!

Mục lục

PHẦN I - BÌNH MINH CỦA KHOA HỌC HIỆN ĐẠI	6
1 Thế giới trước cuộc cách mạng khoa học	7
1.1 Vũ trụ của Aristotle và Ptolemy	7
1.2 Cuộc cách mạng Copernicus	7
1.3 Kepler và ba định luật chuyển động hành tinh	7
1.4 Suy ngẫm	8
2 Galileo Galilei và phương pháp thực nghiệm	9
2.1 Chiếc kính viễn vọng và bầu trời không hoàn hảo	9
2.2 Thí nghiệm và toán học hóa tự nhiên	9
2.3 Di sản của Galileo	10
2.4 Suy ngẫm	10
PHẦN II - NEWTON VÀ CƠ HỌC CỔ ĐIỂN	11
3 Cậu bé mồ côi ở Woolsthorpe	12
3.1 Một tuổi thơ không êm đềm	12
3.2 Người thầy Isaac Barrow	12
3.3 Suy ngẫm	13
4 Những năm đại dịch kỳ diệu	14
4.1 “Prime of my age for invention”	14
4.2 Giai thoại quả táo	14
4.3 Từ trực giác đến lý thuyết hoàn chỉnh	15
4.4 Suy ngẫm	15
5 Principia Mathematica và ba định luật chuyển động	16
5.1 Ba định luật nền tảng	16
5.2 Sức mạnh của sự thống nhất	16
5.3 Suy ngẫm	17
6 Định luật vạn vật hấp dẫn - vũ trụ như một cỗ máy	18
6.1 Một lực, một công thức, cả vũ trụ	18
6.2 Cùng một lực, khắp mọi nơi	18
6.3 Thế giới quan tất định	19
6.4 Suy ngẫm	20
7 Ánh sáng, giả kim thuật và di sản Newton	21
7.1 Ánh sáng trắng không hề “trắng”	21
7.2 Mặt tối ít được biết đến: giả kim thuật	22
7.3 Suy ngẫm	22
8 Những năm cuối đời - Hoàng gia, tranh cãi và di sản	23
8.1 Từ giáo sư đến quan chức Hoàng gia	23
8.2 Cuộc chiến với Leibniz	23

8.3 Những năm cuối đời	24
8.4 Suy ngẫm	24
PHẦN III - CÂY CẦU GIỮA HAI THẾ GIỚI	25
9 Cơ học giải tích và nhiệt động lực học	26
9.1 Lagrange, Hamilton và vẻ đẹp của sự tổng quát hóa	26
9.2 Nhiệt, hơi nước và một khoa học mới	26
9.3 Cơ học thống kê - cầu nối đến thế giới nguyên tử	27
9.4 Suy ngẫm	27
10 Faraday, Maxwell và sự thống nhất điện - từ - quang	28
10.1 Michael Faraday - thiên tài thực nghiệm không qua trường lớp	28
10.2 James Clerk Maxwell - người hoàn thiện giấc mơ của Faraday	28
10.3 Một chiến thắng - và một câu hỏi hóc búa mới	29
10.4 Suy ngẫm	29
11 Những đám mây cuối chân trời vật lý cổ điển	30
11.1 Đám mây thứ nhất: thí nghiệm Michelson-Morley	30
11.2 Đám mây thứ hai: thảm họa tử ngoại	31
11.3 Hai đám mây, một cơn bão	31
11.4 Suy ngẫm	32
PHẦN IV - EINSTEIN VÀ CUỘC CÁCH MẠNG TƯƠNG ĐỐI	33
12 Cậu bé chậm nói ở Ulm	34
12.1 Một đứa trẻ không giống ai mong đợi	34
12.2 Hình học Euclid và cây vĩ cầm	34
12.3 Rời nước Đức, mất quốc tịch	34
12.4 Suy ngẫm	35
13 Năm kỳ diệu 1905	36
13.1 Bài báo thứ nhất: hiệu ứng quang điện	36
13.2 Bài báo thứ hai: chuyển động Brown	36
13.3 Bài báo thứ ba: thuyết tương đối hẹp	36
13.4 Bài báo thứ tư: $E=mc^2$	37
13.5 Bốn bài báo, một cuộc cách mạng	37
13.6 Suy ngẫm	37
14 Thuyết tương đối hẹp - không gian, thời gian và ánh sáng	38
14.1 Hai tiên đề, một cuộc cách mạng	38
14.2 Cái giá phải trả: không gian và thời gian không còn tuyệt đối	38
14.3 Không-thời gian: một thực thể thống nhất	39
14.4 Suy ngẫm	39
15 Hành trình đến thuyết tương đối rộng	40
15.1 "Ý tưởng hạnh phúc nhất đời tôi"	40
15.2 Tám năm vật lộn với toán học	40
15.3 Phương trình trường Einstein	40
15.4 Bài kiểm định đầu tiên: quỹ đạo Sao Thủy	41
15.5 Suy ngẫm	42
16 Nhật thực 1919 và huyền thoại Einstein	43
16.1 Tại sao cần một kỳ nhật thực?	43

16.2	Hai đoàn thám hiểm, một khoảnh khắc lịch sử	43
16.3	“Ánh sáng bị bẻ cong trên bầu trời”	44
16.4	Một khoảnh khắc mang tính biểu tượng	44
16.5	Suy ngẫm	44
17	Những năm sau - Nobel, nước Mỹ, bom nguyên tử	45
17.1	Giải Nobel đến muộn	45
17.2	Rời khỏi nước Đức	45
17.3	Bức thư gửi Tổng thống Roosevelt	45
17.4	Cuộc tìm kiếm dang dở: lý thuyết trường thống nhất	46
17.5	Những ngày cuối cùng	46
17.6	Suy ngẫm	46
	PHẦN V - DI SẢN VÀ KẾT LUẬN	47
18	Newton và Einstein - hai thế giới quan, một khát vọng	48
18.1	Những điểm tương đồng đáng kinh ngạc	48
18.2	Hai bức tranh khác biệt về thực tại	48
18.3	Suy ngẫm	49
19	Di sản cho khoa học hiện đại - từ GPS đến hố đen	50
19.1	Newton trong đời sống hàng ngày	50
19.2	Einstein trong túi quần của bạn	50
19.3	Từ hố đen đến sóng hấp dẫn	51
19.4	Một câu chuyện chưa kết thúc	51
19.5	Suy ngẫm	51
20	Lời kết	52
20.1	Bài học lớn nhất	52
20.2	Tinh thần chung của những bộ óc vĩ đại	52
A	Dòng thời gian tổng hợp	54
B	Danh sách nhân vật chính	56
C	Nguồn tham khảo chính	57

PHẦN I - BÌNH MINH CỦA KHOA HỌC HIỆN ĐẠI

CHƯƠNG 1

Thế giới trước cuộc cách mạng khoa học

Trước khi có thể kể câu chuyện về Newton, ta cần hiểu thế giới mà ông sinh ra: một thế giới nơi bầu trời vẫn được coi là hoàn hảo và bất biến, còn Trái Đất đứng yên ở trung tâm vũ trụ.

1.1 Vũ trụ của Aristotle và Ptolemy

Trong gần hai nghìn năm, tư tưởng của nhà triết học Hy Lạp Aristotle (384–322 TCN) thống trị cách người phương Tây hiểu về tự nhiên. Theo Aristotle, vũ trụ được chia làm hai miền tách biệt: miền hạ giới quanh Trái Đất, nơi vạn vật cấu tạo từ bốn nguyên tố đất, nước, khí, lửa và luôn có xu hướng chuyển động về “vị trí tự nhiên” của mình; và miền thượng giới, nơi các thiên thể chuyển động vĩnh viễn theo những vòng tròn hoàn hảo, cấu tạo từ nguyên tố thứ năm bất biến gọi là ether.

Nhà thiên văn học Claudius Ptolemy (khoảng 100–170) đã hệ thống hóa quan điểm này thành một mô hình toán học tinh vi: Trái Đất đứng yên ở trung tâm, còn Mặt Trời, Mặt Trăng và các hành tinh quay quanh nó theo những vòng tròn lồng nhau phức tạp. Mô hình địa tâm này dự đoán khá chính xác vị trí các thiên thể, nên nó tồn tại gần như không bị thách thức nghiêm trọng suốt mười bốn thế kỷ.

1.2 Cuộc cách mạng Copernicus

Năm 1543, ngay trước khi qua đời, nhà thiên văn học người Ba Lan Nicolaus Copernicus (1473–1543) xuất bản cuốn *De revolutionibus orbium coelestium* (Về sự vận chuyển của các thiên cầu), trong đó ông đề xuất một ý tưởng đảo lộn hoàn toàn: Mặt Trời, chứ không phải Trái Đất, mới là trung tâm, và Trái Đất chỉ là một trong nhiều hành tinh quay quanh nó.

Mô hình nhật tâm của Copernicus ban đầu không đơn giản hơn nhiều so với mô hình địa tâm về mặt tính toán, và nó mâu thuẫn trực tiếp với cả triết học Aristotle lẫn cách đọc theo nghĩa đen của Kinh Thánh. Tuy nhiên, hạt giống tư tưởng ấy đã được gieo xuống, chờ đợi những nhà khoa học kế tiếp vun đắp.

1.3 Kepler và ba định luật chuyển động hành tinh

Nhà thiên văn học người Đức Johannes Kepler (1571–1630), dựa trên các dữ liệu quan sát cực kỳ chính xác do Tycho Brahe để lại, đã phát hiện ra rằng quỹ đạo các hành tinh không phải hình tròn hoàn hảo như người ta vẫn tin, mà là hình elip. Năm 1609, ông công bố hai định luật đầu tiên trong tác phẩm *Astronomia nova*, và định luật thứ ba xuất hiện mười năm sau đó:

Ba định luật Kepler (tóm lược)

1. Mỗi hành tinh chuyển động theo quỹ đạo hình elip, với Mặt Trời nằm tại một trong hai tiêu điểm.
2. Đường nối Mặt Trời với hành tinh quét những diện tích bằng nhau trong những khoảng thời gian bằng nhau.
3. Bình phương chu kỳ quỹ đạo tỉ lệ với lập phương bán trục lớn của quỹ đạo đó.

Đây là những định luật thuần túy *mô tả* – Kepler tìm ra quy luật toán học chi phối chuyển động hành tinh, nhưng ông không giải thích được *tại sao* các hành tinh lại chuyển động như vậy. Câu hỏi “tại sao” ấy sẽ phải chờ đến Newton, gần bảy mươi năm sau, mới có lời giải đáp trọn vẹn.

Điều thú vị

Kepler ban đầu tin rằng quỹ đạo các hành tinh liên quan đến năm khối đa diện đều lồng nhau – một ý tưởng mang đậm màu sắc thần bí. Chỉ khi dữ liệu quan sát của Tycho Brahe buộc ông từ bỏ giả thuyết quỹ đạo tròn để chấp nhận hình elip, khoa học hiện đại mới thực sự cất cánh. Đây là một trong những ví dụ sớm nhất về việc dữ liệu thực nghiệm chiến thắng một lý thuyết đẹp đẽ nhưng sai.

1.4 Suy ngẫm

Suy ngẫm

Vì sao việc Kepler sẵn sàng từ bỏ mô hình quỹ đạo tròn “hoàn hảo” để chấp nhận hình elip lại được xem là một bước ngoặt quan trọng trong tư duy khoa học? Điều gì sẽ xảy ra nếu các nhà khoa học luôn bám chặt lấy những mô hình đẹp về mặt thẩm mỹ ngay cả khi dữ liệu không ủng hộ chúng?

CHƯƠNG 2

Galileo Galilei và phương pháp thực nghiệm

Nếu Copernicus và Kepler thay đổi mô hình vũ trụ, thì Galileo Galilei (1564-1642) đã thay đổi thứ còn nền tảng hơn: cách con người *tìm hiểu* thế giới tự nhiên. Ông thường được xem là “cha đẻ của khoa học thực nghiệm hiện đại” – và không phải ngẫu nhiên khi năm ông qua đời, 1642, cũng là năm Isaac Newton chào đời.

2.1 Chiếc kính viễn vọng và bầu trời không hoàn hảo

Năm 1609, khi nghe tin về một dụng cụ phóng đại hình ảnh mới được chế tạo ở Hà Lan, Galileo đã tự tay cải tiến và chế tạo kính viễn vọng của riêng mình, đạt độ phóng đại vượt trội. Hướng ống kính lên bầu trời đêm, ông phát hiện những điều mâu thuẫn trực tiếp với vũ trụ quan Aristotle: bề mặt Mặt Trăng gồ ghề với núi non và hố trũng chứ không nhẵn mịn hoàn hảo; Sao Mộc có bốn vệ tinh nhỏ quay quanh nó – bằng chứng cho thấy không phải mọi thiên thể đều quay quanh Trái Đất; và Sao Kim có các pha tương tự Mặt Trăng, điều chỉ có thể giải thích được nếu Sao Kim quay quanh Mặt Trời.

Những quan sát này, công bố trong cuốn *Sidereus Nuncius* (Sứ giả các vì sao, 1610), đã ủng hộ mạnh mẽ mô hình nhật tâm của Copernicus và khiến Galileo va chạm trực diện với Giáo hội Công giáo. Năm 1633, ông bị Tòa án Dị giáo xét xử, buộc phải công khai từ bỏ quan điểm nhật tâm, và bị quản thúc tại gia cho đến cuối đời.

2.2 Thí nghiệm và toán học hóa tự nhiên

Đóng góp sâu xa hơn của Galileo không nằm ở những khám phá thiên văn, mà ở cách tiếp cận: ông khẳng định rằng để hiểu tự nhiên, người ta phải quan sát và làm thí nghiệm một cách có hệ thống, sau đó diễn đạt các quy luật tìm được bằng ngôn ngữ toán học – thay vì suy luận thuần túy từ triết học như truyền thống Aristotle.

Qua các thí nghiệm nổi tiếng về vật rơi (dù câu chuyện thả vật từ tháp nghiêng Pisa có thể chỉ là giai thoại), Galileo đã bác bỏ quan điểm của Aristotle rằng vật nặng rơi nhanh hơn vật nhẹ. Ông chứng minh – bằng cả lý luận lẫn thí nghiệm với mặt phẳng nghiêng – rằng trong điều kiện lý tưởng không có sức cản không khí, mọi vật đều rơi với cùng gia tốc, bất kể khối lượng.

Nguyên lý quán tính - viên gạch đầu tiên cho Newton

Galileo cũng là người đầu tiên phát biểu một dạng sơ khai của nguyên lý quán tính: một vật đang chuyển động trên mặt phẳng ngang không có ma sát sẽ tiếp tục chuyển động mãi mãi nếu không có gì tác động lên nó. Đây chính là viên

gạch nền tảng mà nửa thế kỷ sau, Newton sẽ xây dựng thành Định luật I trong ba định luật chuyển động của mình.

2.3 Di sản của Galileo

Galileo qua đời ngày 8 tháng 1 năm 1642 tại Arcetri, gần Florence, vẫn trong tình trạng bị quản thúc. Chưa đầy một năm sau, vào ngày Giáng sinh cùng năm theo lịch Julius (tức đầu tháng 1 năm 1643 theo lịch Gregory), Isaac Newton chào đời tại một ngôi làng nhỏ ở Lincolnshire, nước Anh.

Sự trùng hợp về thời điểm này thường được nhắc đến như một biểu tượng đẹp: ngọn đuốc của phương pháp khoa học thực nghiệm, vừa được Galileo thắp lên và bảo vệ bằng chính sự tự do của mình, đã được truyền tiếp sang thế hệ tiếp theo – thế hệ sẽ tổng hợp mọi mảnh ghép rời rạc của Copernicus, Kepler và Galileo thành một hệ thống vật lý thống nhất, hoàn chỉnh.

2.4 Suy ngẫm

Suy ngẫm

Galileo phải trả giá rất đắt (bị quản thúc suốt phần đời còn lại) vì bảo vệ quan điểm khoa học của mình trước áp lực tôn giáo và chính trị. Bạn nghĩ điều gì đã thúc đẩy ông kiên trì với phương pháp thực nghiệm ngay cả khi phải đối mặt với rủi ro cá nhân lớn như vậy?

PHẦN II - NEWTON VÀ CƠ HỌC CỔ ĐIỂN

CHƯƠNG 3

Cậu bé mồ côi ở Woolsthorpe

Isaac Newton chào đời vào ngày 25 tháng 12 năm 1642 theo lịch Julius khi đó vẫn được dùng ở Anh (tương ứng ngày 4 tháng 1 năm 1643 theo lịch Gregory hiện đại), tại một trang trại nhỏ mang tên Woolsthorpe Manor, thuộc hạt Lincolnshire. Ông sinh non và yếu ớt đến mức người ta không nghĩ ông sẽ sống sót qua vài ngày đầu đời.

3.1 Một tuổi thơ không êm đềm

Cha của Newton, một nông dân không biết chữ, qua đời ba tháng trước khi ông sinh ra. Khi Newton lên ba, mẹ ông tái hôn và chuyển đến sống với người chồng mới, để lại cậu bé cho bà ngoại nuôi dưỡng. Sự chia lìa này để lại dấu ấn tâm lý sâu sắc: các nhà viết tiểu sử sau này ghi nhận rằng Newton lớn lên với tính cách khép kín, đa nghi và đôi khi thù địch với những người xung quanh – kể cả với các đồng nghiệp khoa học sau này.

Năm 1661, ở tuổi mười tám, Newton nhập học Trinity College thuộc Đại học Cambridge. Ông không xuất sắc nổi bật ngay từ đầu; thực ra ông phải làm công việc phục vụ cho các sinh viên giàu có hơn (gọi là “sizar”) để trang trải học phí. Nhưng chính tại Cambridge, Newton bắt đầu tự học các tác phẩm của Descartes, Galileo và Kepler – vượt xa chương trình giảng dạy chính thống vốn vẫn còn nặng về triết học Aristotle.

3.2 Người thầy Isaac Barrow

Một trong những nhân tố quan trọng định hình con đường học thuật của Newton là Isaac Barrow, giáo sư toán học đầu tiên giữ chức Lucasian Professor tại Cambridge – một vị trí sau này chính Newton sẽ kế nhiệm vào năm 1669, khi mới 26 tuổi. Barrow nhận ra tài năng toán học phi thường của cậu học trò và đã ảnh hưởng sâu sắc đến hướng nghiên cứu của Newton về giải tích.

Ghi nhớ

Chức danh Lucasian Professor of Mathematics tại Cambridge sau này còn được nắm giữ bởi những nhà khoa học lừng danh khác, trong đó có nhà vật lý học Stephen Hawking (1979–2009) – một sự tiếp nối biểu tượng giữa các thế hệ thiên tài vật lý.

Tuy nhiên, con đường học thuật đang lên của Newton sớm bị gián đoạn bởi một sự kiện nằm ngoài tầm kiểm soát của bất kỳ ai: một trận đại dịch hạch bùng phát khắp châu Âu, buộc Đại học Cambridge phải đóng cửa vào mùa hè năm 1665.

3.3 Suy ngẫm

Suy ngẫm

Tuổi thơ nhiều biến động và tính cách khép kín của Newton dường như trái ngược với hình ảnh một thiên tài khoa học vĩ đại trong tưởng tượng của nhiều người. Bạn nghĩ hoàn cảnh cá nhân khó khăn có thể trở thành động lực cho những thành tựu phi thường như thế nào?

CHƯƠNG 4

Những năm đại dịch kỳ diệu

Khi Đại học Cambridge đóng cửa vì dịch hạch vào năm 1665, chàng trai 22 tuổi Isaac Newton trở về quê nhà Woolsthorpe. Ông ở đó, gần như tách biệt khỏi thế giới học thuật, trong khoảng thời gian trải dài qua năm 1666 (với một đợt quay lại Cambridge ngắn ngủi xen giữa). Đây hóa ra lại là giai đoạn sáng tạo phi thường nhất trong toàn bộ sự nghiệp của ông.

4.1 “Prime of my age for invention”

Nhiều thập kỷ sau, khi đã là một nhà khoa học lừng danh, Newton hồi tưởng về giai đoạn này bằng câu nói nổi tiếng: ông gọi hai năm 1665–1666 là “*the prime of my age for invention*” – thời kỳ đỉnh cao sáng tạo trong đời mình. Trong khoảng thời gian tương đối ngắn ngủi ấy, tách biệt khỏi những ràng buộc giảng dạy và sinh hoạt học thuật thường nhật, Newton đã đặt nền móng cho gần như toàn bộ những đóng góp vĩ đại nhất của mình:

- Ông phát triển các ý tưởng đầu tiên về **phép tính vi tích phân** (calculus), mà ông gọi là “phương pháp thông lượng” (method of fluxions) – một công cụ toán học sau này trở thành ngôn ngữ không thể thiếu của toàn bộ vật lý hiện đại.
- Ông tiến hành các thí nghiệm đầu tiên về **quang học**, dùng lăng kính để phân tích ánh sáng trắng thành các màu sắc thành phần.
- Và quan trọng nhất, ông bắt đầu suy nghĩ nghiêm túc về bản chất của **lực hấp dẫn** và chuyển động của các thiên thể.

4.2 Giai thoại quả táo

Câu chuyện về quả táo rơi trúng đầu Newton, khơi nguồn cảm hứng cho định luật vạn vật hấp dẫn, là một trong những giai thoại khoa học nổi tiếng nhất – nhưng phần lớn các nhà sử học khoa học hiện nay tin rằng đây là một câu chuyện được thêu dệt hoặc ít nhất bị phóng đại quá mức theo thời gian.

Điều gần với sự thật hơn là: khi ngồi trong khu vườn ở Woolsthorpe và quan sát một quả táo rơi, Newton bắt đầu tự hỏi liệu lực kéo quả táo xuống đất có phải cùng một loại lực với lực giữ Mặt Trăng ở lại quỹ đạo quanh Trái Đất hay không. Đây là một câu hỏi mang tính cách mạng: trước Newton, người ta vẫn ngầm định rằng các quy luật chi phối “thế giới hạ giới” (nơi táo rơi) hoàn toàn khác biệt với các quy luật chi phối “thế giới thượng giới” (nơi các thiên thể chuyển động) – một tàn dư trực tiếp từ vũ trụ quan Aristotle.

Điều thú vị

Cái cây táo được cho là đã truyền cảm hứng cho Newton vẫn còn tồn tại (hoặc ít nhất là một hậu duệ được chiết ghép từ nó) tại Woolsthorpe Manor, hiện do National Trust của Anh quản lý và mở cửa cho công chúng tham quan.

4.3 Từ trực giác đến lý thuyết hoàn chỉnh

Điều quan trọng cần lưu ý là: dù những hạt giống ý tưởng về hấp dẫn phổ quát đã nảy sinh trong giai đoạn 1665–1666, phải mất thêm gần hai mươi năm nữa – với sự thúc giục quyết liệt từ nhà thiên văn học Edmond Halley – Newton mới hoàn thiện lý thuyết này thành một hệ thống toán học chặt chẽ, công bố trong tác phẩm *Principia Mathematica* năm 1687. Thiên tài không phải là một tia chớp lóe sáng duy nhất, mà là một quá trình ấp ủ, kiểm chứng và hoàn thiện bền bỉ qua nhiều năm tháng.

4.4 Suy ngẫm

Suy ngẫm

Newton mất gần hai mươi năm từ khi có trực giác ban đầu về hấp dẫn phổ quát đến khi công bố lý thuyết hoàn chỉnh. Điều này cho chúng ta bài học gì về bản chất thực sự của các khám phá khoa học lớn, so với hình ảnh phổ biến về "khoảnh khắc lóe sáng thiên tài"?

CHƯƠNG 5

Principia Mathematica và ba định luật chuyển động

Năm 1684, nhà thiên văn học trẻ tuổi Edmond Halley (người mà sau này một sao chổi nổi tiếng mang tên) đến thăm Newton tại Cambridge với một câu hỏi: lực nào khiến các hành tinh chuyển động theo quỹ đạo elip như Kepler đã mô tả? Khi Halley hỏi, Newton trả lời ngay lập tức rằng đó phải là lực tỉ lệ nghịch với bình phương khoảng cách – ông đã tính ra điều này từ nhiều năm trước nhưng chưa từng công bố.

Kinh ngạc trước câu trả lời, Halley thuyết phục Newton viết lại và công bố đầy đủ chứng minh của mình. Kết quả là, sau ba năm làm việc miệt mài, ngày 5 tháng 7 năm 1687, *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (Các nguyên lý toán học của triết học tự nhiên) ra đời – một trong những tác phẩm khoa học có ảnh hưởng sâu rộng nhất trong lịch sử nhân loại.

5.1 Ba định luật nền tảng

Trong phần đầu của Principia, Newton phát biểu ba định luật chuyển động, những nguyên lý sẽ trở thành nền móng của toàn bộ cơ học cổ điển trong hơn hai trăm năm tiếp theo:

Ba định luật chuyển động của Newton

Định luật I (Định luật quán tính): Một vật sẽ giữ nguyên trạng thái đứng yên hoặc chuyển động thẳng đều, trừ khi có một lực tác dụng làm thay đổi trạng thái đó.

Định luật II: Gia tốc của một vật tỉ lệ thuận với lực tác dụng lên nó và tỉ lệ nghịch với khối lượng của vật: $F = ma$.

Định luật III: Với mỗi lực tác dụng, luôn tồn tại một phản lực có độ lớn bằng nhau nhưng ngược chiều.

Định luật I, như đã đề cập, phát triển trực tiếp từ nguyên lý quán tính sơ khai của Galileo. Nhưng Định luật II mới là trái tim toán học của toàn bộ hệ thống: nó biến những khái niệm mơ hồ như “lực” và “chuyển động” thành các đại lượng có thể đo lường và tính toán chính xác bằng phương trình.

5.2 Sức mạnh của sự thống nhất

Điều thực sự cách mạng trong Principia không chỉ là từng định luật riêng lẻ, mà là cách Newton dùng chúng để **thống nhất** hai lĩnh vực tưởng chừng tách biệt: chuyển động của vật thể trên Trái Đất (như quả táo rơi) và chuyển động của các thiên thể

trên bầu trời (như Mặt Trăng quay quanh Trái Đất). Trước Newton, đây là hai thế giới với hai bộ quy luật hoàn toàn khác nhau, theo di sản tư tưởng của Aristotle. Newton đã chứng minh rằng chỉ cần **cùng một tập hợp định luật duy nhất**, người ta có thể giải thích cả việc tảo rơi lẫn quỹ đạo hành tinh.

Ghi nhớ

Nhà thiên văn học và vật lý học nổi tiếng thế kỷ 20, Richard Feynman, từng nhận xét rằng Principia của Newton là một trong những thành tựu vĩ đại nhất của trí tuệ con người – không chỉ vì nội dung khoa học, mà vì nó chứng minh lần đầu tiên rằng vũ trụ, dù rộng lớn và phức tạp đến đâu, vẫn có thể được mô tả bằng một số ít quy luật toán học đơn giản, áp dụng phổ quát ở mọi nơi.

5.3 Suy ngẫm

Suy ngẫm

Trước Newton, người ta tin rằng các quy luật chi phối bầu trời và mặt đất là hoàn toàn khác nhau. Việc chứng minh rằng chỉ có một bộ quy luật duy nhất chi phối toàn vũ trụ đã thay đổi cách con người nhìn nhận vị trí của mình trong tự nhiên như thế nào?

CHƯƠNG 6

Định luật vạn vật hấp dẫn - vũ trụ như một cỗ máy

Phần thứ ba của Principia trình bày thành tựu nổi tiếng nhất của Newton: **định luật vạn vật hấp dẫn**. Đây là câu trả lời hoàn chỉnh cho câu hỏi mà Kepler chưa bao giờ giải đáp được – *tại sao* các hành tinh lại chuyển động theo những quỹ đạo elip tuân theo ba định luật của ông.

6.1 Một lực, một công thức, cả vũ trụ

Newton phát biểu rằng mọi vật có khối lượng trong vũ trụ đều hút nhau bằng một lực tỉ lệ thuận với tích hai khối lượng và tỉ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa chúng:

Định luật vạn vật hấp dẫn

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

trong đó F là lực hấp dẫn giữa hai vật có khối lượng m_1 và m_2 , r là khoảng cách giữa chúng, và G là hằng số hấp dẫn – một hằng số phổ quát áp dụng như nhau ở mọi nơi trong vũ trụ.

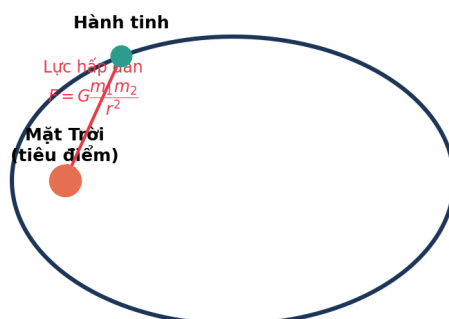
Từ định luật đơn giản này, Newton đã chứng minh được bằng toán học rằng ba định luật Kepler – vốn được rút ra thuần túy từ quan sát thực nghiệm – là hệ quả tất yếu của một lực hấp dẫn tỉ lệ nghịch bình phương khoảng cách. Đây là một trong những khoảnh khắc đẹp đẽ nhất trong lịch sử khoa học: những quy luật thực nghiệm rời rạc của Kepler đột nhiên được thống nhất và giải thích trọn vẹn bởi một nguyên lý toán học duy nhất, sâu sắc hơn nhiều.

6.2 Cùng một lực, khắp mọi nơi

Sức mạnh thuyết phục của định luật vạn vật hấp dẫn nằm ở tính **phổ quát** của nó. Cùng một công thức toán học giải thích được:

- Vì sao quả táo rơi thẳng xuống đất.
- Vì sao Mặt Trăng không “rơi” ra khỏi quỹ đạo mà mãi mãi quay quanh Trái Đất (thực chất, theo cách hiểu của Newton, Mặt Trăng vẫn đang “rơi” về phía Trái Đất không ngừng, chỉ là nó đồng thời di chuyển đủ nhanh theo phương ngang để luôn “trượt” qua đường chân trời cong của Trái Đất).
- Vì sao thủy triều lên xuống theo chu kỳ liên quan đến vị trí Mặt Trăng và Mặt Trời.
- Vì sao các hành tinh xa xôi tuân theo chính xác các định luật Kepler.

Quỹ đạo elip và định luật vạn vật hấp dẫn



Hình 6.1: Quỹ đạo elip và định luật vạn vật hấp dẫn

6.3 Thế giới quan tất định

Thành công vang dội của cơ học Newton đã định hình một thế giới quan mới, thường được gọi là **chủ nghĩa tất định cơ học** (mechanical determinism). Nếu vũ trụ vận hành hoàn toàn theo những định luật toán học chính xác, thì về nguyên tắc, nếu biết đầy đủ vị trí và vận tốc của mọi hạt vật chất tại một thời điểm, người ta có thể tính toán chính xác trạng thái của toàn vũ trụ ở bất kỳ thời điểm nào trong quá khứ hay tương lai. Nhà toán học Pierre-Simon Laplace sau này đã diễn đạt ý tưởng này qua hình ảnh nổi tiếng về một “con quỷ” (Laplace’s Demon) có khả năng biết trước mọi diễn biến của vũ trụ nếu nắm đủ thông tin ban đầu.

Vũ trụ, trong hình dung của thời đại Newton, giống như một chiếc đồng hồ khổng lồ, tinh xảo, được Thượng Đế lên dây cót từ thuở ban đầu rồi để nó tự vận hành theo những quy luật cơ học bất biến – một ẩn dụ mà các nhà tư tưởng thời kỳ Khai sáng gọi là “chủ nghĩa cơ học đồng hồ” (clockwork universe).

Ghi nhớ

Định luật vạn vật hấp dẫn của Newton thống trị vật lý thiên văn suốt hơn 200 năm, cho đến khi thuyết tương đối rộng của Einstein (1915) cho thấy nó chỉ là một xấp xỉ rất chính xác trong điều kiện trường hấp dẫn không quá mạnh – chứ không phải là chân lý tuyệt đối cuối cùng. Ta sẽ trở lại điều này ở Phần IV của cuốn sách.

6.4 Suy ngẫm

Suy ngẫm

Hình ảnh "vũ trụ đồng hồ" tất định, nơi mọi thứ đều có thể tính toán trước nếu biết đủ thông tin, có ý nghĩa gì đối với các khái niệm như tự do ý chí hay ngẫu nhiên? Bạn nghĩ vì sao thế giới quan này lại hấp dẫn đến vậy đối với các nhà tư tưởng thời kỳ Khai sáng?

CHƯƠNG 7

Ánh sáng, giả kim thuật và di sản Newton

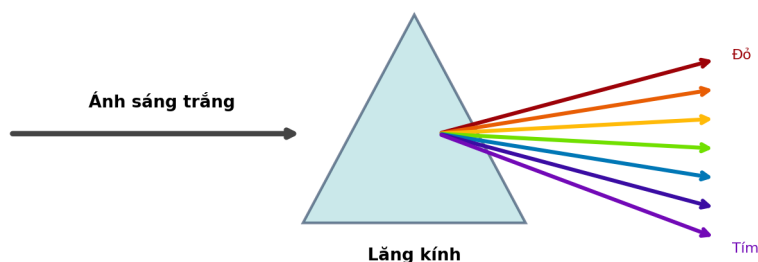
Newton không chỉ là nhà cơ học vĩ đại. Trước cả khi hoàn thiện lý thuyết hấp dẫn, ông đã có những đóng góp mang tính cách mạng cho lĩnh vực quang học – và đồng thời, dành phần lớn thời gian riêng tư cho những theo đuổi ít được biết đến hơn: giả kim thuật và thần học.

7.1 Ánh sáng trắng không hề “trắng”

Trong những năm đại dịch tại Woolsthorpe, Newton đã tiến hành một loạt thí nghiệm dùng lăng kính thủy tinh để phân tích ánh sáng Mặt Trời. Quan điểm phổ biến thời bấy giờ (bắt nguồn từ Aristotle) cho rằng ánh sáng trắng là dạng thuần khiết nhất của ánh sáng, còn màu sắc là kết quả của sự “làm bẩn” ánh sáng trắng khi đi qua các môi trường khác nhau.

Newton chứng minh điều ngược lại bằng một thí nghiệm đơn giản nhưng thuyết phục: khi cho một chùm ánh sáng trắng hẹp đi qua lăng kính, nó tách thành một dải màu liên tục từ đỏ đến tím (giống cầu vồng). Nhưng điều mấu chốt là bước tiếp theo: ông cho dải màu này đi qua một lăng kính thứ hai, và phát hiện rằng các tia màu đơn sắc *không* tiếp tục bị tách thêm – chúng vẫn giữ nguyên màu sắc của mình.

Thí nghiệm tán sắc ánh sáng của Newton (*Opticks*, 1704)



Hình 7.1: Thí nghiệm tán sắc ánh sáng của Newton

Từ đó, Newton kết luận rằng ánh sáng trắng thực chất là hỗn hợp của tất cả các màu sắc thành phần, và lăng kính không “tạo ra” màu sắc mà chỉ **tách** các thành phần vốn đã có sẵn trong ánh sáng trắng ra theo các góc khác nhau (hiện tượng tán sắc). Kết quả này được công bố lần đầu năm 1672 và sau đó được trình bày đầy đủ trong tác phẩm *Opticks* (1704).

Điều thú vị

Cũng chính từ nghiên cứu quang học, Newton đã tự tay chế tạo một loại kính viễn vọng phản xạ mới (dùng gương cong thay vì thấu kính), giúp khắc phục hiện tượng méo màu (sắc sai) vốn là nhược điểm nghiêm trọng của kính viễn vọng khúc xạ truyền thống. Kính viễn vọng phản xạ Newton, dù đã được cải tiến nhiều, vẫn là một trong những thiết kế cơ bản được dùng trong thiên văn nghiệp dư lẫn chuyên nghiệp ngày nay.

7.2 Mặt tối ít được biết đến: giả kim thuật

Điều khiến nhiều người ngạc nhiên là: Newton dành nhiều thời gian và tâm huyết cho giả kim thuật (alchemy) hơn bất kỳ ai có thể tưởng tượng về “cha đẻ của khoa học hiện đại”. Nhà kinh tế học nổi tiếng John Maynard Keynes, sau khi mua lại và nghiên cứu một phần lớn các bản thảo riêng tư của Newton vào thế kỷ 20, đã nhận xét rằng Newton không phải là “người đầu tiên của Thời đại Lý trí” như hình dung phổ biến, mà là “người cuối cùng của các pháp sư” (the last of the magicians) – ông xem vũ trụ như một câu đố bí ẩn do Thượng Đế cài cắm, có thể giải mã bằng cả toán học lẫn các manh mối huyền bí ẩn giấu trong kinh sách cổ và giả kim thuật.

Newton cũng dành hàng nghìn trang viết về thần học, đặc biệt là các nghiên cứu (mang tính dị giáo vào thời điểm đó) phủ nhận học thuyết Ba Ngôi của Kitô giáo chính thống – lý do khiến ông phải giữ kín quan điểm tôn giáo thực sự của mình suốt cuộc đời để tránh rắc rối.

Ghi nhớ

Việc Newton, biểu tượng tối cao của lý trí khoa học, đồng thời cũng đắm chìm trong giả kim thuật và thần học huyền bí, là một lời nhắc nhở quan trọng: các nhà khoa học vĩ đại nhất lịch sử không phải lúc nào cũng tách bạch rạch ròi giữa tư duy “khoa học” và tư duy “phi khoa học” theo cách chúng ta phân loại ngày nay. Bối cảnh trí tuệ của thế kỷ 17 phức tạp và đan xen hơn nhiều so với hình dung đơn giản hóa thường thấy.

7.3 Suy ngẫm

Suy ngẫm

Việc Newton vừa là nhà khoa học vĩ đại vừa đắm chìm trong giả kim thuật có làm thay đổi cách bạn nhìn nhận về ranh giới giữa khoa học và các hình thức tri thức khác không? Điều này gợi ý gì về cách các ý tưởng khoa học thực sự phát triển trong bối cảnh lịch sử của chúng?

CHƯƠNG 8

Những năm cuối đời - Hoàng gia, tranh cãi và di sản

Sau khi công bố Principia, Newton dần rời xa cuộc sống học thuật thuần túy tại Cambridge để bước vào những vai trò công quyền và xã hội có ảnh hưởng lớn hơn nhiều.

8.1 Từ giáo sư đến quan chức Hoàng gia

Năm 1696, Newton được bổ nhiệm làm Giám đốc (Warden) rồi sau đó là Chủ tịch (Master) của Xưởng đúc tiền Hoàng gia Anh (Royal Mint). Đây không phải là một chức vụ danh dự nhàn hạ: nước Anh khi đó đang trải qua một cuộc khủng hoảng tiền tệ nghiêm trọng vì nạn tiền giả và tiền bị cắt xén tràn lan. Newton đã đích thân chỉ đạo một chiến dịch “tái đúc tiền” quy mô lớn, đồng thời truy tố quyết liệt những kẻ làm tiền giả – có lúc còn tự mình cải trang để thu thập bằng chứng tại các quán rượu ở London. Ông đảm nhiệm vai trò này với sự nghiêm túc và hiệu quả đáng kinh ngạc, hoàn toàn trái ngược với hình ảnh một nhà khoa học chỉ biết đến sách vở.

Năm 1703, Newton được bầu làm Chủ tịch Hội Hoàng gia Luân Đôn (Royal Society) – vị trí danh giá nhất trong giới khoa học Anh thời bấy giờ – và giữ chức vụ này liên tục cho đến khi qua đời. Năm 1705, ông được Nữ hoàng Anne phong tước Hiệp sĩ, trở thành “Sir Isaac Newton”.

8.2 Cuộc chiến với Leibniz

Một trong những chương gây tranh cãi nhất trong cuộc đời Newton là mối bất hòa kéo dài và cay đắng với nhà toán học, triết học người Đức Gottfried Wilhelm Leibniz, xoay quanh việc ai mới thực sự là người phát minh ra phép tính vi tích phân (calculus).

Cả hai đều phát triển những ý tưởng nền tảng của giải tích một cách gần như độc lập trong khoảng cùng thời gian – Newton sớm hơn về mặt ý tưởng (từ những năm 1660) nhưng công bố muộn hơn, còn Leibniz công bố trước (từ những năm 1680) với một hệ ký hiệu toán học rõ ràng, thuận tiện hơn nhiều (và vẫn được sử dụng cho đến ngày nay, ví dụ ký hiệu dy/dx).

Tranh chấp bùng nổ thành một cuộc chiến công khai gay gắt. Đáng chú ý, với tư cách Chủ tịch Hội Hoàng gia, Newton đã lạm dụng quyền lực của mình: ông bí mật chỉ đạo thành lập một “ủy ban độc lập” để điều tra tranh chấp, rồi tự mình viết phần lớn báo cáo cuối cùng (giấu tên) tuyên bố ông là người phát minh duy nhất và hợp pháp. Các nhà sử học khoa học hiện đại, sau khi xem xét đầy đủ bằng chứng, nhìn chung đồng thuận rằng cả hai ông đều đã đi đến những khám phá tương tự một cách độc lập với nhau.

Điều thú vị

Ngày nay, ký hiệu toán học của giải tích mà học sinh, sinh viên trên toàn thế giới sử dụng (như dy/dx , $\int$) chủ yếu đến từ hệ thống của Leibniz, chứ không phải "phương pháp thông lượng" của Newton – một minh chứng cho thấy đôi khi tính tiện dụng của ký hiệu quan trọng không kém bản thân ý tưởng toán học.

8.3 Những năm cuối đời

Newton qua đời ngày 20 tháng 3 năm 1727 (theo lịch Julius; ngày 31 tháng 3 theo lịch Gregory) tại London, thọ 84 tuổi – một tuổi thọ đáng kinh ngạc so với chuẩn mực thời bấy giờ. Ông được an táng tại Tu viện Westminster với nghi lễ trọng thể dành cho một nhân vật quốc gia, điều hiếm có đối với một nhà khoa học vào thời điểm đó.

Nhà thơ Alexander Pope, người cùng thời với Newton, đã viết câu đối nổi tiếng để tưởng nhớ ông:

Trích dẫn

"Nature and Nature's laws lay hid in night: God said, Let Newton be! and all was light."

(Tự nhiên và các quy luật của Tự nhiên ẩn giấu trong đêm tối: Chúa phán, hãy để Newton xuất hiện! và tất cả trở nên sáng tỏ.)

Di sản của Newton không chỉ nằm ở những định luật và công thức cụ thể, mà ở việc ông đã chứng minh một cách thuyết phục rằng vũ trụ có thể được hiểu, dự đoán và mô tả chính xác bằng toán học – một niềm tin đã trở thành nền tảng triết học cho toàn bộ khoa học hiện đại trong hơn hai thế kỷ tiếp theo, cho đến khi những vết nứt đầu tiên bắt đầu xuất hiện vào cuối thế kỷ 19, như ta sẽ thấy ở phần tiếp theo.

8.4 Suy ngẫm

Suy ngẫm

Việc Newton lạm dụng quyền lực Chủ tịch Hội Hoàng gia để giành phần thắng trong tranh chấp với Leibniz cho thấy điều gì về mặt con người của các thiên tài khoa học? Điều này có làm giảm giá trị những đóng góp khoa học thực sự của ông không?

PHẦN III - CÂY CẦU GIỮA HAI THẾ GIỚI

CHƯƠNG 9

Cơ học giải tích và nhiệt động lực học

Sau Newton, cơ học cổ điển không đứng yên. Trong thế kỷ 18 và đầu thế kỷ 19, các nhà toán học và vật lý học trên khắp châu Âu đã tinh chỉnh, mở rộng và diễn đạt lại hệ thống của Newton dưới những hình thức toán học ngày càng tinh vi và mạnh mẽ hơn – đồng thời một lĩnh vực hoàn toàn mới, nhiệt động lực học, ra đời từ nhu cầu thực tiễn của cuộc Cách mạng Công nghiệp.

9.1 Lagrange, Hamilton và vẻ đẹp của sự tổng quát hóa

Nhà toán học người Ý-Pháp Joseph-Louis Lagrange, trong tác phẩm *Mécanique analytique* (1788), đã trình bày lại toàn bộ cơ học Newton dưới dạng thuần túy giải tích, không cần đến các hình vẽ hình học minh họa – ông từng tự hào tuyên bố rằng cuốn sách của mình “không chứa một hình vẽ nào”. Cách tiếp cận này, dựa trên khái niệm năng lượng và các nguyên lý biến phân, mạnh mẽ và tổng quát hơn nhiều so với cách trình bày bằng lực và gia tốc trực tiếp của Newton.

Nửa thế kỷ sau, nhà toán học người Ireland William Rowan Hamilton phát triển thêm một bước, đưa ra hình thức luận Hamilton – công cụ sau này trở thành nền tảng không thể thiếu cho cả cơ học lượng tử lẫn nhiều lĩnh vực vật lý hiện đại khác. Điều đáng chú ý là: cơ học Lagrange và cơ học Hamilton hoàn toàn **tương đương** về mặt vật lý với cơ học Newton – chúng chỉ là những “ngôn ngữ toán học” khác nhau để diễn đạt cùng một nội dung vật lý, nhưng lại mở ra những hướng khái quát hóa mà công thức $F = ma$ gốc của Newton khó có thể đạt tới.

9.2 Nhiệt, hơi nước và một khoa học mới

Trong khi đó, cuộc Cách mạng Công nghiệp – được thúc đẩy bởi động cơ hơi nước – đặt ra một loạt câu hỏi thực tiễn cấp bách: nhiệt là gì? Làm sao chuyển hóa nhiệt thành công cơ học một cách hiệu quả nhất? Những câu hỏi tưởng chừng thuần túy kỹ thuật này đã khai sinh ra một ngành vật lý hoàn toàn mới: nhiệt động lực học.

Kỹ sư người Pháp Sadi Carnot, trong công trình năm 1824, đã đặt ra những giới hạn lý thuyết cơ bản cho hiệu suất của bất kỳ động cơ nhiệt nào – một kết quả đi trước cả việc hiểu rõ bản chất của nhiệt là gì. Sau đó, các nhà vật lý như James Prescott Joule, Rudolf Clausius và William Thomson (Lord Kelvin) đã hoàn thiện hai nguyên lý nền tảng: nguyên lý bảo toàn năng lượng (Nguyên lý I) và khái niệm entropy cùng chiều diễn biến tự nhiên của các quá trình (Nguyên lý II).

Ghi nhớ

Đáng chú ý, khái niệm nhiệt độ tuyệt đối (thang Kelvin) do chính William Thomson đề xuất năm 1848, dựa trên chính những nghiên cứu nhiệt động lực học này – một khái niệm về sau trở thành nền tảng không thể thiếu trong cả vật lý cổ điển lẫn vật lý lượng tử.

9.3 Cơ học thống kê - cầu nối đến thế giới nguyên tử

Cuối thế kỷ 19, nhà vật lý người Áo Ludwig Boltzmann và người Mỹ Josiah Willard Gibbs đã phát triển cơ học thống kê, giải thích các định luật nhiệt động lực học vĩ mô (như áp suất, nhiệt độ) như là hệ quả thống kê từ chuyển động hỗn loạn của vô số phân tử riêng lẻ ở cấp độ vi mô – áp dụng chính xác các định luật Newton cho từng hạt, nhưng xét trên một tập hợp khổng lồ các hạt.

Đây là một bước tiến quan trọng: cơ học Newton, vốn ban đầu được xây dựng để mô tả chuyển động của các thiên thể lớn như hành tinh, giờ đây đã chứng tỏ sức mạnh của nó ngay cả ở cấp độ những phân tử khí vô hình. Niềm tin vào tính phổ quát tuyệt đối của cơ học cổ điển, vì thế, càng được củng cố mạnh mẽ hơn bao giờ hết – ngay trước khi những dấu hiệu đầu tiên của sự sụp đổ bắt đầu xuất hiện.

9.4 Suy ngẫm

Suy ngẫm

Lagrange và Hamilton không tạo ra vật lý mới, mà chỉ diễn đạt lại vật lý của Newton bằng ngôn ngữ toán học khác. Tại sao việc tìm ra một "ngôn ngữ" toán học tổng quát hơn, dù không thay đổi nội dung vật lý, vẫn có thể coi là một bước tiến quan trọng của khoa học?

CHƯƠNG 10

Faraday, Maxwell và sự thống nhất điện - từ - quang

Trong khi cơ học Newton dường như bất khả chiến bại, một lĩnh vực hoàn toàn khác của vật lý đang âm thầm phát triển suốt thế kỷ 19: nghiên cứu về điện và từ. Câu chuyện này có hai nhân vật chính, với xuất thân trái ngược nhau đến kinh ngạc.

10.1 Michael Faraday - thiên tài thực nghiệm không qua trường lớp

Michael Faraday (1791-1867) xuất thân từ một gia đình thợ rèn nghèo ở London, hầu như không được đào tạo toán học chính quy. Ông bắt đầu sự nghiệp khoa học với vai trò người học việc đóng sách, rồi trở thành trợ lý phòng thí nghiệm cho nhà hóa học nổi tiếng Humphry Davy tại Viện Hoàng gia London.

Bất chấp nền tảng toán học hạn chế, Faraday là một trong những nhà thực nghiệm vĩ đại nhất trong lịch sử khoa học. Năm 1831, ông khám phá ra hiện tượng cảm ứng điện từ - một từ trường biến thiên có thể sinh ra dòng điện - nguyên lý nền tảng cho toàn bộ ngành công nghiệp phát điện hiện đại (máy phát điện, máy biến áp). Faraday cũng là người đầu tiên hình dung ra khái niệm **trường** (field): thay vì nghĩ về lực điện và lực từ như tác động tức thời từ xa (giống cách Newton mô tả hấp dẫn), ông tưởng tượng không gian xung quanh một điện tích hay nam châm được lấp đầy bởi những "đường sức" vô hình, lan tỏa liên tục.

Faraday thậm chí còn suy đoán một cách táo bạo rằng bản thân ánh sáng có thể là một dạng dao động điện từ - một trực giác thiên tài mà chính ông thừa nhận không đủ khả năng toán học để chứng minh chặt chẽ.

10.2 James Clerk Maxwell - người hoàn thiện giấc mơ của Faraday

Nhà vật lý học người Scotland James Clerk Maxwell (1831-1879), với nền tảng toán học xuất sắc mà Faraday còn thiếu, đã tiếp nhận các ý tưởng trực giác của Faraday về trường và "toán học hóa" chúng thành một hệ thống phương trình chặt chẽ. Trong công trình mang tính bước ngoặt năm 1865, *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field* (Lý thuyết động lực học về trường điện từ), Maxwell trình bày một bộ phương trình - ngày nay gọi là phương trình Maxwell - mô tả đầy đủ mối quan hệ giữa điện trường và từ trường.

Ghi nhớ

Đóng góp mang tính cách mạng nhất của Maxwell là việc bổ sung một số hạng toán học mới (dòng điện dịch chuyển) vào định luật Ampère đã biết trước đó. Chính sự bổ sung tưởng chừng nhỏ bé này đã cho phép ông suy ra một **phương trình sóng**, dự đoán sự tồn tại của sóng điện từ lan truyền với vận tốc đúng bằng vận tốc ánh sáng đã đo được bằng thực nghiệm.

Từ đó, Maxwell đi đến kết luận chấn động: **ánh sáng chính là một dạng sóng điện từ**. Đây là một trong những cuộc thống nhất vĩ đại nhất trong lịch sử vật lý – ba hiện tượng tưởng chừng tách biệt hoàn toàn (điện, từ, và quang học) hóa ra chỉ là những biểu hiện khác nhau của cùng một thực thể vật lý duy nhất: trường điện từ.

10.3 Một chiến thắng - và một câu hỏi hóc búa mới

Thành công của Maxwell là một chiến thắng vang dội cho vật lý cổ điển, tiếp nối truyền thống thống nhất vĩ đại mà Newton đã khởi xướng hai thế kỷ trước. Nhưng chính lý thuyết này lại gieo mầm cho một cuộc khủng hoảng sâu sắc: nếu ánh sáng là sóng, thì theo trực giác vật lý thời bấy giờ, nó cần một môi trường vật chất để lan truyền – giống như sóng âm cần không khí, sóng nước cần nước. Môi trường giả định đó được đặt tên là **ether phát quang** (luminiferous ether), một chất giả thuyết lấp đầy toàn bộ vũ trụ, trong suốt tuyệt đối và không thể phát hiện bằng bất kỳ giác quan nào.

Câu hỏi đặt ra là: liệu người ta có thể phát hiện ra ether này bằng thực nghiệm hay không? Câu trả lời cho câu hỏi ấy, đến từ một thí nghiệm tại Cleveland, Ohio vào năm 1887, sẽ trở thành một trong những “đám mây” đen tối nhất báo hiệu cơn bão sắp ập đến với toàn bộ tòa lâu đài vật lý cổ điển.

10.4 Suy ngẫm

Suy ngẫm

Faraday có trực giác vật lý xuất sắc nhưng thiếu công cụ toán học, còn Maxwell có công cụ toán học để hiện thực hóa trực giác đó thành lý thuyết hoàn chỉnh. Điều này nói lên điều gì về sự cần thiết của cả trực giác lẫn hình thức hóa toán học trong tiến bộ khoa học?

CHƯƠNG 11

Những đám mây cuối chân trời vật lý cổ điển

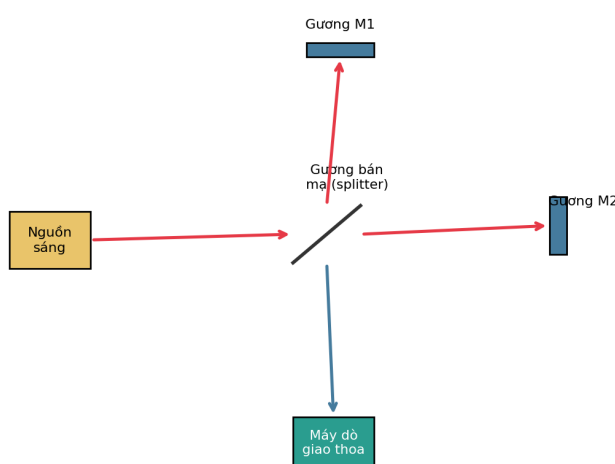
Vào năm 1900, nhà vật lý học người Anh Lord Kelvin có một bài phát biểu nổi tiếng trong đó ông nhận xét rằng bầu trời quang đấng của vật lý cổ điển chỉ còn bị che phủ bởi “hai đám mây nhỏ” chưa được giải thích trọn vẹn. Lịch sử sẽ chứng minh rằng hai đám mây tưởng chừng nhỏ bé ấy thực chất là tiền thân của hai cuộc cách mạng lớn nhất trong vật lý thế kỷ 20: thuyết tương đối và cơ học lượng tử.

11.1 Đám mây thứ nhất: thí nghiệm Michelson-Morley

Nếu ánh sáng là sóng lan truyền trong ether, và Trái Đất đang chuyển động quanh Mặt Trời với vận tốc khoảng 30 km/s, thì về nguyên tắc, vận tốc ánh sáng đo được trên Trái Đất phải khác nhau tùy theo phương đo – giống như vận tốc âm thanh đo được sẽ khác nhau nếu ta đo xuôi gió hay ngược gió.

Năm 1887, hai nhà vật lý học người Mỹ Albert Michelson và Edward Morley đã thiết kế một thí nghiệm cực kỳ tinh vi để phát hiện sự chênh lệch này, sử dụng một thiết bị gọi là giao thoa kế, có khả năng phát hiện những khác biệt cực nhỏ về thời gian ánh sáng di chuyển theo hai phương vuông góc.

Giao thoa kế Michelson-Morley (1887)



Hình 11.1: Giao thoa kế Michelson-Morley (1887)

Kết quả thí nghiệm gây sốc: **hoàn toàn không có sự chênh lệch nào được phát hiện**, bất kể phương đo hay thời điểm trong năm. Ánh sáng dường như luôn di

chuyển với cùng một vận tốc, bất kể hướng chuyển động của Trái Đất trong không gian. Đây là một trong những “kết quả âm tính” nổi tiếng nhất trong lịch sử khoa học – nó không tìm thấy điều người ta mong đợi tìm thấy, và chính sự “thất bại” ấy lại trở thành một trong những khám phá quan trọng nhất của vật lý học.

Ghi nhớ

Trong suốt gần hai mươi năm sau thí nghiệm Michelson-Morley, các nhà vật lý đã cố gắng “cứu vãn” khái niệm ether bằng nhiều giả thuyết chấp vá khác nhau (ví dụ giả thuyết co rút Lorentz-FitzGerald, cho rằng vật thể co lại theo phương chuyển động trong ether). Phải đến năm 1905, Einstein mới đưa ra lời giải triệt để nhất: từ bỏ hoàn toàn khái niệm ether, và thay vào đó công nhận rằng vận tốc ánh sáng là một hằng số tự nhiên, như nhau đối với mọi người quan sát.

11.2 Đám mây thứ hai: thảm họa tử ngoại

Đám mây thứ hai liên quan đến một bài toán tưởng chừng đơn giản: dự đoán quang phổ ánh sáng phát ra từ một vật bị nung nóng (gọi là “vật đen tuyệt đối” trong thuật ngữ vật lý). Các lý thuyết cổ điển, dựa trên nhiệt động lực học và điện từ học Maxwell, dự đoán rằng năng lượng bức xạ phát ra sẽ tăng vọt đến vô hạn ở vùng bước sóng ngắn (tử ngoại) – một kết quả vô lý về mặt vật lý, được gọi là “thảm họa tử ngoại” (ultraviolet catastrophe). Trên thực tế, không có vật nào phát ra năng lượng vô hạn cả.

Năm 1900, nhà vật lý học người Đức Max Planck đã tìm ra một công thức toán học khớp hoàn hảo với dữ liệu thực nghiệm – nhưng với một cái giá kỳ lạ: ông phải giả định rằng năng lượng không được phát ra liên tục, mà theo từng “gói” rời rạc, gọi là **lượng tử** (quanta), với năng lượng của mỗi gói tỉ lệ thuận với tần số bức xạ:

Giả thuyết lượng tử Planck

$$E = hf$$

trong đó h là hằng số Planck (một hằng số tự nhiên mới), và f là tần số bức xạ.

Ban đầu, Planck xem đây chỉ là một thủ thuật toán học tiện lợi, chứ không tin rằng năng lượng thực sự bị “lượng tử hóa” trong tự nhiên. Chính Einstein, năm năm sau, mới là người dám đi xa hơn – xem tính lượng tử này là một thực tại vật lý sâu sắc, chứ không chỉ là mẹo toán học, và dùng nó để giải thích một hiện tượng khó hiểu khác: hiệu ứng quang điện.

11.3 Hai đám mây, một cơn bão

Đến cuối thế kỷ 19, tòa lâu đài vật lý cổ điển – được xây dựng vững chắc từ nền móng của Newton, được mở rộng bởi Lagrange, Hamilton, và hoàn thiện thêm bởi Maxwell – dường như đã gần đạt đến sự hoàn chỉnh tuyệt đối. Nhưng chính hai “đám mây nhỏ” mà Kelvin nhắc đến – vấn đề ether và thảm họa tử ngoại – lại chứa đựng hạt giống của hai cuộc cách mạng sẽ viết lại hoàn toàn nền tảng vật lý: thuyết tương đối và cơ học lượng tử.

Người đứng ở trung tâm của cả hai cuộc cách mạng ấy, đáng kinh ngạc thay, chính là một nhân viên văn phòng bằng sáng chế hạng ba, gần như vô danh trong giới học thuật, tên là Albert Einstein.

11.4 Suy ngẫm

Suy ngẫm

Cả hai "đám mây nhỏ" mà Kelvin coi là những chi tiết vụn vặt cuối cùng cần giải quyết hóa ra lại là khởi nguồn của hai cuộc cách mạng lớn nhất vật lý thế kỷ 20. Điều này cho ta bài học gì về việc đánh giá thấp những bất thường nhỏ trong khoa học?

PHẦN IV - EINSTEIN VÀ CUỘC CÁCH MẠNG TƯƠNG ĐỐI

CHƯƠNG 12

Cậu bé chậm nói ở Ulm

Albert Einstein chào đời ngày 14 tháng 3 năm 1879 tại thành phố Ulm, vương quốc Württemberg (nay thuộc Đức), trong một gia đình Do Thái thế tục thuộc tầng lớp trung lưu. Cha ông, Hermann Einstein, điều hành một xưởng sản xuất thiết bị điện hóa nhỏ; mẹ ông, Pauline Koch, quán xuyến gia đình.

12.1 Một đứa trẻ không giống ai mong đợi

Trái với hình dung phổ biến về “thần đồng”, Einstein thời thơ ấu phát triển ngôn ngữ khá chậm – theo một sổ ghi chép, ông gần như không nói được trôi chảy cho đến khoảng ba tuổi, khiến gia đình từng lo lắng có điều gì đó bất thường. Ông cũng không phải học sinh xuất sắc toàn diện ở trường theo kiểu truyền thống, và có mối quan hệ căng thẳng với hệ thống giáo dục Đức thời bấy giờ – vốn nhấn mạnh kỷ luật cứng nhắc và học thuộc lòng, những điều mà tính cách độc lập, hay hoài nghi của cậu bé Einstein không mấy phù hợp.

Tuy nhiên, ngay từ nhỏ, Einstein đã bộc lộ niềm say mê đặc biệt với các câu hỏi khoa học. Năm lên 5 tuổi, khi bị ốm phải nằm trên giường, cha ông cho cậu xem một chiếc la bàn bỏ túi. Einstein sau này kể lại rằng việc chứng kiến kim la bàn luôn chỉ về một hướng cố định, dù ông xoay chiếc hộp theo bất kỳ cách nào, đã gieo vào ông một cảm giác kinh ngạc sâu sắc rằng phải có “một điều gì đó ẩn giấu đằng sau sự vật” – một trải nghiệm mà chính ông xem là một trong những khoảnh khắc khơi nguồn cho tình yêu vật lý suốt đời.

12.2 Hình học Euclid và cây vĩ cầm

Năm 12 tuổi, Einstein được tặng một cuốn sách hình học Euclid, và ông bị mê hoặc bởi vẻ đẹp của các chứng minh toán học chặt chẽ, thứ ông gọi là “cuốn sách hình học thiêng liêng nhỏ bé”. Cùng thời gian đó, mẹ ông – một người chơi piano có năng khiếu – khuyến khích cậu học vĩ cầm. Âm nhạc, đặc biệt là các tác phẩm của Mozart, trở thành niềm đam mê suốt đời của Einstein, một sở thích ông thường nhắc đến như một hình thức “giải trí trí tuệ” song hành cùng vật lý.

12.3 Rời nước Đức, mất quốc tịch

Năm 1894, khi gia đình chuyển đến Ý vì lý do kinh doanh, Einstein ở lại Đức để hoàn thành chương trình học nhưng nhanh chóng rời trường vì không chịu nổi kỷ luật quân sự hóa của hệ thống giáo dục Đức. Năm 1896, ở tuổi 17, ông chính thức từ bỏ quốc tịch Đức – một phần để tránh nghĩa vụ quân sự – và theo học tại Học viện Bách khoa Liên bang Thụy Sĩ (ETH Zurich).

Dù tốt nghiệp năm 1900, Einstein gặp khó khăn đáng kể trong việc tìm được vị trí giảng dạy hay nghiên cứu học thuật – một phần vì tính cách độc lập, hay chất vấn giáo sư khiến ông không được lòng nhiều người trong giới học thuật chính thống. Cuối cùng, năm 1902, nhờ sự giới thiệu của một người bạn, ông nhận được một công việc tương chừng không mấy liên quan đến nghiên cứu khoa học đỉnh cao: thẩm định viên hạng ba tại Văn phòng Sáng chế Thụy Sĩ ở Bern.

Điều thú vị

Công việc thẩm định bằng sáng chế, thường bị xem nhẹ trong các tiểu sử phổ thông, thực chất lại đóng vai trò quan trọng: nó đòi hỏi Einstein phải nhanh chóng nắm bắt bản chất cốt lõi của các thiết bị kỹ thuật phức tạp (nhiều trong số đó liên quan đến đồng bộ hóa tín hiệu điện và thời gian) – một loại tư duy rèn luyện trực giác vật lý có thể đã gián tiếp góp phần vào những suy nghĩ của ông về bản chất của thời gian và sự đồng thời, nền tảng cho thuyết tương đối hẹp sau này.

Chính tại văn phòng sáng chế khiêm tốn này, trong những giờ rảnh rỗi ít ỏi bên ngoài giờ làm việc, Einstein đã âm thầm nung nấu những ý tưởng sẽ làm chấn động toàn bộ nền vật lý chỉ vài năm sau đó.

12.4 Suy ngẫm

Suy ngẫm

Einstein không phải là một "thần đồng" theo khuôn mẫu truyền thống, và ông thậm chí gặp khó khăn trong hệ thống giáo dục chính quy. Điều này gợi ý gì về việc đánh giá tiềm năng khoa học của một người chỉ dựa vào thành tích học đường?

CHƯƠNG 13

Năm kỳ diệu 1905

Năm 1905 thường được gọi là *Annus Mirabilis* – “năm kỳ diệu” – của Einstein. Trong khoảng thời gian chưa đầy một năm, khi vẫn đang làm việc toàn thời gian tại Văn phòng Sáng chế Bern, ông đã gửi đăng liên tiếp bốn bài báo lên tạp chí *Annalen der Physik*, mỗi bài đều đủ sức mang tính cách mạng để một mình làm nên sự nghiệp của bất kỳ nhà vật lý nào khác.

13.1 Bài báo thứ nhất: hiệu ứng quang điện

Bài báo đầu tiên, công bố tháng 3 năm 1905, giải quyết một hiện tượng bí ẩn: khi ánh sáng chiếu vào bề mặt kim loại, các electron có thể bị bật ra – nhưng theo cách không hề tuân theo dự đoán của lý thuyết sóng ánh sáng cổ điển. Cường độ ánh sáng không quyết định electron có bị bật ra hay không, mà chính là **tần số** ánh sáng mới là yếu tố quyết định.

Einstein giải thích hiện tượng này bằng cách mở rộng táo bạo ý tưởng lượng tử năng lượng của Planck: ông đề xuất rằng bản thân ánh sáng, khi tương tác với vật chất, hành xử như những “hạt” năng lượng rời rạc (sau này gọi là photon), mỗi hạt mang năng lượng $E = hf$. Đây chính là công trình mà Einstein sau này được trao **Giải Nobel Vật lý năm 1921** – không phải vì thuyết tương đối, một điều thường gây ngạc nhiên cho nhiều người.

13.2 Bài báo thứ hai: chuyển động Brown

Bài báo thứ hai giải thích hiện tượng chuyển động hỗn loạn, ngẫu nhiên của các hạt phấn hoa nhỏ lơ lửng trong nước – hiện tượng nhà thực vật học Robert Brown quan sát được từ năm 1827 nhưng chưa ai giải thích thấu đáo. Einstein chứng minh bằng toán học rằng chuyển động này là kết quả của vô số va chạm liên tục từ các phân tử nước xung quanh – cung cấp bằng chứng gián tiếp nhưng cực kỳ thuyết phục cho sự tồn tại thực sự của nguyên tử và phân tử, điều mà vào năm 1905 vẫn còn bị một số nhà khoa học có ảnh hưởng hoài nghi.

13.3 Bài báo thứ ba: thuyết tương đối hẹp

Bài báo thứ ba, mang tựa đề khiêm tốn “Về điện động lực học của các vật thể chuyển động” (*Zur Elektrodynamik bewegter Körper*), giới thiệu **thuyết tương đối hẹp** – lý thuyết sẽ được trình bày chi tiết ở chương tiếp theo. Điều đáng kinh ngạc là bài báo này gần như không trích dẫn bất kỳ tài liệu tham khảo nào, một phong cách viết khác thường cho thấy Einstein đã tự mình suy nghĩ lại toàn bộ vấn đề từ những nguyên lý cơ bản nhất, thay vì xây dựng dần dần trên các công trình trước đó.

13.4 Bài báo thứ tư: $E=mc^2$

Chỉ vài tháng sau, Einstein công bố một bài báo ngắn bổ sung, mang tựa đề “Quán tính của một vật có phụ thuộc vào hàm lượng năng lượng của nó hay không?” (*Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?*). Trong đó, ông rút ra hệ quả nổi tiếng nhất của thuyết tương đối hẹp: khối lượng và năng lượng thực chất là hai biểu hiện của cùng một thực thể vật lý, liên hệ với nhau qua phương trình đã trở thành biểu tượng của khoa học hiện đại:

Phương trình khối lượng - năng lượng

$$E = mc^2$$

trong đó E là năng lượng, m là khối lượng, và c là vận tốc ánh sáng trong chân không (khoảng $3 \times 10^8 \text{ m/s}$).

Điều thú vị

Vào thời điểm công bố, phương trình $E = mc^2$ chỉ được xem là một hệ quả toán học thú vị, không ai - kể cả Einstein - lường trước được ứng dụng thực tiễn khổng lồ của nó trong tương lai: từ năng lượng hạt nhân, vũ khí nguyên tử, cho đến việc giải thích tại sao Mặt Trời có thể tỏa sáng liên tục hàng tỉ năm nhờ phản ứng nhiệt hạch.

13.5 Bốn bài báo, một cuộc cách mạng

Không nhà vật lý nào khác trong lịch sử từng tạo ra bốn đóng góp có ảnh hưởng sâu rộng đến vậy chỉ trong vòng một năm, và đặc biệt là trong hoàn cảnh làm việc toàn thời gian tại một văn phòng hành chính, hoàn toàn tách biệt khỏi môi trường học thuật chính thống. Phải mất vài năm sau đó, cộng đồng vật lý mới dần nhận ra tầm vóc thực sự của những gì đã xảy ra vào năm 1905 - và Einstein, từ một nhân viên vô danh, bắt đầu con đường trở thành nhà khoa học nổi tiếng nhất thế kỷ 20.

13.6 Suy ngẫm

Suy ngẫm

Cả bốn bài báo năm 1905 đều ra đời từ một người làm việc bên ngoài môi trường học thuật chính thống. Điều này gợi ý gì về vai trò của “tư duy độc lập, không bị ràng buộc bởi khuôn khổ có sẵn” trong những đột phá khoa học lớn?

CHƯƠNG 14

Thuyết tương đối hẹp - không gian, thời gian và ánh sáng

Để hiểu vì sao thuyết tương đối hẹp lại mang tính cách mạng đến vậy, ta cần quay lại “đám mây thứ nhất” từ chương trước: kết quả kỳ lạ của thí nghiệm Michelson-Morley, cho thấy vận tốc ánh sáng luôn như nhau, bất kể phương đo hay chuyển động của người quan sát.

14.1 Hai tiên đề, một cuộc cách mạng

Thay vì cố “cứu vãn” khái niệm ether bằng những giả thuyết chấp vá, Einstein chọn một con đường táo bạo hơn nhiều: ông xây dựng toàn bộ lý thuyết mới chỉ từ hai tiên đề đơn giản đến bất ngờ.

Hai tiên đề của thuyết tương đối hẹp (1905)

Tiên đề 1 (Nguyên lý tương đối): Các định luật vật lý là như nhau đối với mọi người quan sát chuyển động thẳng đều (không có gia tốc) so với nhau.

Tiên đề 2 (Bất biến của vận tốc ánh sáng): Vận tốc ánh sáng trong chân không là như nhau đối với mọi người quan sát, bất kể vận tốc của nguồn sáng hay của chính người quan sát.

Tiên đề thứ hai mới thực sự là quả bom: nó ngụ ý rằng nếu bạn đang ngồi trên một con tàu vũ trụ di chuyển với vận tốc bằng 90% vận tốc ánh sáng và bật đèn pin về phía trước, ánh sáng từ đèn pin đó vẫn di chuyển đi với đúng vận tốc ánh sáng c – chứ không phải c cộng thêm vận tốc con tàu, như trực giác thông thường (và cả cơ học Newton) vẫn ngầm định.

14.2 Cái giá phải trả: không gian và thời gian không còn tuyệt đối

Để hai tiên đề này nhất quán với nhau về mặt logic, Einstein buộc phải từ bỏ một niềm tin đã ăn sâu suốt hơn hai trăm năm kể từ Newton: rằng không gian và thời gian là những “sân khấu” tuyệt đối, cố định, giống nhau đối với mọi người quan sát bất kể trạng thái chuyển động của họ.

Thay vào đó, thuyết tương đối hẹp dẫn đến những hệ quả khiến trực giác thông thường phải sửng sốt:

- **Sự giãn thời gian** (time dilation): đồng hồ chuyển động càng nhanh thì càng chạy chậm hơn so với đồng hồ đứng yên, khi quan sát từ hệ quy chiếu đứng yên.

- **Sự co độ dài** (length contraction): vật thể chuyển động càng nhanh thì càng bị “co lại” theo phương chuyển động, khi đo từ hệ quy chiếu đứng yên.
- **Tính tương đối của sự đồng thời**: hai sự kiện xảy ra đồng thời đối với người quan sát này có thể không đồng thời đối với người quan sát khác đang chuyển động.

Điều quan trọng cần nhấn mạnh: đây không phải là “ảo giác” quang học hay sai số đo lường – chúng là những hiệu ứng vật lý có thật, đã được kiểm chứng qua vô số thí nghiệm hiện đại (ví dụ đồng hồ nguyên tử đặt trên máy bay, hay các hạt muon tạo ra trong khí quyển “sống lâu hơn” dự kiến khi di chuyển gần vận tốc ánh sáng).

Ghi nhớ

Các hiệu ứng của thuyết tương đối hẹp chỉ trở nên đáng kể khi vận tốc tiệm cận vận tốc ánh sáng. Ở vận tốc thông thường trong đời sống hàng ngày (ô tô, máy bay), các hiệu ứng này tồn tại nhưng cực kỳ nhỏ đến mức không thể nhận ra – đây là lý do vì sao cơ học Newton vẫn hoàn toàn chính xác và hữu dụng cho hầu hết các ứng dụng thông thường, và không hề bị “sai” theo nghĩa thông thường, mà chỉ là một trường hợp **xấp xỉ** rất tốt của một lý thuyết tổng quát hơn.

14.3 Không-thời gian: một thực thể thống nhất

Vài năm sau, năm 1908, nhà toán học người Đức Hermann Minkowski (từng là một trong những giáo sư toán học của Einstein) đã đưa ra một cách diễn đạt hình học đẹp đẽ cho thuyết tương đối hẹp: không gian ba chiều và thời gian một chiều không còn nên được xem là hai thực thể tách biệt, mà hợp nhất thành một cấu trúc bốn chiều duy nhất gọi là **không-thời gian** (spacetime). Chính khung hình học này sau đó trở thành nền tảng toán học không thể thiếu để Einstein phát triển thuyết tương đối rộng.

Thú vị thay, ban đầu Einstein không mấy ấn tượng với cách diễn giải hình học của Minkowski, thậm chí còn xem đó là một sự phức tạp hóa không cần thiết (“từ khi các nhà toán học động vào thuyết tương đối, bản thân tôi cũng không còn hiểu nó nữa” – ông từng đùa như vậy). Nhưng chỉ vài năm sau, chính ngôn ngữ hình học không-thời gian ấy lại trở thành công cụ sống còn giúp ông chinh phục bài toán khó khăn hơn nhiều: đưa lực hấp dẫn vào trong khung thuyết tương đối.

14.4 Suy ngẫm

Suy ngẫm

Thuyết tương đối hẹp buộc chúng ta từ bỏ trực giác hàng ngày về không gian và thời gian tuyệt đối. Bạn nghĩ vì sao con người lại khó chấp nhận những sự thật vật lý mâu thuẫn với trực giác thông thường, ngay cả khi chúng được chứng minh chặt chẽ bằng toán học và thực nghiệm?

CHƯƠNG 15

Hành trình đến thuyết tương đối rộng

Thuyết tương đối hẹp năm 1905, dù mang tính cách mạng, vẫn còn một giới hạn quan trọng: nó chỉ áp dụng cho các hệ quy chiếu chuyển động thẳng đều (không có gia tốc), và hoàn toàn không đề cập đến lực hấp dẫn – chính lực mà Newton đã mô tả thành công suốt hơn hai trăm năm trước đó. Trong suốt gần một thập kỷ sau đó, Einstein dành phần lớn tâm sức để giải quyết bài toán này.

15.1 “Ý tưởng hạnh phúc nhất đời tôi”

Năm 1907, khi đang ngồi tại bàn làm việc ở văn phòng sáng chế, Einstein có một trực giác mà sau này ông gọi là “ý tưởng hạnh phúc nhất trong đời tôi” (*der glücklichste Gedanke meines Lebens*): ông hình dung một người đang rơi tự do sẽ không cảm nhận được trọng lượng của chính mình.

Từ hình ảnh tưởng chừng đơn giản này, Einstein phát triển thành **nguyên lý tương đương**: hiệu ứng của một trường hấp dẫn đều đặn hoàn toàn không thể phân biệt được với hiệu ứng của gia tốc. Nói cách khác, một người trong buồng thang máy đang gia tốc trong không gian không trọng lực sẽ cảm nhận y hệt như đang đứng yên trong một trường hấp dẫn. Đây chính là chìa khóa: nếu gia tốc và hấp dẫn về bản chất là một, thì để mở rộng thuyết tương đối cho cả các hệ quy chiếu có gia tốc, ông cũng đồng thời phải tìm ra một lý thuyết hấp dẫn mới.

15.2 Tám năm vật lộn với toán học

Con đường từ trực giác năm 1907 đến lý thuyết hoàn chỉnh mất tổng cộng khoảng tám năm – một hành trình đầy chông gai, khác hẳn với sự bùng nổ nhanh chóng của năm 1905. Einstein nhận ra rằng để mô tả lực hấp dẫn như sự uốn cong của không-thời gian, ông cần một loại toán học phức tạp hơn nhiều so với những gì ông từng thành thạo: hình học vi phân trên không gian cong (còn gọi là hình học Riemann, theo tên nhà toán học Bernhard Riemann).

Einstein từng viết thư cho một người bạn, thổ lộ rằng ông “chưa bao giờ trong đời phải vật lộn khó khăn đến vậy”, và có lúc gần như tuyệt vọng trước độ phức tạp toán học của bài toán. Ông phải nhờ đến sự giúp đỡ của người bạn toán học Marcel Grossmann để làm chủ được các công cụ hình học vi phân cần thiết.

15.3 Phương trình trường Einstein

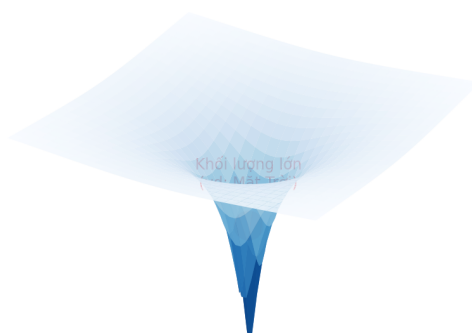
Cuối cùng, vào tháng 11 năm 1915, sau nhiều lần chỉnh sửa và thậm chí công bố những phiên bản còn thiếu sót trước đó, Einstein trình bày hoàn chỉnh **thuyết tương**

đối rộng trước Viện Hàn lâm Khoa học Phổ, với hệ phương trình trường mô tả mối quan hệ giữa hình học không-thời gian và sự phân bố vật chất, năng lượng trong đó.

Ghi nhớ

Ý tưởng cốt lõi của thuyết tương đối rộng thường được nhà vật lý học John Wheeler tóm tắt bằng một câu nổi tiếng: *“Vật chất cho không-thời gian biết phải cong như thế nào; không-thời gian cho vật chất biết phải chuyển động ra sao”*. Lực hấp dẫn, trong bức tranh này, không còn là một “lực” theo nghĩa Newton – tác động tức thời từ xa giữa hai khối lượng – mà là hệ quả hình học của việc khối lượng làm cong chính cấu trúc không-thời gian xung quanh nó.

Độ cong không-thời gian quanh khối lượng lớn
(minh họa theo Thuyết tương đối rộng, 1915)



Hình 15.1: Minh họa độ cong không-thời gian quanh khối lượng lớn

Một vật thể chuyển động trong không gian cong ấy, ví dụ Trái Đất quay quanh Mặt Trời, không hề bị một “lực hút” nào kéo lệch khỏi đường thẳng theo nghĩa Newton – nó chỉ đơn giản đi theo con đường ngắn nhất có thể (gọi là đường trắc địa) trong một không-thời gian đã bị bẻ cong bởi khối lượng khổng lồ của Mặt Trời.

15.4 Bài kiểm định đầu tiên: quỹ đạo Sao Thủy

Một trong những thành công đầu tiên và ngoạn mục nhất của thuyết tương đối rộng là giải thích một bí ẩn thiên văn đã tồn tại suốt hơn nửa thế kỷ: sự tiến động bất thường nhỏ trong quỹ đạo của Sao Thủy, hành tinh gần Mặt Trời nhất, mà cơ học Newton không thể giải thích trọn vẹn dù đã tính đến nhiều loạn từ mọi hành tinh khác. Phương trình của Einstein, khi áp dụng cho trường hợp Sao Thủy, khớp chính xác với độ lệch quan sát được – một chiến thắng thuyết phục ngay từ những ngày đầu, dù khi đó ít người bên ngoài giới vật lý lý thuyết chú ý đến.

Nhưng phép thử mang tính quyết định, phép thử sẽ đưa tên tuổi Einstein ra khắp thế giới, còn đang chờ ở phía trước – và nó đòi hỏi phải quan sát bầu trời vào đúng khoảnh khắc Mặt Trăng che khuất hoàn toàn Mặt Trời.

15.5 Suy ngẫm

Suy ngẫm

Einstein mất tám năm vật lộn với toán học phức tạp để hoàn thiện thuyết tương đối rộng, khác hẳn với sự bùng nổ nhanh chóng của năm 1905. Điều này cho thấy gì về vai trò của sự kiên trì bền bỉ, bên cạnh trực giác thiên tài, trong các khám phá khoa học lớn?

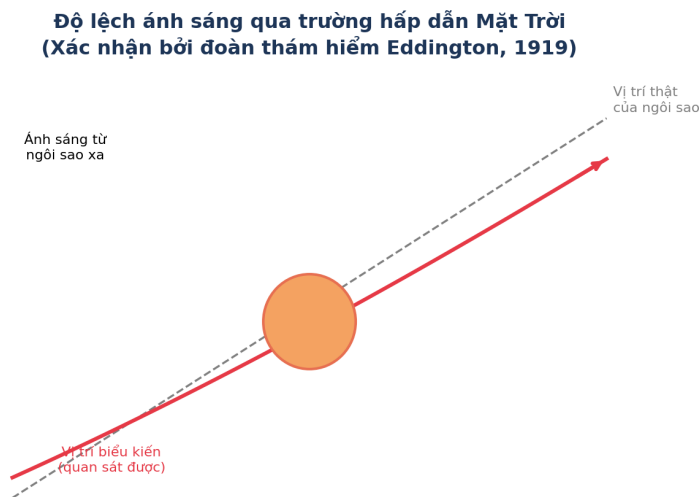
CHƯƠNG 16

Nhật thực 1919 và huyền thoại Einstein

Thuyết tương đối rộng dự đoán một hệ quả có thể kiểm chứng trực tiếp bằng quan sát: ánh sáng từ các ngôi sao xa xôi, khi đi qua gần Mặt Trời, sẽ bị bẻ cong bởi trường hấp dẫn khổng lồ của Mặt Trời – với độ lệch gấp đôi giá trị mà lý thuyết hấp dẫn Newton (nếu áp dụng cho ánh sáng) sẽ dự đoán.

16.1 Tại sao cần một kỳ nhật thực?

Trong điều kiện bình thường, không thể quan sát các ngôi sao ở gần Mặt Trời trên bầu trời vì ánh sáng chói lòa của Mặt Trời át hết mọi thứ. Nhưng trong một kỳ nhật thực toàn phần, khi Mặt Trăng che khuất hoàn toàn đĩa Mặt Trời, bầu trời tối sầm lại đủ để các ngôi sao ở gần vị trí biểu kiến của Mặt Trời trở nên có thể quan sát và chụp ảnh được – tạo cơ hội hiếm hoi để so sánh vị trí thực của chúng với vị trí quan sát được khi ánh sáng của chúng đi qua gần trường hấp dẫn Mặt Trời.



Hình 16.1: Độ lệch ánh sáng qua trường hấp dẫn Mặt Trời (nhật thực 1919)

16.2 Hai đoàn thám hiểm, một khoảnh khắc lịch sử

Nhà thiên văn học người Anh Arthur Eddington, cùng với Frank Dyson của Đài thiên văn Hoàng gia Greenwich, đã tổ chức hai đoàn thám hiểm khoa học để quan sát kỳ nhật thực toàn phần ngày 29 tháng 5 năm 1919 – một đoàn đến đảo Príncipe ngoài khơi Tây Phi, đoàn còn lại đến Sobral, Brazil.

Điều đáng chú ý về mặt lịch sử: nước Anh và nước Đức vừa trải qua Thế chiến thứ nhất chỉ vài tháng trước đó, với thiệt hại nhân mạng khổng lồ ở cả hai phía. Việc một nhà khoa học người Anh (Eddington, vốn cũng là một người theo chủ nghĩa hòa bình Quaker) tổ chức một cuộc thám hiểm tốn kém để kiểm chứng lý thuyết của một nhà khoa học người Đức (Einstein) mang một ý nghĩa biểu tượng sâu sắc về sự vượt lên trên hận thù dân tộc của tinh thần khoa học quốc tế.

Sau khi phân tích cẩn thận các tấm ảnh chụp được, kết quả đo đạc cho thấy độ lệch ánh sáng phù hợp với dự đoán của Einstein, chứ không phải dự đoán (nhỏ hơn một nửa) nếu áp dụng công thức Newton cho ánh sáng.

16.3 “Ánh sáng bị bẻ cong trên bầu trời”

Ngày 6 tháng 11 năm 1919, Dyson trình bày kết quả chính thức trước một cuộc họp chung của Hội Hoàng gia và Hội Thiên văn Hoàng gia Anh tại London. Tin tức lan truyền như một cơn bão trên khắp thế giới. Ngày hôm sau, tờ *The Times* của London đăng dòng tít gây chấn động: “Cách mạng trong Khoa học – Lý thuyết mới về Vũ trụ – Các ý tưởng của Newton bị lật đổ”.

Điều thú vị

Chỉ trong vài tuần sau sự kiện này, Albert Einstein – trước đó chỉ được biết đến trong giới vật lý lý thuyết chuyên sâu – bỗng chốc trở thành một hiện tượng văn hóa đại chúng toàn cầu, với khuôn mặt xuất hiện trên trang nhất báo chí khắp thế giới. Đây là một trong những ví dụ hiếm hoi trong lịch sử khoa học khi một lý thuyết vật lý lý thuyết trừu tượng lập tức biến tác giả của nó thành một ngôi sao đại chúng, gần như chỉ sau một đêm.

16.4 Một khoảnh khắc mang tính biểu tượng

Điều làm cho câu chuyện năm 1919 trở nên đặc biệt ý nghĩa không chỉ nằm ở kết quả khoa học, mà ở chính bản chất của quá trình kiểm chứng: đây là minh chứng sống động cho cách khoa học thực sự vận hành. Một lý thuyết, dù đẹp đẽ và thuyết phục về mặt toán học đến đâu, vẫn phải đứng vững trước phép thử của thực nghiệm. Newton đã thống trị vật lý trong hơn hai trăm năm mươi năm; nhưng khi bằng chứng thực nghiệm mới xuất hiện, ngay cả di sản vĩ đại ấy cũng phải được xem xét lại, mở rộng và đặt vào đúng vị trí của nó – như một trường hợp xấp xỉ chính xác tuyệt vời của một lý thuyết sâu sắc hơn, chứ không phải một chân lý tuyệt đối bất biến.

16.5 Suy ngẫm

Suy ngẫm

Việc một đoàn thám hiểm khoa học Anh kiểm chứng lý thuyết của một nhà khoa học Đức ngay sau Thế chiến thứ nhất mang ý nghĩa biểu tượng gì về bản chất quốc tế, vượt lên trên biên giới chính trị, của khoa học?

CHƯƠNG 17

Những năm sau - Nobel, nước Mỹ, bom nguyên tử

Sau năm 1919, Einstein không còn chỉ là một nhà vật lý lý thuyết – ông đã trở thành một biểu tượng khoa học toàn cầu, và những năm tháng còn lại của cuộc đời ông gắn liền với những biến động lớn của lịch sử thế kỷ 20.

17.1 Giải Nobel đến muộn

Năm 1921, Einstein được trao **Giải Nobel Vật lý** – nhưng không phải cho thuyết tương đối như nhiều người vẫn lầm tưởng, mà cho công trình giải thích hiệu ứng quang điện từ năm 1905. Ủy ban Nobel khi đó vẫn còn thận trọng và có phần hoài nghi trước thuyết tương đối, một lý thuyết bị xem là quá mang tính lý thuyết trừu tượng và còn gây tranh cãi vào thời điểm đó, nên đã chọn trao giải cho một đóng góp ít gây tranh cãi hơn nhưng vẫn mang tính nền tảng không kém.

17.2 Rời khỏi nước Đức

Khi Đảng Quốc xã lên nắm quyền tại Đức năm 1933, Einstein – với xuất thân Do Thái và quan điểm chính trị tự do, theo chủ nghĩa hòa bình – nhanh chóng trở thành mục tiêu công kích. Tài sản của ông bị tịch thu, sách của ông bị đốt công khai, và có những treo thưởng kích động ám sát nhắm vào ông. Đang trong một chuyến công tác ở nước ngoài khi Hitler lên nắm quyền, Einstein quyết định không bao giờ quay trở lại nước Đức nữa.

Ông định cư tại Hoa Kỳ, nhận vị trí tại Viện Nghiên cứu Cao cấp (Institute for Advanced Study) mới thành lập ở Princeton, New Jersey – nơi ông sống và làm việc cho đến cuối đời.

17.3 Bức thư gửi Tổng thống Roosevelt

Năm 1939, khi nhận thấy khả năng các nhà khoa học Đức Quốc xã có thể phát triển vũ khí hạt nhân dựa trên nguyên lý phân hạch mới được khám phá, Einstein – theo sự thúc giục của nhà vật lý học Leo Szilard – đã ký tên vào một bức thư gửi Tổng thống Franklin D. Roosevelt, cảnh báo về khả năng chế tạo “những quả bom cực kỳ mạnh mẽ thuộc một loại mới” và khuyến nghị chính phủ Mỹ đầu tư nghiên cứu hạt nhân. Bức thư này góp phần quan trọng vào việc khởi động Dự án Manhattan sau đó.

Ghi nhớ

Trái với hình dung phổ biến, Einstein **không** trực tiếp tham gia Dự án Manhattan hay quá trình chế tạo bom nguyên tử – trên thực tế, do quan điểm chính trị cấp tiến và hồ sơ theo dõi của FBI, ông bị từ chối cấp phép an ninh cần thiết để tham gia các nghiên cứu mật liên quan. Vai trò của ông chỉ giới hạn ở việc ký tên vào bức thư cảnh báo ban đầu.

Sau khi bom nguyên tử được sử dụng tại Hiroshima và Nagasaki năm 1945, Einstein bày tỏ sự day dứt sâu sắc về vai trò gián tiếp của mình. Trong những năm cuối đời, ông trở thành một trong những tiếng nói vận động mạnh mẽ nhất cho kiểm soát vũ khí hạt nhân và hòa bình thế giới, từng chia sẻ rằng nếu biết trước nước Đức sẽ không thành công trong việc chế tạo bom nguyên tử, ông đã không bao giờ ủng hộ việc gửi bức thư đó.

17.4 Cuộc tìm kiếm dang dở: lý thuyết trường thống nhất

Trong khoảng ba mươi năm cuối đời, Einstein dành phần lớn thời gian nghiên cứu theo đuổi một mục tiêu đầy tham vọng: một **lý thuyết trường thống nhất** (unified field theory) có thể kết hợp lực hấp dẫn (đã được ông mô tả thành công qua thuyết tương đối rộng) với lực điện từ (đã được Maxwell mô tả) thành một khung lý thuyết duy nhất.

Đáng tiếc, nỗ lực này không bao giờ thành công trọn vẹn. Trong khi đó, phần còn lại của giới vật lý đã chuyển hướng sang phát triển cơ học lượng tử và sau đó là lý thuyết trường lượng tử – những công cụ cuối cùng đã mô tả thành công không chỉ lực điện từ mà cả hai lực hạt nhân (mạnh và yếu), nhưng theo một hướng khác hẳn với cách tiếp cận thuần túy hình học mà Einstein theo đuổi. Đến ngày nay, việc thống nhất hấp dẫn với các lực lượng tử còn lại – bài toán “lực hấp dẫn lượng tử” – vẫn là một trong những thách thức lớn nhất chưa có lời giải của vật lý lý thuyết hiện đại.

17.5 Những ngày cuối cùng

Albert Einstein qua đời ngày 18 tháng 4 năm 1955 tại Princeton, thọ 76 tuổi, do vỡ phình động mạch chủ bụng. Cho đến những giờ cuối cùng, ông vẫn tiếp tục làm việc trên các phương trình của lý thuyết trường thống nhất dang dở – một minh chứng cho sự kiên trì không ngừng nghỉ theo đuổi câu hỏi lớn nhất của đời mình, ngay cả khi biết rằng có thể mình sẽ không bao giờ tìm ra lời giải.

17.6 Suy ngẫm

Suy ngẫm

Einstein dành ba mươi năm cuối đời theo đuổi một lý thuyết trường thống nhất mà ông không bao giờ hoàn thành, trong khi phần còn lại của vật lý học đã đi theo một hướng khác. Bạn nghĩ điều gì khiến các nhà khoa học vĩ đại đôi khi vẫn kiên trì với một hướng đi, ngay cả khi phần lớn đồng nghiệp của họ đã chuyển hướng?

PHẦN V - DI SẢN VÀ KẾT LUẬN

CHƯƠNG 18

Newton và Einstein - hai thế giới quan, một khát vọng

Sau khi đã đi qua hành trình từ Woolsthorpe đến Princeton, từ Principia đến phương trình trường Einstein, ta có thể dừng lại để nhìn nhận: điều gì thực sự giống nhau và khác nhau giữa hai bộ óc đã định hình vật lý học nhiều nhất trong lịch sử nhân loại?

18.1 Những điểm tương đồng đáng kinh ngạc

Dù cách nhau hơn hai trăm năm, cuộc đời và tư duy khoa học của Newton và Einstein có những điểm tương đồng nổi bật.

Cả hai đều có những “năm kỳ diệu” nổi tiếng: Newton với các năm đại dịch 1665–1666, Einstein với năm 1905. Cả hai đều đạt được những đột phá lớn nhất khi còn trẻ, làm việc tương đối biệt lập khỏi dòng chảy chính thống của giới học thuật đương thời – Newton tại một trang trại hẻo lánh ở Lincolnshire, Einstein tại một văn phòng sáng chế ở Bern. Cả hai đều có xu hướng tính cách độc lập, đôi khi xa cách với những người xung quanh, và đều dành nhiều thập kỷ cuối đời theo đuổi những mục tiêu đầy tham vọng nhưng cuối cùng không bao giờ thực hiện được trọn vẹn – Newton với giả kim thuật và thần học, Einstein với lý thuyết trường thống nhất.

Quan trọng hơn cả, cả hai đều chia sẻ một niềm tin sâu sắc: vũ trụ, dù phức tạp và bí ẩn đến đâu, vẫn tuân theo những quy luật toán học có thể khám phá được bằng trí tuệ con người. Đây chính là sợi chỉ đỏ xuyên suốt toàn bộ lịch sử vật lý mà cuốn sách này đã cố gắng kể lại.

18.2 Hai bức tranh khác biệt về thực tại

Nhưng ở tầng sâu hơn, thế giới quan của hai người khác biệt căn bản.

So sánh hai thế giới quan

Newton: Không gian và thời gian là tuyệt đối, là “sân khấu” cố định, bất biến, nơi các vật thể chuyển động và tương tác thông qua lực tác động tức thời từ xa (như hấp dẫn). Vũ trụ vận hành như một cỗ máy đồng hồ tất định.

Einstein: Không gian và thời gian tương đối, đan xen thành không-thời gian bốn chiều linh động, có thể bị uốn cong bởi vật chất và năng lượng. Lực hấp dẫn không phải là một lực theo nghĩa truyền thống, mà là hệ quả hình học của độ cong không-thời gian.

Điều đáng chú ý là: thuyết tương đối của Einstein không “phủ nhận” Newton theo nghĩa chứng minh ông sai hoàn toàn. Trong điều kiện vận tốc nhỏ hơn nhiều so với

vận tốc ánh sáng và trường hấp dẫn không quá mạnh (tức hầu hết mọi tình huống trong đời sống hàng ngày và ngay cả trong phần lớn ứng dụng kỹ thuật), các phương trình của Einstein tự động “thu gọn” trở lại thành các phương trình của Newton với độ chính xác cực cao. Cơ học Newton vẫn đúng và hữu dụng – chỉ là nó không còn là toàn bộ câu chuyện.

Ghi nhớ

Đây chính là cách khoa học thực sự tiến bộ: không phải bằng cách vứt bỏ hoàn toàn những lý thuyết cũ, mà bằng cách nhận ra chúng là những trường hợp **giới hạn** hoặc **xấp xỉ** của những lý thuyết tổng quát hơn, chính xác hơn, áp dụng được trong phạm vi rộng hơn. Newton vẫn đúng – ông chỉ không phải là chân lý cuối cùng, và có lẽ không một nhà khoa học nào, kể cả Einstein, từng nắm giữ vị trí đó.

18.3 Suy ngẫm

Suy ngẫm

Thuyết tương đối không “xóa bỏ” Newton mà mở rộng phạm vi áp dụng của vật lý ra ngoài những giới hạn mà Newton chưa từng biết đến. Bạn nghĩ cách nhìn nhận này về tiến bộ khoa học – như một quá trình mở rộng và tinh chỉnh liên tục, thay vì lật đổ hoàn toàn – có ý nghĩa gì đối với cách chúng ta nên nhìn nhận các lý thuyết khoa học đang được chấp nhận rộng rãi ngày nay?

CHƯƠNG 19

Di sản cho khoa học hiện đại - từ GPS đến hố đen

Tư duy của Newton và Einstein không chỉ là những chương thú vị trong lịch sử khoa học - chúng tiếp tục định hình công nghệ và hiểu biết của chúng ta về vũ trụ mỗi ngày, thường theo những cách âm thầm đến mức ta hiếm khi để ý.

19.1 Newton trong đời sống hàng ngày

Toàn bộ ngành kỹ thuật cơ khí, xây dựng, hàng không (ở vận tốc thông thường), và du hành vũ trụ trong hệ Mặt Trời vẫn dựa gần như hoàn toàn vào cơ học Newton. Khi các kỹ sư NASA tính toán quỹ đạo cho tàu vũ trụ, họ sử dụng chính xác các định luật chuyển động và định luật vạn vật hấp dẫn mà Newton công bố năm 1687 - những phương trình ấy vẫn đủ chính xác cho hầu hết các nhiệm vụ, bởi vận tốc tàu vũ trụ, dù rất lớn theo chuẩn con người, vẫn còn quá nhỏ so với vận tốc ánh sáng để các hiệu ứng tương đối tính trở nên đáng kể.

19.2 Einstein trong túi quần của bạn

Ngược lại, có một công nghệ mà hàng tỉ người sử dụng mỗi ngày lại phụ thuộc trực tiếp vào cả hai lý thuyết tương đối của Einstein: **hệ thống định vị toàn cầu (GPS)**.

Các vệ tinh GPS bay quanh Trái Đất ở tốc độ cao và ở độ cao lớn, nơi trường hấp dẫn yếu hơn so với mặt đất. Theo thuyết tương đối hẹp, đồng hồ trên vệ tinh (chuyển động nhanh) chạy chậm hơn so với đồng hồ trên mặt đất; nhưng theo thuyết tương đối rộng, đồng hồ ở nơi trường hấp dẫn yếu hơn (trên cao) lại chạy nhanh hơn. Hai hiệu ứng này tác động ngược chiều nhau nhưng không triệt tiêu hoàn toàn - kết quả ròng là đồng hồ vệ tinh chạy nhanh hơn đồng hồ mặt đất khoảng 38 micro giây mỗi ngày.

Điều thú vị

Con số 38 micro giây nghe có vẻ không đáng kể, nhưng nếu không được hiệu chỉnh theo đúng các phương trình của Einstein, sai số định vị GPS sẽ tích lũy tới khoảng 10 km mỗi ngày - đủ để biến hệ thống GPS thành vô dụng đối với hầu hết ứng dụng thực tế, từ điều hướng ô tô đến hạ cánh máy bay. Nói cách khác, mỗi khi bạn dùng bản đồ trên điện thoại, bạn đang trực tiếp hưởng lợi từ những phương trình mà Einstein viết ra cách đây hơn một trăm năm.

19.3 Từ hố đen đến sóng hấp dẫn

Thuyết tương đối rộng cũng dự đoán sự tồn tại của những hiện tượng vũ trụ kỳ lạ mà chính Einstein, ở một số thời điểm, còn hoài nghi về tính hiện thực của chúng: **hố đen** – những vùng không-thời gian bị bẻ cong đến mức ngay cả ánh sáng cũng không thể thoát ra – và **sóng hấp dẫn**, những gợn sóng lan truyền trong cấu trúc không-thời gian sinh ra từ các sự kiện vũ trụ dữ dội như hai hố đen va chạm nhau.

Trong nhiều thập kỷ, cả hai hiện tượng này chỉ tồn tại trên giấy tờ toán học. Nhưng vào năm 2015 – đúng một trăm năm sau khi thuyết tương đối rộng ra đời – các nhà khoa học tại đài quan trắc LIGO lần đầu tiên trực tiếp phát hiện được sóng hấp dẫn từ sự kiện hai hố đen sáp nhập, một xác nhận thực nghiệm ngoạn mục cho một dự đoán đã tồn tại tròn một thế kỷ. Năm 2019, bức ảnh chụp trực tiếp đầu tiên về “bóng” của một hố đen (tại trung tâm thiên hà M87) cũng được công bố, khép lại vòng tròn xác nhận cho một trong những hệ quả kỳ lạ nhất mà chính người đề ra lý thuyết từng nghi ngờ.

19.4 Một câu chuyện chưa kết thúc

Vật lý học, giống như bất kỳ ngành khoa học nào khác, không phải là một tòa nhà đã hoàn thiện, mà là một công trình đang tiếp tục được xây dựng. Ngày nay, các nhà vật lý vẫn đang tìm kiếm một lý thuyết có thể thống nhất thuyết tương đối rộng của Einstein (mô tả hấp dẫn ở quy mô lớn) với cơ học lượng tử (mô tả thế giới hạ nguyên tử) – chính là giấc mơ dang dở mà Einstein đã theo đuổi không thành công suốt ba mươi năm cuối đời, dưới một hình thức khác.

Có lẽ, một thế kỷ nữa kể từ bây giờ, người ta sẽ viết một cuốn sách khác, kể về một nhà khoa học nào đó – có thể đang làm việc trong một hoàn cảnh khiêm tốn không ai ngờ tới, giống như Newton ở Woolsthorpe hay Einstein ở Bern – người đã tìm ra lời giải cho câu đố ấy, và một lần nữa viết lại cách nhân loại hiểu về vũ trụ.

19.5 Suy ngẫm

Suy ngẫm

GPS là một minh chứng cụ thể, thiết thực cho thấy lý thuyết tương đối tương chừng trù tượng của Einstein lại có ứng dụng công nghệ hàng ngày. Bạn có thể nghĩ ra những ví dụ khác trong lịch sử khoa học, nơi một lý thuyết ban đầu bị xem là “thuần túy lý thuyết” cuối cùng lại tạo ra ứng dụng thực tiễn to lớn không lường trước được?

CHƯƠNG 20

Lời kết

Chúng ta đã đi qua một hành trình dài: từ vũ trụ hoàn hảo, bất biến của Aristotle, qua những quan sát táo bạo của Galileo, đến tòa lâu đài toán học vững chắc mà Newton xây dựng nên tại Woolsthorpe và Cambridge – một tòa lâu đài đứng vững suốt hơn hai trăm năm mươi năm. Rồi ta chứng kiến những vết nứt đầu tiên xuất hiện từ chính những thành công rực rỡ nhất của vật lý cổ điển: lý thuyết điện từ của Maxwell, và hai “đám mây nhỏ” mà Lord Kelvin nhắc đến vào năm 1900. Cuối cùng, ta theo chân một nhân viên văn phòng bằng sáng chế vô danh ở Bern, người trong một năm kỳ diệu duy nhất đã viết lại toàn bộ hiểu biết của nhân loại về không gian, thời gian và vật chất.

20.1 Bài học lớn nhất

Nếu phải rút ra một bài học duy nhất từ toàn bộ câu chuyện này, có lẽ đó là: **khoa học không phải là một tập hợp chân lý bất biến, mà là một quá trình không ngừng tự sửa chữa và mở rộng chính mình.**

Newton không hề “sai” theo nghĩa thông thường – các định luật của ông vẫn mô tả chính xác đến kinh ngạc chuyển động của hầu hết mọi vật thể mà con người từng chế tạo hay quan sát trong đời sống hàng ngày. Nhưng ông cũng không phải tiếng nói cuối cùng. Einstein đã mở rộng, chứ không phá hủy, di sản của Newton – và rất có thể, một ngày nào đó, chính các lý thuyết của Einstein cũng sẽ được đặt vào đúng vị trí của chúng: những xấp xỉ tuyệt vời, chính xác đến kinh ngạc, nhưng không phải là điểm kết thúc cuối cùng của hành trình tìm hiểu vũ trụ.

20.2 Tinh thần chung của những bộ óc vĩ đại

Xuyên suốt câu chuyện về Copernicus, Kepler, Galileo, Newton, Faraday, Maxwell, và Einstein, có một sợi chỉ đỏ chung: tất cả họ đều sẵn sàng đặt câu hỏi cho những điều mà thời đại của họ coi là hiển nhiên. Copernicus dám nghi ngờ vị trí trung tâm của Trái Đất. Galileo dám tin vào bằng chứng thực nghiệm hơn là quyền uy triết học. Newton dám hỏi liệu quy luật chi phối táo rơi có giống quy luật chi phối Mặt Trăng hay không. Và Einstein dám từ bỏ khái niệm không gian, thời gian tuyệt đối mà gần như mọi con người từng sống trước ông đều coi là hiển nhiên đến mức không cần bàn cãi.

Ghi nhớ

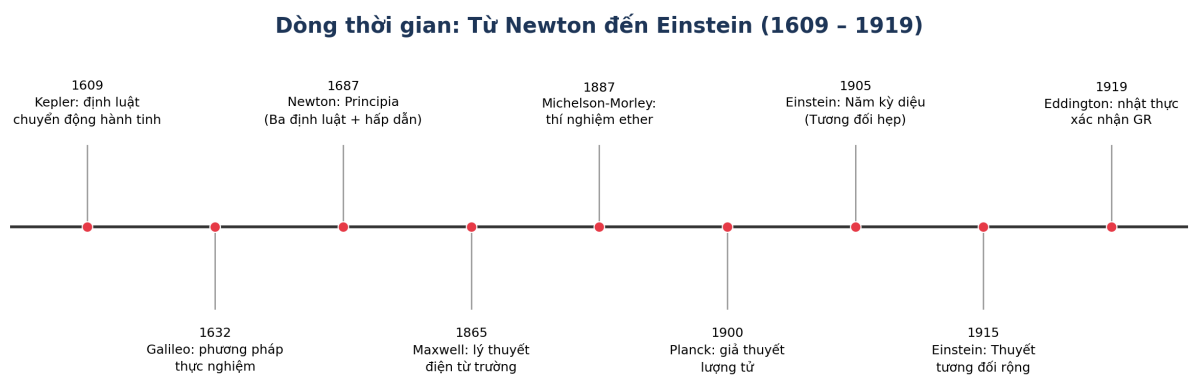
Có lẽ đó chính là phẩm chất quan trọng nhất mà lịch sử tư duy vật lý để lại cho chúng ta hôm nay: không phải bất kỳ công thức cụ thể nào, mà là sự can đảm trí tuệ để đặt câu hỏi cho những điều tưởng như hiển nhiên nhất – và sự khiêm tốn để chấp nhận rằng câu trả lời hôm nay, dù đẹp đẽ và hữu ích đến

đâu, vẫn có thể chỉ là một bước đệm cho một sự thật sâu sắc hơn còn đang chờ được khám phá.

Cuộc hành trình từ Newton đến Einstein không kết thúc ở Princeton năm 1955. Nó vẫn đang tiếp diễn, trong những phòng thí nghiệm, trên những tấm bảng đầy phương trình, và có lẽ, trong chính tâm trí của một người trẻ tuổi nào đó hôm nay, đang tự hỏi tại sao mọi thứ lại vận hành theo cách mà chúng vẫn đang vận hành.

PHỤ LỤC A

Dòng thời gian tổng hợp



Hình A.1: Dòng thời gian: Từ Newton đến Einstein

Năm	Sự kiện
1543	Copernicus xuất bản <i>De revolutionibus</i> , đề xuất mô hình nhật tâm
1609	Kepler công bố hai định luật đầu tiên về chuyển động hành tinh
1610	Galileo công bố <i>Sidereus Nuncius</i> , quan sát bầu trời bằng kính viễn vọng
1632	Galileo xuất bản <i>Dialogo e due nuove machine</i>
1633	Galileo bị Tòa án Dị giáo xét xử
1642	Galileo qua đời; Newton chào đời tại Woolsthorpe (cuối năm)
1665-1666	"Những năm kỳ diệu" của Newton tại Woolsthorpe (đại dịch hạch)
1687	Newton công bố <i>Principia Mathematica</i>
1704	Newton công bố <i>Opticks</i>
1727	Newton qua đời tại London
1788	Lagrange công bố <i>Mécanique analytique</i>
1824	Carnot đặt nền móng cho nhiệt động lực học
1831	Faraday khám phá hiện tượng cảm ứng điện từ
1865	Maxwell công bố lý thuyết điện từ trường thống nhất

Năm	Sự kiện
1879	Albert Einstein chào đời tại Ulm, Đức
1887	Thí nghiệm Michelson-Morley không phát hiện được ether
1900	Planck đề xuất giả thuyết lượng tử năng lượng
1905	“Năm kỳ diệu” của Einstein: bốn bài báo, gồm thuyết tương đối hẹp
1915	Einstein hoàn thiện thuyết tương đối rộng
1919	Đoàn thám hiểm Eddington xác nhận độ lệch ánh sáng qua nhật thực
1921	Einstein nhận Giải Nobel Vật lý (cho hiệu ứng quang điện)
1933	Einstein rời nước Đức, định cư tại Hoa Kỳ
1939	Einstein ký thư gửi Tổng thống Roosevelt về nguy cơ vũ khí hạt nhân
1955	Einstein qua đời tại Princeton
2015	LIGO phát hiện trực tiếp sóng hấp dẫn, xác nhận dự đoán 100 năm trước
2019	Công bố bức ảnh đầu tiên chụp trực tiếp một hố đen

PHỤ LỤC B

Danh sách nhân vật chính

Nicolaus Copernicus (1473-1543) - Nhà thiên văn học người Ba Lan, đề xuất mô hình nhật tâm.

Johannes Kepler (1571-1630) - Nhà thiên văn học người Đức, phát hiện ba định luật chuyển động hành tinh.

Galileo Galilei (1564-1642) - Nhà khoa học người Ý, khai sinh phương pháp thực nghiệm hiện đại.

Isaac Newton (1642-1727) - Nhà vật lý, toán học người Anh, tác giả *Principia Mathematica*, đặt nền móng cơ học cổ điển.

Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) - Nhà toán học, triết học người Đức, đồng phát triển phép tính vi tích phân.

Joseph-Louis Lagrange (1736-1813) - Nhà toán học, phát triển cơ học giải tích.

William Rowan Hamilton (1805-1865) - Nhà toán học người Ireland, phát triển hình thức luận Hamilton.

Sadi Carnot (1796-1832) - Kỹ sư người Pháp, đặt nền móng nhiệt động lực học.

Michael Faraday (1791-1867) - Nhà vật lý, hóa học người Anh, khám phá cảm ứng điện từ.

James Clerk Maxwell (1831-1879) - Nhà vật lý người Scotland, thống nhất điện, từ và quang học.

Albert Michelson (1852-1931) và Edward Morley (1838-1923) - Hai nhà vật lý người Mỹ, thực hiện thí nghiệm nổi tiếng về ether năm 1887.

Max Planck (1858-1947) - Nhà vật lý người Đức, đề xuất giả thuyết lượng tử năng lượng, khai sinh cơ học lượng tử.

Albert Einstein (1879-1955) - Nhà vật lý người Đức gốc Do Thái, tác giả thuyết tương đối hẹp và rộng.

Hermann Minkowski (1864-1909) - Nhà toán học người Đức, phát triển khung hình học không-thời gian bốn chiều.

Arthur Eddington (1882-1944) - Nhà thiên văn học người Anh, dẫn đầu đoàn thám hiểm xác nhận thuyết tương đối rộng năm 1919.

PHỤ LỤC C

Nguồn tham khảo chính

Các sự kiện, ngày tháng và trích dẫn trong sách được đối chiếu với các nguồn sau:

- Britannica, “Principia | Meaning, Newton, & Facts” – [britannica.com/topic/Principia](https://www.britannica.com/topic/Principia)
- MacTutor History of Mathematics, “Isaac Newton (1643–1727)” – mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Newton
- Isaac Newton Institute, “Isaac Newton’s Life” – newton.ac.uk/about/isaac-newton/isaac-newtons-life
- Library of Congress Research Guides, “The 1905 Papers – Annus Mirabilis of Albert Einstein” – guides.loc.gov/einstein-annus-mirabilis
- Britannica, “Albert Einstein | Biography, Relativity, Education, Discoveries, & Facts” – [britannica.com/biography/Albert-Einstein](https://www.britannica.com/biography/Albert-Einstein)
- Royal Society Publishing, “The 1919 eclipse results that verified general relativity and their later detractors” – royalsocietypublishing.org/rsnr
- History of Information, “Dyson & Eddington Provide the First Experimental Proof of General Relativity” – historyofinformation.com
- History of Maxwell’s equations – Wikipedia và IEEE Spectrum, “The Long Road to Maxwell’s Equations”
- American Physical Society, “November 1887: Michelson and Morley report their failure to detect the luminiferous ether” – aps.org/apsnews
- EBSCO Research Starters, “Michelson-Morley Experiment”

Ghi chú: đây là một tác phẩm phổ biến khoa học lịch sử, tổng hợp và diễn giải lại các sự kiện đã được ghi chép rộng rãi trong các nguồn sử liệu khoa học đáng tin cậy. Một số giai thoại phổ biến (như câu chuyện quả táo của Newton) được trình bày kèm theo lưu ý về mức độ xác thực lịch sử của chúng.