

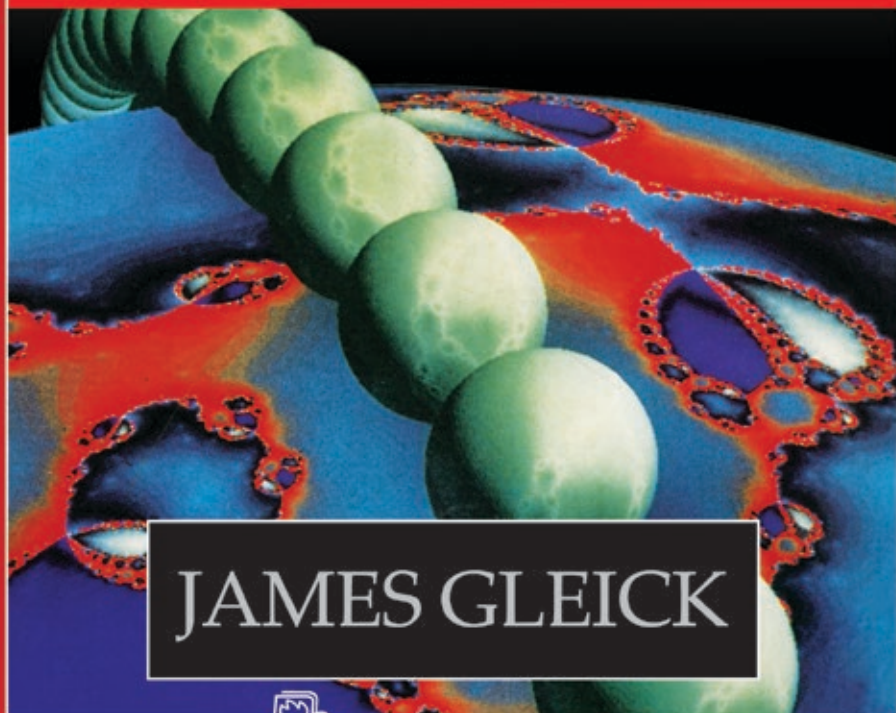
KHOA HỌC



KHÁM PHÁ

Từ HIỆU ỨNG
CON BƯỚM
đến
LÝ THUYẾT HỖN Độn

CHAOS - making a new science



JAMES GLEICK



NHÀ XUẤT BẢN TRẺ

Từ HIỆU ỨNG
CON BƯỚM
đến
LÝ THUYẾT HỒN ĐỘN



Chủ biên: VŨ CÔNG LẬP
PHẠM VĂN THIỀU
NGUYỄN VĂN LIỄN

CHAOS: MAKING A NEW SCIENCE

Copyright © James Gleick, 1987

All right reserved

Bản tiếng Việt © NXB Trẻ, 2011

BIỂU GHI BIÊN MỤC TRƯỚC XUẤT BẢN ĐƯỢC THỰC HIỆN BỞI THƯ VIỆN KHTH TP.HCM

Gleick, James

Từ hiệu ứng con bướm đến lý thuyết hỗn độn / James Gleick ; ng.d. Phạm Văn Thiều, Ngô Vũ. - T.P. Hồ Chí Minh : Trẻ, 2011.

478tr. ; 20cm. - (Kiến thức bách khoa) (Khoa học và khám phá).

Nguyên bản : Chaos : making a new science.

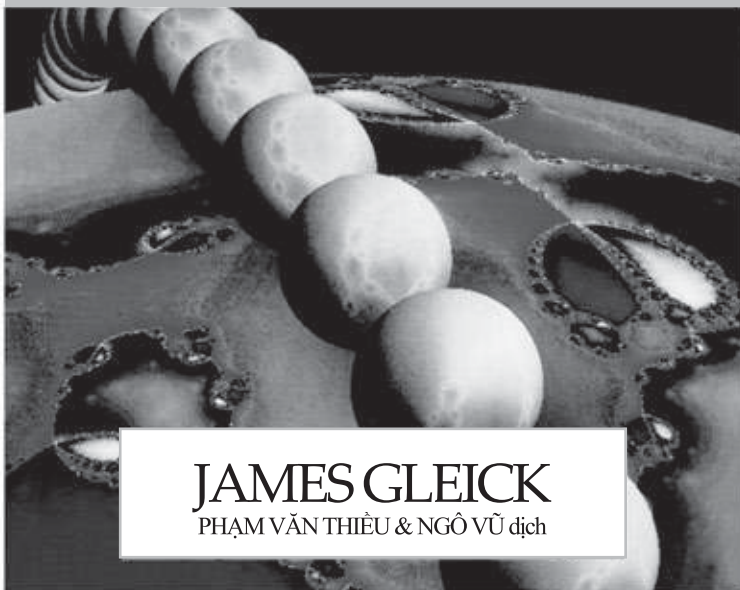
1. Tính hỗn độn của hệ thống. I. Phạm Văn Thiều d. II. Ngô Vũ d. III. Ts: Chaos : making a new science.

003.857 — dc 22

G556

Từ HIỆU ỨNG
CON BƯỚM
đến
LÝ THUYẾT HỖN ĐỘN

CHAOS - making a new science



JAMES GLEICK

PHẠM VĂN THIỀU & NGÔ VŨ dịch

NHÀ XUẤT BẢN TRẺ

Tặng Cynthia

Loài người là âm nhạc,
còn tự nhiên là tiếng ồn

— JOHN UPDIKE

MỤC LỤC

MỞ ĐẦU	11
HIỆU ỨNG CON BướM	25
Lorenz và thời tiết trò chơi của ông. Máy tính đỡ chứng. Dự báo dài hạn là thất bại. Ngẫu nhiên - cái mặt nạ che đầy trật tự. Một thế giới của những phi tuyến.	
CÁCH MẠNG	59
Một cuộc cách mạng đang hướng tới. Đồng hồ con lắc và các đu quay. Sự sáng chế ra sắt móng ngựa. Một câu đố đã được giải quyết: Vết đỏ lớn của Mộng tinh.	
NHỮNG THẮNG TRẦM CỦA SỰ SỐNG	95
Mô hình hóa các quần thể động vật hoang dã. Khoa học phi tuyến, “nghiên cứu các động vật không phải là voi”. Sự phân nhánh. Một cuốn phim về hỗn độn và sự cầu khẩn Chúa trời.	
MỘT HÌNH HỌC CỦA TỰ NHIÊN	131
Một phát hiện về giá bông. Một người chạy trốn nhóm Bourbaki. Những lỗi truyền tin và các bờ biển zic-zắc. Những chiều kích mới. Những con quỷ của hình học fractal. Động đất. Từ những đám mây đến các mạch máu. “Nhìn thấy cả thế giới trong một hạt cát”.	

CÁC NHÂN HÚT LẠ

189

Một bài toán dành cho Chúa. Các hình trụ quay và điểm ngoặt. Ý tưởng của David Ruelle về chảy rối. Các vòng kín trong không gian pha.

TÍNH PHỔ QUÁT

241

Một khởi phát mới ở Los Alamos. Nhóm tái chuẩn hóa. Sự ra đời của thực nghiệm số. Đột phá của Mitchell Feigenbaum. Một lý thuyết phổ quát. Những bức thư từ chối. Cuộc gặp gỡ ở Como. Những đám mây và các bức tranh.

NHÀ THỰC NGHIỆM

291

Hêli trong một hộp nhỏ. Dòng chảy và dạng trong tự nhiên. Chiến công tinh tế của Libchaber. Thực nghiệm kết hợp với lý thuyết. Từ một chiều đến nhiều chiều.

CÁC HÌNH ẢNH CỦA HỖN ĐỘNG

325

Mặt phẳng phức. Điều ngạc nhiên trong phương pháp Newton. Tập hợp Mandelbrot. Sự gặp gỡ của nghệ thuật và thương mại với khoa học. Vùng biên là các lưu vực fractal. Trò chơi hỗn động.

TẬP THỂ NGHIÊN CỨU CÁC HỆ ĐỘNG LỰC

365

Santa Cruz và những năm 60. Máy tính tương tự. Liệu đó có phải là khoa học không? Đo tính không thể tiên đoán. Lý thuyết thông tin. Từ thang vi mô đến thang vĩ mô. Vòi nước rỏ giọt. Kết thúc một kỷ nguyên.

CÁC NHỊP NỘI TẠI

413

Sự hiểu nhầm về các mô hình. Cơ thể phức tạp. Trái tim động lực học. Đặt lại đồng hồ sinh học. Sự loạn nhịp chết người. Bào thai gà và những nhịp đập khác thường. Hỗn độn với tư cách là sức khỏe.

HỖN ĐỘN VÀ SAU ĐÓ

453

Những niềm tin mới, những định nghĩa mới. Nguyên lý II nhiệt động học, câu đố về bông tuyết và con súc sắc gian lận. Cơ hội và tính tất yếu.

MỞ ĐẦU

NEW MEXICO, NĂM 1974. Cảnh sát của ngôi làng nhỏ Los Alamos thỉnh thoảng lại để ý đến một người đàn ông hay lang thang trong đêm tối, hết đêm này sang đêm khác, đốm thuốc lá đỏ lập lòe nổi trôi trên các con phố nhỏ hắt hiu. Anh ta đi bộ suốt nhiều giờ, vô định, trong ánh sáng của các ngôi sao xuyên qua bầu không khí nhẹ bồng của các dãy núi hình mâm xôi. Cảnh sát không phải là những người duy nhất bị kích thích trí tò mò. Ở Phòng Thí nghiệm Quốc gia, một số nhà vật lý đã biết rằng ngày làm việc của người đồng nghiệp mới của họ kéo dài tới 26 tiếng đồng hồ - nhưng thời gian thức của anh ta bao giờ cũng lệch pha, rất hiếm khi trùng với những lúc thức của họ. Điều đó xem ra thật kỳ cục, ngay cả với Phân Viện Lý thuyết.

30 năm sau kể từ khi Robert Oppenheimer lựa chọn khu vực hẻo lánh của bang New Mexico này để chế tạo bom nguyên tử, Phòng Thí nghiệm Quốc gia Los Alamos đã không ngừng được mở rộng trên một cao nguyên hoang vắng, tiếp nhận các máy gia tốc hạt, các laser khí, các thiết bị hóa học, hàng ngàn nhà nghiên cứu, nhân viên hành chính và các kỹ thuật viên, cùng với một trong số những trung tâm siêu máy tính

lớn nhất thế giới. Một số những người kỳ cựu ở đây vẫn còn nhớ các lán trại bằng gỗ được dựng vội trên các vỉa đá, vào năm 1940, nhưng đối với đa số các nhân viên làm việc ở Los Alamos bây giờ, những người trẻ tuổi mặc quần nhung phong cách sinh viên, áo sơ mi công nhân, thì những người đầu tiên chế tạo bom nguyên tử chỉ còn là những bóng ma. Nơi khởi thảo những ý tưởng tinh túy nhất là Phân viện Lý thuyết, gọi là Phân viện T, cũng như người ta gọi Trung tâm Tính toán là Phân viện C và Phân viện X là đơn vị khí tài. Phân viện T gồm hơn một trăm nhà vật lý và toán học, được trả lương cao và không phải chịu những ràng buộc về giảng dạy và công bố những công trình nghiên cứu như trong môi trường đại học. Họ là những nhà khoa học tài năng và lập dị. Khó có thể làm cho họ ngạc nhiên về một điều gì.

Nhưng Mitchell Feigenbaum là một trường hợp đặc biệt. Anh chỉ công bố trên danh nghĩa cá nhân một bài báo duy nhất và chỉ nghiên cứu những đề tài mà bề ngoài xem ra chẳng có tương lai gì. Mớ tóc rậm trước trán hất ngược ra phía sau để lộ vầng trán rộng giống như phong cách của các nhạc sỹ lãng mạn Đức. Cái nhìn của Feigenbaum sắc sảo và mê đắm. Feigenbaum thường nói rất nhanh và hay lược bớt các mạo từ và đại từ, giống như những người dân gốc Trung Âu, mặc dù anh sinh ra ở Brooklyn. Khi làm việc, Feigenbaum như bị ma ám. Khi không thể làm việc, Feigenbaum đi bộ và suy nghĩ, bất kể đêm hay ngày, nhưng thường là ban đêm. Một ngày 24 tiếng dường như không làm cho Feigenbaum cảm thấy quá cực nhọc. Tuy nhiên, Feigenbaum từ bỏ “chu kỳ” cá nhân của mình khi thấy rằng không thể dậy được lúc hoàng hôn, và điều này xảy ra nhiều lần mỗi tháng.

Ở tuổi hai mươi chín, Feigenbaum đã trở thành một nhà bác học đích thực, một cố vấn lý tưởng mà người ta rất muốn tham vấn về các vấn đề đặc biệt gai góc. Một buổi tối, trên đường đi làm, Feigenbaum gặp Harold Agnew, giám đốc Phòng Thí nghiệm, vừa từ phòng làm việc bước ra. Agnew là một nhân vật đầy quyền lực, một trong những học trò đầu tiên của Oppenheimer. Trên một chiếc máy bay kỹ thuật đi kèm theo chiếc máy bay ném bom Enola Gay, ông ta đã bay trên bầu trời Hiroshima và quay cảnh thả quả bom nguyên tử đầu tiên của Phòng Thí nghiệm xuống thành phố này.

“Người ta nói rằng cậu rất thông minh, ông nói với Feigenbaum. Nếu thực sự như vậy thì sao cậu không giải quyết vấn đề tổng hợp hạt nhân bằng laser đi?”

Ngay cả những người bạn của Feigenbaum cũng băn khoăn tự hỏi không biết rồi Feigenbaum có thực hiện nổi một công trình nào của riêng mình hay không. Mặc dù sẵn sàng trả lời các câu hỏi của bạn bè, nhưng Feigenbaum lại tỏ ra không muốn dành các nghiên cứu của mình cho những vấn đề sinh lợi. Feigenbaum suy nghĩ về sự chảy rối của các chất lỏng và khí. Feigenbaum suy nghĩ về thời gian - liệu nó có trôi liên tục hay trôi bằng các cú nhảy rời rạc, như một chuỗi các hình ảnh của một bộ phim về vũ trụ? Feigenbaum suy nghĩ về khả năng phân biệt các màu sắc và hình dạng của một vũ trụ mà các nhà vật lý gọi là một kính vạn hoa lượng tử liên tục thay đổi. Feigenbaum suy nghĩ về các đám mây, quan sát chúng từ cửa sổ máy bay (kể từ năm 1975 người ta đã cắt các đặc quyền du lịch khoa học của anh vì quá lạm dụng) hoặc từ các con đường mòn chạy vòng vào bên trên Phòng Thí nghiệm.

Trong các phổ núi của miền Tây, mây hoàn toàn không có gì giống với các đám sương mù thấp lè tè, đều đều đơn điệu và ẩm ướt choán đầy không khí của miền Đông. Ở Los Alamos, bên trên các dãy núi lửa, các đám mây lan tỏa trong bầu trời, ngẫu nhiên, chắt chắt rồi, nhưng cũng theo một cách rất trật tự, định hình thành các mô típ thon mảnh hoặc cuộn thành các nếp gấp đều đặn như các nếp cuộn của não. Một buổi chiều giông gió, khi những tia chớp rạch ngang bầu trời chiếu sáng và làm rung động khí quyển, người ta nhìn thấy những đám mây ở cách tới năm mươi cây số, lọc và phản chiếu ánh sáng, và toàn bộ bầu trời dường như sắp đặt một lời trách khéo các nhà vật lý: các đám mây là một trong những khía cạnh của tự nhiên đã bị các trào lưu lớn của vật lý học lãng quên - các hình dạng mờ nhòe và đầy chi tiết, có cấu trúc và không thể tiên đoán được. Feigenbaum đã suy tư về các vật thể này, trong yên lặng và bỏ qua vấn đề sinh lợi.

Đối với một nhà vật lý, phát minh ra sự tổng hợp các hạt nhân bằng laser, khám phá ra bí mật về spin, màu và vị của các hạt cơ bản, xác định nguồn gốc của vũ trụ mới là các vấn đề đáng để quan tâm. Còn tìm hiểu về các đám mây là vấn đề của các nhà khí tượng học. Giống như các nhà vật lý khác, Feigenbaum có thứ tiếng lóng riêng để xếp loại các vấn đề này: chẳng hạn *hiển nhiên* là để nói rằng bất kỳ một nhà vật lý thực sự nào cũng có thể hiểu được một kết quả như vậy sau khi đã khảo sát và tính toán một cách thích hợp. Còn *không hiển nhiên* là để chỉ một công trình buộc người ta phải kính nể và xứng đáng đoạt giải Nobel. Đối với các vấn đề khó khăn nhất, các vấn đề mà người ta không thể thực hiện thành công nếu không nghiên cứu lâu dài và tỉ mỉ tận gan ruột của vũ trụ,

các nhà vật lý học dành cho các từ như *sâu sắc*. Năm 1974, khi mà rất ít đồng nghiệp biết thì Feigenbaum đã nghiên cứu một vấn đề *sâu sắc*: đó là hỗn độn.

NOI HỖN ĐỘN BẮT ĐẦU chính là nơi mà khoa học cổ điển dừng bước. Từ khi có các nhà vật lý nghiên cứu các định luật của tự nhiên, thế giới hoàn toàn chưa biết gì về sự hỗn độn của khí quyển, của biển động, về các biến động của các quần thể động vật, các dao động của tim và não. Khía cạnh rời rạc và hỗn độn, dường như không có quy luật này của tự nhiên, tất cả vẫn còn là một bí hiểm, thậm chí còn bị coi là quái dị.

Nhưng trong những năm bảy mươi, một vài nhà khoa học ở Mỹ và châu Âu đã bắt đầu khám phá hiện tượng hỗn độn. Đó là các nhà toán học, vật lý học, sinh học, và hóa học, tất cả đều đổ xô đi tìm mối quan hệ giữa các loại hành trạng bất thường đó. Các nhà sinh lý học đã phát hiện ra sự tồn tại của một trật tự bất ngờ bên trong sự hỗn độn xảy ra trong tim người và là nguyên nhân hàng đầu dẫn đến sự đột tử không thể giải thích nổi. Các nhà sinh thái học đã nghiên cứu sự trôi sụt về số lượng trong quần thể ngài tằm. Các nhà kinh tế học nghiên cứu lại những diễn tiến của thị trường chứng khoán trong quá khứ và cố gắng đưa ra một cách phân tích mới. Các viễn cảnh hé mở này đã lôi kéo các nhà khoa học đi sâu vào lòng tự nhiên, đến với những hình thái của các đám mây, quỹ đạo của các tia chớp, các mạng lưới chằng chịt nhỏ li ti của các mạch máu, tới mật độ các sao trong các thiên hà.

Khi Mitchell Feigenbaum bắt đầu suy nghĩ về hỗn độn ở Los Alamos, ông thuộc một nhóm các nhà khoa học sống rải rác

trên hành tinh và hầu hết đều không biết nhau. Một nhà toán học ở Berkeley, California, đã lập ra một nhóm nhằm xây dựng một cách tiếp cận mới các “hệ động lực”. Ở Princeton, một nhà sinh học chuyên nghiên cứu về các quần thể sinh vật chuẩn bị đưa ra lời kêu gọi mạnh mẽ để khích lệ tất cả các nhà khoa học quan sát hành trạng vô cùng phức tạp ẩn giấu trong các mô hình đơn giản. Một nhà hình học làm việc tại hãng IBM tìm một từ mới để mô tả một họ các hình - dạng đẳng ten, chẳng chịt, đứt gãy, vặn vẹo, phân mảnh - mà ông coi là nguyên lý tổ chức của tự nhiên. Một nhà vật lý-toán người Pháp đã khơi ra một cuộc tranh luận khi khẳng định rằng sự chảy rối của các chất lưu có thể có mối quan hệ với một đối tượng trừu tượng bí hiểm, vô cùng rối rắm phức tạp, mà ông gọi là “nhân hút lạ”.

Mười năm sau, từ “hỗn độn” đã trở thành một thuật ngữ vẫn tắt dùng để chỉ một trào lưu phát triển nhanh chóng làm định hình lại cấu trúc của chính thiết chế khoa học. Người ta không thể đếm xuể các tạp chí và các hội thảo về hỗn độn. Các nhà lãnh đạo chính phủ (Mỹ - ND) phụ trách mủng nghiên cứu phục vụ cho quân sự, cho CIA và cho Bộ Năng lượng đã dành những khoản ngân sách ngày càng lớn cho hỗn độn, và thành lập nhiều cơ quan chuyên trách quản lý ngân sách này. Tại các trường đại học và các trung tâm nghiên cứu công nghiệp lớn, người ta thấy nhiều nhà khoa học quan tâm tới hỗn độn còn hơn cả chuyên ngành của họ. Tại Los Alamos, một Trung tâm nghiên cứu phi tuyến đã được thành lập để phối hợp các nghiên cứu về hỗn độn và những vấn đề có liên quan; nhiều cơ quan tương tự cũng đã được thành lập trong nhiều trường đại học khác nhau trên khắp nước Mỹ.

Để nghiên cứu hỗn độn, người ta đã tạo ra nhiều kỹ thuật đặc biệt trong sử dụng máy tính và các loại hình ảnh đồ họa độc đáo, nhằm nắm bắt những cấu trúc cực kỳ tinh tế ẩn dưới sự phức tạp. Khoa học mới này đã tạo ra ngôn ngữ riêng của nó, một hệ thống thuật ngữ duyên dáng gồm các từ như *các hình fractal* và *các phân nhánh*, *gián đoạn* và *tuần hoàn*, *các đồng phôi của cái khăn mặt gấp* và *các ánh xạ của chiếc bánh rán dẹt*. Đó chính là các thành phần mới của sự vận động, cũng giống như trong vật lý truyền thống, các hạt quark và các gluon là các bộ phận cấu thành mới của vật chất. Đối với một số nhà vật lý, hỗn độn là một khoa học về các quá trình chứ không phải là về các trạng thái, một khoa học đang trở thành chứ không phải là một khoa học đã định hình.

Bây giờ khoa học nhìn đâu cũng thấy hỗn độn: trong làn khói bay lên từ điều thuốc lá và lan tỏa thành các cuộn xoáy không trật tự, trong một lá cờ đang phần phật bay trước gió, hay trong dòng chảy của vòi nước chuyển từ chế độ liên tục sang chế độ hỗn độn. Hỗn độn xuất hiện trong khí quyển, trong chuyển động của máy bay, trong các nút tắc nghẽn giao thông, trong dòng chảy của dầu qua các ống dẫn. Dù là môi trường nào thì hành trạng này cũng luôn tuân theo cùng một số các quy luật mới được phát hiện. Nhận thức được thực tế này đã bắt đầu làm thay đổi cách thức mà các doanh nhân đưa ra quyết định về mức bảo hiểm, cách thức mà các nhà thiên văn học xem xét hệ mặt trời, và cách thức mà các nhà chính trị nói về những căng thẳng dẫn tới các cuộc xung đột vũ trang.

Hỗn độn xóa bỏ ranh giới giữa các lĩnh vực khoa học khác nhau. Là khoa học về bản chất tổng thể của các hệ thống, nó đã tập hợp các nhà tư tưởng thuộc các lĩnh vực trước kia vốn

rất xa nhau. “Cách đây 15 năm, khoa học đã tiến dần tới một cuộc khủng hoảng, nạn nhân của sự chuyên môn hóa quá sâu”, một sĩ quan hải quân phụ trách việc chi ngân sách cho khoa học đã nói như vậy trước một cử tọa gồm các nhà toán học, sinh học, vật lý học và y học. “Sự xuất hiện của hỗn độn đã tạo ra một sự đảo chiều ngoạn mục”. Hỗn độn đặt ra nhiều vấn đề thách thức phương pháp luận khoa học kinh điển. Nó phát biểu một cách hùng hồn các khẳng định về hành trạng phổ quát của cái phức tạp. Các nhà lý thuyết đầu tiên về hỗn độn, những người đã sáng tạo ra khoa học này, đều có chung một số điểm nhạy cảm. Họ có năng khiếu xác định các hình mẫu, đặc biệt là các hình mẫu biểu lộ đồng thời ở các thang bậc khác nhau. Họ đam mê cái ngẫu nhiên và phức tạp, đam mê các đường viền nham nhở và những nhảy cóc bất ngờ. Các tín đồ của hỗn độn - đôi khi họ tự gọi mình như vậy - tư biện về quyết định luận và ý chí tự do, về tiến hóa, về bản chất của trí tuệ nhận thức. Họ có cảm giác mình đang quay trở lại xu hướng quy giản luận trong khoa học, tức là sự phân tích các hệ bằng cách khảo sát kỹ lưỡng các yếu tố cấu thành: các quark, các nhiễm sắc thể hay là các noron. Họ tin rằng họ đang tìm kiếm cái tổng thể.

Những người ủng hộ nhiệt thành nhất của khoa học mới này thậm chí còn đi đến mức khẳng định rằng khoa học của thế kỷ XX chỉ để lại có ba thứ đáng nhớ: đó là thuyết tương đối, cơ học lượng tử, và hỗn độn. Họ khẳng định, hỗn độn là cuộc cách mạng lớn thứ ba mà vật lý học đã trải qua. Như hai cuộc cách mạng trước, nó đoạn tuyệt với các nguyên lý của vật lý Newton. Như một nhà vật lý học đã nói: “Thuyết tương đối đã xóa tan ảo tưởng của Newton về một không gian và một thời

gian tuyệt đối; lý thuyết lượng tử đã xóa bỏ giấc mơ Newton về một quá trình đo kiểm soát được; và về phần mình, hỗn độn đã loại bỏ ảo tưởng của Laplace về một khả năng tiên đoán có tính tất định”. Trong số ba cuộc cách mạng này, thì lý thuyết hỗn độn áp dụng trực tiếp cho thế giới tự nhiên ở thang con người, tức là có thể nhìn thấy và sờ mó được. Kinh nghiệm hàng ngày và các hình ảnh thực về thế giới đã trở thành những đối tượng nghiên cứu chính đáng. Vật lý lý thuyết từ lâu đã mang lại cho người ta cảm giác, mặc dù không phải bao giờ cũng được nói trắng ra, rằng nó đã gần như hoàn toàn xa rời những gì mà con người cảm nhận được về thế giới. Không một ai biết liệu đó có phải là một dị thuyết mang lại những kết quả phong phú hay chỉ đơn giản là một sự lầm lạc, nhưng trong số những người nghĩ rằng vật lý học đang lâm vào ngõ cụt, lại có người giờ đây xem rằng hỗn độn chính là một lối thoát.

Ngay cả trong lòng ngành vật lý, nghiên cứu về hỗn độn cũng ra đời tách biệt với những trào lưu nghiên cứu lớn. Phần lớn thời gian trong thế kỷ XX, dòng chủ lưu của nghiên cứu vật lý là vật lý hạt, tức là lĩnh vực khám phá các viên gạch cấu thành nên vật chất với các năng lượng ngày càng cao, ở các thang ngày càng nhỏ, trong những khoảng thời gian ngày càng ngắn. Vật lý hạt đã cho ra đời những lý thuyết về các lực cơ bản của tự nhiên và về nguồn gốc của Vũ trụ. Tuy nhiên, một số nhà vật lý trẻ lại cảm thấy ngày càng không hài lòng đối với sự định hướng của lĩnh vực có uy tín nhất này của khoa học - các tiến bộ tỏ ra chậm hơn, tên của các hạt mới nghe thật phù phiếm, và lý thuyết đầy những chỗ mơ hồ. Họ tin là đã nhìn thấy trong hỗn độn những tiền đề của một sự thay đổi

có tác động đến toàn bộ ngành vật lý. Theo họ, sự thống trị của các tư tưởng trừu tượng chói sáng của vật lý năng lượng cao và của cơ học lượng tử đã đủ dài rồi.

Năm 1980, trong một bản báo cáo mang tính chất tổng kết về lĩnh vực chuyên môn của mình với nhan đề “Phải chăng vật lý lý thuyết sắp đến hồi cáo chung?”, nhà vũ trụ học Stephen Hawking, người hiện thời giữ chức của Newton ở Đại học Cambridge, đã nói lên suy nghĩ của đa số các nhà vật lý: “Chúng ta đã biết các định luật vật lý chi phối tất cả các hiện tượng trong cuộc sống hàng ngày của chúng ta... Chúng ta đã đi xa tới mức mà ngày nay trong vật lý lý thuyết, chúng ta đã phải trả giá bằng việc phải sử dụng các cỗ máy đồ sộ và chi phí những khoản tiền khổng lồ để thực hiện các thí nghiệm mà chúng ta không thể dự đoán được kết quả của chúng.”

Tuy nhiên, Hawking đã thừa nhận rằng việc hiểu các quy luật của tự nhiên trong vật lý hạt hoàn toàn không mách bảo cho chúng ta biết phải ứng dụng những định luật đó như thế nào ở bên ngoài các hệ sơ cấp nhất. Tiên đoán các sản phẩm của một va chạm giữa hai hạt trong một buồng bọt ở cửa ra của một máy gia tốc là một chuyện; còn tiên đoán các xoáy của một chất lỏng trong một đường ống bình thường nhất, hay chuyển động của khí quyển trái đất, hoặc hoạt động của não người, lại là một chuyện hoàn toàn khác.

Vật lý của Hawking tỏ ra rất hiệu quả để gạt hái các giải Nobel cũng như các khoản tiền khổng lồ cho các thí nghiệm, và cũng thường được gọi là một cuộc cách mạng. Có những lúc, dường như nó đã đoạt được cái cốc thánh của khoa học, đó là Lý thuyết đại thống nhất hay “vật lý của vạn vật”. Nó đã

có khả năng lần ngược trở lại lịch sử hình thành năng lượng và vật chất cho tới tận cái khoảnh khắc đầu tiên của Vũ trụ. Nhưng vật lý thời hậu chiến có phải là một cuộc cách mạng? Hay nó chỉ hưng thịnh bên trong cái khuôn khổ mà Einstein, Bohr, và các cha đẻ khác của thuyết tương đối và cơ học lượng tử đã đặt ra? Đúng là các thành tựu của vật lý, từ bom nguyên tử đến tranzito, đã làm thay đổi quang cảnh của thế kỷ XX. Nhưng mặc dù thế đi nữa, tầm ảnh hưởng của nó dường như đã bị thu hẹp lại. Hai thế hệ đã qua đi mà không một tư tưởng lý thuyết mới nào được nảy sinh làm thay đổi cái cách mà những người không phải là chuyên gia suy nghĩ về thế giới.

Có thể vật lý được Hawking mô tả đã hoàn thành sứ mệnh của mình mà vẫn không trả lời được một số câu hỏi cơ bản nhất về tự nhiên. Sự sống đã nảy sinh như thế nào? Thế nào là chảy rối? Và trên hết, trong một vũ trụ bị chi phối bởi entropy, cụ thể là bị hút một cách không sao cưỡng nổi về hướng gia tăng sự hỗn loạn, thì trật tự đã xuất hiện như thế nào? Trong khi đó, các đối tượng của kinh nghiệm hàng ngày, như các chất lỏng và các hệ cơ học, lại có vẻ như quá sơ đẳng và bình thường khiến cho các nhà vật lý tưởng rằng họ đã hiểu kỹ rồi. Nhưng thực tế lại không phải như vậy.

Trong khi cuộc cách mạng hỗn độn đang diễn ra, thì các nhà vật lý giỏi nhất, không hề mặc cảm, đã quay trở về với các hiện tượng ở thang bậc con người. Họ nghiên cứu không chỉ các thiên hà, mà cả các đám mây nữa. Họ thực hiện các nghiên cứu đầy hiệu quả không chỉ trên các siêu máy tính Cray, mà còn trên cả các máy tính Macintosh. Các tạp chí uy tín nhất đăng tải nhiều bài báo về cơ học lượng tử bên cạnh các bài báo về động lực học lạ của một quả bóng nảy trên

mặt bàn. Người ta phát hiện ra rằng khả năng tiên đoán được cũng trở thành một bài toán cực kỳ khó khăn ngay cả đối với những hệ đơn giản nhất. Tuy nhiên, trong các hệ này, trật tự cũng xuất hiện một cách tự phát - trật tự và hỗn độn đồng hành cùng nhau. Chỉ một loại khoa học mới mới có thể bắt đầu bằng cách vượt qua vực thẳm ngăn cách giữa tri thức về hành trạng của một vật - một phân tử nước, một tế bào của mô tim, một neuron - với tri thức về hành trạng của tập hợp hàng triệu những đối tượng đó.

Hãy quan sát hai vết bọt nổi cạnh nhau ở chân một thác nước. Liệu các bạn có thể khẳng định rằng chúng đã ở gần nhau trước khi rơi xuống không? Không thể. Theo ngôn ngữ của vật lý chuẩn, thì rất có thể Chúa đã đút vào túi của mình các phân tử nước này và hòa trộn chúng một cách tùy thích. Theo truyền thống, khi các nhà vật lý gặp các kết quả phức tạp, họ thường đi tìm các nguyên nhân phức tạp. Khi họ rơi vào một mối quan hệ ngẫu nhiên giữa cái đi vào trong một hệ và cái từ đó đi ra, họ bèn cho rằng họ phải đưa cái ngẫu nhiên vào trong một lý thuyết thực bằng cách thêm vào đó nhiều tạp hoặc một cái gì đó bất định. Nghiên cứu hiện đại về hỗn độn đã bắt đầu trong những năm sáu mươi với ý thức ngày càng tăng về thực tế là các phương trình toán học sơ đẳng cũng có thể mô phỏng được các hệ dữ dội như một thác nước, chẳng hạn. Những khác biệt rất nhỏ ở đầu vào cũng có thể nhanh chóng gây ra những khác biệt to lớn ở đầu ra - người ta gọi đó là “sự phụ thuộc nhạy cảm vào các điều kiện ban đầu”. Trong khí tượng học, chẳng hạn, hiện tượng này ứng với cái mà người ta nửa đùa nửa thật gọi là *hiệu ứng con bướm*: một cái đập cánh của một con bướm hôm nay ở Bắc Kinh sẽ tạo ra

trong không khí các cuộn xoáy có thể biến thành bão tố trong tháng sau tại New York.

Khi các nhà khám phá hỗn độn bắt đầu quan tâm đến phần hệ của ngành khoa học mới của mình, họ đã phát hiện ra rằng họ có rất nhiều những di sản trí tuệ của quá khứ. Nhưng đối với các nhà vật lý và toán học trẻ này, những người đang tiến hành cuộc cách mạng hỗn độn, thì nổi bật nhất và cũng là một trong những điểm xuất phát của họ, chắc chắn đó phải là hiệu ứng con bướm.

HIỆU ỨNG CON BƯỚM

Các nhà vật lý học có khuynh hướng cho rằng những vấn đề duy nhất cần giải quyết là những vấn đề kiểu: “Đây là những điều kiện hiện thời, vậy điều gì sẽ xảy đến bây giờ?”

—RICHARD P. FEYNMAN

MẶT TRỜI ĐÃ LẶN TRÊN BẦU TRỜI không bao giờ thấy một gợn mây. Những cơn gió quét lên mặt đất nhẵn như trên mặt kính. Màn đêm không bao giờ buông, và không bao giờ mùa thu nhường chỗ cho mùa đông. Trời không bao giờ mưa. Thời tiết được mô phỏng trên chiếc máy tính điện tử mới của Edward Lorenz đang tiến triển, một cách chậm chạp nhưng chắc chắn, trong một buổi trưa mùa thu luôn khô hanh, như thể thế giới đã biến thành một vũ trụ hư ảo, hay thành một phiên bản thời tiết đặc biệt ôn hòa của miền Nam California.

Từ khung cửa sổ phòng mình, Lorenz có thể quan sát thời tiết thực bên ngoài, sương mù buổi sáng dày đặc trên khuôn viên của Viện Công nghệ Massachusetts (MIT) hay những đám mây thấp từ Đại Tây Dương ulla vào lướt trên những mái nhà. Sương mù và mây không bao giờ xuất hiện trong mô hình trên máy tính của ông. Chiếc máy tính Royal McBee là một mớ hỗn độn những dây dợ và đèn điện tử, trông không mấy mỹ quan, choán gần hết phòng làm việc của Lorenz, tạo ra thứ tiếng ồn lạ rất khó chịu, và hầu như không tuần nào là không bị hỏng hóc. Nó không đủ tốc độ và bộ nhớ cần thiết

để mô phỏng khí quyển và các đại dương thực của Trái Đất. Tuy nhiên, thời tiết kiểu thu nhỏ mà Lorenz phát minh ra vào năm 1960 đã khiến các đồng nghiệp của ông phải sửng sốt. Từng phút một, chiếc máy cho thấy diễn biến của một ngày trôi qua bằng cách cho in ra một lô các con số trên tờ listing. Ai đọc được những con số ấy sẽ biết có một cơn gió Tây mạnh đang hướng về phía Bắc, sau đó đi xuống phía Nam, rồi một lần nữa quay lên phía Bắc. Những trận bão được số hóa đang cuộn lên chậm chạp trên quả địa cầu lý tưởng hóa. Khi tin này loan khắp cơ quan, các nhà khí tượng học khác và các nghiên cứu sinh có thói quen tề tựu quanh chiếc máy tính và cá cược về tờ thông báo thời tiết tiếp theo của Lorenz. Nhưng không bao giờ có hai tờ thông báo thời tiết hoàn toàn giống nhau cả.

Lorenz yêu thích thời tiết - điều không thể thiếu để trở thành một nhà khí tượng học. Ông yêu thích cái tính đồng đánh hay thay đổi thất thường của thời tiết. Ông yêu thích những cấu trúc và hình thái hình thành rồi lại tan biến đi trong khí quyển, những cơn lốc xoáy và những trận bão, luôn tuân theo những quy luật toán học nhưng không bao giờ tái diễn hết như nhau. Khi quan sát những đám mây, dường như ông phát hiện ra trong đó những cấu trúc. Một lần, ông phát hoảng với suy nghĩ rằng nghiên cứu khoa học về thời tiết giống như mở *chiếc hộp Pandora*^(*). Giờ đây ông tự hỏi liệu khí tượng học một ngày nào đó có thể khoan thủng tấm màn bí mật về điều kì

* Theo thần thoại Hy Lạp, Pandora là người phụ nữ đầu tiên của nhân loại. Được tạo ra để trừng phạt thói kiêu ngạo của đàn ông, Pandora trở thành vợ của epimetheus, em của Prometheus. Chính Pandora làm xuất hiện cái ác trên Trái đất, vì đã mở chiếc hộp mà thần Zeus dùng để nhốt các đau khổ của con người. Trong chiếc hộp của Pandora chỉ còn lại Hy vọng - ND.

điều này không. Thời tiết chứa trong nó một cái gì đó không thể diễn tả được bằng các con số *trung bình*. *Tại Cambridge, bang Massachusetts, nhiệt độ trung bình cao nhất hàng ngày là 24 độ vào tháng 6. Tại Riyad, Ả-rập Xêút, trời mưa trung bình 10 ngày mỗi năm.* Tất cả những thứ đó đều là những con số thống kê. Vấn đề thực sự ở đây là sự diễn tiến của các hình thái trong khí quyển, và đó mới là điều mà Lorenz cố gắng nắm bắt trên chiếc máy tính Royal McBee của mình.

Là Chúa tể trong vũ trụ số của mình, Lorenz hoàn toàn tự do lựa chọn các quy luật tự nhiên mà ông thích. Sau nhiều lần thử và sai, một cách làm thông thường, chẳng có gì là thần thánh cả, ông đã chọn ra được 12 phương trình. Đó là những phương trình diễn tả mối quan hệ giữa nhiệt độ và áp suất, giữa áp suất và vận tốc gió. Lorenz thừa biết rằng ông đang áp dụng trên thực tế các định luật của Newton, những công cụ được chế tạo dành riêng cho Chúa Trời, người thợ đồng hồ đã tạo ra thế giới và để mặc cho nó vận hành mãi mãi. Nhờ vào tính tất định của các định luật vật lý mà sau đó không cần có bất kỳ sự can thiệp nào khác. Những người xây dựng các mô hình tương tự đều tin rằng các định luật về chuyển động kết nối hiện tại với tương lai bằng một sự chắc chắn toán học. Hiểu các định luật này tức là đã hiểu được Vũ trụ. Đó chính là triết lý ẩn đằng sau sự mô phỏng thời tiết trên máy tính.

Thực tế, nếu các nhà triết học thế kỷ XVIII hình dung đáng sáng thế của họ là một người nhân từ, thích ẩn sau hậu trường, thì chắc là họ phải hình dung ra một ai đó giống như Lorenz. Đó là một nhà khí tượng học kỳ cục. Khuôn mặt mệt mỏi giống như một ông chủ trang trại Hoa Kỳ, nhưng ông có đôi mắt sáng lạ thường, đem lại cảm giác lúc nào cũng như đang

cười. Ông rất ít khi nói về mình hay về công việc của mình. Ông thích lắng nghe và thường chìm đắm trong những tính toán, hay suy tư về những điều mà các đồng nghiệp của ông cho rằng không thể tiếp cận được. Những người bạn thân nhất của ông có cảm giác ông dành phần lớn thời gian của mình để sống trong một không gian riêng.

Khi còn nhỏ, Lorenz là một đứa trẻ say mê thời tiết, luôn ghi lại tỉ mỉ nhiệt độ cao nhất và thấp nhất xuất hiện trên chiếc nhiệt kế đặt bên ngoài nhà mình ở West Hartford, bang Connecticut. Tuy nhiên, Lorenz dành nhiều thời gian ở trong nhà, vui thú với những cuốn sách về các trò chơi toán học, hơn là quan sát chiếc nhiệt kế. Thi thoảng, cha của Lorenz lại giúp cậu giải một số bài toán. Một hôm, hai cha con gặp một bài toán đặc biệt khó, hóa ra đây là một bài toán không thể giải được. “Tại sao lại không chứ”, người cha nói với con, “người ta vẫn có thể giải một bài toán bằng cách chứng minh rằng lời giải của bài toán là không tồn tại”. Lorenz rất thích câu nói đó, cũng giống như ông luôn yêu thích sự thuần khiết của toán học. Và vào năm 1938, khi tốt nghiệp trường Đại học Dartmouth, Lorenz đã cảm thấy toán học chính là thiên hướng của mình. Nhưng hoàn cảnh lúc ấy đã không cho phép ông đi theo thiên hướng đó: Chiến tranh thế giới thứ II nổ ra và ông được giao làm việc trong một phân đội khí tượng của Không quân. Khi chiến tranh kết thúc, ông đã quyết định ở lại ngành khí tượng, nghiên cứu sâu lý thuyết khí tượng bằng cách toán học hóa nó nhiều hơn nữa. Ông đã trở nên nổi tiếng khi xuất bản một cuốn sách về những vấn đề có tính chất kinh điển như sự đối lưu chung của khí quyển. Đồng thời, ông vẫn tiếp tục theo đuổi những suy nghĩ về dự báo thời tiết.

Đối với phần lớn các nhà khí tượng học nghiêm túc, dự báo thời tiết không phải là công việc khoa học. Đó chỉ là công việc thường nhật của các kỹ thuật viên, chỉ cần có khả năng trực giác nào đấy để đọc được thời tiết của ngày hôm sau trên mây móc và trong những đám mây - toàn là phỏng đoán cả thôi. Tại các trung tâm nghiên cứu như MIT, khí tượng học quan tâm chủ yếu đến những vấn đề có lời giải đàng hoàng. Mặc dù giống như mọi người, Lorenz cũng ý thức được những khó khăn của việc dự báo thời tiết - vì chính bản thân ông đã từng làm khi còn ở trong Không quân -, nhưng ông vẫn áp ủ một mối quan tâm trong bài toán đó, một mối quan tâm về mặt toán học.

Không chỉ các nhà khí tượng học đánh giá thấp việc dự báo, mà trong những năm 1960, không một nhà khoa học nghiêm túc nào thực sự tin vào máy tính. Người ta khó có thể hình dung được rằng những chiếc máy tính khổng lồ này lại có một ích lợi nào đó trong khoa học lý thuyết. Do vậy việc lập mô hình số về thời tiết chỉ là chuyện lai tạp rất đáng ngờ. Tuy nhiên, thời của nó đã đến. Công việc dự báo thời tiết đã phải chờ suốt hai thế kỷ nay để có một chiếc máy có khả năng thực hiện không biết một mỗi hàng ngàn phép tính. Chỉ có máy tính mới có thể thực hiện lời hứa của Newton, theo đó thế giới đi theo một quỹ đạo tất định, như quỹ đạo của các hành tinh, và dự báo được như các thiên thực (nhật thực, nguyệt thực...) và thủy triều. Về lý thuyết, máy tính có thể cho phép các nhà khí tượng học thực hiện được những điều mà các nhà thiên văn học đã làm được bằng một chiếc bút chì và thước tính: đó là dự báo tương lai của vũ trụ xuất phát từ những điều kiện ban đầu và những định luật vật lý dẫn dắt sự tiến hóa của nó. Những phương trình chuyển động của không khí và nước cũng đã

được hiểu kỹ như những phương trình mô tả sự chuyển động của các hành tinh. Mặc dù các nhà thiên văn học không đạt được sự hoàn hảo - và họ sẽ không bao giờ đạt được điều đó, ít nhất là trong hệ mặt trời bị giằng kéo bởi lực hấp dẫn của 9 hành tinh, rất nhiều mặt trăng và hàng ngàn tiểu hành tinh-, nhưng các tính toán của họ về sự chuyển động của hành tinh lại chính xác đến nỗi người ta quên mất rằng đây chỉ là những dự báo. Khi một nhà thiên văn học nói: “Sao chổi Halley sẽ trở lại sau 66 năm nữa”, thì điều đó dường như là một thực tế, chứ không phải là một dự báo. Dự báo số mang tính tất định đã vẽ nên chính xác quỹ đạo của các tên lửa và các phi thuyền không gian. Vậy thì tại sao lại không thể đối với gió và mây?

Tất nhiên, thời tiết phức tạp hơn rất nhiều, nhưng vẫn bị chi phối bởi chính những định luật đó. Một chiếc máy tính đủ mạnh có thể tương đương với một trí tuệ siêu việt mà Laplace, nhà toán học và triết học thế kỷ XVIII, người mà hơn ai hết rất khâm phục Newton, đã tưởng tượng ra: “Một trí tuệ như thế”, ông viết, “sẽ thu tóm được trong cùng một công thức chuyển động của những vật thể lớn nhất của vũ trụ cũng như chuyển động của các nguyên tử nhỏ bé nhất; không có gì là bất định đối với trí tuệ đó, và tương lai, cũng như quá khứ, đều là hiện tại dưới con mắt của nó”. Trong thời đại của thuyết tương đối của Einstein và nguyên lý bất định của Heisenberg, sự lạc quan của Laplace có thể khiến chúng ta bật cười, nhưng niềm mơ ước của ông thực ra vẫn được một phần lớn của khoa học hiện đại theo đuổi. Nhiệm vụ của nhiều nhà khoa học thế kỷ XX - các nhà sinh học, thần kinh học, kinh tế học - được ngầm hiểu là mổ xẻ vũ trụ của họ thành những nguyên tử đơn giản tuân theo những định luật khoa học. Tất cả các ngành khoa học này thực

ra đều sử dụng một dạng quyết định luận Newton. Những cha đẻ của tin học hiện đại cũng đã luôn nghĩ đến Laplace, và lịch sử của tin học trùng khớp với lịch sử của dự báo thời tiết, khi mà trong những năm 1950, John von Neumann thiết kế ra những chiếc máy tính đầu tiên của mình tại Viện Nghiên cứu Cao cấp ở Princeton, bang New Jersey. Von Neumann đã nhìn thấy trong mô phỏng thời tiết một công việc lý tưởng cho máy tính.

Tuy nhiên, vẫn phải có một nhượng bộ nhỏ, nhỏ đến nỗi các nhà nghiên cứu đã quên mất là nó vẫn còn đó, ẩn kín trong một góc của triết lý của họ như một món nợ chưa được trả. Các phép đo không bao giờ là chính xác tuyệt đối. Thực tế, các nhà khoa học đi theo ngọn cờ của Newton đã giương cao một khẩu hiệu khác, kiểu như: với một hiểu biết *gần đúng* về các điều kiện ban đầu của hệ và dựa trên các định luật của tự nhiên, ta có thể xác định được hành trạng *gần đúng* của hệ. Chính giả thuyết này đã tạo nên nền tảng triết học của khoa học. Như một nhà lý thuyết thường hay nói với sinh viên: “Tu tưởng chủ đạo trong khoa học phương Tây là: khi bạn muốn mô tả chuyển động của một viên bi-a trên bàn bi-a ở Trái đất, bạn không cần phải tính đến một chiếc lá rụng trên một hành tinh nào đó nằm trong một thiên hà khác. Bạn có thể bỏ qua những ảnh hưởng quá nhỏ. Có một sự hội tụ trong cách mà các sự vật diễn ra, đó là những ảnh hưởng nhỏ tùy ý không thể được khuếch đại lên thành những hậu quả lớn tùy ý được”. Theo quan điểm cổ điển, niềm tin vào phép gần đúng và sự hội tụ là có cơ sở. Và quan điểm đó thực sự đã phát huy tác dụng. Một sai số nhỏ trong việc xác định tọa độ của sao chổi Halley vào năm 1910 chỉ dẫn đến một sai số nhỏ trong dự báo về sự trở lại của nó vào năm 1986, và sai số này vẫn mãi

là nhỏ trong hàng triệu năm tới. Các máy tính cũng dựa vào giả thuyết này để dẫn đường cho các phi thuyền không gian: một dữ liệu đầu vào tương đối chính xác sẽ cho một kết quả ở đầu ra cũng tương đối chính xác. Thậm chí cả các nhà dự báo kinh tế cũng dựa trên giả thuyết này, mặc dù thành công của họ còn chưa thật rõ ràng. Và những người tiên phong trong ngành dự báo thời tiết toàn cầu cũng vậy.

Bằng chiếc máy tính thô sơ của mình, Lorenz đã quy bầu khí quyển của Trái đất về những biểu hiện đơn giản nhất của nó. Tuy nhiên, lần lượt theo các dòng trên các trang kết quả in ra của Lorenz, thì gió và nhiệt độ có đáng điệu khá giống như trên Trái đất. Điều đó phù hợp với trực giác quý giá của ông về thời tiết, với cảm giác của ông về sự tự lặp lại của nó, thể hiện ở sự xuất hiện các hình mẫu quen thuộc theo thời gian, như các đợt tăng và giảm áp suất, những cơn gió lúc theo hướng Bắc lúc lại chuyển qua hướng Nam. Ông đã phát hiện ra rằng khi một đường đi từ cao xuống thấp, sẽ xuất hiện sau đó không phải một “gò” mà những hai gò (tức là hai cực đại - ND). “Đây là một quy tắc rất có ích đối với các nhà dự báo thời tiết”, ông tự nhủ. Nhưng những lặp lại này không bao giờ giống y si như cũ. Đúng là có những hình mẫu xuất hiện lặp đi lặp lại, nhưng luôn có kèm theo những nhiễu động. Nghĩa là xuất hiện sự mất trật tự một cách có trật tự.

Để các hình mẫu này trở nên rõ ràng hơn, Lorenz đã nghĩ ra một phương pháp đồ thị đơn giản. Thay vì in ra những dòng các con số như thường lệ, ông đã cho chiếc máy của mình in ra một số các khoảng trắng theo sau là chữ cái a . Ông chọn lấy một biến số - ví dụ như hướng gió chẳng hạn. Dần dần, những chữ a in trên trang giấy theo một đường lượn sóng, tạo

nên một dãy liên tiếp những đồi, gò và thung lũng, thể hiện gió Tây trườn lên phía Bắc rồi xuống phía Nam qua toàn bộ lục địa. Tính trật tự này, những chu kỳ lặp lại dễ dàng được nhận ra này tái diễn không ngừng, nhưng không bao giờ giống hệt nhau, có một sức hấp dẫn tựa thôi miên. Hệ đường như đang chậm rãi vén bức màn bí mật của nó.

Một ngày mùa đông năm 1961, muốn kiểm tra một trong những đoạn biểu đồ trên một thời kỳ dài hơn, Lorenz đã đi tắt. Thay vì bắt đầu chương trình từ đầu, ông lại bắt đầu từ giữa chừng. Ông đưa những điều kiện ban đầu vào máy bằng cách đánh những con số lấy ra từ tờ in kết quả gần nhất. Sau đó, ông ra đứng tận cuối hành lang để khỏi phải nghe tiếng ồn khó chịu của máy và nhâm nhi tách cà phê. Một giờ sau ông quay lại và thấy một điều thật bất ngờ, một điều sẽ làm nảy sinh cả một ngành khoa học mới.

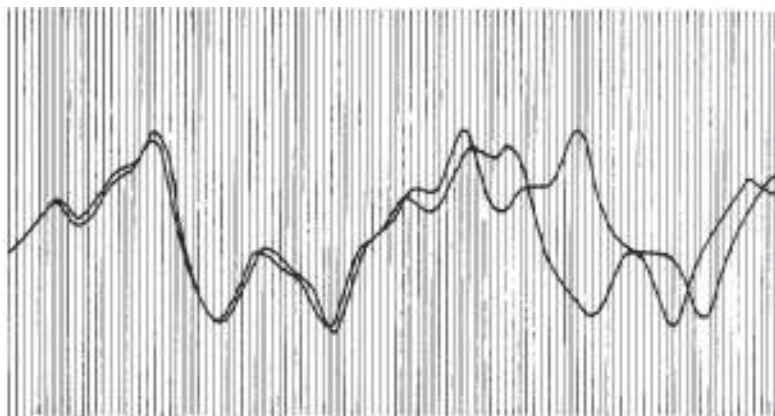
LẦN CHẠY MÁY MỚI NÀY lẽ ra phải giống hệt như cũ. Chính Lorenz đã nhập vào máy những con số đó và chương trình thì vẫn thế. Tuy nhiên, ngay khi nhìn xuống biểu đồ, Lorenz đã nhận thấy những dự báo của mình khác rất nhiều so với các dự báo trong lần chạy trước đó: trong khoảng vài tháng, mọi giống nhau đã biến mất. Ông nhìn những con số kết quả đầu tiên, rồi những con số kết quả thứ hai; hóa ra ông có thể đưa ra hai dự báo chẳng có liên quan gì với nhau. Phản ứng đầu tiên của ông là nghĩ rằng chắc một cái đèn điện tử nào đó đã bị cháy.

Bỗng nhiên ông chợt hiểu ra sự thật. Mọi thứ đều chạy tốt. Vấn đề nằm ở các con số mà ông đã nhập vào. Bộ nhớ của máy vì tính lưu giữ các con số tới 6 chữ số thập phân, ví dụ như

0,506127, nhưng khi in ra, để tiết kiệm giấy, ông đã chỉ lấy có ba chữ số thập phân, tức là, 0,506,. Và trong lần chạy thứ hai Lorenz đã nhập những số được làm tròn đó, và cho rằng sự khác biệt - chỉ cỡ một phần nghìn - sẽ chẳng gây hậu quả gì.

Đó là một giả thiết hợp lý. Khi một vệ tinh thời tiết đọc nhiệt độ trên bề mặt các đại dương chính xác đến phần nghìn, thì những người phân tích đã cảm thấy sung sướng lắm rồi. Chiếc Royal McBee của Lorenz thực hiện một chương trình cổ điển. Ông sử dụng một hệ các phương trình hoàn toàn tất định. Với cùng một điểm xuất phát, trong mọi trường hợp khí quyển phải tiến triển theo một cách như nhau. Một điểm xuất phát hơi khác một chút sẽ phải cho một sự diễn biến hơi khác. Một sai số nhỏ cũng giống như một cơn gió nhẹ - và ai cũng định ninh rằng những nhiễu động nhỏ này sẽ suy giảm dần hoặc triệt tiêu lẫn nhau trước khi gây ra những thay đổi đối với các

Edward N. Lorenz/ Adolph E. Brotman



SỰ PHÂN KỲ CỦA HAI HÌNH MẪU THỜI TIẾT. Từ điểm xuất phát gần như nhau, Lorenz nhận thấy thời tiết trên chiếc máy tính của ông tạo ra hai hình mẫu thời tiết mỗi lúc một khác biệt nhau, cho đến khi sự giống nhau hoàn toàn biến mất.

đặc trưng của khí quyển ở quy mô lớn. Tuy nhiên, trong hệ các phương trình của Lorenz, những sai số nhỏ lại gây ra những hậu quả thật khủng khiếp.

Ông quyết định kiểm tra kỹ lưỡng hơn sự khác nhau này. Ông đã copy một biểu đồ lên một tờ giấy trong suốt và đặt nó lên trên biểu đồ kia. Ban đầu, hai điểm cực đại đầu tiên chồng khít lên nhau. Sau đó một trong hai đường cong bắt đầu tách ra rộng chừng một sợi tóc, và ở cực đại tiếp sau đó, chúng hoàn toàn lệch pha nhau. Ở cực đại thứ ba và thứ tư, mọi giống nhau đã hoàn toàn biết mất.

Đó chỉ là sai sót của một chiếc máy tính còn thô sơ. Thực ra Lorenz có thể cho rằng có cái gì đó không ổn với cái máy tính mà ông đang sử dụng hoặc với mô hình cụ thể của ông - và *lẽ ra ông đã phải* giả định như thế. Điều đó không giống như việc trộn natri với clo và thu được vàng. Nhưng vì những lý do trực giác toán học mà các đồng nghiệp của ông mãi sau này mới hiểu, Lorenz đã giật bắn người: có cái gì đó khắp khiêng về mặt triết học, mà tầm quan trọng của nó trên thực tế có thể rất to lớn. Mặc dù những phương trình của ông chỉ là sự nhại lại một cách thô thiển thời tiết thật trên Trái đất, nhưng ông tin rằng mình đã nắm được bản chất sâu xa của khí quyển thực. Ngày hôm đó, ông đã quả quyết rằng dự báo thời tiết dài hạn chắc chắn sẽ thất bại.

Ông nói: “Đúng là chúng ta đã thất bại, nhưng giờ đây chúng ta đã có lý do. Tôi cho rằng một trong những lý do để người ta tin rằng có thể dự báo dài hạn là có những hiện tượng vật lý cho phép có những dự báo chính xác, ví dụ như các thiên thực hay thủy triều, trong đó động lực học của Mặt trời, Mặt trăng và Trái đất diễn ra tương đối phức tạp. Tôi không bao

giờ coi những thông báo về thủy triều là một dự báo - đối với tôi đó là một thực tế - nhưng tất nhiên, đó đúng là dự báo. Thực ra, thủy triều cũng phức tạp như khí quyển. Cả hai đều có những yếu tố mang tính tuần hoàn - bạn có thể dự báo rằng mùa hè năm tới sẽ nóng hơn mùa đông năm nay. Nhưng trong khí tượng học, chúng ta cho rằng chúng ta *đã biết* điều đó. Điều khiến chúng ta quan tâm tới thủy triều, đó là khía cạnh dự báo được của nó; cái không thể dự báo là không đáng kể, trừ phi có một trận bão.

“Người bình thường khi thấy người ta có thể dự báo tương đối đúng về thủy triều trong một vài tháng sẽ đặt ra câu hỏi tại sao chúng ta lại không thể làm như thế với khí quyển; chẳng qua đây chỉ là một thứ chất lưu khác và những quy luật của nó cũng phức tạp như vậy. Nhưng rốt cuộc tôi đã nhận thấy rằng *mọi* hệ vật lý có hành trạng không mang tính tuần hoàn đều không thể dự báo được.”

NHỮNG NĂM 50 VÀ 60 CỦA THẾ KỶ XX là thời kỳ lạc quan phi thực tế đối với khí tượng. Báo chí đặt rất nhiều hy vọng vào khoa học này, không chỉ để dự báo thời tiết, mà còn để làm thay đổi và làm chủ thời tiết. Hai công nghệ mới đã đạt đến độ chín muồi: máy tính và vệ tinh nhân tạo. Người ta đã xây dựng một chương trình quốc tế áp dụng hai công nghệ này, đó là Chương trình Nghiên cứu Khí quyển Toàn cầu (GARP). Có vẻ như nhân loại sắp sửa giải phóng mình khỏi những phiền nhiễu mà khí quyển gây ra, chế ngự chúng thay vì là nạn nhân của chúng. Những mái vòm trắc địa sẽ che phủ các cánh đồng lúa mì. Những chiếc phi cơ sẽ biết làm ra mây. Các nhà khoa học sẽ học được cách hô phong hoán vũ.

Cha đẻ của ý tưởng nổi tiếng này là John von Neumann, người đã chế tạo chiếc máy tính đầu tiên, ngoài những mục đích khác ra, còn một chủ đích cụ thể là kiểm soát thời tiết. Ông tập hợp quanh mình các nhà khí tượng học và đã thuyết trình các dự án đầy kinh ngạc của mình trước toàn thể cộng đồng các nhà vật lý học. Có một lý do đặc biệt về toán học cho sự lạc quan của ông. Ông đã phát hiện ra rằng một hệ động lực phức tạp có thể có *một số điểm* không ổn định, gọi là các điểm tới hạn, tại đó một cú hích nhẹ cũng có thể kéo theo những hậu quả khôn lường, ví như một quả bóng ở trạng thái cân bằng ở đỉnh một quả đồi. Khi chiếc máy tính của ông được chế tạo xong và đi vào hoạt động, von Neumann đã tưởng rằng các nhà khoa học sẽ giải được những phương trình chuyển động của các chất lưu chỉ trong vài ngày. Sau đó một ủy ban trung ương các nhà khí tượng học sẽ cho những chiếc máy bay cất cánh để rải những màn khói và gieo những chất tạo mây để đưa thời tiết về kiểu mà ta mong muốn. Nhưng von Neumann đã bỏ qua khả năng có hỗn độn với tính không ổn định có thể xảy ra ở *mọi* điểm.

Trong những năm 1980, một bộ máy khổng lồ và tốn kém đã thực hiện chương trình của ông, ít nhất là phần dự báo. Những chuyên gia dự báo khí tượng đầu tiên của Mỹ làm việc trong một tòa nhà hình lập phương nằm ở ngoại ô Maryland, gần đường vành đai của Washington, với các anten và radar dựng chi chít trên mái như của một cơ quan tình báo vậy. Chiếc siêu máy tính ở đây đã chạy một mô hình chỉ giống mô hình của Lorenz trên những nét đại thể. Trong khi chiếc Royal McBee có thể thực hiện 60 phép nhân mỗi giây, thì tốc độ của chiếc Control Data Cyber 250 được tính bằng megaflop, tức là hàng triệu phép tính có dấu phẩy động trong một giây. Và

nếu Lorenz đã rất sung sướng vì đã giải được 12 phương trình, thì mô hình chạy trên chiếc Cyber 205 đã giải được 500.000 phương trình. Mô hình này còn tính tới cả cách thức mà độ ẩm cấp nhiệt hay lấy nhiệt ra trong không khí khi nó ngưng tụ hoặc bốc hơi. Những con gió thể hiện bằng những con số được hình thành từ hàng dãy núi các con số. Dữ liệu đến liên tục từ tất cả các quốc gia trên hành tinh, từ các máy bay, vệ tinh và tàu thủy. Những dự báo mà Trung tâm Khí tượng Quốc gia đưa ra là những dự báo chính xác thứ hai trên thế giới.

Những dự báo chính xác nhất được phát đi từ Reading, Anh Quốc, một thành phố đại học nhỏ nằm cách London chừng 60 km. Trung tâm Châu Âu về Dự báo thời tiết trung hạn (ECMRWF) nằm trong một tòa nhà khiêm tốn khuất dưới bóng những tán cây cổ thụ, mang phong cách điển hình của những tòa nhà Liên hiệp quốc - một lối kiến trúc hiện đại dùng gạch và kính - và được trang trí bằng những món quà do nhiều quốc gia gửi tặng. Nó được xây dựng trong thời hoàng kim của tinh thần Khối thị trường chung Châu Âu, khi phần lớn các quốc gia Tây Âu quyết định dùng tài năng và nguồn lực của họ cho sự nghiệp dự báo thời tiết. Người Châu Âu coi nhân tố bảo đảm thành công là đội ngũ trẻ trung, làm việc theo hợp đồng, chứ không phải là các công chức, và siêu máy tính Cray dường như vượt trội so với các siêu máy tính lúc bấy giờ của Mỹ.

Nếu dự báo thời tiết đánh dấu sự khởi đầu của việc sử dụng máy tính vào việc mô phỏng các hệ phức tạp, thì nó lại chưa và còn lâu mới đạt được mục đích này. Chính các kỹ thuật này đã từng phục vụ các nhà khoa học thuộc nhiều lĩnh vực khác nhau, cả khoa học vật lý lẫn khoa học xã hội, với hy vọng đưa ra các dự báo trong các lĩnh vực từ sự chảy của các loại chất

lưu ở thang bậc nhỏ, liên quan đến các nhà thiết kế cánh quạt máy bay cho đến những dòng tài chính khổng lồ liên quan đến các nhà kinh tế. Trên thực tế, trong những năm 70 và 80, những dự báo kinh tế trên máy tính rất giống với những bản dự báo thời tiết toàn cầu. Những mô hình này nhào trộn qua một mạng lưới chằng chịt và khá tùy tiện các phương trình phức tạp nhằm biến số đo các điều kiện ban đầu - áp suất khí quyển hay nguồn cung cấp tiền tệ - thành một mô phỏng các xu hướng trong tương lai. Những người lập trình hy vọng rằng các kết quả của họ sẽ không bị méo mó quá nhiều do rất nhiều những giả thiết đơn giản hóa khó tránh khỏi. Và nếu một mô hình đưa ra một cái gì đó quá kỳ cục - như lụi ở Sahara hay lãi suất tăng gấp ba lần, chẳng hạn, thì họ sẽ thay đổi các phương trình của mình để kết quả thu được gần hơn với những gì mà họ mong đợi. Trong thực tế, các mô hình toán kinh tế rất tiếc lại bất lực một cách thảm hại vì không thể dự báo được tương lai diễn ra sẽ thế nào, nhưng nhiều người, chắc cũng đã biết rõ mọi chuyện, lại hành động như là họ tin vào những kết quả này. Người ta đưa ra những bản dự báo về tăng trưởng kinh tế hay nạn thất nghiệp với một độ chính xác đến hai, ba số thập phân. Chính phủ và các thiết chế tài chính trả tiền cho các bản dự báo này, đồng thời cũng gây ảnh hưởng đến những dự báo đó, có lẽ là do nhu cầu cấp bách, hoặc vì không có cái gì khác tốt hơn. Chắc hẳn họ cũng thừa biết rằng những tham số như “tinh thần lạc quan của người tiêu dùng” không hề dễ đo như tham số “độ ẩm”, và hơn nữa chưa có các phương trình vi phân chính xác mô tả những diễn biến chính trị hay các trào lưu của một; nhưng ít người nhận thấy sự bấp bênh của việc mô phỏng trên máy tính, ngay cả khi những dữ liệu

rất đáng tin và các định luật về bản chất là thuần túy vật lý, như trong dự báo thời tiết, chẳng hạn.

Mặt khác, mô phỏng trên máy tính đã biến công việc dự báo thời tiết từ thủ công sang khoa học. Những đánh giá của Trung tâm Châu Âu cho phép tin rằng sử dụng các dự báo, xét về mặt thống kê có vẫn hơn không, thế giới sẽ tiết kiệm được hàng tỷ đôla mỗi năm. Nhưng sau khoảng hai hoặc ba ngày, những dự báo chính xác nhất thế giới cũng trở thành những dự đoán và sẽ không còn chút lợi ích gì nữa sau sáu hoặc bảy ngày.

Đó là hậu quả của *hiệu ứng con bướm*. Đối với những hiện tượng thời tiết nhỏ - và ở thang dự báo toàn cầu, nhỏ ở đây có nghĩa là cơn giông hoặc bão tuyết, thì mọi dự báo đều nhanh chóng mất đi độ tin cậy. Những sai số và độ bất định sẽ được nhân lên, được khuếch đại khủng khiếp thông qua một chuỗi những quá trình chảy rối, từ những cơn gió lốc và vòi rồng tới những cơn gió xoáy có quy mô bằng cả một lục địa mà chỉ các vệ tinh mới có thể phát hiện được.

Các mô hình thời tiết hiện nay sử dụng một mạng lưới các điểm ở cách nhau chừng 100km, và thậm chí dẫu vậy đi nữa, một số dữ liệu ban đầu vẫn phải phỏng đoán, vì các trạm mặt đất và vệ tinh không thể bao quát được mọi nơi trên hành tinh. Nhưng cứ giả thiết rằng toàn bộ bề mặt trái đất phủ kín bằng các cảm biến (sensor) đặt đôi một cách nhau khoảng 30cm theo mặt đất và theo phương thẳng đứng từ mặt đất đến tầng trên cùng của khí quyển, và cũng giả thiết rằng tất cả các cảm biến này đều đo nhiệt độ, áp suất, độ ẩm và bất cứ một đại lượng nào khác mà nhà khí tượng cần đến, một cách tuyệt đối chính xác. Vào đúng giữa trưa, một chiếc máy tính cực mạnh tập hợp tất cả các dữ liệu này và xác định điều sẽ xảy ra ở mỗi thời điểm

12h01, 12h02, 12h03... Dẫu vậy, máy tính này cũng sẽ không có khả năng dự báo một tháng sau đó sẽ có mưa hay nắng ở Princeton, bang New Jersey. Vào giữa trưa, khoảng không gian giữa các cảm biến này vẫn còn che giấu những thăng giáng, tức là những sự sai lệch so với giá trị trung bình, mà chiếc máy tính đó không thể biết được. Vào lúc 12h01, những thăng giáng này đã tạo ra những sai số nhỏ ở cách đó 30cm. Trong một thời gian ngắn, những sai số này sẽ được nhân lên ở thang 3m, và cứ như thế cuối cùng sẽ lan ra toàn bộ địa cầu.

Ngay cả đối với những chuyên gia khí tượng giàu kinh nghiệm, tất cả những điều nói trên đều có vẻ trái với trực giác. Một trong số những người bạn lâu năm nhất của Lorenz là Robert White, một nhà khí tượng và là đồng nghiệp của Lorenz ở MIT và sau này là Giám đốc Cơ quan Quản lý Đại dương và Khí quyển. Khi Lorenz nói với White về hiệu ứng con bướm và về những điều mà ông nghĩ về dự báo dài hạn, White đã nhắc lại câu trả lời của von Neumann: “Dự báo chẳng là cái quái gì hết. Điều quan trọng là phải làm chủ thời tiết.” Tư tưởng của ông là những thay đổi nhỏ, hoàn toàn nằm trong tầm kiểm soát của con người, có thể sinh ra những thay đổi trên quy mô lớn như ta mong muốn.

Nhưng Lorenz nhìn nhận vấn đề này một cách hoàn toàn khác. Vâng, bạn có thể làm thay đổi thời tiết, thay đổi một chút diễn biến của nó. Nhưng khi làm điều đó, bạn không bao giờ *biết* thời tiết sẽ diễn ra như thế nào khi bạn không còn can thiệp nữa. Điều này cũng giống như khi trộn một cổ bài đã được xáo kỹ. Bạn biết rằng bạn sẽ làm thay đổi cơ hội của mình, nhưng bạn sẽ không biết được rằng đó là cơ hội tốt hơn hay xấu hơn.

PHÁT HIỆN CỦA LORENZ là một sự tình cờ, thêm một tình cờ nữa trong chuỗi những tình cờ bắt đầu từ thời Archimedes trong bồn tắm. Nhưng Lorenz không phải là loại người hét toáng lên *Eureka*. Sự cầu may đã đơn giản đưa ông tới chỗ mà ông đã ở đó ngay từ đầu. Giờ đây ông đã sẵn sàng khám phá các hệ quả của phát minh của mình trên quan điểm khoa học về sự chảy của tất cả các loại chất lưu.

Nếu chỉ dừng lại ở hiệu ứng con bướm, một hình ảnh ẩn dụ về sự nhường chỗ của khả năng dự báo được cho tính ngẫu nhiên và tính mất trật tự thuần túy, thì ông mới chỉ làm được mỗi một việc là thông báo một tin rất xấu. Tuy nhiên, ông đã nhìn thấy trong mô hình khí quyển của mình một cái gì đó khác với tính mất trật tự này. Ông đã thấy ở đó một cấu trúc hình học tinh tế, một trật tự *cải trang* thành mất trật tự. Và bởi vì, xét đến cùng, ông là một nhà toán học khoác áo nhà khí tượng, nên giờ đây ông sống một cuộc sống kép: cùng một lúc ông cho công bố các bài báo chuyên về thời tiết, và ông cũng viết những bài báo khác, thuần túy toán học, với một lời mở đầu có dính dáng đôi chút với khí tượng. Nhưng rồi, cuối cùng, những lời mở đầu này cũng biến mất hoàn toàn.

Ông ngày càng chú ý nhiều hơn tới toán học của các hệ không bao giờ đạt đến trạng thái dừng, những hệ luôn có xu hướng lặp lại nhưng không bao giờ hoàn toàn đạt tới được. Mọi người đều biết rằng thời tiết thuộc số những hệ đó, tức là một hệ không tuần hoàn. Tuy nhiên, trong tự nhiên còn có vô số các hệ khác, chẳng hạn các quần thể sinh vật có số lượng tăng hay giảm một cách đều đặn, hay các dịch bệnh xuất hiện rồi biến mất, như thể trên người, cũng theo những sơ đồ gần như đều đặn. Nếu thời tiết mà cũng lặp lại một cách chính xác

trạng thái của nó trước đây, với chính những trận gió lốc ấy và những đám mây ấy, thì có thể nó sẽ lặp đi lặp lại như thế một cách vĩnh viễn, và công việc dự báo thời tiết sẽ trở thành một chuyện tầm thường.

Lorenz nghĩ rằng ông phải tìm thấy ở đây một mối liên hệ giữa việc thời tiết không chịu lặp lại như trước và sự bất lực của các nhà khí tượng trong việc đưa ra các dự báo - một mối liên hệ giữa tính phi tuần hoàn và tính không thể dự báo được. Tìm các phương trình đơn giản tạo được tính phi tuần hoàn mà ông tìm kiếm là một việc không hề dễ dàng gì. Lúc đầu, máy tính của ông chỉ giới hạn ở những chu kỳ lặp đi lặp lại. Nhưng Lorenz đã thử đưa vào những loại phức tạp hóa nhỏ khác nhau và cuối cùng ông đã thành công khi đưa vào một phương trình làm biến thiên lượng nhiệt từ Đông sang Tây, tương ứng với sự biến thiên trong thế giới thực, chẳng hạn giữa cách mà Mặt trời làm ấm bờ đông của Bắc Mỹ với cách mà nó làm ấm Đại Tây dương. Và sự lặp lại đã biến mất.

Trên thực tế, hiệu ứng con bướm không phải là ngẫu nhiên, mà là một tất yếu. Giả định rằng, Lorenz lập luận, những nhiễu động nhỏ vẫn còn là nhỏ thay vì bị khuếch đại lên. Khi đó, nếu thời tiết tiến vô cùng gần tới một trạng thái trước đấy của nó, thì diễn tiến của nó *vẫn sẽ* còn vô cùng gần với những hình mẫu tiếp sau đó. Đối với những mục đích thực tiễn, các chu kỳ này sẽ là dự báo được - và xét cho cùng chẳng có gì hấp dẫn cả. Để tái hiện tất cả những biến thái của các tình huống khí tượng thực, với sự đa dạng tuyệt vời của nó, người ta không thể hy vọng vào cái gì tốt hơn là hiệu ứng con bướm.

Hiệu ứng con bướm có một cái tên kỹ thuật: đó là sự phụ thuộc nhạy cảm vào các điều kiện ban đầu. Đây không phải

là một khái niệm hoàn toàn mới. Nó đã tồn tại trong những câu hát dân gian:

*Thiếu cái đình, sẽ mất móng ngựa;
Thiếu móng ngựa, sẽ mất con ngựa;
Thiếu con ngựa, sẽ mất cuộc chiến;
Mất cuộc chiến, sẽ mất cả vương quốc!*

Trong khoa học cũng như trong cuộc sống, người ta hiểu rõ rằng một chuỗi các sự kiện có thể đạt đến một điểm tới hạn mà vượt quá đó, một sự thay đổi nhỏ có thể có tác động cực lớn. Nhưng hỗn độn có nghĩa là những điểm như vậy tồn tại ở mọi chỗ. Chúng hiện diện ở khắp nơi. Trong những hệ như thời tiết, sự phụ thuộc nhạy cảm vào các điều kiện ban đầu là một hậu quả không thể tránh khỏi của sự đan bện giữa các thang bậc nhỏ với các thang bậc lớn.

Các đồng nghiệp của Lorenz rất ngạc nhiên khi phát hiện ra rằng ông đã mô phỏng được cả tính phi tuần hoàn lẫn sự phụ thuộc nhạy cảm vào các điều kiện ban đầu trong cái phiên bản thời tiết mini trên máy tính của mình. Mô hình của ông chỉ gồm 12 phương trình, được lặp nhiều lần với một hiệu quả cơ học khủng khiếp. Làm thế nào mà một hệ tất định đơn giản lại có thể phát lộ một sự phong phú đến như thế, một tính không thể tiên đoán được như thế - tóm lại là một hỗn độn như thế?

LORENZ ĐÃ TẠM GÁC THỜI TIẾT sang một bên và tìm kiếm các cách đơn giản hơn để tạo được hành trạng phức tạp của nó. Ông đã tìm thấy nó dưới dạng một hệ chỉ gồm 3 phương trình. Cả ba đều là phi tuyến, điều này có nghĩa là chúng biểu

diễn những mối quan hệ không phải là tỷ lệ thuận với nhau. Trên một đồ thị, các quan hệ tuyến tính được thể hiện bằng một đường thẳng. Ý nghĩa của chúng rất đơn giản: *càng nhiều càng tốt*. Các phương trình tuyến tính đều là giải được, chính vì thế người ta gặp chúng rất nhiều trong các sách giáo khoa. Các hệ tuyến tính có ưu điểm lớn là có thể phân tách được: người ta có thể tháo rời các phần tử của chúng, rồi lắp ráp trở lại mà các thành phần đó vẫn ăn khớp với nhau.

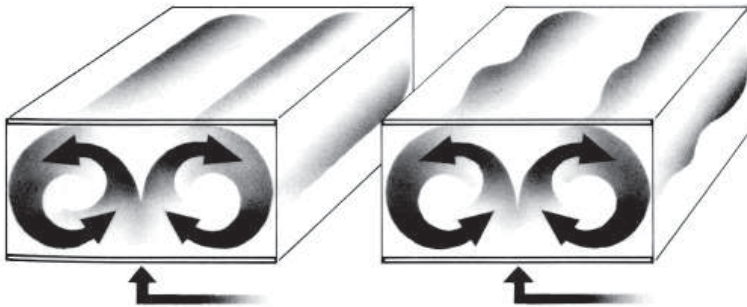
Còn các hệ phi tuyến nhìn chung là không giải được và không thể cộng được. Trong các hệ chất lưu và các hệ cơ học, người ta thường cố gắng loại bỏ những số hạng phi tuyến để hiểu được các hiện tượng một cách rõ ràng và đơn giản hơn. Chẳng hạn như ma sát. Nếu người ta bỏ qua nó, giá trị năng lượng cần thiết để làm tăng vận tốc của một quả cầu có thể tính được bằng một phương trình tuyến tính đơn giản. Còn nếu tính đến nó, ta sẽ nhận được một quan hệ phức tạp hơn: năng lượng này phụ thuộc vào vận tốc đã đạt được của quả cầu. Phi tuyến có nghĩa là quá trình chơi sẽ làm thay đổi luật chơi: độ lớn của ma sát phụ thuộc vào vận tốc của quả cầu, và đến lượt mình, vận tốc của quả cầu lại phụ thuộc vào ma sát. Nếu các ảnh hưởng lẫn nhau này khiến cho các tính toán trong hệ phi tuyến trở nên khó khăn hơn, thì bù lại chúng tạo ra các loại hành trạng vô cùng phong phú mà người ta không bao giờ gặp trong các hệ tuyến tính. Trong động lực học của các chất lưu, tất cả đều được quy về một phương trình chính tắc, đó là phương trình Navier-Stokes. Đây là một phương trình cực kỳ gọn ghẽ, biểu diễn mối quan hệ giữa vận tốc của chất lưu với áp suất, mật độ và độ nhớt của nó, nhưng lại là một phương trình phi tuyến. Do đó nhìn chung khó có thể hiểu rõ

được bản chất của mối quan hệ này. Phân tích dáng điệu của một phương trình phi tuyến như phương trình Navier-Stokes cũng giống như mò mẫm trong một mê cung mà mỗi bước của ta, vị trí của các bức tường lại thay đổi. Von Neumann đã nói như thế này: “Tất cả các tính chất cơ bản của phương trình này... thay đổi đồng thời: nó thay đổi cả trật tự lẫn mức độ. Vì vậy cần phải chuẩn bị đón nhận những khó khăn toán học tồi tệ nhất.” Nếu phương trình Navier-Stokes không chứa con quỷ phi tuyến này, thì thế giới hẳn sẽ khác - và khoa học sẽ chẳng cần tới hỗn độn.

Lorenz đã được gợi ý về ba phương trình của mình từ một chuyển động đặc biệt: đó là chuyển động đi lên của một khí hay chất lỏng dưới tác dụng của nhiệt, một hiện tượng có tên là sự đối lưu. Trong khí quyển, chính chuyển động đối lưu này đã gây ra các dòng chuyển động trong khối không khí tiếp xúc với bề mặt Trái đất bị Mặt trời đốt nóng; cũng chính hiện tượng đối lưu đã gây ra các làn khí lấp loáng trông như những bóng ma trên mặt đường nhựa nóng hay trên các lò sưởi. Nhưng Lorenz lại thích nói về hiện tượng đối lưu trong một tách cà phê nóng. Ông nói, đó chính là một trong vô số các quá trình thủy động lực của vũ trụ mà người ta muốn dự báo hành trạng của chúng. Làm thế nào để tính được vận tốc nguội đi của một tách cà phê? Nếu tách cà phê này chỉ hơi ấm thôi, thì nhiệt của nó sẽ tiêu tán đi hết mà không gây ra một chuyển động thủy động lực nào. Cà phê vẫn còn ở trạng thái dừng. Nhưng nếu tách cà phê này đủ nóng, thì chuyển động đối lưu sẽ đưa cà phê từ đáy tách đến miệng tách vốn nguội hơn. Người ta có thể dễ dàng nhìn thấy hiện tượng đối lưu này bằng cách cho một chút kem vào trong tách. Các xáo trộn này

có thể diễn ra rất phức tạp, nhưng về lâu dài, hành trạng của hệ này là rất rõ ràng: do nhiệt bị tiêu tán, và cũng vì ma sát làm cho chất lỏng chuyển động chậm lại, nên chuyển động này tất yếu sẽ phải dừng lại. Có lần, trong một cuộc họp khoa học, Lorenz đã nói bằng giọng hài hước rằng: “Chắc chắn sẽ rất khó dự báo nhiệt độ của tách cà phê này trong một phút tới, nhưng chúng ta sẽ chẳng gặp bất kỳ khó khăn nào khi dự báo nhiệt độ của tách cà phê trong một giờ sau đó”. Các phương trình chuyển động chi phối sự nguội đi của tách cà phê nhất định sẽ phải phản ánh tương lai của hệ này. Chúng sẽ phải tiêu tán năng lượng. Nhiệt độ của tách cà phê sẽ phải trở về nhiệt độ của phòng, và vận tốc phải trở về không.

Vì thế Lorenz đã sử dụng các phương trình đối lưu, tước bỏ tối đa những gì không quan trọng, làm cho chúng đơn giản tới mức phi thực tế. Đúng là các phương trình này gần như



Adolph E. Brotman

CÁC CUỘN CHẤT LỎNG. Khi một chất lỏng hay khí bị hâm nóng từ phía dưới, nó có xu hướng tự tổ chức thành các cuộn hình trụ (*trái*). Chất lưu nóng đi lên ở một phía, sau khi mất nhiệt lại đi xuống ở một phía khác - đó chính là sự đối lưu. Khi người ta tăng nhiệt (*phải*), một sự bất ổn định xuất hiện: một làn sóng lan dọc theo chiều dài của các khối trụ. Tiếp tục tăng nhiệt độ lên nữa, chuyển động của chất lưu trở nên mất trật tự và rối loạn.

không còn gì giống với dạng ban đầu của chúng nữa, nhưng Lorenz vẫn giữ lại tính phi tuyến. Đối với một nhà vật lý, các phương trình này có vẻ như dễ. Chỉ cần liếc qua các phương trình này - điều mà nhiều nhà khoa học đã làm trong những năm sau đó - là có thể khẳng định *tôi có thể giải được chúng*.

“Đúng là khi nhìn các phương trình này, Lorenz điềm điềm nói, người ta tin là có thể giải được. Trong đó đúng là có một vài số hạng phi tuyến, song người ta dễ nghĩ rằng có thể tránh được những số hạng đó. Nhưng thực tế, ta không thể tránh được.”

Ví dụ cơ bản nhất về hiện tượng đối lưu cổ điển được thể hiện rõ nhất trong một chiếc bình có các thành nhẵn chứa một chất lỏng được đốt nóng ở đáy bình và làm lạnh ở phía trên miệng bình. Sự chênh lệch nhiệt độ giữa đáy và miệng bình quyết định chuyển động của chất lỏng. Nếu sự chênh lệch này thấp, hệ sẽ bất động. Nhiệt di chuyển lên phía trên bằng truyền dẫn, như trong một thanh kim loại, và không thắng được xu hướng tự nhiên của chất lỏng là giữ nguyên trạng thái tĩnh. Hơn nữa, hệ này ổn định. Mọi chuyển động bấp bênh có thể xảy ra - chẳng hạn một sinh viên lắc bình - đều có xu hướng biến mất và hệ trở lại trạng thái tĩnh.

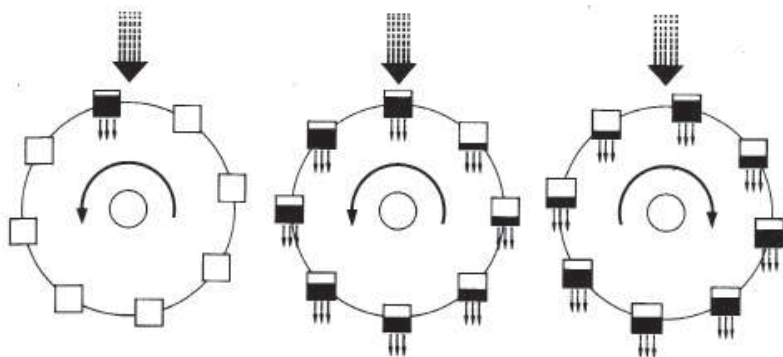
Tuy nhiên, nếu người ta tăng nhiệt độ, thì một dạng hành trạng mới sẽ xuất hiện. Bị nóng lên, chất lỏng ở phần đáy bình giãn nở ra, trở nên loãng hơn, và vì thế nhẹ hơn, đủ để chiến thắng ma sát và bắt đầu đi lên phía miệng bình. Trong một bình được thiết kế cẩn thận, một cuộn sóng hình trụ sẽ xuất hiện với một bên là chất lỏng nóng đi lên và bên kia là chất lỏng lạnh đi xuống. Nhìn từ một bên, chuyển động này tạo thành một vòng khép kín. Ở bên ngoài phòng thí nghiệm, tự

nhiên cũng thường tạo ra các khoang đối lưu riêng của nó. Chẳng hạn, khi Mặt Trời làm nóng bề mặt của sa mạc, không khí cuộn tròn sẽ vẽ nên các hình mẫu trong các đám mây bên trên hoặc trên cát ở dưới.

Dù hệ phương trình của Lorenz không phải là một mô phỏng hoàn hảo về đối lưu, nhưng nó có các điểm tương đồng chính xác với một số hệ thực. Thật vậy, các phương trình của ông mô tả chính xác nguyên lý của một chiếc máy phát điện cũ, cụ thể của những chiếc máy phát hiện đại, trong đó dòng điện chuyển động bên trong một cái đĩa quay được đặt trong một từ trường. Với một số điều kiện, dòng điện này có thể tự phát đổi chiều. Sau khi các phương trình của Lorenz được biết đến nhiều hơn, nhiều nhà khoa học đã gợi ý rằng phản ứng của chiếc máy phát điện như thế có thể giải thích một hiện tượng đảo chiều khác: hiện tượng đảo chiều của từ trường Trái đất. Người ta biết rằng “máy phát điện địa cầu” này đã nhiều lần đảo chiều trong lịch sử Trái đất, với những khoảng thời gian nào đó và không thể giải thích được. Trước một sự bất thường như vậy, các nhà lý thuyết thường tìm kiếm sự giải thích ở bên ngoài hệ, như do những cơn mưa thiên thạch, chẳng hạn. Tuy nhiên, có thể “máy phát địa cầu” này biết đâu lại chứa trong nó sự hỗn độn của riêng nó cũng nên.

Nếu người ta tiếp tục tăng nhiệt, hành trạng của chất lỏng trở nên phức tạp hơn. Các cuộn bắt đầu dao động. Nhưng các phương trình rút gọn của Lorenz quá đơn giản nên không thể mô phỏng được sự phức tạp này. Chúng chỉ thể hiện một trong rất nhiều tính chất của hiện tượng đối lưu thật: chuyển động tròn của một chất lỏng nóng lên xuống như một cái bánh xe lớn trong công viên trò chơi. Các phương trình của Lorenz đã tính đến vận

tốc của chuyển động này và sự lan truyền nhiệt. Hai quá trình vật lý này tương tác với nhau. Khi một giọt chất lỏng nóng đi lên theo vòng tròn, nó sẽ tiếp xúc với phần chất lỏng lạnh hơn và bắt đầu mất nhiệt. Nếu sự di chuyển của nó đủ nhanh, khi lên đến đỉnh, nó không mất hết nhiệt và bắt đầu dao động đi xuống ở phía bên kia, và do đó như vậy đẩy lùi giọt chất lỏng đến sau nó.



Adolph E. Brotman

BÁNH XE NƯỚC CỦA LORENZ. Hệ hỗn độn đầu tiên và nổi tiếng của Edward Lorenz có một tương đương cơ học: bánh xe thủy động lực. Thiết bị rất thô sơ này có thể có các hành trạng vô cùng phức tạp. Chuyển động quay của nó có một vài tính chất mà người ta thấy trong các khối trụ chất lỏng quay trong quá trình đối lưu. Bánh xe ứng với một lát cắt của khối trụ. Hai hệ này được cấp liên tục nước hoặc nhiệt và cả hai đều tiêu hao năng lượng. Chất lỏng tiêu hao nhiệt; bánh xe mất nước. Trong cả hai hệ, hành trạng về lâu dài phụ thuộc vào cường độ cung cấp năng lượng.

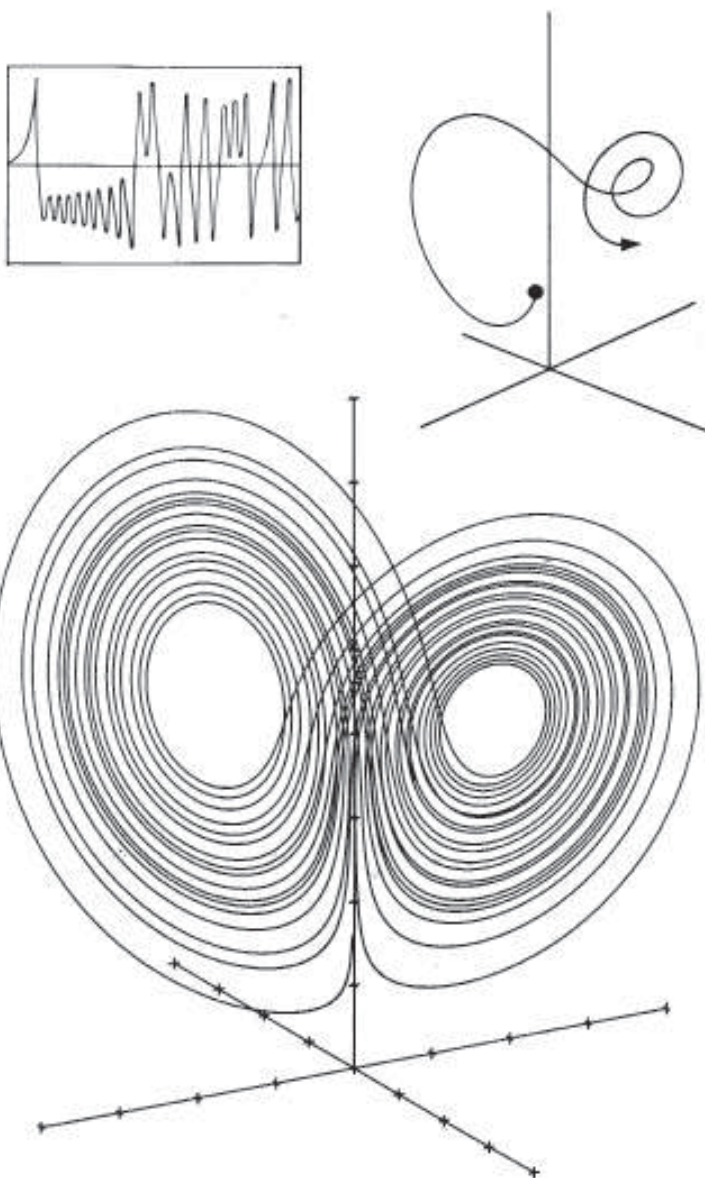
Nước được đổ ở bên trên bánh xe với lưu lượng không đổi. Nếu lưu lượng này yếu, xô trên đỉnh không bao giờ đủ nước để thắng ma sát và bánh xe vẫn đứng yên. (Tương tự như vậy trong một chất lỏng, nếu nhiệt quá thấp thì không thắng được độ nhớt, và như vậy sẽ không làm cho nước chuyển động được).

Nếu lưu lượng lớn hơn, xô nước sẽ nặng hơn và hích bánh xe chuyển động (*trái*) với vận tốc ổn định (*giữa*).

Một hệ khác được mô tả chính xác bằng các phương trình của Lorenz là một loại bánh xe thủy lực, rất giống với hiện tượng đối lưu tròn. Trên đỉnh, nước liên tục chảy xuống các xô chứa treo trên vành bánh xe, đáy các xô này có một lỗ nhỏ cho nước thoát ra liên tục. Khi lưu lượng nước yếu, lượng nước chảy vào không lớn hơn nước chảy ra nên xô nước không đủ nặng để thắng được ma sát; nếu lưu lượng nước tăng lên, trọng lượng nước bắt đầu làm quay bánh xe, và chuyển động quay này có thể trở nên liên tục. Nhưng nếu lưu lượng nước chảy vào nhanh làm cho các xô chứa nước khi lên đến đỉnh vẫn chưa bị chảy hết nước, thì bánh xe sẽ quay chậm lại, dừng lại và sau đó đổi hướng và quay theo hướng này rồi lại theo hướng kia.

Một nhà vật lý tin vào trực giác của mình - trực giác tiền hỗn độn - chắc sẽ nói rằng, với lưu lượng không đổi, một hệ cơ học đơn giản như vậy về lâu dài sẽ đi đến trạng thái dừng. Hoặc là bánh xe quay liên tục, hoặc là nó lắc lư liên tục, sang

Nhưng nếu lưu lượng nước tăng thêm nữa (*phải*), chuyển động quay này có thể, do các tác động phi tuyến gắn liền với hệ, sẽ trở nên hỗn độn. Vận tốc đẩy nước vào các xô gắn trên bánh xe phụ thuộc vào vận tốc quay của bánh xe: nếu vận tốc quay của bánh xe lớn, chúng không có thời gian để được đổ đầy nước. (Tương tự, một chất lỏng trong một cuộn đối lưu quay nhanh có rất ít thời gian để hấp thụ nhiệt). Hơn nữa, nếu bánh xe quay nhanh, các xô lên đến đỉnh mà vẫn chưa kịp bị đổ hết nước đi, bánh xe sẽ quay chậm lại, rồi sau đó đảo ngược chiều chuyển động. Trên thực tế, Lorenz đã phát hiện ra rằng, trong những khoảng thời gian dài, chuyển động quay này có thể đảo chiều nhiều lần, nhưng không bao giờ chuyển động ổn định với một vận tốc không đổi và cũng không bao giờ tự lặp đi lặp lại theo một hình mẫu có thể dự báo được.



James P.Cutchfield/ Adolph E. Brotman

hướng này rồi sang hướng kia, với các khoảng thời gian không đổi. Lorenz đã phát hiện ra một khả năng khác.

Ba phương trình, ba biến, mô tả toàn bộ hoạt động của hệ này. Máy vi tính của Lorenz đưa ra các giá trị liên tiếp của ba biến này: 0-10-0; 4-12-0; 9-20-0; 16-36-2; 30-66-7; 54-115-24; 93-192-74. Những bộ ba số này tăng rồi giảm tùy theo khoảng thời ảo được xác định bởi 5 bước, 100 bước, hay 1000 bước thời gian.

Để hiển thị các dữ liệu này, Lorenz đã coi bộ ba số trên là các tọa độ của một điểm trong không gian 3 chiều. Chuỗi số này sẽ tạo thành một đường cong liên tục biểu diễn hành trạng của hệ. Đường cong này lẽ ra có thể đến một điểm rồi dừng lại, nghĩa là hệ đã đạt đến một trạng thái dừng, trong đó các biến tương ứng với nhiệt độ và vận tốc không tăng nữa. Nó lẽ ra cũng có thể tạo nên một vòng kín và mãi mãi đi theo vòng kín này, tức là hệ đã đạt đến một cấu hình lặp lại một cách tuần hoàn.

NHÂN HÚT LORENZ (trang bên). Hình ảnh kỳ diệu này, giống với mặt một con cú hay cánh bướm, đã trở thành một biểu tượng đối với những người đầu tiên nghiên cứu hỗn độn. Nó phát lộ cấu trúc tinh tế ẩn giấu trong một mớ các dữ liệu rời rạc. Theo truyền thống, người ta có thể biểu diễn các giá trị biến thiên của từng biến số theo chuỗi thời gian (trên). Để làm sáng tỏ mối quan hệ giữa ba biến đòi hỏi một kỹ thuật khác. Các giá trị của ba biến xác định ở mỗi thời điểm vị trí của một điểm trong không gian ba chiều; cùng với quá trình tiến hóa của hệ, chuyển động của điểm này biểu diễn ba biến biến thiên liên tục.

Vì diễn biến của hệ không bao giờ lặp lại y hệt như trước, nên quỹ đạo không bao giờ cắt nhau. Trên thực tế, nó tự cuộn lại mãi mãi. Nếu chuyển động này quanh nhân hút là trừu tượng, thì nó cũng cho một ý niệm về chuyển động của hệ thực. Chẳng hạn, sự chuyển từ của một cánh của nhân hút sang một cánh khác tương ứng với sự đảo chiều quay của bánh xe thủy lực hay của chất lỏng đối lưu.

Nhưng hệ của Lorenz không giống trường hợp thứ nhất cũng chẳng giống trường hợp thứ hai. Trên thực tế, đường cong biểu thị một sự phức tạp vô hạn. Nó luôn được giữ trong một số giới hạn, không vượt ra ngoài trang giấy nhưng cũng không trùng khớp lên chính nó. Nó mô tả một hình dạng kỳ lạ, rất đặc biệt, một kiểu hình xoáy ốc kép ba chiều, như những cánh bướm. Hình dạng này chứng tỏ sự tồn tại của một hỗn độn ở trạng thái thuần túy: không một điểm nào hay nhóm điểm nào xuất hiện hai lần. Tuy nhiên, hình dạng này cũng chứng tỏ sự tồn tại của một trật tự không ngờ tới.

VÀI NĂM SAU, các nhà vật lý học đã bù ngùi nhắc lại bài báo của Lorenz viết về các phương trình này - “một bài báo kỳ diệu”. Người ta nói về nó như thể đó là một bản thảo cổ chứa đựng bí mật bất tử. Trong hàng ngàn bài báo tạo thành tư liệu khoa học về hỗn độn, ít có bài báo nào được trích dẫn nhiều như bài “*Deterministic Nonperiodic Flow*” (Dòng chảy tất định phi tuần hoàn). Trong nhiều năm liền, không một vật nào được lấy làm minh họa nhiều như cái đường cong kỳ diệu được biểu diễn ở cuối bài báo của Lorenz, xoắn kép đã trở nên nổi tiếng dưới cái tên nhân hút Lorenz. Lần đầu tiên, những hình ảnh của Lorenz phát lộ cái mà nhân hút này được xem như có nghĩa là: “Phức tạp”. Toàn bộ sự phong phú của hỗn độn là nằm ở đó.

Tuy nhiên, vào thời kỳ đó, ít nhà nghiên cứu nhận ra điều này. Lorenz đã mô tả nó cho Willem Malkus xem. Malkus là giáo sư toán học ứng dụng của MIT, một nhà khoa học lịch lãm rất có tài đánh giá các công trình của đồng nghiệp. Malkus

cười nói: “Này Ed, chúng ta *biết* - chúng ta biết rất rõ - rằng hiện tượng đối lưu trong các chất lỏng hoàn toàn không diễn ra như vậy.” Sự phức tạp này chắc chắn sẽ phải biến mất, ông nói, và hệ phải trở lại chuyển động ổn định, đều đặn.

20 năm sau, khi đã chế tạo ở dưới tầng ngầm phòng thí nghiệm của mình một bánh quay thủy lực Lorenz thật dễ thuyết phục những người còn hoài nghi, “Đúng là chúng ta đã hoàn toàn chẳng hiểu gì” - Malkus đã phải thừa nhận. Ed hoàn toàn không tư duy bằng ngôn ngữ vật lý của chúng ta. Ông ấy tư duy bằng ngôn ngữ của một loại mô hình trừu tượng và khái quát, có một hành trạng mà ông ấy cảm nhận được bằng trực giác của mình rằng đó là đặc trưng của một số khía cạnh của thế giới thực. Nhưng ông đã hoàn toàn không thể nói với chúng ta về điều đó. Chỉ sau khi thực hành, chúng ta mới hiểu ra cách nhìn sự vật của ông ấy”.

Một số người ngoại đạo đã nhận thấy cộng đồng các nhà khoa học chia rẽ đến mức nào, như một con tàu thiết giáp với những vách ngăn kín. Các nhà sinh học có đủ thứ để đọc mà không cần biết đến toán học, còn các nhà sinh học phân tử lại có đủ thứ để đọc mà không cần phải tìm hiểu về sinh học các quần thể. Các nhà vật lý học có nhiều thứ khác để làm hơn là sàng lọc các tạp chí khí tượng học. Một số nhà toán học lẽ ra đã phải nhiệt thành đón nhận phát hiện của Lorenz: trong khoảng chục năm, các nhà vật lý học, các nhà thiên văn học và sinh học đều muốn đạt được một kết quả như thế, và đôi khi tự mình phát hiện lại kết quả đó. Nhưng Lorenz là một nhà khí tượng học, và không ai nghĩ đến chuyện tìm kiếm hỗn độn ở trang 139, số 20 của tờ *Khoa học về thời tiết* cả.

CÁCH MẠNG

Tất nhiên, mọi cố gắng là nhằm đặt mình ra bên ngoài cái bình thường mà người ta gọi là thống kê.

—STEPHEN SPENDER

NHÀ NGHIÊN CỨU LỊCH SỬ KHOA HỌC Thomas S. Kuhn đã miêu tả một thí nghiệm gây nhiều chú ý của hai nhà tâm lý học thực hiện trong những năm 1940. Các đối tượng nghiên cứu được cho xem loáng qua các quân bài, mỗi quân một lần, sau đó đọc lại tên chúng. Tất nhiên, có một cái bẫy. Một số quân bài đã được đổi khác đi: ví dụ một con 6 bích màu đỏ, hay một con át rô màu đen.

Rất nhanh, các đối tượng dễ dàng trả lời. Đường như không gì dễ hơn thế. Họ không nhận ra một chút gì bất thường cả. Nếu người ta đưa cho họ xem một con 6 bích đỏ, thì họ trả lời hoặc là “6 cơ” hoặc là “6 bích”. Nhưng khi người ta đưa cho họ xem các quân bài trong thời gian lâu hơn, họ sẽ bắt đầu do dự. Họ ý thức được là có vấn đề nhưng không xác định được nó là gì. Ví dụ, một trong số họ nói rằng anh ta đã nhìn thấy cái gì đó là lạ, như một viên đỏ bao quanh một con cơ đen.

Cuối cùng, với một nhịp chậm hơn nữa, phần lớn các đối tượng đã hiểu được cái bẫy. Họ *thấy* những quân bài rơm và

huy động trí óc cần thiết để không bị lừa nữa. Nhưng không phải tất cả đều thế. Một số cảm thấy mất phương hướng và tỏ ra bối rối thực sự. “Tôi không thể làm điều cần làm, một người nói. Lần này tôi thậm chí không nhìn được quân bài. Bây giờ, tôi không biết màu sắc của nó là gì cũng chẳng biết đó là một con bích hay con cơ nữa. Tôi thậm chí không biết chắc chắn con bích giống cái gì nữa. Ôi Chúa ơi!”.

Các nhà khoa học dễ dãi có cái nhìn hời hợt, bất định về những tác phẩm của tự nhiên, đều không khỏi hoang mang và lẫn lộn khi phải đương đầu với sự rời rạc thiếu logic. Nhưng khi sự rời rạc thiếu logic ấy làm thay đổi cách nhìn nhận của một nhà khoa học, thì nó lại có thể dẫn đến những tiến bộ quan trọng nhất. Đó là lập luận của Kuhn và lập luận này dường như đã được lịch sử về hỗn độn khẳng định.

Các quan điểm của Kuhn về phương pháp khoa học và sự xuất hiện của những cuộc cách mạng khoa học gây ra rất nhiều phản bác cũng như ngưỡng mộ khi ông công bố chúng lần đầu tiên vào năm 1962 - và cuộc tranh luận cho tới nay vẫn chưa đến hồi kết thúc. Kuhn đã lật đổ quan niệm truyền thống khẳng định rằng khoa học phát triển bằng sự tích lũy các tri thức - phát minh sau bổ sung vào phát minh trước đó - và rằng các học thuyết mới ra đời dựa trên những kết quả thí nghiệm mới. Ông đã đặt vấn đề xem xét lại quan niệm này về khoa học, một quá trình có sắp xếp nhằm đặt ra những câu hỏi và tìm những câu trả lời cho chúng. Ông đã nhấn mạnh sự tương phản giữa cái mà các nhà khoa học làm trên những bài toán có căn cứ và đã được hiểu rõ trong chuyên ngành của mình, với những nghiên cứu ngoại lệ, phi chính thống, nhưng có thể tạo ra các cuộc cách mạng. Và không phải ngẫu nhiên ông đã

làm cho các nhà khoa học trở nên không còn là các nhà duy lý hoàn hảo một trăm phần trăm nữa.

Theo sơ đồ của Kuhn, khoa học chuẩn định phần lớn chỉ là sự lau chùi, cọ rửa: các nhà thực nghiệm tiến hành những phương án thí nghiệm đã được làm nhiều lần trong quá khứ; các nhà lý luận sơn trát lại bề mặt của lý thuyết, thêm vào chỗ này một viên gạch, khoét chỗ kia một cái lỗ. Vả lại làm sao mà có thể khác được? Nếu tất cả các nhà khoa học phải bắt đầu lại từ đầu, xem xét lại những giả thuyết cơ bản, họ sẽ khó mà đạt được cấp độ chuyên môn cần thiết để tiến hành những nghiên cứu hữu ích. Vào thời Benjamin Franklin, các nhà khoa học có ý định tìm hiểu về điện đều có thể chọn những nguyên tắc cơ bản riêng của mình - mà thực tế, họ buộc phải làm như thế. Nhà nghiên cứu này coi sức hút như là hiệu ứng điện quan trọng nhất, khi coi điện như một loại “hơi” không nhìn thấy được phát ra từ các chất. Nhà nghiên cứu kia lại cho điện là một chất lỏng được vận chuyển bởi chất dẫn điện. Các nhà khoa học này có thể nói với nhau thoải mái như nói với những kẻ ngoại đạo: họ vẫn chưa đạt đến giai đoạn có thể có tiếng nói chung, chuyên biệt, thích hợp với các hiện tượng mà họ nghiên cứu. Ngược lại, một nhà chuyên nghiên cứu động lực học các chất lỏng ở thế kỷ XX khó có thể hy vọng phát triển chuyên ngành của mình nếu không chấp nhận trước hết toàn bộ hệ thống thuật ngữ và tập hợp các kỹ thuật toán học đã có trước đó. Nhưng như thế họ đã vô tình từ bỏ phần lớn quyền tự do hoài nghi các nền tảng của khoa học của mình.

Điểm trung tâm trong các ý tưởng của Kuhn là quan niệm về khoa học chuẩn định như là việc giải các bài toán, loại các bài toán mà sinh viên học lần đầu tiên khi mở sách giáo khoa

ra. Các bài toán như vậy xác định một phong cách thành công đã được chấp nhận, nó đã đưa phần lớn các nhà khoa học vượt qua các lớp nghiên cứu sinh, vượt qua các luận án, và vượt qua việc viết các bài báo khoa học tạo dựng nên sự nghiệp học thuật của họ. Kuhn viết: “Trong các điều kiện chuẩn định, nhà nghiên cứu không phải là một nhà cách tân, mà chỉ là người giải các câu đố, những câu đố mà họ tập trung nghiên cứu chỉ là những bài toán mà họ tin rằng chúng vừa có thể phát biểu được và giải quyết được ngay bên trong truyền thống khoa học hiện có”.

Thế rồi nổ ra các cuộc cách mạng. Một ngành khoa học mới xuất hiện từ một ngành khoa học đang rơi vào ngõ cụt. Một cuộc cách mạng thường có tính liên ngành - tác giả của những phát minh chủ yếu thường lại là những người lạc ra ngoài các giới hạn chuyên môn bình thường của họ. Những vấn đề ám ảnh các nhà lý thuyết này không được thừa nhận là những con đường nghiên cứu chính đáng. Các đề xuất trong luận án của họ không được chấp nhận, các bài báo của họ không được nhận đăng. Bản thân các nhà lý thuyết này cũng không chắc chắn rằng họ sẽ nhận ra lời giải nếu như nhìn thấy nó. Họ chấp nhận đánh bài liều với sự nghiệp của mình. Một số nhà tư tưởng tự do làm việc độc lập, không thể giải thích được họ đang hướng đi tới đâu, thậm chí còn ngại nói những điều mình đang làm với đồng nghiệp... Hình ảnh lãng mạn này, nằm ở ngay trung tâm mô hình của Kuhn, nó đã xuất hiện nhiều lần trong thực tế, trong quá trình khám phá hỗn độn.

Tất cả các nhà khoa học sớm quan tâm đến hỗn độn đều có thể kể lại sự nản chí của mình và sự phản đối công khai của mọi người. Người ta cảnh báo sinh viên rằng họ có thể tiêu tan sự nghiệp nếu làm luận án về một chuyên ngành không được

khẳng định bằng thực nghiệm, và trong chuyên ngành đó giáo viên hướng dẫn hoàn toàn chẳng có thẩm quyền gì. Nếu một nhà vật lý hạt, khi nghe nói về môn toán học mới này, có thể rất thích nó, và nhìn thấy ở đó một đề tài nghiên cứu tuyệt hay, tuyệt hay nhưng khó, thì anh ta cũng cảm thấy rằng không bao giờ nên nói điều đó với các đồng nghiệp của mình. Các giáo sư lớn tuổi hơn có cảm giác trải qua một cuộc khủng hoảng giữa đường đời của mình, khi đặt cược vào một hướng nghiên cứu có thể làm cho nhiều đồng nghiệp không hiểu hoặc phẫn nộ. Nhưng họ cũng cảm nhận được sự phấn khích xuất hiện cùng với niềm tin vào cái mới có thực. Ngay cả những nhà nghiên cứu thuộc các chuyên ngành khác cũng chia sẻ sự phấn khích này, ít nhất là những người tin vào nó. Đối với Freeman Dyson, làm việc tại Viện Nghiên cứu Cao cấp ở Princeton, thông tin về hỗn độn trong những năm 70 “giống như một cú sốc điện”. Còn các nhà nghiên cứu khác có cảm giác lần đầu tiên trong sự nghiệp của mình rằng họ là nhân chứng của một cuộc đổi thay hình mẫu, đổi thay cách thức tư duy.

Các nhà nghiên cứu ngay từ đầu nhận dạng ra hỗn độn, đã phải nát óc suy nghĩ để trình bày các ý tưởng và phát minh của mình sao cho có thể đăng được trên các tạp chí khoa học. Nghiên cứu của họ nằm ở vùng giáp ranh của nhiều môn khoa học - chẳng hạn, nó quá trừu tượng đối với các nhà vật lý học và quá nhiều thực nghiệm đối với các nhà toán học. Đối với một số người, khó khăn trong trao đổi những suy nghĩ mới mẻ này với người khác và phản ứng gay gắt mà họ gặp phải trong các môi trường truyền thống chứng tỏ môn khoa học mới này mang tính cách mạng đến mức nào. Tiếp thu các tư tưởng nông cạn thì dễ; nhưng những tư tưởng đòi hỏi phải

tổ chức lại thế giới quan thì khác, chúng gây ra sự chống đối. Một nhà vật lý học của Viện Công nghệ Georgia, tên là John Ford, đã trích lời Tolstoi: “Tôi biết rằng đa số mọi người, kể cả những người cảm thấy thoải mái trước các vấn đề phức tạp nhất, hiếm khi chấp nhận kể cả những sự thật đơn giản nhất và hiển nhiên nhất nếu nó buộc họ phải chấp nhận rằng những kết luận mà họ đã hào hứng giải thích cho đồng nghiệp, mà họ đã tự hào giảng cho người khác, và họ đã dày công thất nói, từng sợi từng sợi một trong suốt cuộc đời, lại là sai lầm.”

Nhiều nhà khoa học chính thống vẫn còn ý thức một cách mù mờ về sự xuất hiện của môn khoa học này. Một số người, đặc biệt là các chuyên gia về thủy động lực học cổ điển, đã thể hiện mạnh mẽ sự phản nộ. Một phần, các khẳng định về hành trạng của hỗn độn đối với họ có vẻ như kỳ cục và phi khoa học; phần khác, hỗn độn lại dựa trên những lĩnh vực toán học khó và ít quen thuộc.

Số lượng các chuyên gia về hỗn độn đã tăng lên nhanh chóng. Một số cơ quan tổ ra không hài lòng đối với các nhà bác học lạc lối này, nhưng một số khác lại đòi phải có thêm nhiều chuyên gia về hỗn độn hơn nữa. Một số tạp chí đã lập ra những quy định ngầm để ngăn cản các bài báo về hỗn độn; nhưng nhiều tạp chí khác lại đã xuất hiện, chỉ chuyên đăng về hỗn độn. Các chuyên gia nghiên cứu hỗn độn, hay các nhà hỗn độn học, áp đảo về số lượng trong danh sách được cấp học bổng và những giải thưởng quan trọng hàng năm. Giữa những năm 1980, nhờ quá trình truyền bá học thuật này mà các chuyên gia về hỗn độn đã chiếm những vị trí có ảnh hưởng trong các trường đại học. Người ta đã thành lập các trung tâm và các viện dành riêng cho nghiên cứu “động lực học phi tuyến” và các “hệ phức hợp”.

Hỗn độn đã không chỉ trở thành một lý thuyết, một tín điều, mà còn là một phương pháp, một cách làm khoa học. Nó đã tạo ra kỹ thuật sử dụng máy vi tính riêng, không đòi hỏi phải có máy chạy nhanh như các siêu máy tính Cray hoặc Cyber mà chỉ cần các máy tính khiêm tốn miễn là nó cho phép thực hiện sự tương tác một cách mềm dẻo hơn. Đối với các nhà nghiên cứu hỗn độn, toán học đã trở thành một khoa học thực nghiệm, trong đó, máy vi tính thay thế cho các phòng thí nghiệm đầy những ống nghiệm và kính hiển vi. Tất cả dựa trên cách hình ảnh đồ họa. “Các nhà toán học rất thích nghiên cứu mà không phải vẽ hình”, - một chuyên gia về hỗn độn nói.- “Nhưng như vậy thì làm sao họ có thể thấy được mối quan hệ giữa chuyển động này với chuyển động khác? Làm sao họ có thể phát triển được trực giác của mình?” Một số người đang tiến hành nghiên cứu nhưng vẫn thẳng thừng phủ nhận rằng đó là một cuộc cách mạng; những người khác lại vận dụng ngôn ngữ của Kuhn về sự thay đổi hình mẫu tư duy để mô tả những biến đổi mà họ đang chứng kiến.

Về phong cách, các bài báo đầu tiên viết về hỗn độn thường gọi nhớ đến thời Benjamin Franklin ở cách thức lần ngược trở lại các nguyên tắc đầu tiên. Như Kuhn đã nhận xét, mọi khoa học đã được xác lập đều lấy tập hợp các tri thức đã có được dùng làm xuất phát điểm cho mọi nghiên cứu. Để tránh làm cho các đồng nghiệp khỏi chán ngán, các nhà khoa học thường đặt những kiến thức rất chuyên sâu ở phần mở đầu và kết luận bài báo của mình. Trái lại, các bài báo về hỗn độn xuất hiện vào cuối những năm 70 lại đều có cái gì đó mới mẻ, ngay từ lời mở bài cho đến kết luận. Họ thông báo những quan điểm mới và thường kết thúc bằng những lời kêu gọi hành động.

Chúng tôi cho rằng những kết quả này vừa mang tính kích thích vừa mang tính khiêu khích cao. Một bức tranh lý thuyết về sự quá độ chuyển sang sự chảy rối đang bắt đầu xuất hiện. Tâm điểm của hỗn độn là có thể tiếp cận được bằng toán học. Hỗn độn hôm nay tiên báo một tương lai mà không ai có thể phủ nhận. Nhưng để chấp nhận tương lai này, chúng ta phải từ bỏ nhiều thứ của quá khứ.

Hy vọng mới, phong cách mới, và, quan trọng hơn là cách nhìn mới. Các cuộc cách mạng không diễn ra dần dần. Một cách giải thích mới về tự nhiên thay thế cho một cách giải thích khác. Người ta xem xét các vấn đề cũ dưới một ánh sáng mới, và nhiều vấn đề khác lần đầu tiên được nhận ra. Một cái gì đó đã xuất hiện, giống như cả một nền công nghiệp đang được trang bị lại cho một nền sản xuất mới. Theo Kuhn, thì “như cứ thể bỗng nhiên giới nghiên cứu bị chuyển đến một hành tinh khác, tại đó các đối tượng nghiên cứu được nhìn nhận dưới một ánh sáng khác và gắn với nhiều đối tượng không quen thuộc khác”.

CON CHUỘT THÍ NGHIỆM của khoa học mới này là con lắc, một biểu tượng của cơ học cổ điển, một kiểu mẫu lý tưởng của tác động bị ràng buộc, một hình ảnh thu nhỏ về tính đều đặn của một bộ máy đồng hồ. Một vật có khối lượng đứng đưa tự do ở đầu một thanh: hỏi còn có gì xa cách hơn đối với sự hỗn loạn của sự chảy rối?

Giống như Archimedes có bồn tắm và Newton có quả táo, theo một giai thoại đã trở thành kinh điển nhưng đáng ngờ, thì Galileo có chùm đèn treo liên tục lắc lư, liên tục gửi cho bộ óc của ông một thông điệp đơn điệu của mình. Bằng việc

biến khả năng tiên đoán được của con lắc thành một phương tiện để đo thời gian, Christian Huygens đã dẫn nền văn minh phương Tây vào một con đường không thể thoái lui. Tại Điện Panthéon ở Paris, Foucault đã sử dụng một con lắc cao 20 tầng để chứng minh sự tự quay của Trái đất. Tất cả đồng hồ treo tường và đồng hồ đeo tay (trước khi xuất hiện đồng hồ quartz) đều hoạt động dựa vào con lắc với hình dạng và kích thước xác định. (Về điểm này, dao động của quartz cũng không khác là mấy). Nếu trong không gian, không có ma sát, chuyển động tuần hoàn được biểu diễn bằng quỹ đạo của các thiên thể, thì trên Trái đất, hầu như tất cả các dao động đều đặn đều được tạo ra bởi các vật có họ hàng xa gần với con lắc. Những phương trình mô tả các mạch điện, về cơ bản, cũng giống như phương trình mô tả chuyển động lắc lư của con lắc. Ngay cả khi dao động của các mạch đó nhanh hơn gấp hàng triệu lần đi nữa, thì vật lý của chúng vẫn giống nhau. Nhưng vào thế kỷ XX, cơ học cổ điển này chỉ còn xuất hiện trong các lớp học và các dự án hàng ngày của các kỹ sư. Các con lắc trở thành vật trang trí cho các viện bảo tàng khoa học và làm cho các quầy bán đồ lưu niệm ở sân bay thêm sinh động. Không một nhà vật lý nào còn quan tâm đến các con lắc nữa.

Tuy nhiên, con lắc vẫn còn chứa trong nó nhiều bất ngờ. Nó đã trở thành hòn đá thử, như nó đã từng là đối với cuộc cách mạng Galileo. Khi Aristotle quan sát con lắc, ông đã nhìn thấy ở đó một trọng lực hướng xuống đất nhưng vẫn lắc lư mạnh do sự ràng buộc của sợi dây. Điều đó nghe có vẻ ngớ ngẩn đối với một đầu óc hiện đại. Đối với một người gắn bó với những quan niệm cổ điển về chuyển động, quán tính và lực hấp dẫn, thì thật khó đánh giá hết thế giới quan nhất quán phù hợp với những hiểu biết của Aristotle về chuyển động

của con lắc. Theo Aristote, chuyển động vật lý không phải là một đại lượng hay một lực, mà là một loại thay đổi, hết như sự tăng trưởng của con người cũng là một sự thay đổi. Một vật rơi tự do đơn giản là để tìm trạng thái tự nhiên nhất của nó, trạng thái mà nó sẽ tự đạt được nếu người ta bỏ mặc nó. Trong trường hợp này, quan niệm của Aristotle có logic của nó. Trái lại, khi Galileo quan sát con lắc, ông đã thấy ở đó một sự đều đặn, một tính quy luật có thể đo đếm được. Giải thích sự đều đặn này đòi hỏi một cuộc cách mạng trong nhận thức về chuyển động của các vật. Lợi thế của Galileo so với những người Hy Lạp cổ đại không phải là ông có nhiều dữ liệu hơn. Mà ngược lại, để đo thời gian của con lắc, ông tập hợp các bạn lại để đếm số dao động của nó trong vòng 24 tiếng đồng hồ - một thí nghiệm cần nhiều người tham gia. Sở dĩ Galileo đã nhận ra tính đều đặn của con lắc, chính bởi vì ông đã có một lý thuyết tiên đoán điều đó. Ông đã hiểu được cái mà Aristotle không hiểu: một vật chuyển động có xu hướng giữ nguyên chuyển động, và một thay đổi về tốc độ hay hướng chuyển động chỉ có thể được giải thích bằng sự tác động của một lực bên ngoài, như lực ma sát, chẳng hạn.

Trên thực tế, lý thuyết của ông mạnh đến mức ông đã phát hiện ra cả sự đều đặn *chưa từng tồn tại*. Ông khẳng định rằng một con lắc có chiều dài xác định không những chỉ thời gian chính xác, mà còn lắc theo đúng nhịp đó bất kể góc lệch của nó là rộng hay hẹp. Một con lắc thực hiện dao động với những góc lớn thì phải đi một quãng đường dài hơn, nhưng nó cũng lại chuyển động nhanh hơn. Nói cách khác, chu kỳ chuyển động của con lắc độc lập với biên độ dao động của nó. “Nếu hai người cùng bắt đầu đếm các dao động, một người đếm các dao động

lớn, người kia đếm các dao động nhỏ, thì họ nhận thấy rằng dù họ có đếm không chỉ hàng chục mà hàng trăm dao động đi nữa, thì số dao động mà họ đếm được không hề sai khác nhau dù chỉ một dao động, hay thậm chí dù chỉ một phần của dao động”. Nếu Galileo đã tuyên bố khẳng định này dựa trên một thí nghiệm, thì chính lý thuyết của ông đã làm cho nó trở nên thuyết phục hơn - thuyết phục đến nỗi người ta giảng dạy nó như kinh phúc âm trong các trường đại học. Nhưng khốn nỗi nó lại sai. Tính đều đặn mà Galileo phát hiện ra chỉ là gần đúng. Một sự thay đổi về góc của con lắc sẽ làm xuất hiện một tính phi tuyến nhỏ trong các phương trình. Ở biên độ bé, sai số nhỏ này gần như không tồn tại. Nhưng nó hoàn toàn có thật, và người ta có thể đo được nó ngay cả trong một thí nghiệm rất đơn giản như thí nghiệm mà Galileo đã mô tả.

Các phi tuyến nhỏ rất dễ bị bỏ qua. Các nhà thực nghiệm nhanh chóng hiểu rằng họ sống trong một thế giới không hoàn hảo. Từ thời Galileo và Newton, sự kiếm tìm cái đều đặn, tính quy luật trong thí nghiệm là rất quan trọng. Tất cả những nhà thực nghiệm đều tìm kiếm các hằng lượng, hoặc các đại lượng bằng không. Nhưng như thế nghĩa là loại bỏ các yếu tố mất trật tự đã làm nhiễu động một bức tranh rất rõ nét. Nếu một nhà hóa học thấy hai chất theo một tỉ lệ, hôm đầu là 2,001, hôm sau là 2,003 và hôm sau nữa là 1,998, thì thật sẽ là ngớ ngẩn nếu anh ta không tìm kiếm một lý thuyết giải thích một tỉ lệ chính xác bằng 2.

Để thu được các kết quả tròn trặn như thế, Galileo cũng đã phải loại bỏ các phi tuyến mà ông biết: ma sát và lực cản của không khí. Lực cản của không khí là một yếu tố ảnh hưởng trong thí nghiệm ai cũng biết, một rắc rối cần phải vứt bỏ để

đạt tới cái cốt lõi của khoa học mới là cơ học. Một cái lông liệu có rơi nhanh bằng một hòn đá? Mọi thí nghiệm về chuyển động rơi của các vật đều trả lời là không. Chuyện Galileo thả các quả cầu từ đỉnh của tháp nghiêng Pisa - người ta đồn thê - trên thực tế chính là một sự *thay đổi* trực giác bằng cách tưởng tượng ra một thế giới khoa học lý tưởng, trong đó người ta có thể tách những thứ đều đặn, có quy luật ra khỏi những thứ mất trật tự, hỗn loạn của thí nghiệm.

Đối với một khối lượng xác định, việc tách tác động của lực hấp dẫn ra khỏi các hiệu ứng của lực cản không khí là một thành tựu trí tuệ xuất sắc. Nó cho phép Galileo tiến gần tới bản chất của quán tính và động lượng. Nhưng trong thế giới thực, các con lắc kết thúc đúng như hình mẫu tư duy kỳ quặc của Aristotle đã tiên đoán. Chúng dừng lại.

Trong quá trình đặt nền móng cho sự thay đổi hình mẫu tư duy tiếp theo, các nhà vật lý phải đương đầu với điều mà nhiều người trong số họ tin, đó là sự thiếu hụt trong học vấn của họ về những hệ đơn giản như con lắc. Thế kỷ của chúng ta đã nhận ra một số quá trình tiêu tán năng lượng - như ma sát chẳng hạn - và sinh viên đã học cách đưa chúng vào các phương trình của mình. Họ cũng biết rằng các hệ phi tuyến nhìn chung không thể giải được - điều này đúng, và rằng chúng có lẽ là những ngoại lệ - điều này thì sai. Cơ học cổ điển mô tả hành trạng của cả một nhóm vật đang chuyển động, những con lắc đơn và con lắc kép, những lò xo xoắn và lưỡi lam có lò xo. Toán học được ứng dụng vào các hệ chất lỏng và các hệ điện. Nhưng vào thời vật lý cổ điển, hầu như không có ai nghi ngờ rằng hỗn độn lại có thể ẩn nấp trong các hệ động lực nếu người ta dành cho phi tuyến vị trí xứng đáng của nó.

Một nhà vật lý học không thể thực sự hiểu được sự chảy rôi hoặc sự phức tạp nếu không hiểu các con lắc - và hiểu chúng theo cách mà người ta không thể hình dung được trong nửa đầu thế kỷ XX. Khi hỗn độn bắt đầu thống nhất sự nghiên cứu về các hệ khác nhau, động lực học về con lắc được mở rộng ra để bao trùm các công nghệ cao, từ laser đến các lớp tiếp xúc Josephson siêu dẫn. Một số phản ứng hóa học có một hành trạng tuần hoàn kiểu con lắc như nhịp tim. Một nhà vật lý học đã viết rằng các khả năng bất ngờ này đã mở rộng sang “sinh lý học và tâm thần học, dự báo kinh tế và có thể cả sự tiến triển của xã hội nữa”.

Hãy quan sát một cái đu trong sân chơi. Nó chuyển động nhanh hơn khi đi xuống và chậm dần khi đi lên, rồi mất dần vận tốc vì ma sát. Chúng ta hãy truyền cho nó một cú đẩy đều đặn - như bằng một cơ chế đồng hồ, chẳng hạn. Trực giác nói với chúng ta rằng dù xuất phát điểm của nó có thể nào chẳng nữa thì rồi cuối cùng chiếc đu cũng sẽ an bài ở một chế độ lên xuống đều đặn, và luôn đạt đến một độ cao như nhau ở tất cả các lần. Có thể là như vậy lắm. Nhưng, thật kỳ lạ, chuyển động này cũng có thể trở nên không đều, với những lên xuống ban đầu ở biên độ lớn, sau đó nhỏ dần, nhưng không bao giờ chịu an bài ở trạng thái dừng và cũng không bao giờ lặp lại chính xác quỹ đạo mà nó đã đi qua trước đó.

Hành trạng kỳ lạ và không đều này là hệ quả của sự biến thiên phi tuyến trong dòng năng lượng vào và ra của dao động tử đơn giản này. Cái đu vừa chuyển động tắt dần lại vừa được duy trì chuyển động: tắt dần vì ma sát kéo nó về trạng thái dừng hẳn, và duy trì bởi nó nhận được một lực đẩy tuần hoàn. Ngay cả khi một hệ, vừa tắt dần vừa được duy trì, là cân bằng

thì nó cũng không cân bằng, và loại hệ này nhan nhản trong tự nhiên, bắt đầu từ khí quyển, bị kéo chậm lại bởi ma sát của không khí và nước chuyển động, và bởi sự tiêu tán nhiệt cho không gian bên ngoài, nhưng lại được duy trì bởi tác động liên tục của năng lượng Mặt trời.

Nhưng tính không thể tiên đoán không phải là lý do để, trong những năm 60-70 của thế kỷ XX, các nhà vật lý học và toán học phải quan tâm trở lại các con lắc một cách nghiêm túc. Nó chỉ có tác dụng thu hút sự chú ý của họ. Những người nghiên cứu động lực học của hỗn độn đã phát hiện ra rằng hành trạng hỗn độn của các hệ đơn giản tác động như một quá trình *sáng tạo*. Nó có thể sinh ra tính phức tạp: các hình thái được tổ chức đa dạng, lúc bền vững, lúc không bền vững, lúc hữu hạn, lúc vô hạn, nhưng lúc nào cũng có sức cuốn hút của sự sống động. Đó là lý do khiến các nhà khoa học thích chơi các đồ chơi.

Một trong những đồ chơi này được bán dưới cái tên “khối cầu không gian” hay “xà treo không gian”, gồm hai quả cầu đặt ở hai đầu mút một thanh đặt giống như nét ngang của một chữ T ở đỉnh của một con lắc, và quả cầu thứ ba, nặng hơn, đặt ở chân chữ T. Quả cầu bên dưới dao động qua lại, trong khi thanh ở bên trên quay tự do. Trong cả ba quả cầu này đều có một nam châm nhỏ. Khi được thả cho dao động, chuyển động của hệ này được duy trì bằng một nam châm điện đặt trong bộ, nam châm này có nhiệm vụ truyền một xung lực từ cho quả cầu bên dưới khi nó chuyển động đến gần. Đôi khi đồ chơi này dao động nhịp nhàng, đều đặn. Nhưng cũng có khi, chuyển động của nó có lại hỗn độn, thay đổi liên tục và đầy bất ngờ.

Một thứ đồ chơi thường gặp nữa gọi là con lắc cầu - một con lắc tự do dao động không phải trong một mặt phẳng cố định, mà theo mọi hướng. Một số nam châm nhỏ được đặt thành vòng tròn xung quanh bề để hút vật nặng bằng kim loại, và khi con lắc dừng lại nó sẽ bị một trong số các nam châm đó hút chặt. Nội dung của trò chơi là thả cho con lắc dao động sau đó đoán xem nam châm nào sẽ hút được nó. Dù chỉ với 3 nam châm đặt thành hình tam giác, ta cũng không thể dự đoán được chuyển động của con lắc. Nó dao động trong một khoảng thời gian giữa hai điểm A và B, sau đó bỗng nhiên lại chuyển hướng sang B và C, và khi có vẻ dừng lại ở C, nó lại nhảy về phía A. Hãy hình dung một nhà khoa học khảo sát một cách hệ thống hành trạng của đồ chơi này bằng cách vẽ một bản đồ như sau: ông chọn một điểm khởi đầu, đưa con lắc tới vị trí đó rồi thả nó ra; sau đó, ông đánh dấu điểm này bằng màu đỏ, lam hoặc lục tùy theo nam châm nào cuối cùng bắt được vật nặng của con lắc. Anh ta sẽ thu được một hình ảnh như thế nào? Sẽ có những vùng hoàn toàn đỏ, toàn lam hoặc toàn lục, như người ta trông đợi - những vùng mà ở đó chắc chắn con lắc cuối cùng sẽ được hút chặt bởi một nam châm cụ thể. Nhưng cũng sẽ có những vùng mà các màu sắc lẫn lộn với nhau một cách vô cùng phức tạp. Xung quanh một chấm màu đỏ, dù nhìn gần và phóng đại lên, người ta vẫn thấy những chấm màu lục và màu lam. Trên thực tế, không thể đoán được vị trí cuối cùng của con lắc.

Theo truyền thống, một nhà nghiên cứu động lực học cho rằng thiết lập các phương trình của một hệ nghĩa là hiểu hệ đó. Nhưng làm thế nào có thể hiểu rõ hơn những đặc tính cơ bản của nó? Dù là đối với một cái đu hay một con lắc, thì các

phương trình liên hệ li độ góc, vận tốc, ma sát và lực duy trì cũng đều như nhau. Nhưng vì chúng chứa đựng một yếu tố phi tuyến nhỏ, nên nhà động lực học không thể trả lời được các câu hỏi cụ thể đơn giản nhất về tương lai của hệ. Một chiếc máy vi tính có thể tấn công vấn đề này bằng cách mô phỏng hệ, và tính toán nhanh chóng mỗi chu kỳ, nhưng bản thân sự mô phỏng này cũng có vấn đề: hệ phụ thuộc nhạy vào các điều kiện ban đầu, sự không chính xác nhỏ trong mỗi tính toán sẽ nhanh chóng tăng lên. Và rất nhanh, tín hiệu biến mất và chỉ còn nhiễu tạp.

Phải chăng điều đó đúng? Lorenz không chỉ phát hiện ra tính không thể tiên đoán: ông còn phân biệt được các hình mẫu. Các nhà nghiên cứu khác cũng đã phát hiện ra các dấu hiệu về cấu trúc trong một hành trạng bề ngoài có vẻ là ngẫu nhiên. Và nếu ví dụ về con lắc là tương đối dễ bị xem thường, thì những người chọn cách không xem thường nó lại thấy ở đó một thông điệp kích thích suy nghĩ của họ. Họ ý thức rằng trong một chừng mực nào đó, vật lý học đã hiểu đầy đủ các cơ chế cơ bản của chuyển động con lắc, nhưng lại không thể mở rộng hiểu biết đó cho một thời gian dài. Hành trạng vi mô hoàn toàn rõ ràng; nhưng hành trạng vĩ mô vẫn là một bí mật. Thói quen nhìn cục bộ các hệ - bằng cách tách rời các cơ cấu, rồi sau đó kết hợp chúng lại với nhau - bắt đầu sụp đổ. Đối với các con lắc, chất lỏng, mạch điện, tia laser, những hiểu biết về các phương trình cơ bản không còn hoàn toàn phù hợp nữa.

Vào những năm 1960, các nhà khoa học đã có những phát hiện độc lập giống với phát hiện của Lorenz: chẳng hạn, đó là các phát hiện của nhà thiên văn học người Pháp khi nghiên cứu các quỹ đạo trong thiên hà, và của một kỹ sư điện người Nhật

khi lập mô hình các mạch điện. Nhưng những cố gắng đầu tiên có chủ đích và phối hợp để hiểu hành trạng tổng thể có thể khác với hành trạng cục bộ như thế nào là của các nhà toán học. Trong số họ, có Stephen Smale, thuộc Đại học California, ở Berkeley, nổi tiếng vì đã chứng minh được những vấn đề bí hiểm nhất của tô pô học trong các không gian nhiều chiều. Trong một cuộc hội thảo, một nhà vật lý trẻ đã hỏi Smale nghiên cứu dựa trên cái gì. Câu trả lời đã khiến anh ngạc nhiên: “Các dao động tử”. Thật là phi lý. Các dao động tử - các con lắc, lò xo, mạch điện - thuộc loại vấn đề mà một nhà vật lý học phải loại ra khỏi những nghiên cứu của mình ngay từ đầu - đó là những vấn đề quá dễ dàng. Lý do nào khiến một nhà toán học lớn phải nghiên cứu vật lý sơ cấp? Ít năm sau đó, nhà vật lý trẻ này đã hiểu rằng Smale quan tâm đến các dao động tử phi tuyến, các dao động tử hỗn độn, và rằng ông đã thấy những điều mà các nhà vật lý đã từng được học, nhưng không nhìn thấy.

SMALE ĐÃ ĐƯA RA MỘT PHỎNG ĐOÁN TÔI. Bằng ngôn ngữ toán học chính xác nhất, ông đưa ra giả thiết cho rằng, trong phần lớn thời gian, hầu như tất cả các hệ động lực đều tiến đến một hành trạng không quá kỳ lạ. Như chính ông không lâu sau đó đã thấy, mọi thứ không đơn giản như vậy.

Smale là nhà toán học không giới hạn ở việc chỉ giải các bài toán; ông còn lập ra danh sách các bài toán để cho các nhà toán học khác giải. Dựa trên sự hiểu biết về lịch sử và trực giác của mình về tự nhiên, ông đã bình tĩnh thông báo với họ rằng đã đến lúc phải lao vào một lĩnh vực nghiên cứu hoàn toàn còn chưa được khám phá. Như một doanh nhân phát đạt, ông đánh giá các rủi ro và lạnh lùng lập ra chiến lược, rồi sau đó,

như anh chàng thổi sáo Hameln, ông lôi kéo theo mình nhiều nhà nghiên cứu. Nhưng sự nổi tiếng của ông không chỉ giới hạn trong lĩnh vực toán học. Vào lúc bắt đầu cuộc chiến tranh Việt Nam, cùng với Jerry Rubin, ông đã tổ chức “Những ngày quốc tế phản đối chiến tranh”, và bảo trợ cho những nỗ lực phong tỏa các chuyến tàu chở lính Mỹ đi qua California. Năm 1966, khi Ủy ban về các hoạt động chống Mỹ của Nghị viện định kiện ông ra tòa, ông đã đến Mátxcova để tham gia Đại hội toán học quốc tế. Tại đây, ông đã được nhận huy chương Fields, vinh dự cao nhất trong sự nghiệp của ông.

Sau này, thời kỳ ông ở Mátxcova vào mùa hè năm 1966 đã trở thành huyền thoại Smale. 5000 nhà toán học khuấy động và bị khuấy động đã tập hợp tại đây. Sự căng thẳng về chính trị lên đến mức rất cao. Khi Đại hội chuẩn bị kết thúc, Smale đã nhận lời đề nghị của một nhà báo Bắc Việt Nam tổ chức họp báo ngay trên những bậc thềm rộng ở cửa trường Đại học Mátxcova. Ông bắt đầu bằng việc lên án sự can thiệp của Mỹ vào Việt Nam, sau đó, trong khi khách mời bắt đầu cười, ông đã lên án Liên Xô xâm lược Hungaria và sự thiếu tự do chính trị ở Liên Xô. Vừa dứt lời, ông đã bị đẩy vào xe ô-tô để các nhà chức trách Xô Viết thẩm vấn. Khi ông trở về California, Ủy ban Khoa học Quốc gia đã cắt tài trợ cho ông.

Huy chương Fields được trao cho Smale là nhờ một công trình lớn của ông về tôpô học, một ngành toán học đã phát triển từ đầu thế kỷ XX và đạt đến thời hoàng kim trong những năm 1950. Ngành tôpô học nghiên cứu các tính chất bất biến của các vật qua các biến dạng - xoắn, kéo giãn hoặc co lại. Trong tôpô học, hình dạng của vật, vuông hay tròn, lớn hay bé, không quan trọng; các tính chất này có thể thay đổi,

chẳng hạn như khi ta kéo giãn vật. Các nhà tô pô học tìm hiểu xem một hình dạng có liên thông không, liệu nó có những lỗ thủng hay thắt nút gì không. Họ hình dung ra các mặt không chỉ trong các vũ trụ Euclid một, hai hay ba chiều, mà còn cả trong các không gian nhiều chiều, không thể hình dung nổi. Tô pô học là hình học trên các bề mặt đàn hồi. Nó quan tâm đến chất hơn là lượng, và đặt câu hỏi: “Nếu bạn không biết các kích thước thì bạn có thể nói gì về cấu trúc tổng thể?” Smale đã giải quyết một trong những vấn đề dai dẳng nổi tiếng nhất của tô pô học, đó là giả thuyết Poincaré về những không gian có số chiều nhiều hơn hoặc bằng 5, một giả thuyết đã vĩnh viễn xếp Poincaré vào một trong những vị trí cao nhất của lĩnh vực này. Nhưng trong những năm 1960, Smale đã bỏ tô pô học để khai phá một mảnh đất chưa ai biết tới: các hệ động lực.

Hai chủ đề này, tô pô học và các hệ động lực, đều bắt nguồn từ Poincaré, người đã nhìn thấy trong đó hai mặt của cùng một vấn đề. Đầu thế kỷ XX, Poincaré là nhà toán học lớn cuối cùng sử dụng trực giác hình học để nghiên cứu các quy luật chuyển động. Ông là người đầu tiên ý thức được sự tồn tại của hỗn độn; các bài viết của ông thường nhắc đến một dạng của tính không thể tiên đoán cũng cứng đầu hệt như khả năng không thể tiên đoán được mà Lorenz đã phát hiện ra. Nhưng sau khi ông mất, trong khi tô pô học phát triển thì các hệ động lực lại thoái trào. Khái niệm này thậm chí còn bị lãng quên: đối tượng mà Smale hướng đến được gọi là các phương trình vi phân. Các phương trình này mô tả sự vận động của các hệ theo thời gian. Trước kia người ta xem xét các hệ này một cách cục bộ: các kỹ sư và các nhà vật lý học mới chỉ xét một tập hợp các khả năng ở một thời điểm nhất định. Smale, cũng

như Poincaré, lại muốn hiểu nó một cách toàn cục: hiểu đồng thời tất cả các khả năng của chúng.

Trong tất cả các phương trình mô tả một hệ động lực - các phương trình của Lorenz, chẳng hạn - người ta có thể xác định được ngay từ đầu một vài tham số - như độ nhớt của chất lỏng trong trường hợp đối lưu nhiệt. Một sự biến thiên lớn của các tham số này có thể kéo theo những khác biệt lớn trong một hệ - chẳng hạn, sự khác biệt giữa trạng thái dừng và trạng thái dao động tuần hoàn. Nhưng các nhà vật lý học cũng đã giả định rằng những thay đổi cực nhỏ chỉ dẫn tới những khác biệt rất nhỏ về trị số, mà không kéo theo sự thay đổi về lượng nào của hành trạng.

Sự kết hợp tôpô học với các hệ động lực cho phép sử dụng đồ thị để hiển thị toàn bộ hành trạng của một hệ. Đó có thể là một mặt cong trong trường hợp một hệ đơn giản, một đa tạp nhiều chiều đối với một hệ phức tạp. Một điểm trên bề mặt biểu thị trạng thái của hệ ở một thời điểm nhất định. Hệ thay đổi theo thời gian, thì điểm này di chuyển và vẽ nên một quỹ đạo trên bề mặt này. Bề cong nhẹ nhàng bề mặt này nghĩa là làm biến thiên các tham số của hệ, như làm cho một chất lỏng nhớt hơn hay truyền một lực duy trì mạnh hơn cho một con lắc. Các hình giống nhau tương ứng với các loại hành trạng giống nhau. Nếu bạn có thể làm hiển thị hình này, bạn sẽ hiểu được hệ.

Khi Smale quay sang các hệ động lực, thì sự nghiên cứu về tôpô, cũng như trong phần lớn các môn toán học thuần túy khác, được tiến hành mà không cần phải quan tâm đến các ứng dụng vào thế giới thực. Nếu nguồn gốc của tôpô học ban đầu gắn bó mật thiết với vật lý, thì các nhà toán học đã lãng quên nó: họ nghiên cứu các hình chỉ vì các hình đó mà thôi.

Smale hoàn toàn tán thành nguyên tắc này - ông là người thuần toán nhất trong những người thuần toán. Tuy nhiên, ông đã có suy nghĩ rằng sự phát triển trừu tượng, bí hiểm của tô pô học giờ đây có thể góp phần vào sự phát triển của vật lý, theo dự định của Poincaré hồi đầu thế kỷ.

Một trong những đóng góp đầu tiên của Smale là phỏng đoán sai của ông. Bằng ngôn ngữ vật lý, ông đã nêu ra một quy luật của tự nhiên đại loại như sau: một hệ có thể xử sự một cách thất thường, nhưng hành trạng thất thường này không thể là *bền* được. Sự bền - “bền theo nghĩa của Smale” như các nhà toán học thỉnh thoảng vẫn nói - là một tính chất rất quan trọng. Một hành trạng bền là một hành trạng không bị ảnh hưởng bởi một sự thay đổi dù rất nhỏ của một tham số. Hệ nào cũng có thể có hành trạng bền và không bền. Các phương trình mô tả một chiếc bút chì đứng thẳng bằng trên đầu nhọn của nó chấp nhận một nghiệm rất đẹp về mặt toán học, theo đó, trọng tâm của bút chì nằm trên cùng một đường thẳng đứng với mũi của nó - nhưng người ta không thể làm cho chiếc bút chì đứng trên mũi của nó mãi, bởi vì nghiệm này là không bền. Chỉ cần một nhiễu loạn dù rất nhỏ cũng có thể kéo hệ ra khỏi nghiệm này. Trái lại, một viên bi ở đáy bát là bền vững: nếu người ta đẩy nhẹ nó, thì nó sẽ trở về vị trí ban đầu của mình. Vì trong các hệ thực, những nhiễu loạn và bất định nhỏ là khó tránh khỏi, nên các nhà vật lý cho rằng mọi hành trạng mà họ thường xuyên quan sát thấy nhất thiết phải là bền vững. Bạn không bao giờ có thể biết một cách chính xác tuyệt đối các tham số. Nếu bạn tìm kiếm một mô hình vừa thực vừa bền vững trước những nhiễu loạn cực nhỏ, thì các nhà vật lý lập luận rằng, đó chính là vì bạn muốn có một mô hình bền vững.

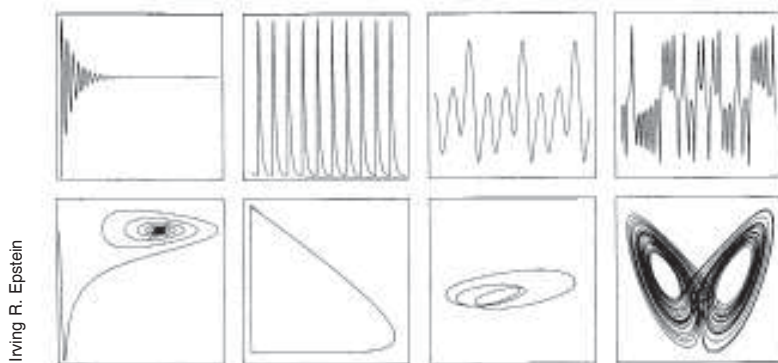
Ít lâu sau lễ Noel năm 1959, khi Smale đang sống tạm ở Rio de Janerio cùng với vợ, hai con, và một đồng tá lót, ông nhận được tin chẳng lành qua đường bưu điện. Phỏng đoán của ông xác định một họ các phương trình vi phân, tất cả đều bền (hay ổn định) về cấu trúc. Ông đã khẳng định rằng, mọi hệ hỗn độn đều có thể tiến gần một hệ thuộc họ này bao nhiêu cũng được. Nhưng thực tế không phải vậy. Một bức thư của một đồng nghiệp đã cho ông biết rằng rất nhiều hệ có hành trạng không như ông tưởng, và đưa ra một phản ví dụ, đó là một hệ trong đó hỗn độn tồn tại song song với tính bền vững. Hệ này bền vững trước mọi nhiễu loạn. Nếu người ta gây cho hệ một nhiễu loạn nhỏ - như mọi hệ tự nhiên thường bị ồn nhiễu làm cho nhiễu loạn - thì tính chất kỳ lạ này vẫn không bị biến mất. Bền vững và kỳ lạ - Smale nghiên cứu bức thư này với sự hoài nghi dần dần tiêu tan.

Hỗn độn và không bền, hai khái niệm vừa bắt đầu có được những định nghĩa hình thức, là những khái niệm hoàn toàn khác nhau. Một hệ hỗn độn có thể là bền nếu đặc tính mất trật tự của nó vẫn được duy trì trước những nhiễu loạn nhỏ. Hệ của Lorenz là một ví dụ - nhưng phải nhiều năm sau Smale mới nghe nói về Lorenz. Hỗn độn mà Lorenz phát hiện ra cũng ổn định (bền) như một viên bi ở đáy bát. Người ta có thể thêm vào nhiễu tạp, như rung nhẹ nó, lắc nó, can thiệp vào chuyển động của nó, nhưng khi tất cả những nhiễu loạn này dịu đi, yếu đi như tiếng vang trong vực sâu, hệ sẽ trở lại trạng thái bất thường của nó. Nó không thể dự báo một cách cục bộ, nhưng bền vững về toàn cục. Không một ai nghĩ rằng các hệ động lực trên thực tế lại bị chi phối bởi một tập hợp các quy tắc phức tạp đến vậy. Ví dụ nêu trong bức thư mà Smale

nhận được ứng với một hệ khá đơn giản, đã được phát hiện trước đó 30 năm, nhưng đã bị lãng quên hoàn toàn. Đó là một con lắc giả trang, mà cụ thể là một mạch dao động phi tuyến, được cấp năng lượng một cách tuần hoàn, như một đĩa trẻ trên chiếc đu.

Đó chỉ là một chiếc đèn điện tử đơn giản, do một kỹ sư điện người Hà Lan tên là Balthasar van der Pol nghiên cứu trong những năm 1920. Ngày nay, một sinh viên vật lý có thể dễ dàng nghiên cứu hành trạng của một dao động tử như vậy bằng cách quan sát tín hiệu trên màn hình của máy dao động ký. Nhưng ngày ấy, Van der Pol không có máy đó: ông phải theo dõi mạch điện của mình bằng cách nghe những thay đổi về âm điệu trong một tổ hợp điện thoại. Khi ông thay đổi dòng điện cấp cho mạch, ông rất vui mừng phát hiện thấy các hành trạng không có gì là khác thường cả. Âm điệu thay đổi đột ngột khi chuyển từ tần số này sang tần số tiếp sau. Tuy nhiên, thỉnh thoảng, van der Pole lại nhận thấy một cái gì đó khác lạ. Hành trạng có vẻ khác thường một cách khó hiểu. Nhưng ông đã không đặc biệt chú ý tới hiện tượng đó: “Người ta vẫn thường nghe thấy trong điện thoại một tiếng ồn bất thường trước khi tần số nhảy sang giá trị thấp hơn liền kề”, ông viết trong một bức thư gửi cho tạp chí *Nature*. “Tuy nhiên, đó chỉ là một hiện tượng phụ.” Van der Pol là một trong rất nhiều nhà vật lý đã nhận ra hỗn độn, nhưng chưa có ngôn ngữ để hiểu được nó. Đối với các kỹ sư chế tạo đèn điện tử, sự khoá tần số này là rất quan trọng. Nhưng đối với những người muốn tìm hiểu bản chất của sự phức tạp, thì hành trạng thực sự đáng quan tâm lại chính là cái “nhiều tạp bất thường” được sinh ra bởi sự cạnh tranh giữa các tần số cao hơn và thấp hơn.

Mặc dù phỏng đoán Smale là sai lầm, nhưng nó cũng đã cho phép ông hiểu được một cách trực tiếp toàn bộ sự phức tạp của các hệ động lực. Nhiều nhà toán học đã quan tâm đến dao động tử của van der Pol; vì Smale đã mở ra cho họ những chân trời mới. Máy dao động ký duy nhất của ông chính là trí tuệ của ông, một trí tuệ được trui rèn bởi nhiều năm nghiên cứu vũ trụ của tôpô học. Smale đã xác định tất cả các hành trạng khả dĩ của một dao động tử, hay toàn bộ “không gian pha” của nó, nói theo ngôn từ của các nhà vật lý. Trạng thái của hệ ở một thời điểm xác định được biểu diễn bằng một điểm của không gian này, một điểm chứa đựng mọi thông tin về vị trí và vận tốc của dao động tử. Khi hệ thay đổi, điểm này sẽ chiếm một vị trí khác. Khi hệ tiến triển một cách liên tục, thì điểm này vạch nên một quỹ đạo.



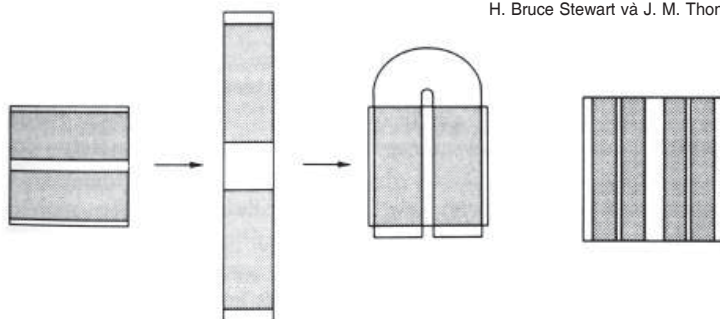
VỀ CÁC CHÂN DUNG TRONG KHÔNG GIAN PHA. Những biểu diễn sự phụ thuộc theo thời gian theo cách cũ (*trên*) và các quỹ đạo trong không gian pha (*dưới*) là hai cách hiển thị cùng các dữ liệu và thu được một hình ảnh về hành trạng trong thời gian dài của hệ. Hệ đầu tiên (*trái*) hội tụ về một trạng thái cân bằng - một điểm trong không gian pha. Hệ thứ hai được tái tạo một cách đồng nhất và tuần hoàn, mô tả một quỹ đạo kín. Hệ thứ ba được tái tạo theo nhịp valse phức tạp hơn, một chu trình có “ba chu kỳ”. Còn hệ thứ tư là hỗn độn.

Đối với một hệ đơn giản, như con lắc, không gian pha được biểu thị bằng hai trục vuông góc: li độ góc và vận tốc của con lắc ở một thời điểm nhất định xác định vị trí của điểm biểu diễn. Đối với một con lắc dao động tuần hoàn trong một mặt phẳng cố định, thì quỹ đạo trong không gian pha là một vòng kín mà điểm biểu diễn đi qua chừng nào hệ vẫn giữ được chuyển động đó.

Thay vì quan tâm tới một quỹ đạo đặc biệt, Smale lại tập trung vào hành trạng tổng thể của không gian pha tùy theo các thay đổi của hệ, chẳng hạn như cung cấp cho nó một năng lượng phụ. Được trực giác dẫn dắt, ông đã bước qua bản chất vật lý của hệ để đi tới một bản chất hình học thuộc loại mới. Các công cụ của ông là những biến đổi tô pô của các hình dạng trong không gian pha - như sự co và giãn. Các phép biến đổi này đôi khi cũng có một ý nghĩa vật lý rõ ràng. Sự tiêu tán năng lượng do ma sát làm cho quỹ đạo trong không gian pha, giống như một quả bóng bị xẹp hơi, thu về một điểm khi hệ đạt tới trạng thái bất động. Để biểu diễn được toàn bộ sự phức tạp của dao động tử van der Pol, Smale đã nhận thấy rằng không gian pha phải chịu một loại tổ hợp mới và phức tạp các biến đổi. Và ông đã nhanh chóng biến ý tưởng của mình về sự hiển thị hành trạng tổng thể thành một mô hình mới. Sự đổi mới này - một hình ảnh về hỗn độn mà người ta thường gặp trong những năm sau đó - là một cấu trúc mà sau này được gọi là “sắt móng ngựa”.

Để dựng một phiên bản đơn giản của hình sắt móng ngựa Smale, hãy lấy một hình chữ nhật và ép nó từ hai bên để nhận được một thanh thẳng đứng. Cầm đầu trên của thanh, kéo giãn rồi gập thanh lại, để tạo thành một hình chữ C úp xuống,

H. Bruce Stewart và J. M. Thompson



SẮT MÓNG NGỰA SMALE. Phép biến đổi tôpô này cho phép ta hiểu được các tính chất hỗn độn của các hệ động lực. Nguyên lý rất đơn giản: kéo không gian theo hướng này, nén nó theo một hướng khác, rồi gấp nó lại. Lặp lại quá trình này sẽ cho kết quả là một cấu trúc quen thuộc với những người đã từng trộn bột làm bánh. Hai điểm ở cạnh nhau ở cuối thao tác có thể lại rất xa nhau lúc ban đầu.

giống như một tấm sắt móng ngựa. Sau đó lại tưởng tượng cái móng ngựa này nằm trong một hình chữ nhật khác và thực hiện lại các thao tác trên, ép, gấp và kéo giãn nó.

Các thao tác này giống với các công đoạn của máy làm caramel, các tay quay của máy dàn bột, gấp lại, rồi lại dàn bột ra dài hơn và mảnh hơn, lớp này chồng lên lớp kia vô cùng phức tạp. Rất phong phú về tôpô học, ngoài các ý nghĩa toán học, sắt móng ngựa còn cung cấp cho Smale một hình ảnh điển hình về sự phụ thuộc rõ rệt vào các điều kiện ban đầu mà Lorenz phát hiện ra trong khí quyển vài năm sau đó. Lấy hai điểm cạnh nhau trong không gian ban đầu, bạn sẽ không thể biết cuối cùng chúng sẽ nằm ở đâu. Các lần kéo giãn và gấp liên tiếp sẽ chia rẽ chúng không theo một quy luật nào cả. Tương tự, hai điểm nằm cạnh nhau ở cuối các thao tác là hai điểm ban đầu có thể hoàn toàn ở cách xa nhau.

Ban đầu, Smale hy vọng sẽ giải thích được tất cả hệ động lực bằng các phép co và giãn - không cần gấp, chỉ ít là các phép gấp sẽ đặt vấn đề xem xét lại sự ổn định của hệ. Nhưng gấp hóa ra là cần thiết: nó cho phép các thay đổi căn bản trong một hành trạng động lực. Sắt móng ngựa Smale là dạng đầu tiên trong một loạt các dạng hình học hoàn toàn mới mẻ, đem đến cho các nhà toán học và vật lý học một trực giác mới về các khả năng chuyển động. Nhưng trong một chừng mực nào đó, nó quá nhân tạo nên không thể áp dụng được, và vẫn còn quá tôpô nên không mấy hấp dẫn các nhà vật lý. Tuy nhiên, đó mới chỉ là khởi đầu. Trong những năm 1960, Smale đã tập hợp quanh ông, ở Berkeley, một nhóm các nhà toán học trẻ có chung niềm đam mê đối với cách tiếp cận mới mẻ các hệ động lực. Và phải mất thêm cả chục năm nữa công trình của họ mới thu hút được đầy đủ sự chú ý của các khoa học ít thuần túy hơn, nhưng ngay khi được như vậy, các nhà vật lý đã nhận ra rằng Smale đã kéo cả một ngành toán học về với thế giới thực. “Đó là một thời hoàng kim”, họ nói.

Ralph Abraham, đồng nghiệp của Smale, giáo sư toán trường Đại học California, ở Santa-Cruz, khẳng định: “Đó là sự thay đổi hình mẫu của những thay đổi hình mẫu”.

“Khi tôi bắt đầu sự nghiệp toán học, vào năm 1960, mà không lâu trước đó, toán học hiện đại trong *sự toàn vẹn* của nó đã bị các nhà vật lý học vứt bỏ, kể cả những người tiên phong nhất của ngành vật lý toán. Dù đó là động lực học vi phân, giải tích toàn cục, các đa tạp những ánh xạ hay hình học vi phân - những kỹ thuật mới hơn các kỹ thuật mà Einstein đã sử dụng một đến hai năm -, họ đều gạt bỏ hết. Mối tơ duyên giữa các nhà toán học và vật lý học đã kết thúc bằng một vụ ly

dị trong những năm 1930. Họ không nói chuyện với nhau nữa và coi thường nhau. Các nhà vật lý toán không cho phép sinh viên của mình tham dự các buổi học toán: *Hãy học thứ toán mà chúng tôi dạy cho các em. Chúng tôi sẽ dạy các em những điều mà các em cần biết. Các nhà toán học tự hợm mình là trung tâm, họ sẽ phá hủy tâm hồn của các em.* Đó là năm 1960. Nhưng vào khoảng năm 1968, điều đó đã hoàn toàn thay đổi”. Cuối cùng, các nhà vật lý học, thiên văn học, sinh học, tất cả đều hiểu rằng phải học hỏi lẫn nhau.

MỘT BÍ ẨN CỦA VŨ TRỤ: đó là Vết đỏ Lớn của Mộc tinh, một hình ôvan khổng lồ quay cuồng như một trận bão cực mạnh không di chuyển và cũng chẳng bao giờ dịu đi. Ai đã nhìn những bức ảnh mà con tàu Voyager 2 truyền về vào năm 1978 đều thấy trong đó đáng vẻ quen thuộc của hỗn độn trên một thang bậc hoàn toàn không bình thường. Đó là một trong những điểm quy chiếu khả kính nhất của hệ mặt trời - “vết đỏ gầm gừ như một con mắt hốt hoảng/ bên trong mớ lông mày rối tung sôi sục”, John Updike đã viết như thế. Nhưng nó *thực sự* là cái gì? 20 năm sau khi Lorenz, Smale và những nhà bác học khác khởi đầu một cách tiếp cận mới đối với vật lý các chất lỏng, khí quyển khác thường của Mộc tinh đã trở thành một trong rất nhiều vấn đề đòi hỏi một thế giới quan mới dẫn đến sự ra đời khoa học về hỗn độn.

Suốt 3 thế kỷ, vết đỏ này là một minh họa cho câu nói “càng biết nhiều càng thấy mình biết ít”. Ít lâu sau khi Galileo lần đầu tiên hướng chiếc kính viễn vọng của mình đến Mộc tinh, các nhà thiên văn đã nhận ra vết này. Robert Hooke quan sát thấy nó vào năm 1600. Người ta cũng thấy nó trong tranh của

Donati Creti tại bảo tàng Vatican. Các màu sắc của nó không cần nhiều lời giải thích. Nhưng các kính viễn vọng ngày càng hoàn thiện và càng biết nhiều người ta càng thấy mình biết ít. Thế kỷ qua đã chứng kiến sự xuất hiện một chuỗi dài các lý thuyết đưa ra để giải thích hiện tượng này, trong đó phải kể đến:

Lý thuyết dòng chảy nham thạch. Cuối thế kỷ XIX, các nhà khoa học tưởng tượng ra một cái hồ mênh mông hình ôvan toàn nham thạch tan chảy ra từ một ngọn núi lửa hay một hố hình thành từ sự va chạm của một tiểu hành tinh với lớp vỏ mỏng của Mộc tinh.

Lý thuyết mặt trăng mới. Một nhà khoa học người Đức lật lại giả thuyết cho rằng Vết đỏ này là một mặt trăng mới sắp tách ra khỏi bề mặt của Mộc tinh.

Lý thuyết quả trứng. Sự kiện mới và gây bối rối: người ta đã quan sát thấy một sự trôi dạt nhẹ của Vết đỏ so với bề mặt của Mộc tinh. Vì thế, năm 1939, người ta đã coi nó là một vật thể khá rắn, trôi nổi trong khí quyển của Mộc tinh như một quả trứng lập lờ trên mặt nước. Trong mấy chục năm, một vài biến thể của lý thuyết này đã ra đời - đặc biệt là biến thể về sự chuyển động của bọt hydrô hay heli.

Lý thuyết cột khí. Một sự kiện mới khác: ngay cả khi trôi dạt, thì Vết đỏ này cũng không trôi dạt nhiều lắm. Trong những năm 1960, các nhà khoa học gợi ý rằng nó là đỉnh của một cột khí có thể bay lên từ miệng một núi lửa.

Thế rồi xuất hiện con tàu Voyager. Đa số các nhà thiên văn cho rằng bức màn bí mật của vết này sẽ được vén lên ngay khi người ta có thể quan sát nó đủ gần. Hành trình thám hiểm của Voyager đã cung cấp một catalô tuyệt vời các dữ liệu mới,

nhưng chưa đủ. Các hình ảnh do phi thuyền này truyền về năm 1978 cho thấy trên Mộc tinh có các trận cuồng phong và lốc xoáy đa màu sắc. Với nhiều chi tiết mới, các nhà thiên văn thấy Vết đỏ này như một hệ các lốc xoáy giống như bão, đẩy các đám mây về một phía, và bị nhốt bên trong các vùng gió Đông-Tây tạo ra những dải nằm ngang bao quanh hành tinh này. *Bão* là sự mô tả đúng nhất mà người ta có thể nghĩ được ra, nhưng vì nhiều lý do từ này vẫn chưa thật thỏa đáng. Các trận bão trên Trái đất thường được tạo thành từ nhiệt được giải phóng trong quá trình ngưng tụ các khối khí ẩm thành mưa; nhưng quá trình tạo ra Vết đỏ trên Mộc tinh lại không phải như vậy. Trên Trái đất, các cơn bão quay theo hướng xoáy: ngược chiều kim đồng hồ ở Bán cầu Bắc, và theo chiều kim đồng hồ ở Bán cầu Nam; còn chuyển động quay của Vết đỏ lại là xoáy nghịch. Và quan trọng hơn, bão trên Trái đất sẽ tan sau vài ba ngày.

Ngoài ra, khi phân tích các bức ảnh do Voyager truyền về, các nhà thiên văn đã phát hiện ra rằng Mộc tinh thật sự là một khối chất lưu chuyển động. Trước đó, theo thói quen, họ đã cho rằng đó là một hành tinh rắn bao quanh bởi một lớp mỏng khí quyển, như Trái đất. Thế nhưng, nếu giả dụ Mộc tinh có một lõi rắn, thì lõi này phải nằm cách xa bề mặt. Và thế là hành tinh này bỗng chốc trở thành một thí nghiệm lớn về động lực học của các chất lưu, với vết Đỏ quay đều, không hề chịu ảnh hưởng của các hỗn độn xung quanh nó.

Vết đỏ này đã trở thành một phép thử về cấu trúc. Các nhà khoa học đã thấy ở đó cái mà trực giác của họ cho phép họ nhìn thấy. Một nhà động lực học các chất lưu, người cho rằng sự chảy rối chỉ là nhiễu tạp và mất trật tự, sẽ không có cách

nào để giải thích cái đảo nhỏ trật tự ở giữa này. Voyager đã làm cho bí ẩn này trở nên kích thích hơn gấp bội, khi nó làm sáng tỏ được một số đặc tính ở thang bậc nhỏ của dòng này, mà vì quá nhỏ các kính viễn vọng mạnh nhất cũng không thể nhìn thấy được từ Trái đất. Các chi tiết nhỏ này cho thấy một chuyển động hỗn loạn rất nhanh, các trận gió lốc xuất hiện và biến mất trong một ngày, thậm chí trong vài giờ. Tuy nhiên, Vết đỏ thì vẫn nguyên vẹn. Vậy cái gì đã duy trì nó? Cái gì đã giữ nó ở nguyên một chỗ?

NASA đã lưu giữ các bức ảnh này trong 6 kho lưu trữ nằm rải rác khắp nước Mỹ. Một trong số những kho đó đặt tại Đại học Cornell, nơi Philip Marcus, một nhà nghiên cứu trẻ trong lĩnh vực thiên văn và toán học ứng dụng từng làm việc hồi đầu những năm 1960. Sau Voyager, Marcus nằm trong số không nhiều (khoảng dăm bảy) các nhà khoa học, ở Mỹ và Anh, tìm cách mô hình hóa Vết đỏ. Loại bỏ lý thuyết về bão, họ đã tìm được các hiện tượng tương tự phù hợp hơn. Chẳng hạn, dòng hải lưu Gulf Stream ở phía tây Đại Tây dương, cuộn lại và phân nhánh một cách tương tự. Nó tạo ra các sóng nhỏ xoắn lại với nhau, rồi biến thành các vòng xoáy ốc tự tách khỏi dòng chính thành các xoáy nghịch chậm và bền. Một tương tự khác là hiện tượng khí tượng học đặc biệt được gọi là “tình huống phong tỏa”. Ở gần các bờ biển đôi khi xuất hiện các vùng áp (suất) cao quay rất chậm, trong nhiều tuần hoặc nhiều tháng, bất chấp dòng chảy đông-tây quen thuộc. Nếu sự phong tỏa này buộc người ta phải xem xét lại các mô hình dự báo tổng thể, thì bù lại nó cũng mang lại cho các nhà dự báo thời tiết một hy vọng nào đó, vì nó đã tạo ra những đặc tính trật tự kéo dài một cách khác thường.

Marcus đã nghiên cứu suốt nhiều giờ các bức ảnh của NASA, những bức ảnh rất đẹp chụp con người trên Mặt trăng, và cả những bức ảnh chụp sự chảy rối trên Mộc tinh. Vì các định luật của Newton áp dụng được ở khắp nơi, Marcus đã lập trình cho máy tính để giải một hệ phương trình động lực học các chất lưu. Mô phỏng thời tiết của Mộc tinh chính là viết các phương trình mô tả một khối đặc cấu thành từ hydro và heli, giống như đối với một ngôi sao đã tắt. Mộc tinh quay nhanh quanh mình nó, một ngày ở đó kéo dài khoảng 10 giờ trên Trái đất. Chuyển động quay này tạo ra một lực Coriolis mạnh - lực đẩy sang bên đối với người đi qua một sàn quay - và chính lực này đã duy trì sự tồn tại của Vết đỏ.

Trong khi Lorenz sử dụng một mô hình thu nhỏ về khí quyển trái đất để in ra các dòng thô trên giấy, thì Marcus sử dụng máy tính mạnh hơn nhiều để tạo ra các hình ảnh đầy màu sắc. Trước hết, ông đã vạch ra các đường bao. Vừa đủ để có thể thấy được những gì đang đã diễn ra. Sau đó, ông chụp các hình ảnh này và ráp chúng lại với nhau thành một bộ phim động. Thật kỳ diệu, một bảng ngang dọc các xoáy sáng, xanh, đỏ và vàng, hòa lại với nhau tạo thành một hình ôvan giống một cách lạ lùng với Vết đỏ Lớn như NASA đã tái tạo thành hình ảnh động từ các bức ảnh thật. “Ta thấy vết khổng lồ này, sung sướng như một con hến biển ở giữa dòng chảy hỗn độn ở thang bậc nhỏ, và dòng hỗn độn này hấp thụ năng lượng giống như bọt biển”, ông nói. “Ta thấy các cấu trúc sợi nhỏ xui hiện lên trên nền một đại dương hỗn độn”.

Vết này là một hệ tự tổ chức, nó được sinh ra và điều chỉnh cũng bởi chính các đặc tính phi tuyến đã tạo nên lộn xộn không thể dự báo được bao quanh nó. Đó là một hỗn độn ổn định.

Khi còn là nghiên cứu sinh, Marcus đã nghiên cứu vật lý thông thường, giải các phương trình tuyến tính, thực hiện các thí nghiệm được thiết kế phù hợp với giải tích tuyến tính. Đó là sự tồn tại được che chở đảm bảo rất bình yên: thế thì tại sao lại phải phí thời giờ dạy cho sinh viên các phương trình phi tuyến không sao giải nổi? Quá trình đào tạo của ông hoàn toàn thỏa mãn. Chừng nào còn thực hiện các thí nghiệm bên trong một số giới hạn, thì chừng ấy các xấp xỉ tuyến tính vẫn là đủ và vẫn được điểm cao vì đã thu được những kết quả đúng như dự báo. Tất nhiên, đôi khi thế giới thực vẫn tràn vào không gì cưỡng nổi, và Marcus đã thấy cái mà nhiều năm sau ông giải thích là các dấu hiệu của hỗn độn. Lúc đó ông bèn dừng lại và hỏi: “Cái sai lệch bé xíu này là gì vậy?” Và người ta đã trả lời: “Ồ, đó chỉ là sai số thực nghiệm, đừng bận tâm làm gì”.

Nhưng trái với đa số các nhà vật lý, Marcus cuối cùng đã ghi nhớ bài học của Lorenz: một hệ tắt định có thể tạo ra nhiều hơn chứ không chỉ có hành trạng tuần hoàn. Ông đã biết cách tìm kiếm sự hỗn độn hoang dã; và ông cũng biết rằng các hòn đảo của cấu trúc, của trật tự có thể xuất hiện bên trong các hỗn độn. Vì thế ông đã sử dụng một thực tế là một hệ phức tạp có thể sinh ra đồng thời cả hỗn độn và trật tự để nghiên cứu vấn đề Vết đỏ Lớn. Ông đã làm việc trong một lĩnh vực đang sinh thành, lĩnh vực đang tạo dựng truyền thống riêng của mình khi biến máy tính thành một công cụ làm việc. Và ông đã tự coi mình là một nhà vật lý kiểu mới: không phải một nhà thiên văn, không phải một nhà thủy động lực học, cũng không phải một nhà toán học ứng dụng, mà là một chuyên gia về hỗn độn.

NHỮNG THẮNG TRẦM CỦA SỰ SỐNG

Kết quả của một sự phát triển toán học cần phải liên tục đối chiếu với trực giác của chính mình về cái tạo nên một hành vi sinh học hợp lý.

Khi sự đối chiếu này phát lộ một mâu thuẫn, thì cần phải xem xét một số khả năng sau:

- a. Một sai sót đã xuất hiện trong phát triển toán học hình thức;*
- b. Các giả thiết ban đầu không đúng và / hoặc bị giản lược quá mức;*
- c. Nhà nghiên cứu có các ý tưởng không nhất quán về sinh học;*
- d. Một nguyên lý cơ bản mới vừa được phát hiện.*

—HARVEY J. GOLD

Mô hình toán học hóa
các hệ sinh học

NHỮNG CON CÁ HÁU ĂN và động vật phù du hấp dẫn. Những khu rừng nhiệt đới nhưng nhúc các động vật bò sát không tên, chim chóc bay lượn dưới các vòm lá, côn trùng kêu râm ran như các electron trong máy gia tốc. Tại các vùng Đông Bắc Hoa Kỳ, quần thể chuột đồng và chuột lemming tăng rồi lại giảm số lượng theo chu kỳ 4 năm một lần bất chấp cuộc chiến đẫm máu của tự nhiên. Theo các nhà sinh thái học, thế giới tạo thành một phòng thí nghiệm tạp nham, một nồi áp suất 5 triệu loài tác động qua lại lẫn nhau. Năm triệu hay năm mươi triệu? Trên thực tế, các nhà sinh thái học cũng không biết rõ nữa.

Vào thế kỷ XX, các nhà sinh học thiên về toán học đã xây dựng một khoa học mới, gọi là sinh thái học, tách sự sống thực ra khỏi những ồn ào và đa sắc của nó, và coi các quần thể như các hệ động lực. Các nhà sinh thái học đã sử dụng những công cụ sơ cấp của vật lý toán để mô tả các thăng giáng của sự sống. Một loài duy nhất phát triển trong một môi trường

có nguồn thức ăn hạn chế, nhiều loài khác cạnh tranh để tồn tại, các dịch bệnh tác động đến các quần thể lớn - tất cả đều có thể được nghiên cứu biệt lập, nếu không phải trong phòng thí nghiệm, thì ít nhất cũng trong đầu của các nhà sinh thái học lý thuyết.

Trong quá trình xuất hiện khoa học mới về hỗn độn, vào những năm 1970, các nhà sinh thái học đã đóng một vai trò đặc biệt. Họ đã biết sử dụng các mô hình toán học, nhưng họ cũng luôn biết rằng các mô hình này chỉ là sự mô tả gần đúng nhợt nhạt của thế giới thực hết sức sống động mà thôi. Và nghịch lý thay, ý thức về sự hạn chế này lại cho phép họ đánh giá được tầm quan trọng của một số ý tưởng mà các nhà toán học chỉ coi là những điều kỳ cục thú vị. Nếu các phương trình chính quy lại có thể tạo ra một hành trạng bất thường, phi chính quy, thì theo nhà sinh thái học, đó là một sự tiến bộ nhất định. Các phương trình áp dụng cho sinh học các quần thể là những đối ứng sơ cấp của các mô hình đã được các nhà vật lý sử dụng để phân tích các mẫu vũ trụ của họ. Tuy nhiên, độ phức tạp của các hiện tượng thực được nghiên cứu trong các khoa học về sự sống vượt ra ngoài tất cả những gì người ta có thể gặp trong phòng thí nghiệm vật lý. Các mô hình toán học của sinh học chỉ là các bức biếm họa thực tế - cũng như các mô hình được sử dụng trong kinh tế học, dân số học, tâm lý học và quy hoạch đô thị, khi các khoa học mềm này cố gắng đưa tính chặt chẽ vào nghiên cứu của mình đối với các hệ biến thiên theo thời gian. Các tiêu chuẩn đối với các khoa học khác nhau là khác nhau. Đối với nhà vật lý, một hệ phương trình giống như hệ phương trình Lorenz là đơn giản đến mức nó gần như trở thành hiển nhiên. Còn đối với một nhà sinh thái học, thì ngay cả những phương trình Lorenz cũng đã là quá

phức tạp - nào là ba chiều, lại biến thiên liên tục, và lại còn không có nghiệm giải tích nữa.

Do hoàn cảnh bắt buộc, các nhà sinh học đã chấp nhận các phương pháp nghiên cứu mới. Việc ứng dụng những mô tả toán học vào các hệ thực phải được thực hiện theo một cách khác. Một nhà vật lý xét một hệ cụ thể (chẳng hạn, hai con lắc nối với nhau bằng một lò xo) bắt đầu bằng cách chọn các phương trình phù hợp - thường là tìm trong sách giáo khoa hoặc, nếu không có trong sách giáo khoa, thì suy ra từ các nguyên lý cơ bản. Anh ta đã biết các con lắc chuyển động như thế nào, và cũng biết rất rõ các lò xo. Sau đó, nếu như có thể, anh ta giải các phương trình này. Ngược lại, nhà sinh học không bao giờ có thể suy ra một cách trực tiếp các phương trình phù hợp bằng cách chỉ nghĩ đến một quần thể động vật cụ thể nào đó. Anh ta phải tập hợp các dữ liệu và tìm ra các phương trình có nghiệm gần giống với các dữ liệu này. Điều gì sẽ xảy ra khi người ta thả một nghìn con cá vào một cái ao có nguồn thức ăn hạn chế? Điều gì xảy ra nếu người ta thêm vào đó năm mươi con cá mập, sẵn sàng xoi tái hai con cá mỗi ngày? Và điều gì sẽ xảy ra với một virus tiêu diệt theo tỷ lệ như thế này và lan truyền với tốc độ như thế này đối với một mật độ quần thể như thế này? Các nhà sinh học lý tưởng hóa các tình huống đó để có thể áp dụng cho chúng các công thức ngắn gọn.

Đôi khi cách làm đó đã mang lại hiệu quả. Sinh học về các quần thể đã hiểu được nhiều điều về lịch sử của sự sống, về sự tác động qua lại của động vật săn mồi và các con mồi, về cách thức tác động của sự thay đổi mật độ của quần thể tại một vùng lên sự lan truyền bệnh tật. Nếu một mô hình toán học cho kết quả là một sự gia tăng, một sự cân bằng hay tuyệt

diệt, thì các nhà sinh thái có thể từ đó suy ra một phần các hoàn cảnh đã xô đẩy một quần thể hoặc một dịch bệnh trên thực tế đến diễn biến như vậy.

Một trong những phép đơn giản hóa hiệu quả là mô phỏng thế giới theo các khoảng thời gian rời rạc, như một kim đồng hồ quartz nhảy từng giây một thay vì chuyển động liên tục. Các phương trình vi phân mô tả các quá trình thay đổi trơn tru theo thời gian, nhưng chúng lại rất khó giải. Đối với các quá trình nhảy từ trạng thái này sang trạng thái khác, người ta có thể sử dụng các phương trình đơn giản hơn - đó là các “phương trình sai phân”. Rất may là nhiều loài động vật phát triển theo các khoảng thời gian đều đặn là một năm, và sự biến thiên của chúng từ năm này sang năm khác thường lớn hơn sự tiến hóa tuần tự của chúng. Trái với con người, rất nhiều côn trùng, chẳng hạn, chỉ có duy nhất một mùa tình yêu, nhờ đó các thế hệ khác nhau không chồng lấn nhau. Để ước lượng một quần thể ngài tằm vào mùa xuân năm sau hay phạm vi của dịch sởi vào mùa đông năm tới, một nhà sinh thái học gần như chỉ cần biết các con số của năm hiện tại. Nếu bản tổng kết thường niên chỉ là một phản ánh nhợt nhạt độ phức tạp của một hệ, thì trong nhiều ứng dụng thực tế nó lại chứa đựng tất cả thông tin cần thiết cho một nhà khoa học.

Toán học của sinh thái học chính là toán học của Stephen Smale, cũng giống như Mười lời răn đối với kinh Talmud: đó là một tập hợp các quy tắc nghiên cứu, nhưng không quá phức tạp. Để mô tả sự biến thiên hàng năm của một quần thể nào đó, một nhà sinh học có thể sử dụng một hình thức luận dễ dàng tiếp cận ngay cả đối với sinh viên năm thứ nhất. Hãy giả định rằng số bướm ngài của năm tới chỉ phụ thuộc vào số

lượng của năm nay - 31000 con bướm ngài năm nay có nghĩa là sẽ có 35000 con bướm ngài năm sau, v.v... -, tức là tìm được một quy tắc hay một hàm liên hệ tất cả các con số của năm nay với tất cả các con số của năm sau. Quần thể x_s của năm sau là một hàm F của quần thể x của năm nay: $x_s = F(x)$. Người ta có thể biểu diễn mọi hàm bằng một đồ thị cho thấy ngay chiều hướng chung của nó.

Trong một mô hình sơ cấp như mô hình trên, theo dõi biến động của một quần thể theo thời gian đồng nghĩa với việc lấy một con số gốc và áp dụng nhiều lần chính hàm đó: số lượng của quần thể ở năm thứ ba thu được đơn giản bằng cách áp dụng hàm này cho kết quả của năm thứ hai, và cứ tiếp tục như vậy. Toàn bộ lịch sử của một quần thể sẽ được hiện ra nhờ quá trình lặp hàm số này - một vòng hồi tiếp (*feed-back*), mỗi đầu ra của năm trước sẽ được dùng làm đầu vào cho năm sau. Vòng hồi tiếp có thể không kiểm soát nổi, như trong trường hợp loa phóng thanh phát ra một âm thanh, âm thanh này, khi quay ngược trở lại micro, nhanh chóng được khuếch đại thành một tiếng chói tai khó chịu. Nhưng hồi tiếp cũng có thể sinh ra ổn định, chẳng hạn như một bộ ổn nhiệt điều chỉnh nhiệt độ của ngôi nhà bằng cách giảm hoặc tăng nhiệt độ tùy theo nhiệt độ trong nhà cao hơn hay thấp hơn một giá trị đã xác định từ trước.

Có rất nhiều loại hàm khả dĩ. Một cách tiếp cận ngây thơ của sinh thái học đối với các quần thể là lấy một hàm làm tăng số cá thể của quần thể theo một tỷ lệ cố định. Dễ dàng mô tả điều này bằng một hàm tuyến tính: $x_s = rx$, ứng với sơ đồ Malthus truyền thống về một dân số tăng vô hạn, không có trở ngại về lương thực hay đạo đức. Tham số r biểu diễn tỷ lệ tăng dân số. Chẳng hạn, nếu nó bằng 1,1, và nếu dân số

của năm nay bằng 10, thì năm sau dân số sẽ là 11. Nếu đưa vào giá trị 20000, ta sẽ thu được kết quả là 22000. Số này chỉ có thể tăng, như tiền bỏ quên trong một tài khoản tiết kiệm với lãi suất lũy kế.

Cách đây hơn chục năm, các nhà sinh thái học đã nhận ra rằng họ phải làm tốt hơn. Một nhà sinh thái học khi nghĩ đến các con cá thật trong một cái ao thật phải tìm kiếm một hàm tương ứng với thực tế khắc nghiệt của sinh tồn, thí dụ như đói, cạnh tranh. Khi những con cá này sinh sôi nảy nở, chúng bắt đầu thiếu thức ăn; một quần thể nhỏ sẽ có tốc độ tăng nhanh chóng; nhưng một quần thể quá đông sẽ giảm. Hãy xét trường hợp bọ hung Nhật Bản. Cứ vào ngày đầu tiên của tháng 8, hãy ra vườn và đếm chúng. Để cho đơn giản, chỉ tính đến các nguồn thức ăn - bỏ qua chim chóc, bệnh tật có thể ảnh hưởng đến chúng. Một số con bọ hung sẽ sinh sôi nảy nở và tạo thành một quần thể đông đúc tới mức chúng tàn phá hết khu vườn và rơi vào hoàn cảnh đói kém.

Trong kịch bản Malthus về tăng trưởng không có giới hạn, hàm tăng trưởng là tuyến tính và không ngừng tăng lên. Một nhà sinh thái học muốn xây dựng một kịch bản hiện thực hơn cần phải tìm một phương trình có chứa các số hạng phụ kìm hãm sự phát triển này khi quần thể trở nên quá đông. Sự lựa chọn tự nhiên nhất là một hàm tăng như tên bắn khi dân số còn ít, rồi giảm dần sự tăng trưởng về xấp xỉ bằng không cho các giá trị trung gian, rồi tụt xuống khi quần thể quá đông. Bằng cách thực hiện các phép lặp, nhà sinh thái học có thể sẽ quan sát được hành trạng trong một thời gian dài của quần thể, và có nhiều khả năng nó sẽ đạt đến một trạng thái cân bằng. Một áp dụng toán học thành công sẽ cho phép nhà

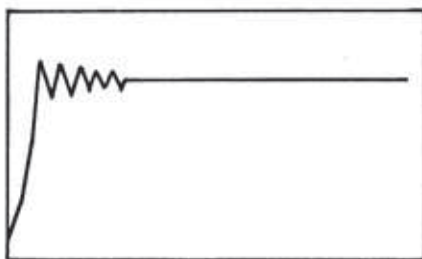
sinh thái nói được một điều gì đó đại loại như thế này: đây là phương trình; đây là tham số biểu diễn tỷ lệ sinh sản; đây là tham số khác biểu diễn tỷ lệ chết tự nhiên; một tham số khác nữa biểu diễn tỷ lệ chết do đói hoặc do bị ăn thịt; hãy nhìn: quần thể tăng trưởng với một tốc độ *như thế* để đạt đến một trạng thái cân bằng *như thế*.

Làm thế nào để tìm được một hàm như thế? Nhiều phương trình có thể phù hợp; nhưng phương trình đơn giản nhất có lẽ là sửa đổi phiên bản tuyến tính Malthus thành: $x_s = rx(1 - x)$. Trong phương trình này, tham số r cũng vẫn biểu diễn tỷ lệ tăng trưởng mà người ta có thể chọn cao hơn hoặc thấp hơn. Thừa số mới, $1 - x$, có tác dụng kiềm chế sự tăng trưởng này: khi x tăng, $1 - x$ giảm^(*). Chỉ cần một máy tính cầm tay là bất cứ một nhà nghiên cứu nào cũng có thể chọn một giá trị xuất

* Để cho thuận tiện, trong mô hình cực kỳ giản lược này, “dân số” của quần thể được biểu diễn bằng một số nằm trong khoảng từ 0 đến 1; 0 biểu diễn sự diệt chủng và 1 là “dân số” lớn nhất có thể tương tượng được của quần thể trong ao.

Hãy chọn một giá trị tùy ý cho r , chẳng hạn như 2,7, và “dân số” ban đầu của quần thể, ví dụ là 0,02. $1 - 0,02 = 0,98$. Lấy 0,98 nhân với 0,02 sẽ được 0,0196. Nhân số này với 2,7, sẽ thu được 0,0529. Dân số thấp của quần thể ban đầu đã tăng hơn gấp hai lần. Hãy lặp lại các phép tính trên nhưng lấy giá trị mới nhận được này làm quần thể ban đầu: bạn sẽ thu được kết quả là 0,1353. Sử dụng máy tính có khả năng lập trình, phép lặp này được thực hiện một cách hết sức đơn giản bằng cách ở mỗi giai đoạn lại ấn vào cùng một phím. Dân số của quần thể tăng lên 0,3159, rồi 0,5835, rồi 0,6562 - sự tăng trưởng bắt đầu chậm lại. Rồi, 0,6428, rồi 0,6199, rồi 0,6362, rồi 0,6249. Các kết quả có vẻ dao động và tiến dần đến một số cố định: 0,6328, 0,6273, 0,6312, 0,6312, 0,6285, 0,6304, 0,6291, 0,630, 0,6294, 0,6299, 0,6295, 0,6297, 0,6296, 0,6297, 0,6296, 0,6296, 0,6296, 0,6296, 0,6296, 0,6296. Tuyệt vời!

Vào thời kỳ tính toán bằng tay và máy tính thô sơ, người ta chẳng bao giờ tiến xa ra ngoài các khảo sát bằng số này.



Adolph E. Brotman

Quần thể đạt tới trạng thái cân bằng sau các pha tăng, quá đông đúc và giảm dân số

phát và thực hiện các phép toán trên là sẽ tìm được số lượng của quần thể của năm sau.

Trong những năm 1950, nhiều nhà sinh thái học đã xem xét các biến thể khác nhau của phương trình đặc biệt có tên là “phương trình logistic” này. Ở Australia, W.E. Ricker đã ứng dụng nó cho nghề nuôi thủy sản. Các nhà sinh thái học đã nhận ra rằng tỷ lệ tăng trưởng r là một tính chất quan trọng của mô hình. Trong các hệ vật lý mà các phương trình này được vay mượn từ đó, tham số r tương ứng với nhiệt, ma sát, hay bất cứ đại lượng nào có khả năng gây nhiễu loạn - nói ngắn gọn, nó tương ứng với mức độ phi tuyến. Trong một ao cá, tham số này có thể là khả năng sinh sản của cá, xu hướng của dân số không chỉ là bùng nổ mà còn có thể là suy thoái nữa (vì vậy thuật ngữ thích hợp nên dùng ở đây là “tiềm năng sinh học”). Vì vậy, một câu hỏi được đặt ra là: các tham số khác nhau này tác động như thế nào đến số phận cuối cùng của một quần thể. Câu trả lời rõ ràng là: một tham số thấp sẽ gây cho quần thể lý tưởng hóa này một kết cục là ở trạng thái dừng thấp. Một tham số cao hơn sẽ dẫn tới một trạng thái dừng cao

hơn. Điều này hóa ra là đúng đối với nhiều tham số, nhưng không phải đúng cho tất cả. Chấn chấn là tình cờ nhiều nhà nghiên cứu như Ricker đã thử các tham số với các giá trị thậm chí còn cao hơn nữa, và chắc hẳn là họ đã nhìn thấy hỗn độn.

Thật kỳ lạ là, loạt các con số bắt đầu dẫn tới các hành trạng không bình thường lại ương ngạnh đến khó chịu đối với những người thực hiện tính toán trên chiếc máy tính cầm tay. Tất nhiên, những con số vẫn còn chưa tăng đến vô hạn, nhưng chúng không hội tụ về một giá trị ổn định. Hiển nhiên, không ai trong số các nhà sinh thái học đầu tiên này có mong muốn và nghị lực để tiếp tục tính toán với các con số cứng đầu này. Khi dân số của quần thể dao động ở giữa hai giá trị, các nhà sinh thái học cho rằng nó luôn dao động xung quanh một trạng thái cân bằng ngầm định. Theo họ, quan trọng là sự cân bằng. Họ không may nghĩ rằng sự cân bằng ấy có thể *không tồn tại*.

Các sách tham khảo và các sách giáo khoa có đề cập đến phương trình logistic và các phương trình tương tự phức tạp hơn của nó, nói chung, thậm chí không thừa nhận rằng có thể xuất hiện một hành trạng hỗn độn. J. Maynard Smith, trong cuốn sách giáo khoa *Các ý tưởng toán học trong sinh học (Mathematical Ideas in Biology)*, xuất bản năm 1968, đã nêu ra chiều hướng chuẩn của các khả năng: dân số quần thể thường tương đối ổn định, hoặc là nó thăng giáng “theo một chu kỳ khá đều đặn” quanh một trạng thái cân bằng phỏng đoán. Không phải là ông quá ngây thơ để tin rằng các quần thể không bao giờ có hành trạng ngẫu nhiên. Đơn giản là ông nghĩ rằng một hành trạng như thế không có liên quan gì với các mô hình toán học mà ông đã mô tả trong cuốn sách của

mình. Bất luận thế nào, các nhà sinh học vẫn giữ thái độ “kính nhi viễn chi” đối với các mô hình toán học này. Còn nếu các mô hình phản bội lại những hiểu biết của các tác giả những mô hình này về hành trạng của các quần thể thật, thì người ta luôn luôn tìm một đặc điểm còn thiếu để giải thích sự không phù hợp: chẳng hạn, sự phân bố tuổi trong quần thể, một vài điều kiện về lãnh thổ hay địa lý, hay sự phức tạp do cần phải tính đến hai giới tính.

Nhưng quan trọng hơn là các nhà sinh thái học lại luôn ngầm hiểu rằng một chuỗi ngẫu nhiên các số có nghĩa là máy tính giả trò đồng đánh, hay đơn giản là do nó thiếu chính xác. Chỉ những nghiệm ổn định mới là những nghiệm đáng quan tâm. Trật tự vốn là phần thưởng riêng của chính nó. Tìm ra các phương trình phù hợp và giải chúng, xét cho cùng là một công việc khó khăn. Vì vậy, không ai muốn mất thời gian quý giá của đời mình để dấn thân vào một con đường chông gai mà chẳng dẫn đến một sự ổn định nào. Và lại, không một nhà sinh thái học giỏi nào lại quên rằng các phương trình của mình chỉ là những phiên bản đã được đơn giản hóa quá mức của các hiện tượng thực. Toàn bộ lợi ích của sự quá đơn giản hóa này chỉ là mô phỏng được tính đều đặn, tính có quy luật. Tại sao lại cứ phải chuốc mệt vào thân chỉ cốt là để thấy hỗn độn?

VỀ SAU, NHIỀU NGƯỜI NÓI RẰNG James Yorke đã phát hiện ra Lorenz và đã gán tên của ông cho khoa học về hỗn độn. Nhưng thực ra chỉ có nhận định thứ hai là chính xác mà thôi.

Yorke là một nhà toán học tự coi mình là một triết gia, mặc dù thừa nhận điều đó là rất nguy hiểm trên phương diện

nghề nghiệp. Đó là một nhân vật xuất sắc, nói năng điềm tĩnh, một người hâm mộ đầu xù tóc rối của Stephen Smale, người cũng đầu xù tóc rối không kém. Như tất cả mọi người, Yorke cũng cảm thấy rất khó mà theo được Smale. Nhưng khác với tất cả mọi người, ông hiểu được *tại sao*. Mới chỉ hai mươi hai tuổi, ông đã ghi danh vào một viện liên ngành của Đại học Maryland, đó là Viện Khoa học và Công nghệ Vật lý (*Institute for Physical Science and Technology*), viện mà sau này ông trở thành giám đốc. Ông thuộc số các nhà toán học cảm thấy bất buộc phải áp dụng vào thực tiễn các ý tưởng của mình về hiện thực. Ông đã viết một báo cáo về sự lây lan của bệnh lậu, và báo cáo đã thuyết phục chính phủ liên bang phải thay đổi chiến lược quốc gia về kiểm soát căn bệnh này. Trong cuộc khủng hoảng dầu mỏ những năm 1970, ông đã chính thức đệ trình một báo cáo lên Bang Maryland, khẳng định một cách đúng đắn (nhưng không thuyết phục) rằng việc bán xăng theo hệ chẵn-lẻ chỉ làm dài thêm các hàng xe chờ đến lượt. Vào thời diễn ra các cuộc biểu tình chống chiến tranh, khi chính phủ công bố một bức ảnh chụp từ máy bay trinh sát vào lúc cao điểm của cuộc biểu tình để chứng tỏ rằng chỉ có các đám người thừa thốt tụ tập trước Đài tưởng niệm Washington. Ông đã phân tích bóng của Đài tưởng niệm này để chứng minh rằng bức ảnh đã được chụp nửa giờ sau khi đám đông đang giải tán.

Ở viện, Yorke được hưởng một quyền tự do khác thường, cụ thể là ông được quyền nghiên cứu các vấn đề nằm ngoài những lĩnh vực truyền thống, và thường xuyên tiếp xúc với các chuyên gia thuộc nhiều chuyên ngành rất khác nhau. Năm 1972, một trong số họ, một nhà thủy động lực học, đã

tình cờ thấy bài báo của Lorenz đăng năm 1963 với nhan đề “*Dòng chảy tắt định phi tuần hoàn*”, và đã lập tức thấy thích, liền photocopy thành nhiều bản và phát cho những ai muốn có. Ông đã đưa một bản cho Yorke.

Bài báo này của Lorenz là một báu vật mà Yorke đã tìm kiếm từ lâu mà không hay biết. Ban đầu, đó là một cú sốc toán học - một hệ hỗn độn vi phạm cách phân loại lạc quan mà Smale đưa ra lúc đầu. Nhưng đó không chỉ là toán học: đó còn là một mô hình vật lý sống động - một bức tranh về chất lưu đang chuyển động -, và Yorke biết ngay rằng đó chính là cái ông muốn cho các nhà vật lý nhìn thấy. Smale đã lái toán học theo hướng tới các bài toán vật lý như thế, nhưng, Yorke hiểu quá rõ là ngôn ngữ toán học vẫn là vật cản lớn đối với sự liên thông giữa hai khoa học này. May chăng chỉ có trường đại học mới chấp nhận sự tồn tại của các nhà nghiên cứu lai, vừa là nhà toán học vừa là nhà vật lý này! Nhưng thực tế không phải vậy. Ngay cả khi các công trình nghiên cứu của Smale về các hệ động lực đã bắt đầu làm hẹp dần cái khe ngăn cách, thì các nhà toán học và các nhà vật lý vẫn tiếp tục nói theo ngôn ngữ riêng của mình. Như nhà vật lý Murray Gell-Mann có lần đã nhận xét: “Các giáo sư đại học biết rõ loại người này: họ là nhà toán học giỏi bên cạnh các nhà vật lý, và là nhà vật lý giỏi bên cạnh các nhà toán học. Giới đại học không muốn loại người đầu gối lên hai ngành này, và họ có lý”. Hai khoa học này có các chuẩn mực riêng. Các nhà toán học chứng minh các định lý của họ bằng những suy luận, còn chứng minh của các nhà vật lý sử dụng các thiết bị nặng nề hơn. Các đối tượng cấu thành nên vũ trụ của họ cũng khác nhau. Và những ví dụ của họ cũng khác nhau.

Smale sẽ rất thú vị với các ví dụ kiểu như: hãy lấy một phân số nằm trong khoảng từ 0 đến 1, và nhân nó với hai. Hãy bỏ đi phần nguyên của nó, tức là phần bên trái của dấu phẩy, rồi lặp lại quá trình đó. Vì phần lớn các số là số vô tỷ và không thể dự đoán chính xác phần thập phân của chúng, nên quá trình trên sẽ tạo ra dãy số không thể dự báo được. Một nhà vật lý chẳng thấy gì hay ho ở đây, ngoài một sự kỳ cục về toán học, hoàn toàn vô nghĩa, quá đơn giản và cũng quá trừu tượng để có thể sử dụng được. Về phần mình, bằng trực giác, Smale biết rằng thủ thuật toán học này có thể xuất hiện trong cốt lõi của nhiều hệ vật lý.

Đối với một nhà vật lý, một ví dụ thỏa đáng phải tương ứng với một phương trình vi phân có thể được viết dưới dạng đơn giản. Khi Yorke đọc bài báo của Lorenz, mặc dù nó đã bị chôn vùi trong một tạp chí khí tượng học, nhưng ông biết ngay rằng đó là một ví dụ mà các nhà vật lý hiểu được. Ông đã đưa cho Smale một bản copy, có ghi địa chỉ của mình để Smale có thể gửi trở lại. Smale đã rất kinh ngạc khi thấy rằng nhà khí tượng học này, *muội năm trước*, đã phát hiện ra một loại hỗn độn mà chính ông có lần đã coi là không thể về mặt toán học. Ông đã cho chụp lại bài báo “*Dòng chảy tất định phi tuần hoàn*” này thành nhiều bản và vì thế đã tạo ra giai thoại cho là Yorke đã phát hiện ra Lorenz. Tất cả các bản photocopy bài báo được truyền tay ở Berkeley đều mang địa chỉ của Yorke.

Yorke có cảm giác rằng các nhà vật lý đã *học* để không nhìn thấy hỗn độn. Trong cuộc sống hàng ngày, sự phụ thuộc nhạy cảm vào các điều kiện ban đầu mà Lorenz đưa ra xuất hiện khắp nơi: một người đàn ông ra khỏi nhà buổi sáng muộn ba mươi giây, vì thế một chậu hoa đã rơi chỉ cách đầu anh trong gang tấc, sau đó anh ta bị một chiếc xe tải cán phải. Hay, đỡ

bi thảm hơn, anh ta lỡ một chuyến xe bus cứ mười phút mới có một chuyến và vì thế mà lỡ tàu, mà cứ mỗi giờ mới có một chuyến. Những xáo trộn nhỏ này của cuộc sống hàng ngày có thể gây ra những hậu quả nặng nề. Trong môn bóng chày, mà độ chính xác tính bằng xentimét, người chơi biết rằng hai cú đánh gần giống như nhau sẽ không cho các kết quả gần giống nhau. Về phần mình, khoa học lại phản ứng khác.

Xét về mặt sự phạm, sự phân chia hợp lý các nhiệm vụ giữa vật lý và toán học đã - và đang - là viết trên bảng các phương trình vi phân và chỉ cho sinh viên cách giải các phương trình đó. Các phương trình vi phân biểu diễn hiện thực như một continuum, thay đổi trơn tru từ điểm này đến điểm khác và thời điểm này sang thời điểm khác, chứ không phải như một mạng lưới các điểm hoặc các thời điểm rời rạc. Mọi sinh viên khoa học đều biết rằng giải các phương trình vi phân là một việc khó khăn. Nhưng trong hai thế kỷ rưỡi, các nhà khoa học đã thu được rất nhiều hiểu biết về các phương trình này: hiện nay có rất nhiều cuốn sách và những bảng tra cứu về các phương trình vi phân, trong đó có trình bày các phương pháp giải khác nhau, hoặc cách tìm nghiệm dưới “dạng tích phân” như các nhà khoa học thường nói. Thật không hề quá khi nói rằng sự phát triển ghê gớm của giải tích là nguồn gốc của phần lớn các thành công cụ thể của khoa học thời hậu Trung đại trong lĩnh vực vật lý, và rằng nó là một trong những sáng tạo tài tình nhất của con người nhằm mô phỏng thế giới luôn thay đổi xung quanh mình. Và rồi với thời gian, nhà khoa học một khi đã thành thạo lối tư duy này về tự nhiên, và trở nên thấy thoải mái với lý thuyết và thực tiễn ngày một khó khăn hơn, anh ta sẽ mất khả năng nhìn thấy một sự thật, đó là phần lớn các phương trình vi phân đều không giải được.

“Nếu người ta có thể viết nghiệm của một phương trình vi phân”, Yorke nói, “thì điều đó nhất thiết có nghĩa là nó không hỗn độn, bởi vì, để viết nghiệm này, cần phải tìm ra các bất biến, tức là những đại lượng có khả năng bảo toàn, như mômen động lượng, chẳng hạn. Nếu các bạn tìm được đủ các bất biến đó, thì bạn có thể viết ra một nghiệm. Nhưng chính làm thế cũng có nghĩa là bạn đã loại trừ mọi khả năng của hỗn độn”.

Các hệ giải được là các hệ đã được giới thiệu trong các sách giáo khoa. Chúng hành xử “đúng mực”. Khi các nhà khoa học đối mặt một hệ phi tuyến, họ thường thay thế nó bằng các hệ phương trình tuyến tính gần đúng, hoặc tìm một tiếp cận khác, quanh co và bất định. Các sách giáo khoa chỉ chứng tỏ cho sinh viên thấy rằng rất hiếm các hệ phi tuyến cho phép áp dụng các kỹ thuật như vậy. Sách giáo khoa không trình bày sự phụ thuộc nhạy cảm vào các điều kiện ban đầu. Các hệ phi tuyến thực sự hỗn độn rất hiếm khi được dạy, và rất hiếm khi được hiểu. Khi người ta gặp một hệ phi tuyến - mà thường xảy ra như thế - thì toàn bộ kiến thức được học sẽ thúc đẩy người ta vứt bỏ nó, coi nó như một sự lầm lạc. Chỉ một vài nhà nghiên cứu có khả năng nhớ được rằng chính các hệ tuyến tính, trật tự, giải được, mới là lầm lạc. Tóm lại, chỉ có một vài nhà nghiên cứu là hiểu được tự nhiên là phi tuyến sâu sắc tới mức nào. Enrico Fermi có lần đã thốt lên: “Kinh thánh đã không nói rằng tất cả các quy luật của tự nhiên đều có thể diễn đạt một cách tuyến tính!” Và nhà toán học Stanislaw Ulam đã nhận xét rằng coi nghiên cứu về hỗn độn là “khoa học phi tuyến” cũng chẳng khác nào coi động vật học là “nghiên cứu các động vật không phải là voi”.

Yorke đã hiểu được điều đó. “Thông điệp đầu tiên là hỗn độn tồn tại. Các nhà vật lý và toán học là những người muốn phát hiện ra các quy luật. Người ta sẽ hỏi hỗn độn dùng để làm gì. Nhưng người ta cần phải biết nếu muốn dùng nó. Người thợ sửa xe không biết gì về cặn trong supáp không phải là một thợ sửa xe giỏi”. Các nhà khoa học và những người không phải là nhà khoa học, Yorke nghĩ, đều có thể dễ dàng lẫn lộn về sự phức tạp nếu họ không đủ nhạy cảm với nó. Vì lý do gì mà các nhà đầu tư lại nhấn mạnh đến sự tồn tại các chu kỳ trong giá vàng và bạc? Bởi vì tính chu kỳ là hành trạng trật tự phức tạp nhất mà họ có thể hình dung được. Khi giá cả diễn biến phức tạp, họ tìm kiếm một tính chu kỳ bị che lấp bởi một nhiễu tạp nhỏ. Những người làm thí nghiệm, dù là trong vật lý, hóa học hay sinh học, đều không khác nhau. “Trong quá khứ, mọi người đã rất nhiều lần thấy hỗn độn”, Yorke nói. “Họ tiến hành một thí nghiệm, và thí nghiệm này diễn ra một cách thất thường. Khi đó, hoặc là họ tìm cách sửa chữa nó, hoặc là họ từ bỏ nó. Họ giải thích hành trạng này bằng cách nói rằng đó là do nhiễu tạp, hoặc rằng thí nghiệm đã được thực hiện không tốt”.

Yorke đã quả quyết rằng các công trình của Lorenz và của Smale chứa một thông điệp mà các nhà vật lý không nhận được. Vì thế ông đã viết một bài báo cho tạp chí có số ấn bản lớn mà ông cho rằng nó sẽ được đăng, đó là tờ *American Mathematical Monthly*. (Với tư cách là một nhà toán học, ông cảm thấy không tài nào trình bày các ý tưởng mà các tạp chí vật lý có thể chấp nhận được; phải đến vài năm sau ông mới cộng tác được với các nhà vật lý). Nếu bài báo này tự bản thân nó là quan trọng, thì điểm chủ yếu mang lại cho nó ảnh hưởng lại là cái tit bí hiểm và láu cá: “*Period Three Implies Chaos*” (Chu kỳ ba kéo theo hỗn độn). Các đồng nghiệp của

Yorke khuyên ông nên chọn một cái gì đó giản dị hơn, nhưng ông vẫn trung thành với một từ (*hỗn độn*) mà sau này đã trở thành biểu tượng của những nghiên cứu ngày càng nhiều về sự mất trật tự tất định. Ông cũng đã nói điều đó với một người bạn của mình là nhà sinh học Robert May.

CÓ THỂ NÓI MAY ĐẾN VỚI SINH HỌC qua cửa sau. Là con trai của một luật sư giỏi, ông khởi đầu là một nhà vật lý lý thuyết tại thành phố Sydney quê hương, Australia, và sau khi bảo vệ luận án tiến sỹ, ông đã nhảy sang nghiên cứu toán học ứng dụng ở Harvard. Năm 1971, ông tới làm việc một năm tại Viện Nghiên cứu Cao cấp, ở Princeton; nhưng thay vì thực hiện nghiên cứu tại Viện, ông dành ngày càng nhiều thời gian ở Đại học Princeton để tranh luận với các nhà sinh học.

Ngày cả hiện nay, những hiểu biết về toán học của các nhà sinh học vẫn chưa vượt qua môn giải tích. Những người yêu toán và có những khả năng nhất định về toán thường quan tâm nhiều đến toán học hoặc vật lý hơn là đến các khoa học về sự sống. May là một ngoại lệ. Một thời gian ông đã quan tâm đến các vấn đề trừu tượng về tính ổn định và độ phức tạp, đến sự giải thích bằng toán học sự chung sống của các loài cạnh tranh nhau, nhưng chẳng bao lâu sau, ông đã đặc biệt quan tâm đến các vấn đề sinh thái đơn giản nhất của sự phát triển theo thời gian của các quần thể biệt lập. Mô hình của chúng tôi rất đơn giản nhưng không hề thỏa hiệp. Sau này, khi trở lại Đại học Princeton - cuối cùng ông đã trở thành chủ nhiệm khoa phụ trách nghiên cứu ở đây, - ông đã dành nhiều giờ để nghiên cứu một phiên bản của phương trình logistic, bằng cách sử dụng giải tích toán và một máy tính nhỏ.

Thực tế, một lần ông đã viết phương trình này ở Sydney, trên một chiếc bảng treo ở hành lang, như một bài tập dành cho nghiên cứu sinh. Nó đã bắt đầu khiến ông trăn trở. “*Chúa ơi, điều gì sẽ xảy ra khi lamđã vượt qua điểm tích tụ?*” Nghĩa là điều gì sẽ xảy ra khi tỷ lệ tăng trưởng của một quần thể - tức xu hướng tiến tới bùng nổ và suy thoái về “dân số” - vượt qua điểm tới hạn. Thử các giá trị khác nhau của tham số phi tuyến này, May đã phát hiện ra rằng ông có thể làm thay đổi mạnh mẽ hành trạng của hệ. Tăng tham số này có nghĩa là tăng mức độ phi tuyến, và điều này làm thay đổi kết cục cả về số lượng và chất lượng. Nó quyết định không chỉ sự cân bằng cuối cùng của quần thể, mà còn cả việc quần thể này có đạt tới cân bằng hay không.

Với một giá trị nhỏ của tham số phi tuyến, mô hình đơn giản của May sẽ an bài ở trạng thái dừng. Khi tham số này tăng cao, trạng thái dừng này bị tách ra thành hai, và quần thể dao động giữa hai giá trị. Khi tham số có giá trị rất cao, hệ - *vẫn chính hệ đó* - dường như có hành trạng không thể tiên đoán được. Tại sao? Và điều gì đã chính xác xảy ra ở ranh giới ngăn cách hai loại hành trạng này? May không tài nào hiểu nổi. (Và cả các nghiên cứu sinh của ông cũng vậy).

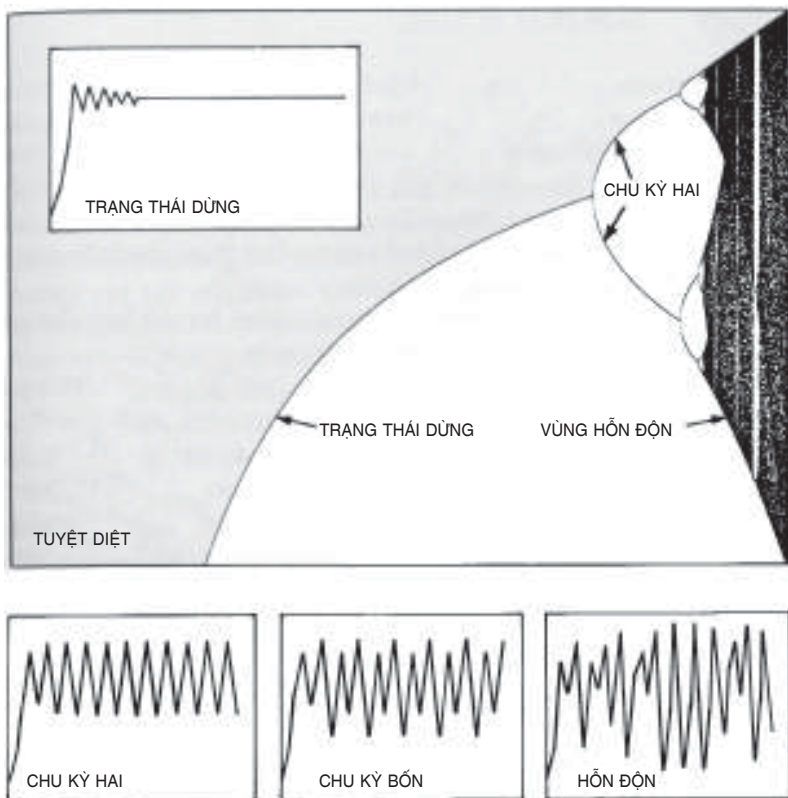
Ông thực hiện một chương trình khám phá mạnh mẽ bằng số về hành trạng của phương trình này. Chương trình của ông cũng giống với của Smale: tìm cách hiểu phương trình này một cách *toàn thể và luôn một lần*, không phải từng phần, cục bộ mà là toàn bộ. Phương trình này đơn giản hơn rất nhiều so với tất cả những gì Smale đã nghiên cứu. Thật khó tin là từ lâu người ta chưa hề vét hết tất cả các khả năng sinh ra trật tự và hỗn độn của phương trình này. Tuy nhiên, thực tế lại đúng

là như vậy. Chương trình của May chỉ mới là bắt đầu. Ông đã nghiên cứu hàng trăm giá trị khác nhau của tham số này, khi đưa vòng hồi tiếp vào hoạt động, và chờ đợi để xem dãy các số có hội tụ về một điểm cố định không, và nếu có, thì ở đâu. Ông cũng tập trung nghiên cứu ngày càng kỹ lưỡng hơn đường biên tới hạn giữa ổn định và dao động. Cứ như thể là ông đã có một cái ao thật, ở đó ông có thể làm chủ một cách thành thạo “sự bùng nổ và suy thoái dân số” của cá vược. Vẫn sử dụng phương trình logistic $x_s = rx(1 - x)$, nhưng May đã tăng tham số này lên một cách chậm nhất có thể. Khi tham số có giá trị bằng 2,7, thì dân số của quần thể là 0,6292. Khi tham số tăng tiếp, thì dân số của quần thể cuối cùng tăng nhẹ, làm cho đường cong của đồ thị đi lên chậm từ trái sang phải.

Rồi khi tham số vượt qua giá trị 3, đột nhiên đường cong tách ra làm hai. Số lượng của quần thể cá tương tự không chịu nhận một giá trị duy nhất nữa, mà dao động giữa hai điểm từ năm này sang năm khác. Xuất phát từ một giá trị thấp, dân số bắt đầu tăng, rồi dao động để cuối cùng nhảy đều đặn từ giá trị này sang giá trị khác. Tiếp tục tăng tham số, dao động này lại phân đôi một lần nữa, cho một dãy bốn số, cứ bốn năm^(*), mỗi số lại trở lại một lần. Điều này có nghĩa là dân số tăng lên và giảm xuống theo nhịp bốn năm. Chu kỳ của một

* Với tham số có giá trị, chẳng hạn, 3,5, và dân số ban đầu là 0,4, May thấy xuất hiện một chuỗi giống với chuỗi sau:

0,4000, 0,8400, 0,4704, 0,8719
 0,3908, 0,8332, 0,4862, 0,8743
 0,3846, 0,8284, 0,4976, 0,8750
 0,3829, 0,8270, 0,4976, 0,8750
 0,3829, 0,8270, 0,5008, 0,8750,
 0,3828, 0,8269, 0,5009, 0,8750,
 0,3828, 0,8269, 0,5009, 0,8750, v.v...



James P. Crutchfield / Adolph E. Bromman

SỰ NHẢY ĐÔI CHU KỲ VÀ HỒN ĐỘN. Thay vì dùng các biểu đồ riêng rẽ để làm sáng tỏ hành trạng của các quần thể có các mức độ sinh sản khác nhau, Robert May và các nhà nghiên cứu khác đã sử dụng một “biểu đồ phân nhánh” để tập hợp mọi thông tin vào chỉ một bức tranh duy nhất.

Biểu đồ này cho thấy sự biến thiên của một tham số - ở đây là tham số “bùng nổ và suy thoái của dân số” trong một quần thể động vật - sẽ làm cho hành trạng cuối cùng của hệ đơn giản này thay đổi như thế nào. Giá trị của tham số này tăng từ trái sang phải; còn dân số cuối cùng của quần thể được biểu diễn trên trục tung. Sự tăng giá trị của tham số này có nghĩa là làm cho hệ biến đổi mạnh hơn, tức là làm tăng mức độ phi tuyến của nó.

Khi tham số này thấp (bên trái), quần thể tiến đến tuyệt diệt. Giá trị cân bằng của quần thể sau đó bắt đầu tăng cùng với tham số (ở giữa). Sau đó, khi tham số

vòng đã tăng lên gấp đôi - từ một năm chuyển sang hai năm, rồi sang bốn năm. Và một lần nữa, hành trạng tuần hoàn lại trở nên ổn định: Các quần thể ban đầu có dân số khác nhau nhưng đều hội tụ về một chu trình bốn năm.

Như Lorenz đã phát hiện ra trước đó mười năm, cách duy nhất để hiểu được các con số như vậy, và để dễ dàng theo dõi là vẽ một đồ thị. Vì vậy May đã vẽ phác một đường cong tóm tắt tất cả thông tin về hành trạng của hệ theo các giá trị khác nhau của tham số. Ông đã đặt các giá trị của tham số theo trục hoành, tăng từ trái sang phải, và biểu diễn dân số của quần thể theo trục tung. Sau đó, đối với mỗi giá trị của tham số, May vẽ một điểm biểu thị cho dân số cuối cùng của quần thể, khi hệ đạt đến cân bằng. Ở phần bên trái của đồ thị, đối với các giá trị thấp của tham số, ông thu được một điểm duy nhất, và ứng với các giá trị khác nhau của tham số ông nhận được đường cong tăng chậm từ trái sang phải. Khi tham số vượt qua điểm tới hạn đầu tiên, May đã phải vẽ hai dân số của quần thể: đường cong tách ra làm hai, tạo thành một hình chữ Y hay một cái chạc nằm ngang. Sự phân nhánh này tương ứng với một quần thể chuyển từ chu kỳ một năm sang chu kỳ hai năm.

này tiếp tục tăng, sự cân bằng rẽ làm hai, giống hệt như sự tăng nhiệt trong một chất lỏng đối lưu sẽ gây ra sự bất ổn định trong nó; vì thế quần thể luân phiên ở giữa hai cấp độ khác nhau. Sự tách ra, hay phân nhánh này, xảy ra ngày càng nhanh hơn. Sau đó hệ trở thành hỗn độn (bên phải), và dân số của quần thể có thể nhận một số vô hạn các giá trị khác nhau (xem Hình phóng đại vùng hỗn độn, ở trang 120-121.

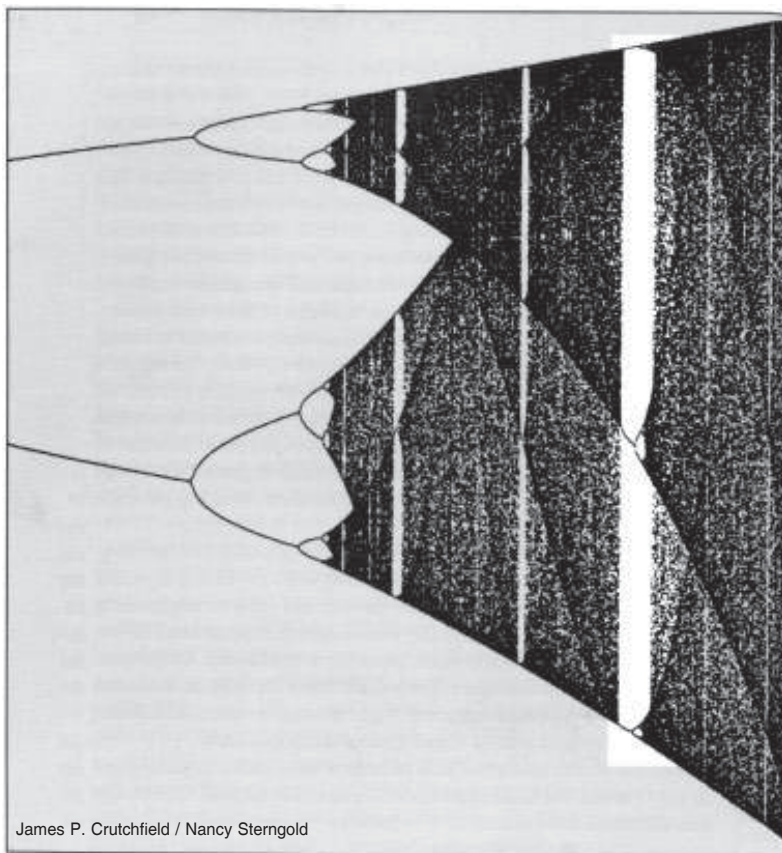
Khi tham số tăng tiếp, số các điểm một lần nữa tăng lên gấp đôi, rồi lại nhân đôi một lần nữa, rồi lại thêm một lần nữa. Thật kinh ngạc - một hành trạng hết sức phức tạp, nhưng lại có quy luật rất hấp dẫn. “Một con rắn ẩn trong đám cỏ toán học”, May nói. Bản thân mỗi một lần nhân đôi lại là một lần phân nhánh, và mỗi một phân nhánh này có nghĩa là cái mô-típ đang lặp lại sẽ bị phá vỡ một lần nữa. Dân số của một quần thể vốn đang ổn định, giờ sẽ thay đổi giữa hai mức khác nhau sau mỗi năm. Và dân số đang dao động theo chu kỳ hai năm, nay lại bắt đầu dao động từ năm thứ ba và thứ tư, và nhảy lên một chu kỳ bốn năm.

Những phân nhánh này xuất hiện ngày càng nhanh hơn - 4, 8, 16, 32... - rồi đột ngột biến mất. Vượt ra ngoài một điểm nào đó, gọi là “điểm tích tụ”, tính tuần hoàn nhường chỗ cho hỗn độn, cho những thăng giáng không ổn định được nữa. Đó là các vùng được tô đen hoàn toàn của đồ thị. Nếu bạn theo dõi số lượng của một quần thể động vật được chi phối bởi phương trình logistic phi tuyến đơn giản nhất đó, thì bạn chắc sẽ nghĩ rằng sự thay đổi từ năm này sang năm khác là hoàn toàn ngẫu nhiên, cứ như là bị tác động mạnh của nhiễu tạp môi trường. Tuy nhiên, ở bên trong sự phức tạp này, các chu kỳ ổn định lại tái xuất hiện. Bất chấp tham số tăng lên - tức là độ phi tuyến của hệ tăng lên - một cửa sổ đột ngột mở ra với một chu kỳ đều đặn: một chu kỳ lẻ, như 3 hoặc 7. Cái mô-típ của dân số thay đổi tự lặp lại theo một chu kỳ ba hoặc bảy năm. Rồi sau, những phân nhánh nhân đôi chu kỳ lại xảy ra nhưng với nhịp độ nhanh hơn, chúng nhanh chóng lướt qua các chu kỳ 3, 6, 12... hay 7, 14, 28..., và lại biến mất một lần nữa để chuyển sang pha hỗn độn mới.

Thoạt đầu, May không thể thấy được toàn bộ bức tranh. Nhưng những mảnh mà ông tính toán được cũng đủ để khiến người ta bối rối. Trong một hệ thực, một người quan sát chỉ nhìn thấy một lát cắt thẳng đứng tương ứng với một giá trị của tham số tại một thời điểm. Điều này có nghĩa là anh ta chỉ quan sát được một loại hành trạng - có thể là một trạng thái dừng, hay một chu kỳ 7 năm, hay một hỗn độn biểu kiến. Anh ta không có cách nào để biết rằng cùng một hệ, khi chịu một sự thay đổi nhỏ của một tham số nào đó, lại có thể xuất hiện các hành trạng có bản chất hoàn toàn khác nhau.

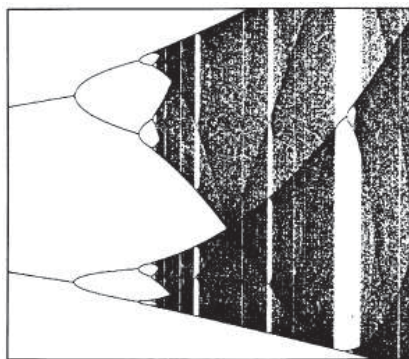
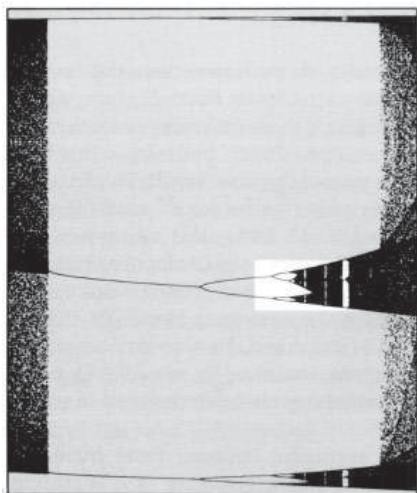
James Yorke đã phân tích bằng toán học hành trạng này trong bài báo mang tên “*Chu kỳ 3 kéo theo hỗn độn*” của mình. Ông đã chứng tỏ được rằng *mọi* hệ một chiều, nếu trong đó xuất hiện một chu trình đều đặn với chu kỳ ba thì hệ cũng sẽ thể hiện cả các chu trình đều đặn với chu kỳ khác, cũng như các chu trình hoàn toàn hỗn độn. Chính phát hiện này có tác dụng như một cú “điện giật” đối với các nhà vật lý như Freeman Dyson. Nó rất trái với trực giác. Sẽ thật là tầm thường nếu như thiết lập một hệ lặp lại chính mình trong một dao động chu kỳ ba mà không bao giờ tạo ra hỗn độn. Yorke đã chứng tỏ rằng điều đó là không thể.

Thật ngạc nhiên là Yorke lại tin rằng mối quan tâm chung đến bài báo của ông còn lớn hơn cả nội dung toán học của nó. Điều này chỉ đúng một phần. Vài năm sau, trong một hội thảo quốc tế ở Đông Berlin, ông đã dành thời gian để đi thăm thành phố và đi chơi thuyền trên sông Spree. Bỗng có một người Nga đến bắt chuyện và tuyên bố rằng ông có một điều bức xúc muốn trao đổi. Qua sự giúp đỡ của một người bạn Ba Lan, Yorke cuối cùng đã hiểu rằng nhà khoa học Nga



CÁC CỦA SỐ TRẬT TỰ Ở BÊN TRONG HỖN ĐỘN. Ngay cả với một phương trình đơn giản nhất, vùng hỗn độn trong giản đồ phân nhánh cũng có một cấu trúc phức tạp - nó có trật tự hơn nhiều so với những gì mà Robert May hình dung lúc ban đầu. Trước hết, những phân nhánh này tạo ra các chu kỳ 2, 4, 8, 16... Sau đó hỗn độn bắt đầu, và không có các chu kỳ đều đặn nào. Nhưng sau đó, khi người ta tăng tham số, tức là tăng độ phi tuyến của hệ, thì các cửa sổ với chu kỳ lẻ xuất hiện. Có một chu kỳ 3 ổn định (hình phóng đại, ở trên, trang bên phải), rồi sau đó sự nhân đôi chu kỳ lại xuất hiện: 6, 12, 24... Cấu trúc này có một độ sâu vô hạn. Khi các phần của những vùng này được phóng đại (như mẫu ở giữa của cửa sổ chu kỳ 3, ở dưới, trang bên phải), thì hóa ra chúng lại rất giống với toàn bộ giản đồ.

James P. Crutchfield / Nancy Stengold



này khẳng định ông đã chứng minh được chính kết quả đó. Ông ta từ chối đưa ra chi tiết, chỉ nói rằng sẽ gửi cho Yorke bài báo của mình. Bốn tháng sau Yorke đã nhận được bài báo này. Thực tế, A.N. Sarkowski đã đi trước ông trong một bài báo nhan đề *“Sự cùng tồn tại của các chu trình đối với ánh xạ liên tục của một đường cong lên chính nó”*. Nhưng bài báo của Yorke không chỉ là một kết quả toán học. Nó còn chứa một thông điệp dành cho các nhà vật lý: hỗn độn hiện hữu khắp nơi; nó ổn định và có cấu trúc. Bài báo cũng đưa ra các lý do để tin rằng các hệ phức tạp, trước kia được biểu diễn bằng các phương trình vi phân liên tục rất khó giải, nhưng lại có thể được biểu diễn bằng các ánh xạ rời rạc đơn giản hơn.

Cuộc gặp gỡ trên sông Spree giữa hai nhà toán học bất đồng ngôn ngữ và nói chuyện với nhau bằng cử chỉ và điệu bộ là bằng chứng cho thấy các nhà khoa học Xô Viết và phương Tây đã không có sự trao đổi thường xuyên. Do vấn đề bất đồng ngôn ngữ và hạn chế đi lại của phía Liên Xô, các nhà khoa học phương Tây ở trình độ cao thường chứng minh lại các kết quả đã tồn tại trong các sách báo khoa học của Liên Xô. Sự nỗ lực của hỗn độn ở Mỹ và châu Âu đã gợi cảm hứng rất nhiều cho các công trình nghiên cứu ở Liên Xô; nhưng nó cũng gây một sự ngạc nhiên lớn: một phần lớn của khoa học mới này không hề là mới mẻ ở Matxcova. Các nhà toán học và vật lý học Xô Viết đã có một kinh nghiệm lâu dài trong nghiên cứu về hỗn độn, bắt đầu từ A. N. Kolmogorov ngay từ những năm 1950. Hơn nữa, đã tồn tại ở Liên Xô một truyền thống hợp tác giữa vật lý và toán học, vượt qua các bất đồng vốn vẫn còn tồn tại ở các nước khác.

Chính vì thế mà các nhà khoa học Xô Viết đã dễ dàng tiếp nhận các tư tưởng của Smale - sắt móng ngựa của ông đã gây

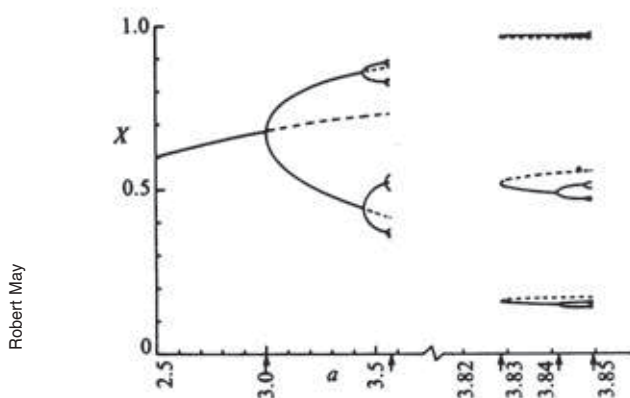
ấn tượng mạnh trong những năm 1960. Một nhà vật lý toán lỗi lạc là Yasha Sinai đã nhanh chóng chuyển dịch các hệ tương tự vào nhiệt động học. Tương tự, trong những năm 1970, khi các nhà nghiên cứu phương Tây cuối cùng cũng đã biết đến các công trình của Lorenz, thì nó cũng đã nhanh chóng được phổ biến ở Liên Xô. Và năm 1975, trong khi Yorke và May vất vả thu hút sự chú ý của các đồng nghiệp của mình, thì Sinai và các nhà nghiên cứu Xô Viết khác đã nhanh chóng lập nên một nhóm nghiên cứu mạnh đặt tại Gorki. Nếu, trong những năm gần đây, một số chuyên gia phương Tây về hỗn độn tự thấy cần đều đặn đến Liên Xô để cập nhật tình hình, thì một phần lớn trong số họ vẫn phải tự hài lòng với khoa học về hỗn độn qua phiên bản phương Tây của mình.

Tại phương Tây, Yorke và May là những người đầu tiên hiểu được tầm quan trọng của sự nhân đôi chu kỳ và thuyết phục phần còn lại của cộng đồng khoa học công nhận. Một vài nhà toán học cũng đã nhận thấy hiện tượng đó, nhưng coi nó chỉ thuần túy là vấn đề kỹ thuật, một sự kỳ cục bằng số - hay gần như chỉ là một trò tiêu khiển. Không phải là vì họ coi nó là tầm thường. Mà đối với họ, điều đó thuộc về một thế giới khác, một thế giới đặc biệt.

Vì thiếu hiểu biết toán học ở trình độ cao, và cũng cả vì thiếu động cơ khám phá hành trạng hỗn độn, nên các nhà sinh học đã bỏ qua sự phân nhánh xuất hiện trên con đường dẫn tới hỗn độn. Còn các nhà toán học đã quan sát thấy những phân nhánh này, nhưng họ lại lướt qua. May, người quan tâm tới cả toán học lẫn sinh học, hiểu được rằng ông đã thâm nhập vào một thế giới vừa đầy bất ngờ vừa hết sức sâu kín.

Để PHÂN TÍCH CHI TIẾT HƠN hệ đơn giản nhất này, các nhà khoa học cần một khả năng tính toán lớn hơn. Frank Hoppensteadt, làm việc tại Viện Toán Courant thuộc Đại học New York, có một máy tính mạnh đến mức ông đã quyết định làm một bộ phim về các kết quả của mình.

Hoppensteadt là một nhà toán học nhưng về sau đã quan tâm rất nhiều đến các vấn đề sinh học. Ông đã thực hiện trên máy tính Control Data 6600 của mình hàng trăm triệu phép lặp phương trình logistic. Ông đã chụp ảnh màn hình máy tính của mình đối với một nghìn giá trị của tham số - tức một nghìn bức ảnh. Các phân nhánh đã xuất hiện, sau đó là hỗn độn, rồi bên trong hỗn độn này là các điểm nhỏ trật tự, tồn tại rất ngắn trong sự bất ổn định của chúng - các ánh chớp vụt qua của hành trạng tuần hoàn. Xem bộ phim của mình, Hoppensteadt có cảm giác bay bổng trên một không gian mới lạ. Trong chốc



Giản đồ phân nhánh như May đã quan sát lần đầu tiên, trước khi các tính toán chi tiết hơn phát lộ sự phong phú về cấu trúc của nó.

lát, không còn gì hỗn độn nữa; nhưng một lúc sau, lại đầy áp sự náo động không thể dự báo được. Hoppensteadt vẫn còn giữ kỷ niệm về trạng thái sững sờ ấy của mình.

May đã xem bộ phim của Hoppensteadt. Ông bắt đầu thu thập các bộ phim khác, được thực hiện trong các chuyên ngành khoa học khác như di truyền, kinh tế và cơ học chất lỏng. Với vai trò là người biện hộ cho hỗn độn, ông có hai lợi thế so với các nhà toán học thuần túy. Lợi thế thứ nhất là, theo ông, các phương trình đơn giản *không thể* mô tả thực tế một cách hoàn hảo. Ông biết rằng chúng chỉ là các mô hình - và ông luôn băn khoăn về phạm vi ứng dụng của chúng. Lợi thế thứ hai là ông biết rằng sự phát hiện ra hỗn độn sẽ lập tức gây ra một cuộc tranh luận gay gắt trong lĩnh vực mà ông đã chọn.

Dù sao thì sinh học về dân số các quần thể cũng đã thu hút từ lâu các cuộc tranh luận. Trong các khoa sinh học vốn đã có sự căng thẳng giữa, chẳng hạn, các nhà sinh học phân tử và các nhà sinh thái học. Các nhà sinh học phân tử cho rằng họ mới là người nghiên cứu khoa học *đích thực*, rằng họ tấn công các vấn đề cụ thể, khó, trong khi các nhà sinh thái học nghiên cứu những vấn đề rất mơ hồ. Về phần mình, các nhà sinh thái học lại cho rằng các kiệt tác kỹ thuật của các nhà sinh học phân tử chẳng qua chỉ là sự hoàn thiện khôn khéo các vấn đề đã được xác định rõ.

Đầu những năm 1970, sinh thái học, như May đã nhận xét, đã biến chính mình thành đối tượng của một cuộc tranh luận cơ bản liên quan đến bản chất của những thay đổi về số lượng trong một quần thể. Sự chia rẽ giữa các nhà sinh thái học này gần như chỉ dựa trên các vấn đề cá nhân. Một số người cho rằng thế giới là trật tự: các quần thể tuân theo các quy luật,

và tiến hóa một cách đều đặn - tất nhiên có các ngoại lệ. Một số khác lại nghĩ ngược lại: các quần thể thay đổi một cách ngẫu nhiên - cũng có các ngoại lệ. Vì vậy cũng chẳng hề ngẫu nhiên khi hai phe này còn chia rẽ cả về vấn đề ứng dụng toán học thuần túy vào các vấn đề phức tạp của sinh học. Những người cho rằng các quần thể tiến hóa một cách liên tục khẳng định rằng chúng phải tuân theo các cơ chế tất định. Và những người cho rằng các quần thể tiến hóa một cách ngẫu nhiên lại khẳng định rằng chúng chịu ảnh hưởng của các nhân tố môi trường không thể dự báo được, do đó loại trừ mọi dấu hiệu quyết định luận. Hoặc là toán học tất định tạo ra một hành trạng chính quy, hoặc là một hỗn tạp ngẫu nhiên từ bên ngoài sinh ra một hành trạng ngẫu nhiên. Cần phải lựa chọn.

Trong hoàn cảnh này, hỗn độn mang đến một thông điệp gây sửng sốt: các mô hình quyết định luận đơn giản có thể cho ra đời một hành trạng rõ ràng là ngẫu nhiên. Hành trạng này trên thực tế có một cấu trúc đặc biệt tinh tế, tuy nhiên một mẫu bất kỳ của nó lại dường như lại không thể phân biệt được với các nhiễu tạp. Phát hiện này nhằm trúng tâm điểm của cuộc tranh luận.

Trong quá trình nghiên cứu ngày càng nhiều các hệ sinh học thông qua lăng kính các mô hình hỗn độn đơn giản, May vẫn tiếp tục quan sát thấy các kết quả vi phạm trực giác quen thuộc của các nhà thực nghiệm. Chẳng hạn, các nhà dịch tễ học đã biết rất rõ rằng dịch bệnh có xu hướng xuất hiện theo chu kỳ, đều đặn hoặc không đều đặn. Dịch sởi, viêm thủy đậu, sốt rubella - tất cả các dịch bệnh này đều tăng phát và giảm thiểu theo chu kỳ. May đã nhận thấy rằng có thể tái tạo lại các dao động này bằng một mô hình phi tuyến, và ông

bản khoán muốn biết điều gì sẽ xảy ra nếu như hệ chịu một tác động đột ngột - một kiểu nhiễu loạn tương ứng với một chương trình tiêm vắc xin, chẳng hạn. Trực giác ngây thơ gợi ý rằng hệ sẽ thay đổi trơn tru theo hướng mong muốn. Nhưng thực tế, May đã phát hiện ra rằng khi đó có nguy cơ sẽ xuất hiện những dao động lớn. Ngay cả khi, trong thời gian dài, xu hướng chắc chắn là sẽ suy giảm, nhưng con đường tiến đến trạng thái cân bằng mới sẽ bị đứt đoạn bởi các đỉnh điểm bất ngờ. Thực tế, các bác sỹ đã quan sát được những dao động như May dự đoán trong các dữ liệu thu thập từ các chương trình thực tế, chẳng hạn như chiến dịch chống sốt rubela tại Anh, đúng như các mô hình của May tiên đoán. Tuy nhiên, tất cả những nhà lãnh đạo y tế khi thấy sự gia tăng đột biến của dịch rubela hay bệnh giang mai thì đều cho rằng chương trình tiêm chủng đã thất bại.

Trong vài năm, nghiên cứu hỗn độn đã truyền một xung lực lớn cho sinh học lý thuyết, làm nảy sinh giữa các nhà sinh học và vật lý học một sự hợp tác mà vài năm trước người ta khó có thể tưởng tượng được. Các nhà sinh thái học và các nhà dịch tế học đã rút ra từ các dữ liệu cũ cái mà các nhà khoa học trước kia đã loại bỏ, vì cho rằng chúng quá khó sử dụng. Người ta đã phát hiện ra hỗn độn tất định trong các báo cáo về dịch sỏi ở New York, và trong những thay đổi về số lượng của quần thể loài linh miêu ở Canada mà những người đánh bẫy của Công ty vịnh Hudson đã thống kê được trong hai thế kỷ. Các nhà sinh học phân tử đã bắt đầu coi protein như những hệ đang vận động. Các nhà sinh lý học nhìn các cơ quan không còn như những cấu trúc tĩnh nữa, mà như các cấu trúc phức tạp của những dao động lúc thì đều đặn, lúc lại thất thường.

May biết rằng, trong tất cả các chuyên ngành khoa học, nhiều nhà nghiên cứu đã quan sát thấy và tranh luận về hành trạng phức tạp của các hệ. Nhưng mỗi một chuyên ngành lại cho rằng nhánh hỗn độn cụ thể của nó là chuyên biệt chỉ riêng cho lĩnh vực của ngành mình thôi. Tư tưởng này thật đáng thất vọng. Nhưng điều gì sẽ xảy ra, nếu như hành trạng ngẫu nhiên xuất hiện từ các mô hình đơn giản? Và điều gì sẽ xảy ra, nếu như các mô hình đơn giản *như nhau* lại áp dụng được cho tính phức tạp trong các lĩnh vực khác nhau? May đã nhận thấy rằng các cấu trúc gây ngạc nhiên mà ông vừa mới bắt đầu khám phá ra về thực chất không có mối liên hệ nội tại gì với sinh học cả. Ông băn khoăn tự hỏi có biết bao nhà khoa học thuộc các chuyên ngành khác cùng chia sẻ sự ngạc nhiên như ông. Và cuối cùng, ông đã bắt tay viết một bài báo mà ông đã coi là “cứu tinh”, về những điều mà ông suy nghĩ, một bài báo có tính tổng quan đăng trên tờ *Nature* năm 1976.

Thế giới sẽ là một nơi tốt đẹp hơn, May nói, nếu người ta cấp cho mỗi sinh viên năm đầu một máy tính bỏ túi và khuyến khích anh ta chơi với các phương trình logistic. Phép tính đơn giản này, được ông trình bày khá chi tiết trong bài báo đăng trên tờ *Nature*, sẽ giúp loại bỏ các định kiến méo mó vốn có từ nền giáo dục khoa học chuẩn mực, về các khả năng của tự nhiên. Điều này sẽ làm thay đổi lối tư duy của mọi người về rất nhiều chủ đề, từ lý thuyết các chu kỳ kinh tế cho đến sự lan truyền các tiếng đồn.

Cần phải giảng dạy hỗn độn, ông khẳng định. Đã đến lúc phải thừa nhận rằng việc đào tạo khoa học theo những chuẩn mực hiện nay đã gây ra những ấn tượng rất sai lệch. Bất chấp

những thành tựu mà toán học tuyến tính đã đạt được, với các phép biến đổi Fourier, các hàm trực giao, các kỹ thuật hồi quy của nó, theo May, những thành tựu này chắc chắn đã đánh lừa các nhà khoa học về thế giới hết sức phi tuyến của họ. Ông viết: “Trực giác toán học được phát triển như vậy sẽ chuẩn bị không tốt cho sinh viên khi phải đương đầu với hành trạng lạ được bộc lộ của ngay cả những hệ đơn giản nhất trong số các hệ rời rạc phi tuyến”.

“Mọi thứ sẽ tốt hơn, không chỉ trong nghiên cứu mà còn cả trong thế giới hàng ngày của chính trị và kinh tế, nếu như có nhiều người hơn nữa nhận thức được rằng các hệ phi tuyến đơn giản không nhất thiết phải có các tính chất động lực đơn giản”.

MỘT HÌNH HỌC CỦA TỰ NHIÊN

*Ấy thế rồi một mối quan hệ hiện ra,
Một quan hệ nhỏ lan tỏa như cái bóng
Của một đám mây trên cát, một hình bóng trên sườn đồi*

—WALLACE STEVENS

“Người am hiểu hỗn độn”

MỘT BỨC TRANH VỀ HIỆN THỰC hình thành dần trong đầu Benoit Mandelbrot suốt nhiều năm ròng. Năm 1960, hình ảnh đó mới chỉ chập chờn trong suy nghĩ, một hình dạng mơ hồ, bất định. Nhưng Mandelbrot đã nhận ra ngay khi nhìn thấy nó: nó ở đó, trên tấm bảng trong phòng làm việc của Hendrick Houthakker.

Mandelbrot nghiên cứu tất cả các môn toán. Ông đã được chấp nhận và che chở dưới đôi cánh của bộ phận nghiên cứu cơ bản của Tập đoàn máy tính IBM (*International Business Machines Corporation*). Ông đắm mình trong kinh tế, miệt mài nghiên cứu phân bố những thu nhập lớn và nhỏ. Houthakker, giáo sư kinh tế của Đại học Harvard, đã mời ông tới thuyết trình, và khi đặt chân đến Littauer Center, một tòa nhà bề thế dành cho các khoa học kinh tế nằm ở chính Bắc của Harvard Yard, nhà toán học trẻ rất ngạc nhiên khi thấy các phát hiện của mình đã được viết sẵn trên tấm bảng trong phòng của Houthakker. Ông đùa bằng giọng cầu nhàu - *Làm sao mà cái biểu đồ của tôi lại có thể được vẽ ra trước cả buổi thuyết trình của tôi thế này?* Houthakker không hiểu ông muốn

nói gì: biểu đồ này đâu có liên quan gì đến phân bố thu nhập; nó biểu diễn sự biến động của giá bông trong 8 năm.

Đối với Houthakker cũng vậy, biểu đồ này có một điều gì đó kỳ lạ. Các nhà kinh tế học thường cho rằng giá của một mặt hàng như bông thường biến động theo hai nhịp khác nhau, một đều đặn và một bấp bênh. Về dài hạn, giá cả này phải liên tục chịu những tác động thực của nền kinh tế như sự thăng trầm của ngành công nghiệp dệt ở New-England, hay sự xuất hiện thêm các giao thương quốc tế. Về ngắn hạn, nó cũng chịu những tác động ít nhiều ngẫu nhiên. Thật không may, những dữ liệu của Houthakker lại không phù hợp với mong đợi của ông. Chúng chứa quá nhiều những sai lệch lớn. Tất nhiên, đa số các biến động giá đều nhỏ, nhưng tỷ số giữa những biến động nhỏ với những biến động lớn là không cao như ông nghĩ. Phân bố không giảm đủ nhanh, mà nó có một cái đuôi trái dài.

Mô hình chuẩn để vẽ sự biến thiên này là - và vẫn là - một đồ thị hình chuông. Ở giữa, gần đỉnh chuông, hầu hết các số liệu tập trung quanh giá trị trung bình này. Ở hai phía, các giá trị thấp cũng như cao đều giảm rất nhanh. Đồ thị hình chuông này rất quen thuộc đối với các chuyên gia thống kê, cũng giống như cái ống nghe gắn liền với bác sĩ: một công cụ thuộc loại quan trọng bậc nhất. Nó biểu thị cái mà người ta gọi là phân bố Gauss - hay đơn giản hơn là phân bố chuẩn. Nó cho biết về bản chất của ngẫu nhiên: khi các đại lượng biến thiên, chúng cố gắng vẫn ở quanh một giá trị trung bình, và tự sắp xếp để phân tán một cách đều đặn hợp lý xung quanh giá trị trung bình đó. Nhưng những khái niệm chuẩn này lại không mấy thiết thực đối với một lĩnh vực đầy rẫy những điều bất thường như kinh tế. Như Wassily Leontief, người từng được

giải Nobel về kinh tế, đã nói: “Chẳng có một lĩnh vực nghiên cứu thực nghiệm nào mà kho tàng các kỹ thuật thống kê đồ sộ và tinh xảo như thế lại được sử dụng để thu được những kết quả tầm thường đến thế”.

**Luật
phân bố chuẩn về
sai số là một trong những
khái quát hóa lớn nhất của triết học
tự nhiên mà nhân loại từng biết đến.
Nó dẫn đường cho các nhà nghiên cứu
vật lý, khoa học nhân văn, y học, nông học và
xây dựng. Nó là một công cụ không thể thiếu cho phân tích
và giải thích các dữ liệu cơ bản thu được từ quan sát và thực nghiệm.**

W.J.Youden

ĐƯỜNG CONG HÌNH CHUÔNG

Dù biểu thị giá bông bằng cách nào đi nữa, thì Houthakker cũng không thể nhận được một đồ thị hình chuông. Tuy nhiên, ông đã nhận được một bức tranh mà hình bóng của nó Mandelbrot đã bắt gặp ngày càng thường xuyên hơn ở những nơi rất khác nhau. Khác với phần lớn các nhà toán học, Mandelbrot tiếp cận vấn đề bằng cách dựa vào trực giác của mình đối với các hình và dạng. Ông coi thường phân tích và tin vào những hình ảnh trong đầu mình. Và ông đã nghĩ rằng các hiện tượng bấp bênh, ngẫu nhiên có thể được chi phối bởi nhiều quy luật khác, với một hành trạng khác. Khi trở lại trung tâm nghiên cứu IBM, nằm trong khu Yorktown Heights, ở New York, ông mang theo một hộp các *phiếu đục lỗ*^(*) chứa các dữ

* Trong giai đoạn đầu của máy tính điện tử các chương trình giải các bài toán được đưa vào máy tính không phải từ các bàn phím như hiện nay mà bằng các phiếu đục lỗ.

liệu của Houthakker về bông. Rồi ông cũng tự tìm thêm các tài liệu khác - lần ngược trở lại tận năm 1900 - của Bộ Nông nghiệp ở Washington.

Giống như các nhà khoa học thuộc những chuyên ngành khác, các nhà kinh tế học cũng bước vào kỷ nguyên tin học, họ dần dần ý thức được khả năng mà nó đem đến cho họ để thu thập, tổ chức và xử lý thông tin ở quy mô mà trước đây không tưởng tượng nổi. Tuy nhiên, không phải thông tin nào họ cũng có, và thông tin mà họ thu thập được cũng phải ghi dưới dạng có thể sử dụng được. Đó cũng là lúc bắt đầu của kỷ nguyên của phiếu đục lỗ. Trong các ngành khoa học tự nhiên, nhờ có nó các nhà nghiên cứu mới có thể dễ dàng thu thập hàng ngàn hoặc hàng triệu dữ liệu. Cũng như các nhà sinh học, các nhà kinh tế học quan tâm đến một thế giới những sinh vật có ý chí riêng. Nhưng những thứ mà các nhà kinh tế học quan tâm thuộc loại khó nắm bắt nhất trên đời.

Ít ra thì môi trường của các nhà kinh tế lúc nào cũng cung cấp cho họ dữ liệu. Đối với Mandelbrot, giá bông là một nguồn tài liệu lý tưởng. Các lưu trữ rất đầy đủ và có từ rất lâu, liên tục từ khoảng 100 năm về trước, thậm chí còn xa hơn nữa. Bông thuộc thế giới của bán và mua, với một thị trường tập trung, và vì thế các ghi chép cũng rất tập trung. Đầu thế kỷ, tất cả lượng bông miền Nam nước Mỹ đều được giao dịch tại thị trường New York, sau đó xuất sang Anh, và giá bông ở Liverpool có liên quan đến giá bông ở New York.

Mặc dù các nhà kinh tế nhanh chóng đạt đến những giới hạn của họ ngay khi phân tích giá của hàng hóa hay của chứng khoán, nhưng điều đó không có nghĩa là họ thiếu một quan niệm nền tảng về các cơ chế biến động giá. Ngược lại, họ cũng

có một số niềm tin, trong số đó có niềm tin rằng những biến động nhỏ, nhất thời không có liên quan gì với những biến động lớn, dài hạn. Những biến động nhanh là ngẫu nhiên: những sự tăng hoặc giảm nhẹ này trong các giao dịch hàng ngày chỉ là nhiễu loạn, không tiên đoán được và chẳng cần phải quan tâm. Nhưng những biến động dài hạn lại hoàn toàn khác. Các biến động lớn trong nhiều tháng, nhiều năm hay hàng chục năm này phụ thuộc vào các tác động ở tầm kinh tế vĩ mô - chiến tranh hay suy thoái kinh tế -, những ảnh hưởng mà về lý thuyết có thể hiểu được. Một đằng là những thăng giáng ngắn hạn, đằng kia là tín hiệu về sự thay đổi lâu dài.

Thực ra, sự lưỡng phân này không có chỗ trong bức tranh về hiện thực mà Mandelbrot xây dựng. Thay vì tách các biến động lớn và nhỏ ra, bức tranh của ông lại gộp chúng lại với nhau. Mandelbrot tìm kiếm các hình mẫu không phải ở thang này hay thang khác, mà là xuyên suốt mọi thang bậc. Và mặc dù còn xa mới có thể vẽ ra một cách rõ ràng hình ảnh mà ông có trong đầu, nhưng ông đã biết rằng nó phải chứa một dạng đối xứng, không phải là đối xứng phải - trái, thấp - cao, mà là một đối xứng giữa các thang lớn và nhỏ.

Thực tế, bằng cách chuyển dữ liệu về giá bông cho máy tính của IBM sàng lọc, Mandelbrot đã phát hiện ra các kết quả đầy ngạc nhiên mà ông tìm kiếm. Những con số này tạo ra những sai lệch theo quan điểm của phân bố chuẩn nhưng cũng lại sinh ra một đối xứng theo quan điểm bất biến thang. Mỗi biến động giá cụ thể đều là ngẫu nhiên và không thể tiên đoán được, nhưng chuỗi liên tiếp của chúng lại không phụ thuộc vào thang: các đường cong biểu diễn biến động hàng ngày và hàng tháng lại hoàn toàn khớp với nhau. Thật là không

thể tưởng tượng nổi, theo phân tích của Mandelbrot, độ biến động là không thay đổi trong một thời kỳ đầy biến động kéo dài 60 năm trải qua hai cuộc đại chiến thế giới và một đợt suy thoái kinh tế.

Chính các khối dữ liệu rời rạc nhất lại ẩn chứa một dạng trật tự thật bất ngờ. Do các con số mà ông xem xét khá là tùy tiện, nên Mandelbrot đã phải tự đặt ra cho mình câu hỏi: tại sao chúng lại tuân theo một quy luật đặc biệt như thế? Và tại sao quy luật này lại áp dụng được cả cho thu nhập cá nhân lẫn giá bông?

Sự thực là những hiểu biết về kinh tế của Mandelbrot cũng hạn chế như khả năng giao tiếp của ông với các nhà kinh tế học. Khi gửi đăng một bài báo về những phát hiện của mình, ông đã phải để trước nó một bài báo khác do một sinh viên của ông viết, nhắc lại nội dung bài báo của ông nhưng bằng ngôn từ kinh tế học. Rồi Mandelbrot chuyển sang những mối quan tâm khác, nhưng ông ngày càng quyết tâm khám phá hiện tượng bất biến thang. Dường như đối với ông đó là một phẩm chất có đời sống riêng của nó - một bản sắc riêng.

NHIỀU NĂM SAU, trong một buổi thuyết trình, khi được người ta giới thiệu ông (“... đã dạy kinh tế ở Harvard, vật lý ứng dụng ở Yale, sinh lý học ở Trường Y mang tên Einstein...”), ông đã kiêu hãnh nhận xét: “Mỗi khi nghe người ta xướng danh sách các nghề nghiệp cũ của tôi, tôi không biết mình có thực sự tồn tại hay không. Giao của các tập này chắc chắn sẽ là một tập rỗng”. Thực tế là từ ngày đầu làm việc ở IBM, Mandelbrot chưa bao giờ nhận được sự công nhận của các chuyên ngành

mà ông quan tâm. Ông vẫn luôn bị coi là người ngoại đạo, người đưa một cách tiếp cận không chính thống vào một góc đã lỗi thời của toán học, người khai phá những lĩnh vực mà mình hiếm khi được chào đón, người che giấu những ý tưởng vĩ đại nhất để các bài báo của mình có thể được đăng, người tồn tại chủ yếu nhờ vào niềm tin mà các ông chủ ở Yorktown Heights dành cho. Ông đã nhiều lần bất ngờ nghiên cứu một lĩnh vực nào đó - như kinh tế, chẳng hạn - rồi sau đó lại rút lui, để lại đằng sau những ý tưởng cực kỳ hấp dẫn, nhưng hiếm khi để lại những công trình được xây dựng một cách vững chắc.

Trong lịch sử về hỗn độn, Mandelbrot đã vạch ra con đường riêng của mình. Tuy nhiên, bức tranh về hiện thực hình thành trong đầu ông vào năm 1960 đã tiến triển từ một ý tưởng khác thường, kỳ quặc thành một môn hình học hoàn chỉnh. Và mặc dù đối với các nhà vật lý nghiên cứu dựa trên sự phát triển những công trình của Lorenz, Smale, Yorke hay May, nhà toán học dễ cáu bẳn này là một con người gai góc, nhưng các kỹ thuật của ông, tiếng nói của ông đã trở nên không thể tách rời khỏi môn khoa học mới của họ.

Điều mô tả ở trên có thể sẽ làm ngạc nhiên những ai đã biết về Mandelbrot trong những năm gần đây, một người có vầng trán cao và rộng, với nhiều danh hiệu và vinh dự. Nhưng người ta sẽ hiểu rõ ông hơn nếu biết rằng ông đã từng là một kẻ lưu vong. Ông sinh ra ở Varsava năm 1924, trong một gia đình Do Thái người Litva. Cha ông là người bán buôn quần áo còn mẹ là một nha sĩ. Ý thức được về tình hình địa chính trị, gia đình ông đã di cư đến Paris năm 1936, một phần cũng là vì ở đó đã có một người bác của Mandelbrot, nhà toán học Szolem Mandelbrot. Khi chiến tranh nổ ra, gia đình ông lại

một lần nữa bị bọn Đức quốc xã truy đuổi, phải bỏ lại tất cả trừ mấy chiếc vali, góp phần làm đông thêm dòng người lưu vong chen chúc nhau trên các con đường ở phía Nam thủ đô Paris. Và cuối cùng họ dừng chân ở thị trấn Tulle (Italia).

Trong một thời gian ngắn, Mandelbrot đã làm thợ học việc chế tạo công cụ. Vóc người và văn hóa của ông rất có nguy cơ thu hút sự chú ý của bọn Quốc xã. Đó là thời gian của những cảnh tượng và những nỗi sợ hãi không thể nào quên, tuy nhiên, sau này ông không nhớ nhiều về những điều mà bản thân ông đã phải chịu đựng mà lại giữ được nhiều kỷ niệm về những tình bạn của ông, ở Tulle và cả những nơi khác nữa, với các thầy giáo của ông - một số người là những học giả lỗi lạc - vốn cũng bị bỏ rơi bởi chiến tranh. Nhìn chung, thời gian học ở trường của ông rất thất thường và hay ngắt quãng. Ông khẳng định chưa bao giờ học bằng chữ cái, cũng chưa từng học hết bảng cửu chương sau số 5. Nhưng ông có một năng khiếu.

Khi Paris được giải phóng, dù không chuẩn bị nhưng ông đã thi đỗ các môn thi viết và vấn đáp vào trường Sư phạm (*École Normale*) và trường Bách khoa (*École Polytechnique*) Paris. Kỳ thi này bao gồm nhiều môn thi trong đó có một bài thi vẽ, và Mandelbrot đã bộc lộ năng khiếu đặc biệt khi vẽ bức tượng Vệ nữ ở Milo. Trong môn thi toán - gồm các bài tập về đại số và giải tích - ông đã dùng trực giác hình học để bù lại những thiếu hụt về kiến thức của mình. Ông nhận thấy rằng với một bài tập giải tích đã cho, gần như lúc nào ông cũng có thể nghĩ về nó thông qua một hình ảnh hình học trong đầu. Với một hình dạng đã cho, ông luôn tìm ra những phương tiện để biến đổi nó, thay đổi các đối xứng của nó, làm cho nó hài hòa hơn. Thường thì những biến đổi này giúp ông tìm ra ngay lời giải

cho bài toán ban đầu. Trong vật lý và hóa học, những môn mà ông không thể áp dụng hình học được, thì kết quả học tập của ông không cao. Nhưng trong toán học, những bài toán mà ông không thể giải quyết bằng các kỹ năng truyền thống, đều phải chịu khuất phục trước những thao tác hình học trong đầu ông.

Trường Sư phạm và Bách Khoa là những trường tinh hoa của nước Pháp. Ở Mỹ không có trường nào tương tự với loại trường này. Chỉ riêng hai trường này mỗi năm đã cung cấp gần 300 sinh viên tốt nghiệp cho các trường đại học và ngành xây dựng. Mandelbrot bắt đầu học ở trường Sư phạm, trường nhỏ hơn và nổi tiếng hơn trường Bách Khoa, nhưng sau vài ngày ông đã rời trường Sư Phạm để chuyển sang trường Bách Khoa. Thực chất là để chạy trốn nhóm Bourbaki.

Có lẽ Bourbaki chẳng thể ra đời ở đâu khác ngoài nước Pháp, nơi người ta thể hiện niềm đam mê đối với các trường đại học độc đoán và những quy tắc ngặt nghèo về học tập. Ban đầu, đây giống như một câu lạc bộ, được thành lập trong những ngày còn bất an sau cuộc Đại chiến thế giới I bởi Szolem Mandelbrot và một nhóm các nhà toán học trẻ vô tư khác tìm cách xây dựng lại nền toán học của nước Pháp. Những tác động nghiệt ngã của chiến tranh đối với dân số đã để lại một khoảng trống về tuổi tác giữa các giáo sư đại học và sinh viên, cắt đứt sự tiếp nối truyền thống hàn lâm, và những người trẻ tuổi xuất sắc này đã bắt tay đặt nền móng mới cho nghiên cứu toán học. Bản thân tên của nhóm cũng là một sự đùa cợt, vay mượn cái âm lạ tai và hấp dẫn từ tên của một vị tướng người Pháp gốc Hy Lạp thế kỷ XIX - ấy là sau này người ta đoán thế. Nhưng trò tình nghịch của những ngày sơ khởi của Bourbaki đã nhanh chóng biến mất.

Các thành viên của nhóm gặp nhau bí mật. Và thực tế, mọi người cũng không biết hết nhau. Số thành viên được cố định. Khi một thành viên trong nhóm về hưu, ở tuổi đề ra là 50, thì những người còn lại trong nhóm sẽ chọn bổ sung một người khác. Họ là những người giỏi nhất, tài năng nhất trong số các nhà toán học, và ảnh hưởng của họ nhanh chóng lan rộng toàn Châu Âu.

Bourbaki được thành lập một phần cũng là để phản ứng lại Poincaré, nhà toán học vĩ đại cuối thế kỷ XIX, nhà tư tưởng và tác giả của nhiều tác phẩm đến khó tin, nhưng tính chặt chẽ toán học lại không phải là mối bận tâm chính. Ông đã từng nói: “Tôi biết rằng nó phải đúng, vậy tại sao tôi lại phải chứng minh làm gì?”. Nhóm Bourbaki cho rằng các nền móng do Poincaré để lại cho toán học đang lung lay, nên đã phản ứng bằng việc bắt tay biên soạn một bộ sách đồ sộ bằng một phong cách ngày một cuồng tín nhằm lập lại trật tự trong môn học đó. Lập luận logic đóng vai trò hàng đầu trong bộ sách này. Một nhà toán học phải đi từ những tiên đề vững chắc đầu tiên, rồi sau đó suy ra tất cả những thứ còn lại. Nhóm này nhấn mạnh cả vị trí cao hơn hẳn lẫn sự độc lập của toán học đối với các môn khoa học khác. Toán học là toán học - người ta không thể đánh giá nó dựa trên những ứng dụng của nó vào các hiện tượng vật lý thực. Nhưng trên hết, Bourbaki bác bỏ việc sử dụng các hình ảnh: chúng luôn có nguy cơ dẫn tới sai lầm. Hình học không đáng để tin. Toán học phải thuần túy, hình thức và không hoa mỹ.

Thực ra thì xu hướng phát triển này không hẳn chỉ xảy ra ở riêng nước Pháp. Ở Mỹ, các nhà toán học cũng đã quyết tâm quay lưng lại với những yêu cầu của các nhà vật lý, giống như các nghệ sĩ và nhà văn đã quyết không chịu chạy theo sở thích

của công chúng. Cảm giác khép kín đã chiến thắng. Những chủ đề nghiên cứu của các nhà toán học đã quá đủ đối với chính họ; phương pháp của họ đã trở thành phương pháp tiên đề thuần túy. Một nhà toán học có thể kiêu hãnh khẳng định rằng các công trình của mình không hề giải thích một hiện tượng nào của thực tế hoặc của khoa học hết. Thái độ này mang lại nhiều lợi thế, và các nhà toán học khăng khăng bám riết vào đó. Stephen Smale, ngay cả khi đang hoạt động để hòa giải toán học và các khoa học tự nhiên, cũng đã tin - cùng với niềm tin đối với những gì ông đã tin - rằng *toán học phải là một khoa học tự thân*. Sự độc lập này dẫn đến sự rõ ràng, mạch lạc, không mơ hồ, và từ đó dẫn đến sự chặt chẽ của phương pháp tiên đề. Nhà toán học nghiêm túc nào cũng biết rằng tính chặt chẽ là sức mạnh quyết định của toán học, là bộ khung thép mà nếu không có nó thì toàn bộ tòa nhà toán học sẽ sụp đổ. Chính tính chặt chẽ cho phép các nhà toán học có thể lấy lại một đường hướng tư duy, mở rộng nó qua nhiều thế kỷ và tiếp tục nó với một sự đảm bảo vững chắc.

Thậm chí có như thế chẳng nữa thì những đòi hỏi về tính chặt chẽ này cũng có những hậu quả không ngờ đối với toán học thế kỷ XX. Toán học đã đi theo một sự tiến hóa đặc biệt. Một nhà nghiên cứu lao vào một vấn đề sẽ bắt đầu bằng việc quyết định sẽ đi theo con đường nào. Quyết định này thường khiến người ta phải lựa chọn giữa con đường khả thi về mặt toán học và con đường khác cũng thú vị trên quan điểm tìm hiểu tự nhiên. Đối với một nhà toán học, sự lựa chọn là rõ ràng: tạm thời từ bỏ tất cả những gì có quan hệ rõ ràng với tự nhiên. Và rồi các sinh viên của anh ta cũng đứng trước một sự lựa chọn tương tự và cũng đưa ra quyết định tương tự.

Không ở đâu các giá trị này lại được luật hóa nghiêm ngặt như ở Pháp, nơi nhóm Bourbaki đã gạt hái được thành công vượt ra ngoài cả sự tưởng tượng của những người sáng lập. Các quy tắc của Bourbaki, phong cách Bourbaki, các kí hiệu Bourbaki đã trở thành một yêu cầu bắt buộc. Sự thu hút được các sinh viên giỏi nhất và dòng đều đặn các công trình toán học xuất sắc của nhóm Bourbaki đã đảm bảo cho câu lạc bộ này một địa vị chính thống không thể phủ nhận được. Nhóm này đã thống trị hoàn toàn trường Sư phạm, điều này đối với Mandelbrot là không thể chấp nhận được. Chính vì Bourbaki mà ông đã từ bỏ trường Sư Phạm và, khoảng chục năm sau, ông bỏ luôn nước Pháp để đến Mỹ cũng vì nguyên nhân đó. Trong khoảng chục năm, sự trừu tượng hóa không ngừng của Bourbaki đã bắt đầu chết dần do sự xuất hiện của máy tính với khả năng tạo ra một toán học mới, toán học của thị giác. Nhưng điều đó là quá muộn đối với Mandelbrot, ông không thể sống trong chủ nghĩa hình thức của Bourbaki, và quyết không chịu từ bỏ trực giác hình học của mình.

LUÔN TIN RẰNG PHẢI SÁNG TẠO RA huyền thoại riêng của mình, Mandelbrot đã thêm câu này vào mục từ viết về ông trong cuốn *Ai là Ai* (Who's Who): “Khoa học tất sẽ đi đến sụp đổ nếu (giống như trong thể thao) nó đặt sự thi thố lên trên tất cả, và nếu nó phải làm sáng tỏ các luật lệ của cuộc thi này bằng cách hoàn toàn rút lui vào bên trong các chuyên ngành đã được xác định một cách chặt hẹp. Một số hiếm hoi các nhà bác học, những người chọn cách du cư, thực sự đã đóng vai trò rất quan trọng đối với phúc lợi trí tuệ của các chuyên ngành đã được thiết lập”. “Người du cư tự nguyện” này, người tự coi

mình là “tiên phong do sự cần thiết”, đã bỏ trường đại học, bỏ nước Pháp và chấp nhận chỗ nương náu mình do Trung tâm Nghiên cứu Thomas J. Watson của hãng IBM dành cho ông. Trong suốt hành trình 30 năm từ bóng tối bước đến đài vinh quang, ông chưa bao giờ thấy các nghiên cứu của mình được đón nhận bởi nhiều lĩnh vực khoa học mà ông gửi đến. Dù không có vẻ gì là ác ý, nhưng ngay cả các nhà toán học cũng nói, rằng dù thế nào đi nữa, thì Mandelbrot cũng không phải là một người trong số họ.

Ông đã tìm ra con đường của mình một cách rất chậm chạp, nhưng luôn được hỗ trợ bởi sự hiểu biết phi thường của ông về những con đường phụ đã bị lịch sử khoa học lãng quên. Ông đã phiêu lưu trong ngôn ngữ toán học, làm sáng tỏ luật phân bố của các từ. (Ông kể lại rằng ông bắt đầu chú ý tới vấn đề này khi đọc một bài điểm sách trong một tạp chí toán học mà ông đã nhặt được trong sọt rác của một nhà toán học thuần túy để có cái gì đó đọc trên tàu điện ngầm ở Paris). Ông cũng nghiên cứu cả lý thuyết trò chơi, và môn men vào cả kinh tế. Ông đã viết một bài báo về tính bất biến thang trong phân bố các thành phố lớn và nhỏ. Nhưng cái khuôn khổ chung để tập hợp các công trình của ông vẫn còn nằm ở hậu cảnh, và chưa hoàn chỉnh.

Giai đoạn đầu của ông ở IBM, ngay sau những nghiên cứu về giá hàng hóa, ông đã đối mặt với một bài toán cụ thể mà ông chủ công ty của ông rất quan tâm. Các kỹ sư ở đây đang vấp phải vấn đề ồn nhiễu xuất hiện trên các đường dây điện thoại được dùng để truyền thông tin từ máy tính này sang máy tính khác. Dòng điện mang thông tin này dưới dạng các gói rời rạc, và các kỹ sư đã nhận thấy rằng họ càng tăng cường

độ của dòng điện này, thì càng làm cho nhiễu tạp này yếu đi. Nhưng họ cũng lại phát hiện ra rằng không bao giờ loại bỏ được một số nhiễu tạp tự phát. Đôi khi những nhiễu tạp này xóa đi một phần tín hiệu và gây ra sai sót.

Mặc dù nhiễu tạp trong quá trình truyền thông tin này về bản chất là ngẫu nhiên, nhưng người ta cũng biết rằng nó xuất hiện theo từng cụm: có những thời đoạn sự truyền thông không hề có sai sót, nhưng sau đó là các thời đoạn có sai sót. Trao đổi với các kỹ sư, Mandelbrot nhanh chóng hiểu ra rằng có một vấn đề mà người ta đã lưu truyền, nhưng không bao giờ dám đề cập đến trong các báo cáo bởi vì nó không phù hợp với lối tư duy chuẩn truyền thống: càng quan sát kỹ các cụm sai sót này, người ta thấy hình mẫu của chúng dường như càng phức tạp. Mandelbrot đã tìm ra một cách mô tả phân bố của các sai sót, cho phép tiên đoán được chính xác những hình mẫu đã quan sát được. Tuy nhiên, nó vô cùng đặc biệt. Trước hết, nó làm cho không thể tính được tốc độ *trung bình* của các sai sót, tức là số sai sót tính trên mỗi giờ, mỗi phút hay mỗi giây. Về *trung bình*, trong sơ đồ của Mandelbrot, các sai sót có xu hướng tiến đến một sự phân tán vô hạn.

Mô tả này thực chất hoạt động bằng cách tách ngày càng tinh các thời đoạn truyền thông tin sạch (không có sai sót) ra khỏi các thời đoạn có sai sót. Giả sử bạn chia một ngày ra thành các giờ. Một giờ có thể trôi qua mà hoàn toàn không có sai sót nào xảy ra. Rồi sau đó một giờ có thể lại có các sai sót. Rồi một giờ sau nữa lại có thể trôi qua mà không có sai sót.

Nhưng bây giờ hãy chia giờ có chứa sai sót thành các thời đoạn hai mươi phút một. Ở đây, bạn vẫn sẽ thu được các thời đoạn hoàn toàn không có sai sót, và các thời đoạn khác có rất

hiều sai sót. Trên thực tế, trái với trực giác, Mandelbrot đã khẳng định rằng người ta không thể tìm được khoảng thời gian trong đó các sai sót được phân bố một cách liên tục. Mọi loạt sai sót, dù ngắn đến đâu, cũng đều chứa các thời đoạn truyền thông tin hoàn toàn không có sai sót. Hơn nữa, ông đã phát hiện ra một mối quan hệ hình học nhất quán giữa các loạt sai sót và các khoảng truyền tin sạch. Dù ở thang thời gian nào - một giờ hay một giây - thì tỷ số giữa các thời đoạn sạch và các thời đoạn có sai sót luôn là một hằng số. (Một lần, Mandelbrot đã hoảng hốt: cả một nhóm các dữ liệu dường như mâu thuẫn với lý thuyết của ông. Nhưng ông đã phát hiện ra rằng trên thực tế các kỹ sư đã không ghi chép các trường hợp cực đoan nhất, vì cho rằng chúng hoàn toàn không quan trọng).

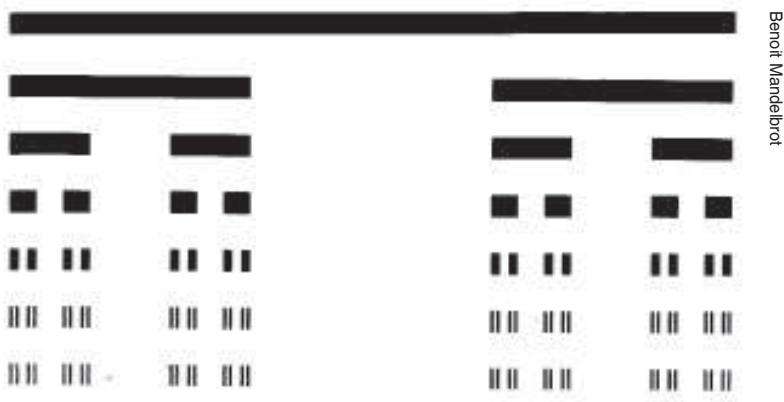
Nếu các kỹ sư không có khuôn khổ lý thuyết nào để hiểu sự mô tả của Mandelbrot, thì các nhà toán học lại không như vậy: thực ra Mandelbrot chỉ làm mỗi một việc là tái tạo cách xây dựng trừu tượng cái gọi là tập hợp Cantor, theo tên của nhà toán học thế kỷ XIX George Cantor. Để xây dựng một tập hợp Cantor, bạn lấy một đoạn thẳng biểu diễn các số nằm trong khoảng từ 0 đến 1. Rồi bạn bỏ đi một phần ba ở giữa của đoạn này, bạn sẽ có hai đoạn. Sau đó, ở mỗi đoạn này bạn lại bỏ đi một phần ba ở giữa - và cứ như vậy cho đến vô hạn. Vậy cuối cùng bạn sẽ còn lại cái gì? Một “đám bụi” các điểm lạ lùng, chúng phân bố thành các cụm, vô cùng đông đúc nhưng cũng vô cùng thưa thớt. Mandelbrot coi các sai sót trong truyền tin là một tập hợp Cantor được sắp xếp theo thời gian.

Mô tả hết sức trừu tượng này có một tầm quan trọng thực tiễn đối với các nhà khoa học khi quyết định phải lựa chọn những chiến lược khác nhau trong việc kiểm soát các sai sót.

Đặc biệt, nó giúp người ta hiểu rằng thay vì tăng cường độ của tín hiệu để ngày càng loại bớt được nhiễu tạp, các kỹ sư phải bằng lòng với một tín hiệu khiêm tốn, chấp nhận các sai sót là không thể tránh khỏi và đưa ra một chiến lược dư thừa để phát hiện và sửa những sai sót đó. Mandelbrot cũng đã làm thay đổi quan niệm của các kỹ sư của IBM về nguồn gốc của nhiễu tạp. Sự bùng phát các sai sót luôn khiến các kỹ sư phải tìm kiếm một người với chiếc vặn ốc vít trong tay để hí hoáy sửa chữa ở đâu đó. Nhưng bất biến thang của Mandelbrot gợi ý rằng người ta không bao giờ có thể giải thích nhiễu tạp từ các sự kiện cục bộ cụ thể cả.

Sau đó Mandelbrot quay sang các dữ liệu khác, lấy từ ngành thủy văn. Người Ai Cập đã ghi lại mực nước sông Nil trong nhiều thiên niên kỷ. Đó là một chủ đề luôn luôn mang tính thời sự: sông Nil chịu các thăng giáng về thủy chế lớn một cách khác thường, có những năm nước rất lớn, gây lụt lội, nhưng có những năm mực nước lại rất thấp. Theo Mandelbrot, các thăng giáng này tương ứng với hai loại hiệu ứng, thường gặp trong kinh tế học, mà ông gọi là “hiệu ứng Noé” và “hiệu ứng Joseph”.

Hiệu ứng Noé có nghĩa là không liên tục: khi một đại lượng biến thiên, sự biến thiên của nó có thể nhanh chậm tùy ý. Theo truyền thống, các nhà kinh tế học nghĩ rằng giá thay đổi liên tục - chậm hoặc nhanh tùy từng trường hợp, nhưng liên tục theo nghĩa chúng đi qua tất cả các giá trị trung gian từ điểm này đến điểm khác. Hình ảnh chuyển động này được vay mượn từ vật lý, cũng như rất nhiều thứ của toán học áp dụng cho kinh tế. Nhưng quan niệm đó là sai. Giá cả có thể thay đổi theo những bước nhảy tức thời, cũng nhanh như một



TẬP HỢP CANTOR. Hãy lấy một đoạn thẳng, bỏ đi một phần ba ở giữa, rồi lại tiếp tục lấy đi một phần ba ở giữa của các đoạn còn lại, và cứ tiếp tục mãi như vậy. Tập hợp Cantor là đám bụi của các điểm tạo thành. Số lượng của chúng là vô hạn, nhưng chiều dài tổng của chúng bằng 0.

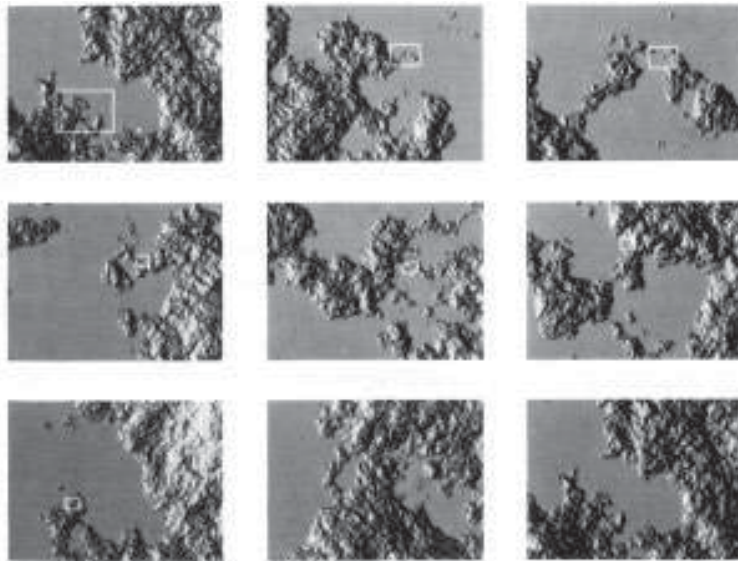
Nếu các tính chất nghịch lý như thế của những cách dựng hình như thế đã làm các nhà toán học thế kỷ XIX bối rối, thì Mandelbrot đã nhìn thấy trong tập hợp Cantor một mô hình về sự xuất hiện các sai sót trên một đường truyền thông tin. Các kỹ sư quan sát thấy các thời đoạn truyền không có sai sót trộn lẫn với các thời đoạn xuất hiện rất nhiều sai sót. Xem xét chúng một cách kỹ lưỡng hơn, thì thấy các loạt sai sót này cũng chứa các thời đoạn sạch, không có sai sót. Và cứ tiếp tục như vậy - đó là một ví dụ về thời gian *fractal*. Mandelbrot đã phát hiện ra rằng, dù ở bất kỳ thang thời gian nào, thang giờ hay thang giây, thì mối quan hệ giữa các thời đoạn truyền sạch và các thời đoạn truyền có sai sót là không đổi. Ông khẳng định, để mô hình hóa sự gián đoạn thì những tập hợp như vậy là không thể thiếu.

mẫu tin phóng qua đường dây điện báo và thế là hàng nghìn nhân viên môi giới chứng khoán có thể thay đổi ý nghĩ của họ. Mandelbrot khẳng định rằng mọi chiến lược kinh doanh cổ phiếu cho rằng khi một cổ phiếu có thể giảm từ 60 đôla xuống còn 10 đôla thì phải bán ngay khi giá của nó là 50 đôla, đều sẽ thất bại.

Còn hiệu ứng Joseph tương ứng với sự dai dẳng. *Bảy năm phồn thịnh ở Ai Cập trôi qua. Và sau đó sẽ là bảy năm đói kém.* Nếu truyền thuyết trong kinh thánh này có nghĩa là ngụ ý về tính chu kỳ, thì chắc chắn nó đã bị giản lược đi rất nhiều: các đợt lũ lụt và hạn hán tồn tại dai dẳng. Bất chấp đặc tính ngẫu nhiên ẩn ở phía sau, một khu vực chịu hạn hán càng dài, thì nó càng có nguy cơ bị hạn hán kéo dài thêm. Hơn nữa, phân tích toán học mực nước sông Nil chứng tỏ rằng sự tồn tại dai dẳng này có thể xảy ra suốt vài thập kỷ nhưng cũng có thể vài thế kỷ. Nếu như các hiệu ứng Noé và Joseph diễn ra theo các chiều hướng đối nghịch nhau, thì sự kết hợp của chúng lại dẫn đến điều này: các xu hướng trong tự nhiên là có thật, nhưng chúng có thể biến mất cũng nhanh như chúng xuất hiện.

Tính gián đoạn, sự bùng nổ các nhiễu tạp, đám bụi Cantor: các hiện tượng giống như thế không có chỗ trong hình học của hai nghìn năm trước đây. Các hình dạng của hình học cổ điển là các đường thẳng và mặt phẳng, các vòng tròn và khối cầu, các tam giác và hình nón. Chúng thể hiện một sự trừu tượng hóa mạnh mẽ hiện thực, và khơi gợi một triết lý có ảnh hưởng lớn về sự hài hòa của Platon. Chúng đã giúp Euclid xây dựng nên một hình học tồn tại suốt hai thiên niên kỷ nay, thứ hình học duy nhất mà cho tới nay hầu hết mọi người chúng ta đều vẫn còn học. Các nghệ sỹ đã thấy ở chúng một vẻ đẹp lý tưởng, và từ chúng các nhà thiên văn thuộc trường phái Ptolemy đã xây dựng nên một lý thuyết về vũ trụ. Nhưng để hiểu được sự phức tạp, thì chúng hóa ra lại là một sự trừu tượng hóa chưa thỏa đáng.

Các đám mây không phải là các khối cầu, Mandelbrot thích nói như vậy. Các dãy núi không phải là các hình nón. Các tia chớp không chạy theo đường thẳng. Hình học mới cho vũ trụ



Richard F. Voss

MỘT BỜ BIỂN FRACTAL. Bờ biển này được tạo ra từ máy tính: các chi tiết của nó là ngẫu nhiên, nhưng chiều *fractal* của nó là không đổi, sao cho độ xù xì hay mức độ không đều đặn được giữ nguyên dù có phóng đại lên đến mức nào.

phải là một hình ảnh góc cạnh chứ không tròn trịa, xù xì chứ không nhẵn nhụi như vậy. Đó là một hình học của những lồi lõm, vụn vặt, đứt vỡ, chằng chịt, quấn quện vào nhau. Để hiểu sự phức tạp của tự nhiên, cần phải ngờ rằng sự phức tạp này không chỉ là sự ngẫu nhiên, tình cờ. Cần phải có niềm tin rằng đặc điểm thú vị trong quỹ đạo của một tia chớp, chẳng hạn, không phải là hướng của nó, mà là sự phân bố các “zig” và “zag” của nó. Các nghiên cứu của Mandelbrot đã đưa ra một khẳng định về thế giới: các hình dạng lạ lùng này đều có một ý nghĩa. Các lỗ chỗ và chằng chịt không phải chỉ là các khiếm khuyết làm méo các hình dạng cổ điển của hình học

Euclid, mà còn có ý nghĩa hơn thế. Chúng thường là chìa khóa cho phép khai mở bản chất của các hiện tượng.

Bản chất thật của một bờ biển là gì? Mandelbrot đặt câu hỏi này trong một bài báo đánh dấu bước ngoặt trong suy nghĩ của ông: “Bờ biển của nước Anh dài bao nhiêu mét?”

Mandelbrot đã bắt gặp câu hỏi về bờ biển này khi đọc một bài báo di cảo mù mờ khó hiểu của một nhà khoa học người Anh tên là Lewis F. Richardson, người đã mải mê nghiên cứu rất nhiều vấn đề lạ lùng mà sau này đã trở thành một phần của hỗn độn. Richardson đã viết một bài báo về dự báo thời tiết bằng tính toán số vào những năm 1920, ông cũng đã nghiên cứu sự chảy rối của các chất lỏng bằng cách ném một túi cây củ cần trắng xuống kênh Cape Cod, và đặt câu hỏi trong một bài báo viết năm 1926 *“Gió có không một vận tốc?”* (“Câu hỏi này, thoạt nghe có vẻ ngu ngốc, nhưng rất đáng được đặt ra, ông viết). Tò mò về các đường bờ biển và các đường biên giới ngoằn ngoèo giữa các quốc gia, ông đã tra từ điển bách khoa của Tây Ban Nha, Bồ Đào Nha, Bỉ và Hà Lan, và đã phát hiện ra sự chênh lệch tới hai mươi phần trăm về chiều dài các đường biên giới chung của các nước này.

Sự phân tích của Mandelbrot về câu hỏi này khiến người nghe hoặc là thấy hiển nhiên, hoặc là thấy sai một cách nực cười. Ông nhận thấy rằng phần lớn mọi người đều trả lời cho câu hỏi này theo hai cách: “Tôi không biết, đó không phải lĩnh vực của tôi”, hay “Tôi không biết, nhưng tôi sẽ tra từ điển bách khoa”.

Trên thực tế, Mandelbrot khẳng định, mọi bờ biển - theo một nghĩa nào đó - đều có một chiều dài vô hạn. Nhưng theo một nghĩa khác, thì câu trả lời phụ thuộc vào chiều dài của

thước đo. Ta hãy xét phương pháp đo khả thi. Một nhân viên trắc đạc lấy một chiếc compa có độ mở 1 mét, và đặt nó liên tiếp dọc theo bờ biển. Số mét mà nó đo được chỉ là một giá trị xấp xỉ của chiều dài thực của bờ biển, vì chiếc compa nhảy qua các góc và các chỗ ngoặt dưới một mét. Rồi người đo cho compa một độ mở ngắn hơn - như 50cm, chẳng hạn - và lặp lại quá trình trên. Lần này anh ta sẽ đo được một chiều dài lớn hơn, vì lúc này compa tính đến nhiều các chi tiết của bờ biển hơn, và nó phải mất hai bước 50cm để phủ một khoảng cách mà nó trước đó đã đo với độ mở dài 1 mét. Người đo ghi lại chiều dài mới đo được này, và cho compa một độ mở nhỏ hơn nữa, ví dụ 10cm, và lại lặp lại quá trình trên. Thí nghiệm tưởng tượng này, với một chiếc compa tưởng tượng, cung cấp cho ta một phương tiện để định lượng sự quan sát một vật từ các khoảng cách - các thang - khác nhau. Ước lượng chiều dài bờ biển nước Anh bởi một nhà quan sát ngồi trên vệ tinh sẽ ngắn hơn chiều dài mà một người quan sát đi dọc theo suốt bờ biển đó đo được, và đến lượt mình nhà quan sát này lại sẽ thu được một kết quả thấp hơn so với kết quả thu được bởi một con ốc sên bò lên xuống qua từng viên đá cuội trên bờ biển.

Lẽ phải thông thường gợi ý rằng các ước lượng này, mặc dù không ngừng tăng, nhưng sẽ tiến đến một giá trị cuối cùng, đó là chiều dài thực của bờ biển. Nói cách khác, các phép đo này phải hội tụ về một giá trị. Và trên thực tế, nếu một bờ biển có một dạng Euclid nào đó - như một vòng tròn, hẳng hạn, - thì phương pháp tính tổng các đoạn ngày càng ngắn này chắc chắn sẽ hội tụ. Nhưng Mandelbrot đã phát hiện ra rằng khi thang đo giảm, chiều dài của bờ biển đo được sẽ tăng lên vô

hạn, các vịnh và các bán đảo lại chứa các vịnh con và các bán đảo con luôn nhỏ hơn - chỉ ít cho tới các thang nguyên tử, ở đó thao tác đo cuối cùng sẽ kết thúc. Có thể là như thế lắm.

VÌ CÁC PHÉP ĐO EUCLID - chiều dài, chiều rộng, chiều cao - không thể giúp nắm bắt được bản chất của các hình dạng bất thường, không đều đặn, nên Mandelbrot đã quay sang một khái niệm khác, khái niệm chiều. Chiều là một khái niệm có đời sống phong phú đối với các nhà khoa học hơn là đối với những người bình thường. Chúng ta sống trong một không gian ba chiều, theo nghĩa chúng ta cần ba con số để xác định vị trí của một điểm: chẳng hạn, kinh độ, vĩ độ và cao độ. Ba chiều này được biểu diễn bằng ba hướng vuông góc với nhau. Đây vẫn còn là di sản của hình học Euclid, trong đó không gian, mặt phẳng, đường thẳng và điểm lần lượt có số chiều là ba, hai, một và 0.

Quá trình trừu tượng hóa cho phép Euclid tưởng tượng ra các vật một hoặc hai chiều đã dễ dàng tràn vào việc sử dụng các vật dụng hàng ngày của chúng ta. Một tấm bản đồ dùng cho những mục đích khác nhau trong thực tiễn về cơ bản là một vật hai chiều, một mẫu của mặt phẳng. Nó sử dụng hai chiều này để mang thông tin thuộc loại chính xác có hai chiều. Trên thực tế, tất nhiên các bản đồ cũng là ba chiều như bất kỳ vật nào khác, nhưng bề dày nó quá mỏng (và do vậy không liên quan với mục đích sử dụng chúng) đến mức người ta có thể quên nó đi. Và vì quá mỏng nên người ta vẫn thấy nó là hai chiều ngay cả khi được gấp lại. Tương tự, một sợi dây chỉ có một chiều, và một hạt gần như chẳng có chiều nào.

Vậy chiều của một cuộn dây là gì? Mandelbrot trả lời: Điều đó phụ thuộc vào điểm nhìn. Nhìn từ xa, cuộn dây này không khác gì một điểm, tức là không có chiều nào. Nhìn gần hơn, người ta thấy nó choán một không gian hình cầu, tức ba chiều. Gần hơn nữa, người ta phân biệt được sợi dây, và cuộn dây thực sự trở thành vật một chiều, mặc dù nó được cuộn lại bằng cách vay mượn ba chiều của không gian. Như vậy, ý tưởng sử dụng bao nhiêu con số để xác định một vật vẫn là rất hữu ích. Từ xa, chẳng cần một con số nào hết - người ta chỉ thấy có một điểm. Gần hơn, cần phải có ba con số. Gần hơn nữa, lại chỉ một là đủ - một vị trí bất kỳ đã cho dọc theo sợi dây là duy nhất, dù sợi dây đó là thẳng hay được cuộn lại.

Xuống đến thang vi mô, sợi dây lại trình hiện như các cột ba chiều, các cột này, đến lượt chúng, lại được phân giải thành các sợi một chiều, rồi sợi này tan thành các điểm không chiều. Mandelbrot viện đến thuyết tương đối, nhưng không theo cách toán học: “Quan niệm cho rằng một kết quả bằng số phụ thuộc vào mối quan hệ giữa vật và người quan sát đã nằm trong tinh thần của vật lý thế kỷ XX, và thậm chí còn là một minh họa mẫu mực của nó”.

Không xét trên góc độ triết học, chiều thực tế của một vật hóa ra lại khác với ba chiều thông thường của nó. Lập luận của Mandelbrot có vẻ có một điểm yếu, đó là nó dựa trên các khái niệm khá mơ hồ, như “từ rất xa” và “gần hơn một chút”. Vậy điều gì sẽ xảy ra ở những khoảng trung gian? Chắc chắn không tồn tại cái ranh giới rạch ròi mà vượt qua nó cuộn dây ba chiều bỗng trở thành vật một chiều. Nhưng đây hoàn toàn không phải là một điểm yếu, chính cái bản chất không được

xác định một cách chính xác của những chuyển tiếp này đã dẫn đến một ý tưởng mới về vấn đề các chiều.

Mandelbrot đã vượt ra ngoài các chiều, 0, 1, 2, 3... để tới một điều dường như không thể: đó là các chiều phân số. Khái niệm này là kết quả của một khả năng xây dựng khái niệm kỳ tài. Đối với những người không phải là các nhà toán học, nó đòi hỏi phải tự nguyện từ bỏ tính hoài nghi. Tuy nhiên, nó tỏ ra vô cùng lợi hại.

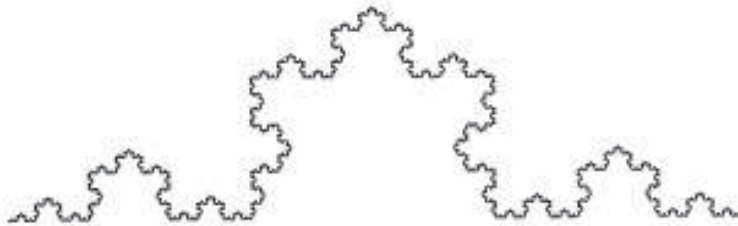
Chiều phân số cho phép đo các đại lượng không có định nghĩa rõ ràng: độ xù xì hay đứt gãy, hay mức độ không đều của một vật. Một bờ biển ngoằn ngoèo chẳng hạn, bất chấp tính không thể đo được *chiều dài* của nó, vẫn có một độ xù xì, lổm chổm đặc trưng nhất định. Mandelbrot đã đưa ra các phương pháp để tính toán chiều phân số của các vật thực tùy theo một số dữ liệu hay một phương pháp dựng hình, và hình học của ông đã cho phép ông phát biểu một khẳng định về các motif bất thường, không đều đặn mà ông đã nghiên cứu trong tự nhiên: mức độ không đều đặn luôn là không đổi ở các thang khác nhau. Dù rất đáng ngạc nhiên nhưng khẳng định này lại là đúng. Thế giới vẫn thường cho thấy một sự không đều đặn lại xảy ra một cách rất đều đặn.

Một buổi chiều mùa đông năm 1975, ý thức về những dòng chảy song song trong vật lý, trong lúc đang viết cuốn sách lớn đầu tiên, ông đã quyết định phải tìm cho ra một từ để diễn đạt các hình dạng, các chiều, và hình học của ông. Con trai ông đi học về, và Mandelbrot tình cờ gỡ cuốn từ điển tiếng latin của con ra. Ông chợt thấy tính từ *fractus*, từ động từ *frangere*, nghĩa là đứt vỡ, phá vỡ. Âm của hai từ cùng gốc trong tiếng Anh - *fracture* và *fraction* - xem ra có vẻ phù hợp.

Và Mandelbrot đã sáng tạo ra từ *fractal* (vừa là danh từ vừa là tính từ, cả trong tiếng Anh và tiếng Pháp).

NÓI MỘT CÁCH HÌNH ẢNH, fractal là một phương tiện để nhìn cái vô hạn.

Hãy tưởng tượng một hình tam giác đều có các cạnh 30 cm. Tiếp theo hãy tưởng tượng một phép biến đổi - tức một tập hợp các quy tắc cụ thể, rất xác định, mà người ta có thể lặp lại một cách dễ dàng. Hãy lấy một phần ba ở giữa của mỗi cạnh, và dán vào đó một tam giác mới, có dạng y hệt như tam giác ban đầu, nhưng các cạnh nhỏ hơn ba lần.



Benoit Mandelbrot

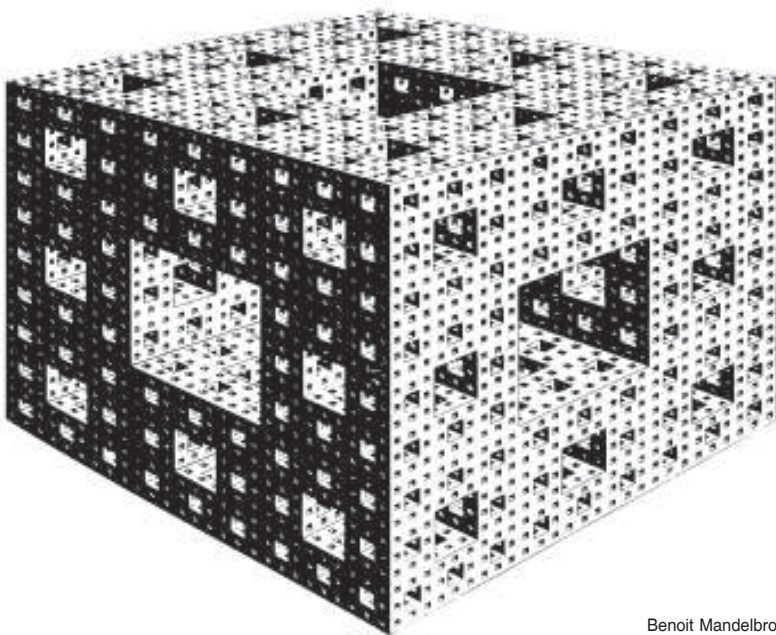
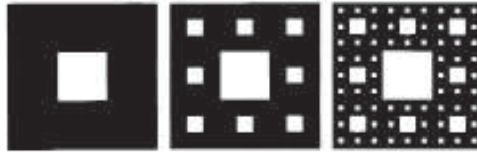
BÔNG TUYẾT KOCH. Theo Mandelbrot, đó là “Một mô hình thô sơ nhưng hoàn toàn đủ để mô tả một đường bờ biển”. Để dựng một đường cong Koch, hãy lấy một tam giác đều có cạnh bằng 1. Sau đó, ở giữa của mỗi cạnh, hãy dán thêm một tam giác đều có cạnh bằng một phần ba và cứ tiếp tục như vậy. Chu vi thu được có chiều dài $3 \times \frac{4}{3} \times \frac{4}{3} \times \frac{4}{3} \dots$ Tuy nhiên, diện tích của hình cuối cùng vẫn nhỏ hơn diện tích của vòng tròn ngoại tiếp của tam giác ban đầu. Như vậy ta thu được một đường cong có chiều dài vô hạn bao quanh một diện tích hữu hạn.

Ta thu được một ngôi sao David. Thay vì ba đoạn 30 cm, chu vi của hình tạo thành gồm mười hai đoạn 10 cm, và gồm sáu đỉnh thay vì ba.

Bây giờ hãy lấy mỗi cạnh trong số mười hai cạnh và lặp lại các thao tác trên, tức là dán một tam giác nhỏ hơn lên đoạn một phần ba ở giữa của các cạnh đó, và cứ như vậy cho đến mãi mãi. Chu vi chứa ngày càng nhiều các chi tiết, giống như một tập hợp Cantor trở nên ngày càng thưa thớt hơn. Nó trông giống một bông tuyết lý tưởng hóa: đó là đường cong Koch, tên của một nhà toán học người Thụy Điển Helge von Koch, người đầu tiên mô tả nó năm 1904.

Nhìn gần hơn, đường cong Koch cho thấy một số tính chất khá thú vị. Một mặt, nó là một vòng liên tục, không bao giờ cắt nhau, vì các tam giác mới được thêm vào ở mỗi cạnh luôn luôn đủ nhỏ để không bị dính chồng lên nhau. Hơn nữa, mỗi lần dựng mới lại có một diện tích nhỏ thêm vào phần bên trong đường cong, nhưng tổng diện tích vẫn hữu hạn, và không lớn hơn nhiều so với diện tích của tam giác ban đầu. Nếu bạn vẽ một vòng tròn ngoại tiếp tam giác ban đầu, thì đường cong Koch sẽ không bao giờ vượt ra ngoài vòng tròn đó.

Tuy nhiên, đường cong này bản thân nó cũng dài vô hạn, dài như một đường thẳng Euclid trải ra cho tới mép của một vũ trụ vô hạn. Cũng giống như phép biến đổi đầu tiên thay một đoạn 30 cm bằng bốn đoạn 10 cm, mỗi một phép biến đổi sẽ nhân tổng chiều dài với bốn phần ba. Như vậy, một chiều dài vô hạn lại được chứa trong một không gian hữu hạn, kết quả có tính nghịch lý này đã làm cho nhiều nhà toán học đầu thế kỷ XX phải bối rối. Đường cong Koch là một con quỷ, nó hoàn toàn không đếm xỉa gì đến trực giác hợp lý về các hình



Benoit Mandelbrot

DỤNG HÌNH BẰNG CÁC LỖ. Đầu thế kỷ XX, một số nhà toán học đã dựng các vật có vẻ bề ngoài rất kỳ dị bằng cách thêm vào hoặc lấy đi một số vô hạn các thành phần. Một trong số các vật này là tấm thảm Sierpinski, được tạo thành bằng cách lấy đi ở giữa một phần chín diện tích của nó, rồi lại cắt đi các phần giữa của tám hình vuông còn lại, và cứ tiếp tục như vậy mãi. Một vật tương tự ba chiều khác chính là miếng xốp Menger, một mạng không gian có diện tích vô hạn nhưng thể tích bằng không.

dạng và - điều này gần như là mặc nhiên - nó khác một cách bất bình thường với tất cả những gì mà người ta có thể gặp trong tự nhiên.

Trong bối cảnh đó, công trình của các nhà toán học này có rất ít ảnh hưởng đến thời đại, nhưng một vài nhà toán học khác, cũng “tai ác” không kém, đã tưởng tượng ra các hình dạng khác cũng có các tính chất quái lạ như đường cong Koch. Đó là các đường cong Peano. Và cũng còn phải kể đến các tấm thảm và rây Sierpinski nữa. Để tạo một tấm thảm Sierpinski, hãy vẽ một hình vuông, rồi chia nó thành chín hình vuông bằng nhau ba nhân ba, và bỏ đi hình vuông ở giữa. Sau đó lặp lại các thao tác trên với tám hình vuông còn lại, bằng cách đặt một lỗ vuông vào giữa mỗi hình. Rây Sierpinski thu được bằng cách tương tự, cụ thể là thay thế các hình vuông bằng các hình tam giác đều; nó có một tính chất rất khó hình dung, đó là mỗi một điểm bất kỳ của nó đều là một điểm phân nhánh, một cái chạc trong cấu trúc của nó. Khó hình dung cho tới khi bạn nghĩ đến tháp Eiffel - một hình ba chiều tương tự - với các xà, kèo, rầm, phân nhánh thành một mạng lưới các phần tử ngày càng nhỏ hơn, một chằng chịt các yếu tố hết sức chi tiết. Tất nhiên, Eiffel không thể kéo dài các thao tác của ông đến vô tận, nhưng ông đã ý thức được một kỹ thuật tinh tế cho phép ông làm nhẹ bớt công trình mà không làm giảm độ bền vững của nó.

Đầu óc con người không thể hình dung một cách đầy đủ sự lồng vào nhau vô hạn của cái phức tạp. Nhưng kiểu lặp lại cấu trúc ở các thang ngày càng nhỏ hơn này có thể mở ra cả một thế giới hoàn toàn mới mẻ đối với những ai quen tư duy các hình dạng trên quan điểm hình học. Khám phá các hình dạng này, làm biến dạng chúng một cách tưởng tượng tới giới hạn các khả

năng của chúng là một loại trò chơi, và với niềm vui thích như trẻ thơ, khi Mandelbrot quan sát thấy các biến dạng mà chưa từng có ai trước ông đã nhìn thấy hoặc hiểu được. Khi chúng không có tên, ông đặt tên cho chúng: các dây và tấm, xấp và bọt,...

Chiều phân số tỏ ra chính xác là một thước đo đúng. Theo một nghĩa nào đó, mức độ không đều đặn tương ứng với hiệu quả choán không gian của một vật. Một đường cong Euclid đơn giản, một chiều, hoàn toàn không choán một phần không gian nào. Nhưng đường cong Koch, với chiều dài vô hạn nằm bên trong một diện tích hữu hạn, lại choán không gian. Nó hơn là một đường cong, nhưng lại nhỏ hơn một mặt phẳng. Chiều của nó lớn hơn một, nhưng nhỏ hơn hai. Với sự hỗ trợ của các kỹ thuật do các nhà toán học sáng tạo ở ra đầu thế kỷ XX, nhưng gần như đã bị lãng quên kể từ đó, Mandelbrot đã xác định được một cách chính xác đặc tính chiều phân số của nó. Đối với đường cong Koch, việc nhân với bốn phần ba lặp lại đến vô hạn cho ta chiều của nó bằng 1,2618.

Khi theo đuổi con đường đó, Mandelbrot có hai lợi thế so với một số các nhà toán học khác, những người cũng đã từng suy nghĩ về các hình dạng này. Lợi thế thứ nhất là, một mặt, ông có điều kiện sử dụng các công cụ tin học gắn liền với tên tuổi của IBM. Công việc của ông hoàn toàn phù hợp với các máy tính tốc độ cực cao. Giống như các nhà khí tượng học phải thực hiện cùng một số phép tính, nhưng ở hàng triệu điểm ở lân cận nhau của khí quyển, Mandelbrot phải lặp lại hàng nghìn nghìn lần cùng một phép biến đổi có thể lập trình một cách dễ dàng. Đầu óc tài tình nghĩ ra các phép biến đổi; còn máy tính thì vẽ chúng ra - đôi khi cho ra các kết quả thật bất ngờ. Đầu thế kỷ XX, các nhà toán học đã nhanh chóng vấp phải

những trở ngại về tính toán - tựa như các nhà sinh học đầu tiên vấp phải những trở ngại khi chưa có kính hiển vi. Khi người ta khảo sát một vũ trụ được cấu thành từ các chi tiết ngày càng tinh vi hơn, thì trí tưởng tượng có các giới hạn của nó.

Theo Mandelbrot, “đã có một thời kỳ dài khoảng cả trăm năm, hình vẽ không đóng một vai trò gì trong toán học, bởi vì tay, bút chì và thước kẻ đã trở nên bất lực. Các hình đã được hiểu quá rõ và đã lui xuống hàng thứ yếu. Còn máy tính thì chưa xuất hiện”.

“Khi lao vào trò chơi này, tôi đã nhận thấy rằng ở đó hoàn toàn vắng bóng trực giác. Cần phải tạo ra một trực giác ngay từ đầu. Trực giác, vốn được tôi luyện từ các công cụ thông thường - như tay, thước kẻ và bút chì, - thì cho rằng các hình này là hoàn toàn kỳ dị và bệnh hoạn. Trực giác già cũ này đã sai lầm. Các hình đầu tiên đối với tôi là một sự kinh ngạc; rồi tôi bắt đầu nhận ra một vài hình từ số các hình cũ, và cứ tiếp diễn như vậy.”

“Trực giác không phải là cái gì đó thiên bẩm. Tôi đã tập luyện trực giác của mình để nó chấp nhận coi là hiển nhiên các hình ban đầu bị vứt bỏ như một thứ phi lý, và tôi đã phát hiện ra rằng tất cả mọi người đều có thể làm như thế.”

Một lợi thế khác của Mandelbrot là bức tranh về hiện thực mà ông đã bắt đầu dựng lên từ những nghiên cứu của ông về giá bông, về những nhiễu tạp truyền thông tin và dòng chảy của các con sông. Bức tranh này giờ đây đã bắt đầu rõ nét hơn. Các nghiên cứu của ông về những hình mẫu, motif bất thường trong các quá trình tự nhiên và sự khám phá ra các hình vô cùng phức tạp của ông đã có một giao cắt trí tuệ: đó là tính chất *tự tương tự* hay *bất biến thang*. Mà trên hết, fractal có nghĩa là bất biến thang, là tự tương tự.

Tính tự tương tự là một đối xứng bất gặp ở tất cả các thang. Nó ngụ ý sự hồi quy, *môtif* ở bên trong *môtif*. Các biểu đồ giá và biểu đồ lưu lượng nước sông của Mandelbrot đều cho thấy tính tự tương tự, không chỉ bởi vì chúng tạo ra chi tiết ở những thang ngày càng nhỏ hơn, mà còn bởi vì chúng tạo ra chi tiết theo một tỷ lệ không đổi. Tính bất biến thang hay tính tự tương tự của các hình bất thường như đường cong Koch thể hiện ở chỗ chúng nhìn hoàn toàn như nhau cho dù có phóng đại to lên bao nhiêu đi nữa. Tính chất này đã được xây dựng thành một kỹ thuật dựng các đường cong - cùng một phép biến đổi được lặp lại ở các thang ngày càng nhỏ hơn. Bất biến thang là một tính chất rất dễ nhận thấy, và người ta có thể dễ dàng bắt gặp các hình ảnh về nó ở khắp nơi: trong các phản chiếu vô hạn của một người đứng giữa hai chiếc gương đặt song song nhau, hoặc trong hình ảnh của con cá nuốt một con cá nhỏ hơn, con cá nhỏ hơn này lại nuốt một con cá nhỏ hơn nó, con cá nhỏ hơn nó này lại nuốt một con cá nhỏ hơn nữa. Mandelbrot rất thích trích dẫn các câu thơ sau của Jonathan Swift (tác giả của cuốn *Giuliver du ký* nổi tiếng - ND): “Các nhà tự nhiên học quan sát một con rận/ là con mồi của các con rận nhỏ hơn/ bị các con rận còn nhỏ hơn nữa cắn/ và cứ như vậy đến vô tận.”

Ở MIỀN ĐÔNG BẮC NƯỚC MỸ, địa điểm tốt nhất để nghiên cứu động đất là Đài vật lý địa cầu Lamont-Doherty, một quần thể các ngôi nhà trông không có gì hấp dẫn ẩn trong các đám rừng ở phía nam Bang New York, và hơi chếch về phía tây của sông Hudson. Chính tại đây Christopher Scholz, giáo sư của Đại học Columbia, chuyên gia về hình dạng và cấu trúc của vỏ Trái Đất, một ngày nọ đã bắt đầu nghĩ đến các hình fractal.

Trong khi các nhà toán học và vật lý lý thuyết không dành một chút quan tâm nào cho các công trình của Mandelbrot, thì Scholz thuộc loại nhà nghiên cứu thực dụng sẵn sàng sử dụng các công cụ của hình học fractal. Ông đã phát hiện ra cái tên của Benoit Mandelbrot trong những năm sáu mươi khi Mandelbrot đang quan tâm đến kinh tế, và khi chính bản thân ông, tốt nghiệp MIT, đã dành rất nhiều thời gian cho một vấn đề gai góc liên quan đến động đất. Từ khoảng hai chục năm nay, người ta biết rất rõ rằng các trận động đất lớn và nhỏ theo một phân bố toán học rất đặc biệt, và trên thực tế đó cũng chính là phân bố có tính bất biến thang chi phối thu nhập cá nhân trong nền kinh tế thị trường tự do. Nó được quan sát ở tất cả các điểm trên Trái Đất, nơi tiến hành đếm và đo các trận động đất. Khi xét đến tính chất bất thường và không thể dự báo được của các trận động đất, sẽ thật sự thú vị khi tự đặt câu hỏi là các quá trình vật lý nào có thể giải thích được tính quy luật này. Đó chỉ ít là những điều mà Scholz đã trăn trở. Phần lớn các nhà động đất học đều chỉ hài lòng với việc ghi chép sự kiện.

Scholz chợt nhớ đến cái tên Mandelbrot. Năm 1978, ông đã mua một cuốn sách có rất nhiều hình minh họa, uyên bác lạ thường và đầy ắp các phương trình có nhan đề là *Fractals: Form, Chance and Dimension* (Các vật fractal: hình dạng, cơ may và chiều). Như thể là Mandelbrot đã tập hợp vào đó tất cả những gì ông biết hoặc nghi ngờ về Vũ trụ. Trong vài năm, cuốn sách này, cũng như bản chỉnh sửa và bổ sung, *The Fractal Geometry of Nature* (Hình học fractal của tự nhiên), bán chạy hơn tất cả các cuốn sách toán cao cấp nào khác. Văn phong của ông vừa khó hiểu và gây khó chịu, vừa hóm hỉnh, văn vẻ,

lại vừa tối tăm. Bản thân Mandelbrot cũng gọi nó là “một tuyên ngôn và một cuốn sổ ghi công việc”.

Giống như một số ít các nhà nghiên cứu trong một số lĩnh vực khác, đặc biệt những người nghiên cứu các hiện tượng tự nhiên, Scholz đã dành nhiều năm để cố rút ra từ cuốn sách này những điều có ích cho mình. Nhưng còn lâu ông mới đạt được mục đích. *Các vật fractal*, Scholz nói, “không phải là một cuốn sách hướng dẫn sử dụng, mà là cuốn sách của những điều bất ngờ”. Hóa ra Scholz rất quan tâm đến các bề mặt, mà các bề mặt thì xuất hiện khắp nơi trong cuốn sách đó. Bị ám ảnh bởi các hứa hẹn ẩn chứa trong các ý tưởng của Mandelbrot, ông đã thử sử dụng các fractal để mô tả, phân loại và đo đạc các hiện tượng xảy ra trong thế giới khoa học của mình.

Ông đã sớm nhận thấy rằng ông không phải là người đơn độc, dù rằng phải vài năm sau thì các hội thảo và các xêmina về fractal mới xuất hiện nhiều. Các ý tưởng thống nhất của hình học fractal đã gắn kết các nhà khoa học cho rằng những quan sát riêng của họ là chuyên biệt trong chuyên ngành của họ, và họ không có bất kỳ một phương pháp có hệ thống nào để giải thích những quan sát đó. Những hiểu biết sâu sắc của hình học fractal đã giúp cho các nhà khoa học rất nhiều trong việc nghiên cứu cách thức mà các đối tượng hòa tan vào nhau, phân nhánh ra xa nhau hoặc vỡ tung ra. Nó là một phương pháp quan sát các vật liệu - các bề mặt kim loại gồ ghề rất nhỏ, các lỗ và các mạch rỉ li ti trong các đá xốp ngầm chứa dầu mỏ, hay các khung cảnh tan hoang của các vùng động đất.

Theo Scholz, công việc của các nhà địa vật lý là mô tả bề mặt Trái Đất, bề mặt tiếp xúc với các đại dương tạo thành các bờ biển. Nhưng trong phần đỉnh của vỏ Trái Đất cứng lại là các bề

mặt thuộc loại khác, các bề mặt nứt nẻ. Các vết nứt và các nếp gãy ở đó có ảnh hưởng lớn chi phối cấu trúc của vỏ Trái Đất tới mức chúng trở thành những yếu tố then chốt để có một mô tả tốt, và xét về tương quan, chúng còn quan trọng hơn cả vật liệu tạo nên các bề mặt mà chúng chạy qua. Chúng tạo thành một mạng lưới ba chiều và sinh ra cái mà Scholz gọi đùa là “quả cầu nứt”. Chúng chi phối dòng chảy của các chất lưu trong đất - dòng chảy của nước, của dầu và khí tự nhiên. Chúng cũng chi phối cả hành trạng của các trận động đất. Vì vậy hiểu được các bề mặt này có ý nghĩa vô cùng quan trọng, nhưng Scholz những đã tưởng rằng nghề của ông đang đi vào ngõ cụt. Và thực tế, quả là cũng chưa có một khuôn khổ nào tồn tại.

Các nhà địa vật lý trăm người như một chỉ nhìn thấy các hình dạng ở các bề mặt. Một bề mặt có thể là phẳng hoặc có các hình dạng đặc biệt. Chẳng hạn, các bạn có thể nhìn các đường nét của một chiếc xe Coccinelle Volkswagen và vẽ bề mặt của nó như một đường cong. Đường cong này có thể đo được bằng các kỹ thuật của hình học Euclid thông thường. Các bạn cũng có thể đặt cho nó một phương trình. Nhưng theo Scholz, điều đó chẳng khác nào nhìn bề mặt này qua một dải quang phổ hẹp, giống như quan sát vũ trụ qua một bộ lọc màu đỏ - người ta chỉ nhìn những thấy cái diễn ra ở bước sóng này, nhưng mất đi tất cả những gì diễn ra ở các bước sóng thuộc các màu sắc khác, đó là chưa nói đến vô số các hiện tượng nằm trong các vùng sóng vô tuyến hoặc hồng ngoại. Trong sự tương tự này, quang phổ tương ứng với thang. Suy ngẫm về bề mặt của một chiếc xe Volkswagen qua hình dạng Euclid của nó tức là nhìn nó theo thang của một người quan sát đứng cách xa nó hàng chục hoặc hàng trăm mét. Nhưng điều gì sẽ

xảy ra nếu người quan sát đứng cách xa nó một nghìn mét, hay một trăm kilômét? Hay nếu chỉ cách nó một phần nghìn mét? một phần triệu mét?

Hãy tưởng tượng các bạn vẽ bề mặt của Trái Đất nhìn từ khoảng cách một trăm kilômét trong không gian. Đầu bút chì lên rồi xuống, bao quanh cây cối và đồi núi, nhà cửa và - đầu đó trong một bãi đỗ xe - một chiếc Volkswagen. Ở thang này, bề mặt này chỉ là một chuỗi các ụ cạnh nhau, một cách hơi ngẫu nhiên.

Nhưng hãy tưởng tượng rằng bạn nhìn chiếc xe Volkswagen ngày càng gần hơn, bắt đầu bằng kính lúp rồi sau đó là kính hiển vi. Ban đầu, dần dần phần tròn trịa của cái giẫm sóc và mui che ra khỏi tầm nhìn, rồi bề mặt của nó dần dần có vẻ đồng nhất hơn. Nhưng sau đó, bề mặt vi mô của thép lại tỏ ra rất gồ ghề theo cách cũng có vẻ rất ngẫu nhiên.

Scholz đã phát hiện ra trong hình học fractal một công cụ sắc bén để mô tả sự méo mó gồ ghề đặc biệt của bề mặt Trái Đất; và các nhà luyện kim cũng đã đi đến cùng một kết luận như vậy đối với bề mặt của thép. Chiều fractal của một bề mặt kim loại, chẳng hạn, thường cho ta biết thông tin về độ bền của kim loại. Tương tự, chiều fractal của bề mặt Trái Đất cho ta thông tin về các tính chất cơ bản của nó. Scholz đã suy nghĩ về một thành tạo địa chất kinh điển, một lở tích trên sườn núi. Từ xa, đó là một dạng Euclid hai chiều. Tuy nhiên, khi nhà địa chất tiến lại gần, thì anh ta không phải đi trên nó nữa, mà đi *trong* nó - lở tích được phân giải thành các tảng đá có kích thước cỡ chiếc xe ô tô. Chiều thực của lở tích này trở thành khoảng 2,7, vì bề mặt các tảng đá có các phần chìa ra và bao phủ xung quanh, gần như choán đầy toàn bộ không gian ba chiều, như bề mặt của một bọt biển vậy.

Các mô tả fractal có nhiều ứng dụng trực tiếp trong rất nhiều vấn đề có liên quan với tính chất của các bề mặt tiếp xúc với nhau. Chẳng hạn, tiếp xúc giữa lốp xe và mặt đường, tiếp xúc của các khớp nối trong các máy, hay một tiếp xúc điện. Tiếp xúc giữa các bề mặt có những tính chất hoàn toàn độc lập với các vật liệu tiếp xúc. Hóa ra chúng là những tính chất chỉ phụ thuộc vào chất lượng fractal của ụ này chồng lên ụ kia và chồng lên ụ khác nữa. Một trong các hệ quả đơn giản nhưng quan trọng của hình học fractal là các bề mặt tiếp xúc không chạm vào nhau ở tất cả các điểm: sự mấp mô ở tất cả các thang ngăn cản điều đó. Thậm chí là ngay cả một tảng đá chịu một áp lực khổng lồ đi nữa, thì bên trong nó vẫn còn giữ được, ở thang đủ nhỏ, các kẽ hở mà qua đó chất lỏng có thể chảy qua. Đó là điều mà Scholz gọi là hiệu ứng Humpty-Dumpty^(*). Chính vì lẽ đó người ta không thể gắn lại một cách hoàn hảo một cái cốc vỡ, ngay cả khi các mảnh vỡ có vẻ vẫn áp khít vào nhau ở một thang lớn. Ở thang nhỏ hơn, luôn luôn có những chỗ không đồng đều, không sao ghép khít vào nhau được.

Trong chuyên ngành của mình, Scholz trở nên nổi tiếng vì thuộc một nhóm nhỏ những nhà nghiên cứu sử dụng các kỹ thuật fractal. Ông thừa biết rằng một vài đồng nghiệp của ông đã coi những người thuộc nhóm nhỏ này là những kẻ kỳ quặc. Khi ông sử dụng thuật ngữ “fractal” trong nhan đề của một bài báo, ông cảm thấy rằng người ta coi ông, hoặc - với sự trầm trồ thán phục - là kẻ thức thời, hoặc - với ít trầm trồ

* Liên tưởng tới bài đồng dao: “Ngài Humpty Dumpty, ngồi trên bức tường cao / Ngài Humpty Dumpty bị ngã rất đau. / Tất cả ngựa và quân lính của nhà Vua/ Cũng không đặt được Ngài Humpty Dumpty về chỗ cũ.” trong cuốn Alice trong xứ sở thần kỳ, của Lewis Carroll.

thán phục hơn - là một kẻ điên rồ. Ông phải đứng trước một sự lựa chọn đầy khó khăn khi viết báo: viết cho một phạm vi hẹp các độc giả hâm mộ hình học fractal, hay viết cho một số đông độc giả là các nhà địa vật lý, những người cần sự giải thích ngay cả từ các khái niệm cơ bản. Tuy nhiên, Scholz cho rằng các công cụ của hình học fractal là không thể thiếu.

Ông nói: “Đó là một mô hình duy nhất cho phép đối phó được với phạm vi thay đổi các chiều kích của Trái Đất. Nó cung cấp cho bạn các công cụ toán học và hình học để mô tả và dự báo. Một khi đã vượt qua một ngưỡng nhất định và hiểu được hình mẫu của nó, bạn sẽ đo đạc được các hiện tượng và suy nghĩ về chúng dưới một góc độ mới. Bạn sẽ nhìn chúng khác đi. Đó là một cách nhìn mới, khác hẳn với cách nhìn cũ - nó rộng lớn hơn rất nhiều”.

VẬY KÍCH THUỐC CỦA VẬT LÀ GÌ? Nó kéo dài được bao lâu?

Đó là các câu hỏi cơ bản nhất mà một nhà khoa học có thể đặt ra đối với một vật. Chúng là cơ bản đối với cách mà con người khái niệm hóa thế giới đến nỗi thật không dễ để thấy chúng bao hàm một thiên kiến nào đó. Chúng hàm ý rằng kích thước và thời gian, hai tính chất phụ thuộc vào thang, có một ý nghĩa, rằng chúng có thể giúp mô tả một đối tượng, hoặc phân loại nó. Khi một nhà sinh học mô tả một con người, hay một nhà vật lý mô tả một hạt quark, thì các câu hỏi về *kích thước* và *thời gian sống* là thực sự thích hợp. Trong cấu trúc vật lý tổng thể của mình, động vật gắn bó rất chặt chẽ với một thang cụ thể. Hãy hình dung một con người, có kích thước tăng lên gấp đôi và giữ tất cả các tỷ lệ đều như nhau thì bộ xương của anh ta sẽ gãy vụn dưới sức nặng của cơ thể. Vì vậy thang là rất quan trọng.

Còn vật lý của hành vi động đất thì lại gần như không phụ thuộc vào thang. Một trận động đất lớn chỉ là một phiên bản được khuếch đại lên của một trận động đất nhỏ. Đó chính là điều phân biệt động đất với các động vật - một con vật 30cm phải có kết cấu rất khác với một con vật 3cm, và một con vật 3 mét cần được kết cấu một cách khác hơn nữa, nếu như bộ xương của nó còn chịu đựng được sức nặng tăng lên của cơ thể. Ngược lại, các đám mây, cũng giống như các trận động đất: chúng bất biến về thang. Sự bất thường, không đều đặn vốn là đặc trưng của chúng - có thể mô tả được bằng chiều fractal - là hoàn toàn không thay đổi khi người ta quan sát chúng ở các thang khác nhau. Chính vì lẽ đó mà các nhà du hành trên không mất hết khái niệm phối cảnh khi phải xác định khoảng cách tới một đám mây. Nếu không có một số dấu hiệu - như sương mù chẳng hạn - thì anh ta gần như không thể khẳng định được một đám mây ở cách xa mình sáu mét hay sáu trăm mét. Thực tế, sự phân tích các bức ảnh chụp từ vệ tinh cũng cho thấy chiều fractal là bất biến trong các đám mây quan sát được từ khoảng cách vài trăm kilômét.

Rất khó có thể đoạn tuyệt với thói quen tư duy về các vật thông qua kích thước và thời gian kéo dài của chúng. Nhưng, đối với một số hiện tượng tự nhiên, hình học fractal khẳng định rằng việc tìm kiếm một kích thước đặc trưng chỉ là ảo tưởng. *Bão*. Theo định nghĩa, đó là một cơn giông tố có kích cỡ nhất định. Nhưng đó là định nghĩa mà con người áp đặt cho tự nhiên. Thực tế, các nhà khí tượng học hiện nay nhận thức rằng, từ các cơn gió xoáy cuốn giấy lên cao ở góc phố cho tới các hệ khí xoáy khổng lồ nhìn thấy được từ không gian, sự hỗn độn mất trật tự làm khuấy động khí quyển tạo thành một

continuum. Sự phân loại ở đây không còn ý nghĩa gì nữa. Các đầu mút của *continuum* này cùng với phần giữa của nó tạo thành một tổng thể.

Có khi, trong rất nhiều tình huống, các phương trình mô tả chuyển động của các chất lưu không có thứ nguyên, điều này có nghĩa là chúng được áp dụng cho bất cứ thang nào. Người ta đã thử các mô hình thu nhỏ của cánh máy bay và chân vịt của tàu thủy trong các hầm quạt gió hoặc trong các vũng tàu. Và trong một chừng mực nhất định, các trận bão nhỏ có hành trạng hệt như các trận bão lớn.

Các mạch máu, từ động mạch chủ cho đến các mao mạch, tạo thành một dạng *continuum* khác. Chúng tự phân nhánh và phân chia rồi lại phân nhánh rất nhiều lần cho tới khi trở nên hẹp tới mức các tế bào máu buộc phải di chuyển trong đó theo hàng một. Bản chất của sự phân nhánh này là fractal. Cấu trúc của chúng giống với một trong các vật tưởng tượng và quái dị mà các nhà toán học đầu thế kỷ đã dựng lên và Mandelbrot đã phát hiện lại. Do nhu cầu sinh lý, các mạch máu đã phải thực hiện một số chiêu thần tình về kích thước. Giống như đường cong Koch nén một chiều dài vô hạn vào trong một diện tích hữu hạn, bộ máy tuần hoàn cũng nén một diện tích khổng lồ vào trong một thể tích hữu hạn. Nếu, trong các nguồn tài nguyên của cơ thể, máu là một tài sản quý giá, thì không gian cũng là thứ của hiếm. Tự nhiên, trong cấu trúc fractal của mình, đã khéo nhào nặn tới mức, trong phần lớn các mô, không một tế bào nào ở cách một mạch máu xa quá ba hoặc bốn tế bào. Tuy nhiên, các mạch và máu chiếm rất ít không gian, không quá năm phần trăm thể tích cơ thể. Nói

theo cách của Mandelbrot, đó là hội chứng người lái buôn thành Venise^{*} - dù bạn cắt một nửa kilogram hay một miligam thịt, thì cũng sẽ chảy máu.

Một cấu trúc tinh tế đến thế - hai mạng tĩnh mạch và động mạch bện vào nhau - hoàn toàn không phải là một ngoại lệ. Loại cấu trúc phức tạp này xuất hiện khắp nơi trong cơ thể con người. Trong bộ máy tiêu hóa, các mô được sắp xếp theo các lớp lượn sóng bên trong các lớp lượn sóng. Phổi cũng phải choán một diện tích lớn nhất bên trong một thể tích nhỏ nhất. Khả năng hấp thụ ôxy của một động vật gần như là tỉ lệ với diện tích của phổi. Phổi của một người bình thường có diện tích lớn hơn cả diện tích của một sân tennis. Và - còn phức tạp hơn nữa - mê lộ của những khí quản lại được hòa nhập một cách hết sức hiệu quả với các động mạch và tĩnh mạch.

Mọi sinh viên ngành y đều biết rằng phổi được thiết kế để choán một diện tích khổng lồ. Nhưng các nhà giải phẫu học lại được đào tạo để quan sát mỗi lần chỉ ở một thang - chẳng hạn ở cấp độ hàng nghìn các phế nang, tức các túi nhỏ li ti nằm ở đầu các phế quản, - và ngôn ngữ của giải phẫu học có xu hướng che đi sự thống nhất tồn tại ở *tất cả* các thang.

* Người lái buôn thành Venise là tên của một trong những vở kịch nổi tiếng nhất của William Shakespeare, viết từ 1594-1597, trong đó Shakespeare thể hiện sự đồng cảm với người Do Thái:

“Người Do Thái không có mắt sao? Người Do Thái không có tay, các bộ phận, không có cảm giác, tình cảm, mong muốn sao; không sống bằng thức ăn, không bị vũ khí gây sát thương, không mắc bệnh, không cần được chăm sóc, không cảm thấy cái nóng của mùa hè và cái lạnh của mùa đông như những người Cơ đốc sao? Nếu các người châm vào da thịt chúng tôi, chúng tôi không chảy máu sao? Nếu các người cù chúng tôi, chúng tôi không cười sao? Nếu các người đầu độc chúng tôi, chúng tôi không chết sao? Và nếu các người nhạo báng chúng tôi, chúng tôi không biết trả thù sao?... (ND)

Ngược lại, cách tiếp cận fractal xem xét cấu trúc tổng thể của phổi so với sự phân nhánh sinh ra nó và kết nối một cách chặt chẽ các thang lớn với các thang nhỏ. Các nhà giải phẫu học nghiên cứu hệ thống mạch máu bằng cách phân loại các mạch máu tùy theo kích thước của chúng - động mạch và tiểu động mạch, tĩnh mạch và tiểu tĩnh mạch. Đối với một số mục đích thì sự phân loại này tỏ ra hữu ích. Nhưng đối với một số mục đích khác thì nó lại dẫn đến nhầm lẫn. Đôi khi cách tiếp cận trong sách giáo khoa lại chạy lòng vòng xung quanh chân lý, kiểu như: “Trong sự chuyển tiếp dần dần từ một loại động mạch này sang một loại động mạch khác, đôi khi rất khó phân loại được vùng trung gian. Một số động mạch có đường kính trung bình lại có các thành mạch khiến người ta nghĩ đến các động mạch lớn hơn, trong khi một số động mạch lớn lại có các thành mạch khiến người ta nghĩ đến các động mạch có kích thước trung bình. Các vùng chuyển tiếp này... thường được gọi là các động mạch loại hỗn hợp.”

Phải đợi khoảng chục năm sau khi Mandelbrot công bố các tư biện về sinh lý học của ông thì một số nhà sinh học lý thuyết mới bắt đầu phát hiện ra rằng một tổ chức fractal chi phối các cấu trúc ở tất cả các cấp độ của cơ thể con người. Sự mô tả theo “hàm mũ” chuẩn về sự phân nhánh của phổi tỏ ra hoàn toàn sai lầm, trong khi mô tả fractal lại phù hợp với các dữ liệu. Hệ tiết niệu, ống mật trong gan, mạng các sợi đặc biệt truyền xung điện đến các cơ tim, tất cả những thứ này đều tỏ ra là fractal cả. Cấu trúc cuối cùng nói ở trên, mà các bác sỹ chuyên khoa tim gọi là mạng His-Purkinje, đã mở ra một hướng nghiên cứu đặc biệt quan trọng. Hóa ra phần lớn các hoạt động ở tim bình thường và không bình thường

lại phụ thuộc vào các chi tiết của sự phối hợp về nhịp của các tế bào cơ tâm thất trái và phải. Sau khi đã phát hiện ra rằng phổ tần số của nhịp tim - cũng giống như động đất và các hiện tượng kinh tế - đều tuân theo các quy luật fractal, nhiều bác sỹ chuyên khoa tim có hiểu biết về hỗn độn đã khẳng định rằng một trong những chìa khoá cho phép hiểu được nhịp này chính là tổ chức fractal của mạng His-Purkinje, đó là mê lộ những con đường phân nhánh được tổ chức theo kiểu tự tương tự, tức bất biến thang, ở các thang ngày càng nhỏ hơn.

Bằng cách nào mà tự nhiên lại có thể kiến tạo được một cấu trúc phức tạp đến thế? Theo Mandelbrot, thì những phức tạp này chỉ tồn tại trong bối cảnh hình học Euclid truyền thống. Với tư cách là các fractal, những phân nhánh này có thể được mô tả một cách rất đơn giản, chỉ cần rất ít thông tin. Có lẽ, những phép biến đổi đơn giản tạo ra các hình dáng được sáng tạo bởi Koch, Peano và Sierpinski đã có những tương tự của chúng trong các lệnh được mã hóa của các gen của một cơ thể. Nếu ADN chắc chắn không có khả năng chứa vô số các phé quản, các tiểu phé quản, các phé nang, hay cấu trúc không gian cụ thể theo dạng cây, thì nó lại có thể ấn định các quy tắc của quá trình lặp lại các phân nhánh và tăng trưởng. Những quá trình như thế tuân theo mục đích của tự nhiên. Khi E. I. DuPont thuộc công ty Nemours & Company và quân đội Mỹ tiến hành sản xuất một dạng tổng hợp của lông tơ ngỗng, thì sau một thời gian dài họ mới nhận ra rằng khả năng giữ không khí tuyệt vời của lông tơ ngỗng tự nhiên là do các nút và các nhánh fractal tạo ra cấu trúc của protein mẹ của lông tơ, gọi là keratine. Mandelbrot chuyển rất tự nhiên từ các dạng cây của phổi và mạch máu sang các cây thực vật thật, các cây

cần hấp thụ năng lượng của Mặt Trời và chống chịu gió, với các cành và lá dạng fractal. Và các nhà sinh học lý thuyết bắt đầu ngờ rằng bất biến thang fractal là một đặc tính không chỉ thường gặp, mà còn là phổ quát của sự phát sinh hình thái. Họ khẳng định rằng hiểu được một hình mẫu như thế được mã hóa và xử lý như thế nào giờ đây đã trở thành một thách thức lớn đối với ngành sinh học.

“SỞ DĨ TÔI NHÌN VÀO CÁC THÙNG RÁC của khoa học để tìm kiếm các hiện tượng này là bởi vì tôi đã ngờ rằng cái mà tôi quan sát không phải là một ngoại lệ, mà có thể là rất phổ biến. Tôi đã tham gia các hội thảo, lục lọi rất nhiều các tạp chí đã lỗi thời, mà phần lớn chẳng có ích gì hoặc gần như thế, nhưng có lần tôi cũng phát hiện được ở đó những điều thú vị. Về một số phương diện nào đó, thì đây là cách tiếp cận của nhà tự nhiên học chứ không phải của một nhà lý thuyết. Nhưng cũng bỏ công.”

Sau khi đã tập hợp vào trong một cuốn sách tất cả các ý tưởng sống về tự nhiên và lịch sử của toán học, Mandelbrot đã thu được một thành công ngoài sự mong đợi. Với các hộp phim dương bản luôn bên mình và bộ tóc trắng mượt, ông trở thành một người quen thuộc của các hội thảo khoa học. Ông cũng đã bắt đầu nhận được các giải thưởng và vinh danh nghề nghiệp, và trở nên nổi tiếng đối với công chúng như bất cứ nhà toán học nào khác. Điều này một phần là do sức lôi cuốn về mặt thẩm mỹ của các hình fractal của ông, và một phần khác là do hàng nghìn nhà tin học nghiệp dư cũng có thể khám phá vũ trụ của ông trên máy tính cá nhân của họ

- và một phần nữa cũng bởi vì ông đã biết tự lảng xê mình. Tên của ông đã xuất hiện trong một danh sách ít ỏi được biên soạn bởi I. Bernard Cohen, nhà sử học về các khoa học thuộc Đại học Harvard, người đã nghiên cứu tỉ mỉ từ các cuốn biên niên về các phát minh cho đến những nghiên cứu của các nhà khoa học đã từng tuyên bố rằng công trình họ là một “cuộc cách mạng”. Cả thấy, Cohen chỉ tìm được có 16 người. Robert Symmer, một người Scotland cùng thời với Benjamin Franklin, người đứng là có các ý tưởng thực sự mang tính cách mạng, nhưng lại sai lầm; Jean-Paul Marat, người mà ngày hôm nay chỉ còn được biết đến những đóng góp đầm máu của ông vào Cách mạng Pháp; rồi Vol Liebig; Hamilton; Charles Darwin, tất nhiên rồi; Virchow; Cantor; Einstein; Minkowski; Von Laue; Alfred Wegener - người phát hiện ra sự trôi dạt của các lục địa; Compton; Just; James Watson - người tìm ra cấu trúc của ADN. Và Benoit Mandelbrot.

Tuy nhiên, đối với các nhà toán học, Mandelbrot vẫn là một người ngoại đạo, người đấu tranh một cách gay gắt và kiên trì chống lại các luật chơi trong khoa học. Ở đỉnh cao của vinh quang, ông bị một số đồng nghiệp căm ghét, họ nghĩ ông bị ám ảnh một cách không bình thường bởi vị trí của mình trong lịch sử. Họ nói ông đã hà hiếp họ để họ phải khen ngợi ông một cách xứng đáng. Điều không phải bàn cãi gì nữa là trong những năm tháng làm kẻ dị giáo chuyên nghiệp ông đã mài sắc khả năng suy xét của mình cả về chiến thuật lẫn thực chất của một thành tựu khoa học. Thi thoảng, khi xuất hiện các bài báo có sử dụng các ý tưởng vay mượn từ hình học fractal, ông liền gọi điện hoặc viết thư cho các tác giả phàn nàn họ đã không có một trích dẫn nào đến tên ông hoặc sách của ông.

Tuy nhiên, những người hâm mộ ông thì lại dễ dàng bỏ qua cá tính của ông, sự thể tất ấy có được là do họ đã xét đến biết bao trở ngại mà ông đã phải vượt qua để những công trình nghiên cứu của ông được thừa nhận. Một trong những người ủng hộ ông nhận xét: “Đúng là ông có hơi hoang tưởng tự đại và ích kỷ, nhưng những điều ông đã làm được thật đáng khâm phục khiến cho hầu như tất cả mọi người đều bỏ qua những cá tính đó”. Theo một người khác: “Ông đã gặp nhiều khó khăn với các đồng nghiệp toán học của mình đến nỗi, đơn giản chỉ để sống được, ông đã buộc phải tìm cách tự lãng-xê mình. Nếu ông không phản ứng như thế, nếu ông không tin chắc mình đã nhìn nhận đúng như thế, thì ông đã không bao giờ có được thành công”.

Đối với các nhà khoa học, cống hiến và được thừa nhận có thể trở thành một nỗi ám ảnh. Mandelbrot có đủ cả hai. Cuốn sách của ông thường được viết ở ngôi thứ nhất: *Tôi khẳng định... tôi đã xây dựng và phát triển... và đã áp dụng... tôi đã xác nhận... tôi đã chứng minh... tôi đã sáng tạo ra thuật ngữ... Trong các chuyến phiêu lưu của tôi đến các vùng mới được khai mở này, tôi vẫn thường phải sử dụng quyền để đặt tên cho các điểm mốc.*

Rất nhiều nhà khoa học không hề thích phong cách này, họ cũng chẳng thích có quá nhiều trích dẫn tới những người đi trước, trong đó một số người hoàn toàn không được biết tới (và tất cả, như những người gièm pha ông nhận xét, đều đã chết từ lâu lắm rồi). Họ cho rằng, đối với ông, đó là một cách để mọi người nhận thấy mình, giống như giáo hoàng ban phép lành khắp nơi vậy. Và họ đã chiến đấu chống lại. Nếu như khó có thể tránh dùng từ fractal, thì họ có thể tránh cái

tên Mandelbrot bằng cách nói về *chiều Hausdorff-Besicovitch* thay cho chiều phân số. Họ cũng phần nộ - đặc biệt là các nhà toán học - đối với cách ông chuyển từ chuyên ngành này sang chuyên ngành khác, đưa ra các khẳng định và phỏng đoán, rồi để cho người khác phải chứng minh chúng.

Một câu hỏi rất chính đáng là: Nếu một nhà khoa học thông báo rằng một điều rất có thể là đúng, và nếu một người khác chứng minh nó một cách chặt chẽ, thì ai trong số hai người đã đóng góp nhiều hơn vào tiến bộ của khoa học? Liệu một phỏng đoán có phải là một phát minh? Hay đó chỉ là một sự cá cược tính khô về một tuyên bố? Đúng là các nhà toán học từ lâu đã phải đương đầu với loại vấn đề này, nhưng cuộc tranh luận trở nên gay gắt hơn khi mà vai trò của máy tính ngày càng tăng lên. Những người sử dụng máy tính để tiến hành nghiên cứu cũng được coi giống như những nhà nghiên cứu trong phòng thí nghiệm, họ chơi theo luật cho phép thực hiện các phát minh mà không cần có chứng minh định lý theo cách thông thường, tức là chứng minh định lý của một bài báo toán học chuẩn.

Cuốn sách của Mandelbrot đề cập đến các chủ đề rất đa dạng, với rất nhiều các chi tiết về lịch sử toán học. Ở bất kỳ chỗ nào có dẫn đến hỗn độn, Mandelbrot đều luôn tìm được lý do để khẳng định rằng ông là người đến đó đầu tiên. Việc phần lớn các độc giả cho rằng các lời dẫn chiếu của ông là tối nghĩa, thậm chí vô ích, đối với ông không hề quan trọng. Họ phải thừa nhận cái trực giác phi thường của ông để thấy được phương hướng phát triển trong các lĩnh vực mà trên thực tế ông chưa hề nghiên cứu, từ địa chấn học cho đến sinh lý học. Lúc thì huyền bí, lúc lại làm cho người đọc phát cáu. Thậm chí người ta còn nghe thấy một người hâm mộ ông kêu lên,

phần nộ: “Mandelbrot không thể có được các tư tưởng của *tất cả mọi người* trước khi họ có”.

Thế cũng chẳng sao. Một thiên tài không phải lúc nào cũng cần phải có gương mặt giống thần thánh của Einstein. Tuy nhiên, trong hàng chục năm, Mandelbrot tin rằng ông buộc phải hành động như vậy. Ông đã phải diễn tả các ý tưởng của mình bằng những lời lẽ sao cho không xúc phạm ai. Ông đã phải cắt bỏ những phần mở đầu cao đàm khoát luận để các bài báo của mình được đăng. Khi viết phiên bản đầu tiên của cuốn sách, xuất bản bằng tiếng Pháp năm 1975, ông đã cảm thấy buộc phải làm ra vẻ như là nó không chứa một điều gì quá bất ngờ. Đó chính là lý do ông đã viết phiên bản mới nhất, phiên bản cuối cùng, một cách công khai như là một “bản tuyên ngôn và cuốn sổ ghi công việc”. Cần phải tuân theo luật chơi mà.

“Luật chơi này đã ảnh hưởng đến phong cách của tôi mà về sau tôi phải hối tiếc. Tôi từng nói ‘Thật tự nhiên là..., Thật thú vị khi quan sát thấy...’. Nhưng trên thực tế, đó là bất cứ thứ gì nhưng không là tự nhiên, và quan sát thú vị trên thực tế là kết quả của những nghiên cứu rất lâu dài, của sự tìm kiếm cách chứng minh và phản biện. Thái độ có tính triết lý và hơi xa cách này là cần thiết để người ta chấp nhận các nghiên cứu của tôi. Luật chơi ở đây là: nếu tôi nói tôi đang đề xuất một thay đổi triệt để thì độc giả chắc sẽ không còn quan tâm nữa.

“Về sau, tôi bắt gặp lại những cấu trúc này: nhiều người nói ‘thật tự nhiên khi quan sát...’. Tôi thật không ngờ đến điều đó”.

Nhìn lại phía sau, Mandelbrot đã nhận ra rằng phản ứng của các nhà khoa học thuộc rất nhiều chuyên ngành khác nhau đối với cách tiếp cận của ông diễn ra theo các giai đoạn mà

thật đáng buồn ai cũng có thể thấy trước được: giai đoạn đầu tiên, bao giờ cũng như thế này: “Anh là ai và tại sao anh lại quan tâm đến chuyên ngành của chúng tôi?” Và giai đoạn thứ hai: “Nó liên hệ như thế nào với những cái mà chúng tôi đang làm và tại sao anh lại không giải thích nó trên cơ sở những cái mà chúng tôi biết?”. Giai đoạn thứ ba: “Anh có chắc rằng đó là toán học chuẩn không? (Có, tôi chắc). Vậy, tại sao chúng tôi lại không biết nhỉ? (Bởi vì đó là chuẩn, nhưng rất khó hiểu.)”

Về phương diện này, toán học khác với vật lý và các khoa học ứng dụng khác. Một nhánh của vật lý, một khi đã trở thành lỗi thời hoặc không còn đem lại lợi ích gì nữa, sẽ có xu hướng vĩnh viễn thuộc về quá khứ. Nó có thể trở thành một thứ của lạ của lịch sử, hoặc là nguồn cảm hứng cho một nhà nghiên cứu hiện đại, nhưng khi đã chết thì thường chết là vì những lý do xác đáng. Ngược lại, trong toán học, người ta gặp rất nhiều các hướng, các con đường mòn quanh co một thời dường như chẳng dẫn đến đâu, nhưng rồi sau đó, ở một thời khác, nó lại trở thành một lĩnh vực nghiên cứu cực kỳ quan trọng. Người ta không bao giờ có thể dự báo được các ứng dụng tiềm năng của một ý tưởng thuần túy. Chính vì điều đó mà các nhà toán học đánh giá một công trình dựa trên quan điểm thẩm mỹ, giống như các nghệ sỹ đi tìm kiếm cái tao nhã và cái đẹp vậy. Đó cũng là lý do mà Mandelbrot, bằng các phương pháp khảo cổ của mình, đã tìm được khối thứ toán học quý giá sẵn sàng chờ để được chiêu tuyết.

Và khi đó giai đoạn thứ tư thường là: “Vậy những người trong lĩnh vực toán học đó, họ nghĩ gì về công trình của anh? (Họ không quan tâm, vì nó không bổ sung gì thêm cho toán học cả. Thực tế, họ lại rất ngạc nhiên khi thấy rằng những ý tưởng của họ lại diễn tả được cả tự nhiên)”.

Rốt cuộc, *fractal* đã trở thành một cách mô tả, tính toán và tư duy về các hình dạng bất thường và phân mảnh, nham nhỡ và đứt vỡ - từ các đường viền tinh thể của các bông tuyết cho đến các đám bụi rời rạc của các thiên hà. Một đường cong fractal bao hàm một cấu trúc có tổ chức ngấm nằm ẩn giấu giữa sự phức tạp kinh khủng của các hình dạng này. Các học sinh trung học có thể hiểu được hình fractal và chơi với chúng; chúng cũng cơ bản như các yếu tố của hình học Euclid và những người không chuyên về tin học cũng có thể lặp lại các chương trình đơn giản vẽ các hình fractal.

Mandelbrot đã được các nhà nghiên cứu của các ngành khoa học ứng dụng nghiên cứu về dầu mỏ, đất đá hay kim loại đón nhận một cách nồng nhiệt - đặc biệt là tại các trung tâm nghiên cứu công nghiệp. Chẳng hạn, vào khoảng giữa những năm 1980, rất nhiều kỹ sư của hãng Exxon đã nghiên cứu các vấn đề fractal. Tại hãng General Electric, các hình fractal đã trở thành một nguyên lý tổ chức trong nghiên cứu polyme và các vấn đề an toàn của các lò phản ứng hạt nhân, mặc dù những nghiên cứu này được giữ bí mật. Tại Hollywood, chúng thậm chí còn được ứng dụng vào sáng tạo nghệ thuật, để tạo ra các hiệu ứng đặc biệt của điện ảnh, như các khung cảnh Trái Đất và ngoài Trái Đất hết sức chân thật.

Các hình dạng mà những người như Robert May và James Yorke đã phát hiện ra đầu những năm 1960, với các đường biên phức tạp giữa các hành trạng trật tự và hỗn loạn, lại có những sự đều đặn đến không ngờ mà người ta chỉ có thể mô tả bằng các mối liên hệ giữa các thang lớn và nhỏ. Các cấu trúc này, vốn đã cung cấp chìa khóa cho động lực học phi tuyến, giờ lại hóa ra có bản chất fractal. Và ở cấp độ thực hành trực tiếp

nhất, hình học fractal cũng cung cấp một tập hợp các công cụ cho các nhà vật lý, hóa học, địa chấn học, luyện kim học, các nhà lý thuyết xác suất và sinh lý học. Các nhà nghiên cứu này đã tin - và cố gắng thuyết phục những người khác tin - rằng hình học của Mandelbrot là hình học thực sự của tự nhiên.

Nếu các hình dạng này cũng có một ảnh hưởng không còn bàn cãi đến toán học và vật lý chính thống, thì Mandelbrot lại không bao giờ được hưởng sự kính trọng đầy đủ của hai cộng đồng này. Tuy vậy, giới vật lý và toán học không thể hoàn toàn không biết đến ông. Một nhà toán học đã kể lại cho các bạn mình nghe rằng nửa đêm ông tỉnh dậy, hoảng hốt vì ác mộng. Trong giấc mơ của mình, ông chết và bỗng nhiên nghe thấy giọng nói chắc như đinh đóng cột của Chúa: “Con biết không, điều anh chàng Mandelbrot này nói là *sự thật* đó.”

KHÁI NIỆM BẤT BIẾN THANG NÀY đã làm cộng hưởng những cung đàn xưa trong nền văn hóa nhân loại. Ý tưởng này đã được nhiều thế hệ các nhà tư tưởng phương Tây chào đón. Leibniz đã hình dung rằng một giọt nước chứa cả một vũ trụ sôi sục, vũ trụ này đến lượt mình lại chứa các giọt nước khác và các vũ trụ mới. Thi sĩ Blake cũng đã viết: “Nhìn thấy thế giới trong một hạt cát”. Và các nhà khoa học thường được dẫn dắt để nhìn thấy điều đó. Khi lần đầu tiên phát hiện ra các tinh trùng, người ta đã nghĩ rằng mỗi một trong số chúng là một hình nhân, một con người thu nhỏ, nhưng đã được hình thành đầy đủ.

Nhưng với tư cách là một nguyên lý khoa học, thì bất biến thang hay tính tự tương tự đã bị xếp xó. Và vì một lý do xác

đáng: nó không phù hợp với thực tế. Tinh trùng không phải đơn giản là con người ở thang thu nhỏ - chúng thú vị hơn thế nhiều - và quá trình phát triển một cá thể cũng thú vị hơn nhiều sự tăng trưởng giản đơn. Ý nghĩa đầu tiên về bất biến thang như một nguyên lý tổ chức bắt nguồn từ những giới hạn của kinh nghiệm con người về thang. Làm sao có thể hình dung được cái rất lớn và cái rất nhỏ, cái rất nhanh và cái rất chậm, nếu đó không phải là sự mở rộng của những cái mà người ta đã biết?

Bí ẩn này có một cuộc sống khá dài cho tới khi kính viễn vọng và kính hiển vi mở rộng tầm nhìn của con người. Các phát hiện đầu tiên làm người ta ý thức được rằng mỗi sự thay đổi thang lại xuất hiện các hiện tượng mới và các loại hành trạng mới. Đối với một nhà vật lý hạt hiện đại, thì quá trình này không bao giờ dừng lại. Mỗi một máy gia tốc hạt mới, với sự gia tăng thêm năng lượng và vận tốc, đã mở rộng tầm nhìn của khoa học đến các hạt nhỏ hơn và đến các thang thời gian ngắn hơn, và mỗi một lần mở rộng đường như lại bổ sung thêm nhiều thông tin mới.

Thoạt nhìn, ý tưởng về sự nhất quán trên các thang mới có vẻ như sẽ dẫn đến ít thông tin hơn. Điều này một phần là do trong khoa học luôn tồn tại xu thế hướng tới quy giản luận. Các nhà khoa học thường đập vỡ các vật ra và nghiên cứu lần lượt từng bộ phận của nó. Nếu họ muốn xem xét sự tương tác giữa các hạt dưới nguyên tử, họ đặt hai hoặc ba hạt cùng nhau - thế cũng đủ phức tạp lắm rồi. Tuy nhiên, sức mạnh của bất biến thang thể hiện ở các cấp độ phức tạp hơn rất nhiều. Vấn đề là phải có cái nhìn tổng thể.

Mặc dù Mandelbrot đã sử dụng bất biến thang rất nhiều trong hình học, nhưng sự quan tâm trở lại của giới khoa học đối với bất biến thang trong những năm sáu mươi và bảy mươi đã trở thành một trào lưu trí tuệ diễn ra đồng thời tại rất nhiều nơi. Bất biến thang đã ngấm ẩn trong các nghiên cứu của Lorenz. Nó là một phần trong sự hiểu biết mang tính trực giác của ông về cấu trúc tinh tế của các con số được cho bởi hệ phương trình của ông, cấu trúc mà ông linh cảm thấy nhưng không thể quan sát nhờ các máy tính của năm 1963. Bất biến thang cũng đã tham gia vào một trào lưu trong vật lý, trào lưu đã cho ra đời, trực tiếp hơn các nghiên cứu của Mandelbrot, một chuyên ngành mới mang tên là hỗn độn. Ngay cả trong các lĩnh vực xa với vật lý, các nhà khoa học cũng đã bắt đầu tư duy thông qua các lý thuyết dựa trên thứ bậc của các thang. Chẳng hạn như trong sinh học về tiến hóa, người ta nhận thấy một cách rõ ràng rằng, một lý thuyết đầy đủ phải nhận dạng được các sơ đồ phát triển trong các gen, các cá thể, các loài và họ loài một cách đồng thời.

Nhưng thật nghịch lý, sự quan tâm trở lại này lại là do chính sự mở rộng tầm nhìn của con người mà trước kia đã từng giết chết các tư tưởng ngây thơ đầu tiên về bất biến thang. Vào khoảng cuối thế kỷ XX, theo những cách mà trước kia không ai hình dung được, các hình ảnh nhỏ cực kỳ và to đến không thể tưởng tượng nổi đã trở thành một phần của kinh nghiệm hàng ngày của con người. Loài người đã được nhìn thấy các bức ảnh về nguyên tử và các thiên hà. Không một ai còn phải tưởng tượng, như Leibniz, Vũ trụ nhìn như thế nào ở thang vi mô hoặc cực vĩ mô. Và với trí tuệ con người luôn khát khao phát hiện ra những cái tương tự trong kinh nghiệm, thì các loại

so sánh mới giữa cái lớn và cái nhỏ là điều không tránh khỏi - và một số trong đó đã mang lại những lợi ích rất thiết thực.

Các nhà khoa học bị hình học fractal lôi cuốn cũng thường cảm thấy những sự tương đồng giữa thẩm mỹ toán học mới của họ với những thay đổi trong nghệ thuật ở nửa sau thế kỷ XX. Họ có cảm giác rằng phần nào sự hưng phấn nội tại của mình được nuôi dưỡng bởi toàn bộ nền văn hóa. Theo Mandelbrot thì một ví dụ hoàn hảo về sự tạo cảm giác Euclid ở bên ngoài toán học là kiến trúc kiểu Bauhaus. Đó cũng rất có thể là phong cách hội họa mà tiêu biểu nhất là các hình vuông tô màu của Josef Albert: tối thiểu, tuyến tính, quy giản, hình học. *Hình học*: từ này có nghĩa là cái mà nó đã có nghĩa từ hàng nghìn năm. Các tòa nhà được gọi là hình học (kỷ hà) được cấu trúc từ các hình dạng đơn giản - các đường thẳng và đường tròn - có thể mô tả bằng rất ít các con số. Mốt của kiến trúc và hội họa kỷ hà đến rồi lại ra đi. Các kiến trúc sư không còn quan tâm xây dựng các tòa nhà chọc trời theo các đơn nguyên như Seagram Building tại New York, vốn đã từng rất được ưa chuộng và bắt chước. Đối với Mandelbrot và những người đi theo ông, lý do của điều đó là hiển nhiên: các hình dạng đơn giản không có tính nhân văn. Chúng không cộng hưởng với cách thức mà tự nhiên tổ chức nên nó hoặc với cách thức mà tri giác con người cảm nhận thế giới. Đó cũng là cảm giác của Gert Eilenberger, một nhà vật lý người Đức, người đã lao vào khoa học phi tuyến dù trước đó ông chuyên nghiên cứu vật lý siêu dẫn: “Lý do nào khiến người ta cảm thấy bóng của cái cây trần trụi bị con giông uốn cong trên nền trời hoàng hôn mùa đông là đẹp, trong khi họ không cảm thấy như vậy trước hình bóng tương ứng của bất cứ tòa nhà đa

mục đích nào của một trường đại học, bắt chấp tất cả mọi cố gắng của các kiến trúc sư? Tôi thấy dường như người ta phải tìm câu trả lời, ngay cả khi câu trả lời đó mang ít nhiều tính tự biện, trong cách nhìn mới mẻ và sâu sắc của chúng ta về các hệ động lực. Cảm giác của chúng ta về vẻ đẹp bắt nguồn từ sự sắp xếp hài hòa của trật tự và hỗn độn như người ta bắt gặp nó trong các đối tượng của tự nhiên - như mây, núi, cây cỏ, hoa lá hay các tinh thể tuyết. Hình dạng của tất cả các đối tượng đó đều tương ứng với các quá trình động lực có một sự nhất quán về vật lý, và được đặc trưng bởi những tổ hợp cụ thể của trật tự và hỗn độn.”

Mỗi hình dạng hình học có một *thang*, một kích thước đặc trưng. Theo Mandelbrot, một tác phẩm nghệ thuật quyền rũ không có thang, theo một nghĩa nào đó tức là nó đã chứa những yếu tố quan trọng ở mọi kích thước. Ông đặt sự đối lập của kiến trúc Seagram Building với kiến trúc Mỹ Thuật thể hiện qua các họa tiết điêu khắc và các máng nước, các khối đá nền và các hàng cột trụ, các khung cửa trang trí hình cuốn, các mái đua đầy các ô cửa nhỏ được viền bằng các hình răng vuông. Một mô hình kiến trúc Mỹ Thuật như Nhà hát Opera ở Paris không có bất kỳ thang nào vì nó có tất cả các thang. Ở mỗi khoảng cách nhìn, người ta đều phát hiện thấy các chi tiết bất mất. Khi tiến lại gần, bố cục của nó thay đổi, và các thành phần mới của cấu trúc lại xuất hiện.

Đánh giá cấu trúc hài hòa của một công trình kiến trúc là một chuyện, còn khâm phục sự hoang dã của tự nhiên lại là một chuyện khác, hoàn toàn khác. Trên bình diện các giá trị thẩm mỹ, toán học mới của hình học fractal đưa các ngành khoa học tự nhiên hòa nhịp với cảm giác đặc biệt hiện đại

đối với tự nhiên hoang dã, thô ráp, chưa được thuần hóa. Một thời, các khu rừng nhiệt đới, các sa mạc, các rừng cây bụi và các vùng đất cằn cỗi là biểu thị của tất cả những gì mà xã hội con người cố gắng chinh phục. Để có được sự thỏa mãn thẩm mỹ khi ngắm nghía cây cối, con người thường nhìn ngắm các khu vườn. Như John Fowles đã từng viết về Anh quốc thế kỷ XVIII: “Thời kỳ này không có một tí giao cảm nào với tự nhiên nguyên thủy, chưa được kiểm soát. Nó là một dạng hoang dại đầy khiêu khích, nhắc nhở một cách sỗ sàng khó chịu về tội lỗi nguyên thủy của con người, về sự lưu đầy con người vĩnh viễn khỏi vườn địa đàng... Ngay cả các khoa học tự nhiên... về cơ bản cũng vẫn đối nghịch với thiên nhiên hoang dã, chỉ coi nó như một thứ cần phải khuất phục, phân loại, sử dụng, khai thác.” Cuối thế kỷ XX, văn hóa đã thay đổi, và giờ khoa học cũng đang thay đổi theo.

Chẳng hạn, cuối cùng thì khoa học cũng đã tìm thấy lợi ích ở những người anh em tối tăm khó hiểu và kỳ quái của tập hợp Cantor và đường cong Koch. Trước hết, các hình này lẽ ra đã có thể sử dụng làm chứng cứ trong thủ tục ly hôn ở đầu thế kỷ XX giữa toán học và các khoa học vật lý, sự cáo chung của một cuộc hôn phối từng là đặc trưng chủ đạo của khoa học từ thời Newton. Các nhà toán học như Cantor và von Koch đã vui mừng về sự độc đáo của họ. Họ nghĩ là họ đã ma mãnh hơn cả tự nhiên - trong khi trên thực tế họ còn lâu mới sánh kịp sức sáng tạo của tự nhiên. Dòng chủ lưu đầy uy tín của vật lý cũng quay lưng lại với thế giới của kinh nghiệm hằng ngày. Phải đợi đến khi Smale dẫn dắt các nhà toán học quay trở lại các hệ động lực thì một nhà vật lý mới có thể nói: “Chúng ta phải cảm ơn các nhà thiên văn và toán học đã để

lại cho chúng ta, các nhà vật lý, cái lĩnh vực này trong một tình trạng tốt hơn nhiều so với khi chúng ta đã bỏ lại nó cho họ cách đây bảy mươi năm trước.”

Tuy nhiên, không phải Smale, cũng không phải Mandelbrot, mà chính là các nhà vật lý cuối cùng đã xây dựng nên một khoa học mới về hỗn độn. Mandelbrot đã cung cấp một ngôn ngữ không thể thiếu và một danh mục bất ngờ các hình ảnh về tự nhiên. Như chính ông đã thừa nhận, chương trình của ông *miêu tả* hơn là *giải thích*. Ông đã lập nên một danh sách các yếu tố của tự nhiên cùng với các chiều fractal của chúng - các bờ biển, các lưu vực sông, vỏ cây, các thiên hà - và các nhà khoa học đã có thể sử dụng các con số này để đưa ra các tiên đoán. Nhưng các nhà vật lý lại muốn biết nhiều hơn thế. Họ muốn biết tại sao. Tự nhiên còn chứa các hình dạng - không nhìn thấy được, bị vùi lấp trong cấu trúc của chuyển động - đang chờ được khám phá.

CÁC NHÂN HÚT LẠ

*Các cuộn lớn chứa các cuộn nhỏ hơn
Mất dần đi vận tốc,
Các cuộn nhỏ lại chứa các cuộn nhỏ hơn nữa
Và cứ thế cho tới độ nhót.*

—LEWIS F. RICHARDSON

CHẢY RỐI LÀ MỘT BÀI TOÁN CAO CẤP. Tất cả các nhà vật lý lớn đều quan tâm đến nó, dù là chính thức hay không. Một dòng chảy đồng nhất bị phá vỡ thành các cuộn và các xoáy. Những hình mẫu hoang dại làm đứt đoạn đường biên giữa chất lưu và chất rắn. Năng lượng hao tán rất nhanh, từ các chuyển động ở thang lớn sang các chuyển động ở thang nhỏ. Tại sao? Các ý tưởng hay nhất đều bắt nguồn từ các nhà toán học; đối với phần lớn các nhà vật lý, chảy rối là một đề tài quá nguy hiểm để tiêu phí thời gian cho nó. Đường như nó vượt ra ngoài tầm hiểu biết của chúng ta. Có một giai thoại về nhà lý thuyết lượng tử Werner Heisenberg, người tuyên bố trên giường bệnh lúc lâm chung rằng, khi lên thiên đường, ông sẽ đặt cho Chúa hai câu hỏi: tại sao có thuyết tương đối, và tại sao có sự chảy rối? Sau đó Heisenberg còn nói: “Tôi tin rằng Chúa sẽ chỉ trả lời được câu hỏi thứ nhất.”

Vật lý lý thuyết đã giữ thái độ “kính nhi viễn chi” đối với bài toán chảy rối. Khoa học này trên thực tế đã vạch xuống đất một đường và nói: “Chúng ta không thể đi vượt ra ngoài

đường biên này”. Ở bên trong đường biên ấy, trong cái vùng mà ở đó chất lưu xử sự một cách “ngoan ngoãn”, trật tự thì cũng đã có khối thứ để nghiên cứu rồi. Rất may, một chất lưu chảy một cách trơn tru lại không xử sự như thể nó chứa một số gần như vô hạn các phân tử độc lập, mỗi phân tử có thể có chuyển động riêng. Mà thay vì thế, các yếu tố chất lưu ở cạnh nhau có xu hướng vẫn còn ở cạnh nhau, giống như các chú ngựa cùng mắc vào chung một ách vậy. Các kỹ sư đã có nhiều kỹ thuật thích hợp để tính toán dòng chảy chùng nào nó vẫn còn chảy một cách êm đềm. Họ sử dụng các kiến thức có từ thế kỷ XIX, khi mà việc tìm hiểu chuyển động của các chất lỏng và khí còn là một bài toán ở tuyến trước của vật lý.

Nhưng ở thời kỳ hiện đại, nó không còn ở tuyến trước nữa. Đối với các nhà lý thuyết uyên thâm, động lực học của các chất lưu dường như đã tiết lộ tất cả các bí mật của nó, trừ một bí mật mà chính Chúa cũng không thể tiếp cận được. Người ta đã làm chủ được các khía cạnh thực tiễn của chúng tới mức giờ đó chỉ còn là công việc của các kỹ thuật viên. Nên đối với các nhà vật lý, động lực học chất lưu thực sự không còn là một bộ phận của vật lý học nữa. Đó chỉ là công việc của các kỹ sư. Các nhà vật lý trẻ và xuất sắc có khối thứ hay hơn để nghiên cứu. Động lực học chất lưu gần như chỉ được dạy tại các khoa kỹ thuật của các trường đại học. Mỗi quan tâm thực tiễn về chảy rối luôn được đặt lên hàng đầu, nhưng mỗi quan tâm đó thường chỉ là một phía: đó là loại bỏ nó đi. Tất nhiên là trong một số hoàn cảnh, chảy rối vẫn cần phải tồn tại - như trong động cơ nổ chẳng hạn, ở đó hiệu suất cháy phụ thuộc vào tốc độ của việc trộn. Nhưng trong phần lớn các trường hợp, chảy rối đồng nghĩa với tai họa. Một dòng khí chảy rối trên cánh

máy bay sẽ làm giảm lực nâng của nó. Một dòng chảy rối sẽ tạo ra ma sát lớn bên trong các ống dẫn. Các chính phủ và các nhà sản xuất công nghiệp đang dành những khoản tiền lớn cho việc chế tạo máy bay, turbine, chân vịt, vỏ tàu ngầm, và các phương tiện khác di chuyển trong chất lưu. Các nhà khoa học nghiên cứu sự chảy của máu trong các mạch và trong các van tim. Họ nghiên cứu hình dạng và diễn biến của các vụ nổ, các xoáy nước và các cơn gió xoáy, các ngọn lửa và các sóng xung kích. Việc chế tạo bom nguyên tử trong Đại chiến thế giới II, về lý thuyết, là bài toán của vật lý nguyên tử. Nhưng trên thực tế, phần vật lý nguyên tử gần như đã được giải quyết trước khi bắt đầu dự án, và công việc được giao cho các nhà khoa học tập trung tại Los Alamos là vấn đề động lực học của các chất lưu.

Vậy chảy rối là gì? Một hỗn độn đáng ghét ở tất cả các thang, các xoáy nước nhỏ bên trong các xoáy lớn. Nó không ổn định. Nó là kẻ rất hoang phí: nó ngốn năng lượng và tạo ra ma sát. Nó là một chuyển động thất thường, ngẫu nhiên. Nhưng một dòng chảy êm đềm có thể trở thành rối *như thế nào?* Hãy tưởng tượng một ống hoàn toàn nhẵn, được cấp nước từ một nguồn có lưu lượng hoàn toàn ổn định, hoàn toàn không có những dao động. Vậy thì làm thế nào một dòng chảy như thế lại có thể sinh ra một cái gì đó *thất thường và ngẫu nhiên* được?

Tất cả các định luật dường như đều thất bại. Khi dòng chảy là đều đặn - tức là chảy thành lớp - các nhiễu loạn nhỏ sẽ bị triệt tiêu. Nhưng khi vượt qua ngưỡng chảy rối, thì các nhiễu loạn này tăng vọt một cách thảm họa. Và ngưỡng này - hay sự chuyển tiếp này - đã trở thành một trong những thách thức lớn của khoa học. Một dòng nước chảy bên dưới một tảng đá nằm

trong một dòng suối biến thành một xoáy nước, xoáy này lớn lên, tách ra, và xoáy theo dòng chảy. Khói của một điều thuốc bốc lên một cách đồng nhất bên trên cái gạt tàn, rồi được gia tốc tới khi vượt qua tốc độ ngưỡng, khói tự tách ra thành các cuộn khói hỗn loạn. Ngưỡng chảy rối này có thể được quan sát và đo đạc trong các thí nghiệm ở phòng thí nghiệm. Nó cũng có thể được kiểm tra trong các vụ thử khí động lực học trên các cánh máy bay hay các cánh quạt mới trong các hầm quạt gió; nhưng bản chất của nó thì người ta vẫn chưa nắm được. Hơn nữa, các hiểu biết thu được chỉ có tính chuyên biệt, nó chỉ đúng đối với vật được thí nghiệm, chứ không có tính phổ quát. Các nghiên cứu được thực hiện theo phương pháp thử và sai trên cánh máy bay Boeing 707 không mang lại lợi ích gì cho những nghiên cứu trên cánh máy bay tiêm kích F-16. Thậm chí các siêu máy tính cũng gần như bất lực trước chuyển động bất thường, không đều đặn này của chất lưu.

Hãy lắc một chất lỏng làm kích thích nó. Chất lỏng này có tính nhớt và do đó sẽ mất năng lượng; nếu bạn thôi không lắc nó nữa, lẽ tự nhiên là nó sẽ trở lại trạng thái nghỉ. Khuấy động một chất lỏng nghĩa là bạn đã cấp cho nó một năng lượng ở các tần số thấp, tức bước sóng lớn, và điều đầu tiên cần ghi nhận, đó là các bước sóng lớn sẽ tách thành các bước sóng nhỏ. Khi đó các xoáy tạo thành chứa các xoáy nhỏ hơn, mỗi một xoáy đều tiêu hao năng lượng của chất lỏng và tạo ra một nhịp (tần số) đặc trưng. Vào những năm 1930, A. N. Kolmogorov đã đưa ra một mô tả toán học, cho ta một cảm giác về các xoáy này hoạt động như thế nào. Ông đã tưởng tượng ra toàn bộ một bậc thác năng lượng chảy xuống theo các thang ngày càng nhỏ hơn để cuối cùng đạt đến một giới

hạn: các xoáy khi đó nhỏ tới mức chúng bị triệt tiêu bởi tác dụng đủ lớn của độ nhớt.

Để làm sáng tỏ sự mô tả của mình, Kolmogorov đã tưởng tượng rằng các xoáy này choán toàn bộ thể tích của chất lưu, làm cho nó ở khắp nơi đều như nhau. Nhưng giả thiết về tính đồng nhất này hóa ra lại không đúng. Thực ra Poincaré đã biết điều đó bốn mươi năm trước, khi ông đã nhìn thấy trên mặt nước lượn sóng của một con sông các xoáy nước xen lẫn với các vùng chảy đều đặn. Xoáy nước luôn định xứ. Năng lượng thực sự chỉ tiêu tán trong một phần của không gian. Tại mỗi thang, càng nhìn gần một xoáy nước hơn, bạn càng phát hiện ra ở đó các vùng yên tĩnh mới. Như vậy, giả thiết về sự đồng nhất phải nhường chỗ cho giả thiết về sự gián đoạn. Bức tranh gián đoạn, khi được lý tưởng hóa bằng cách nào đó, nhìn có tính *fractal* rất cao, với sự đan xen nhau của các vùng hỗn độn và êm ả theo tất cả các thang từ lớn đến nhỏ. Tuy nhiên, bức tranh này cũng không hoàn toàn phù hợp với thực tế.

Còn một vấn đề khác, hoàn toàn khác biệt, nhưng có quan hệ mật thiết với vấn đề trước, đó là câu hỏi: điều gì xảy ra lúc sự chảy rối bắt đầu? Sự vượt qua đường biên giữa chảy trơn tru và chảy rối của một dòng chảy đã diễn ra như thế nào? Liệu có thể tồn tại các pha trung gian nào trước khi sự chảy rối phát triển một cách đầy đủ? Thực tế đã có một lý thuyết mạnh hơn một chút để trả lời cho các câu hỏi này. Đó là lý thuyết của Lev D. Landau, một nhà vật lý Xô Viết vĩ đại. Tác phẩm của ông về cơ học chất lưu hiện đã trở thành kinh điển. Bức tranh của Landau là một chồng các nhịp cạnh tranh nhau. Khi cấp thêm năng lượng cho hệ, ông phỏng đoán, sẽ bắt đầu xuất hiện liên tiếp các tần số mới, mỗi tần số một lần, tần số sau

không tương thích với tần số trước, như một dây đàn violon đáp ứng lại sự cọ xát mạnh hơn bằng cách dao động với tần số thứ hai, chói tai hơn, rồi với tần số thứ ba, thứ tư cho tới khi âm thanh biến thành một mớ tạp âm hoàn toàn lộn xộn.

Mọi chất khí hoặc chất lỏng đều là tập hợp của các phân tử riêng rẽ và nhiều đến mức có thể coi như là vô hạn. Nếu mỗi một phân tử có một chuyển động độc lập, thì chất lưu sẽ có một số vô hạn các hành trạng khả dĩ - hay nói theo thuật ngữ của các nhà khoa học, tức là có một số vô hạn các “bậc tự do” - và các phương trình mô tả chuyển động của chất lưu sẽ chứa một số vô hạn các biến số. Nhưng trên thực tế, chuyển động của một phân tử chất lưu không phải là độc lập, nó phụ thuộc rất nhiều vào chuyển động của các phân tử bên cạnh, và do đó, trong dòng chảy đều, số bậc tự do sẽ là không lớn lắm. Như vậy, các chuyển động phức tạp vẫn còn tiềm tàng liên kết với nhau. Các phân tử của chất lỏng ở cạnh nhau thì vẫn ở cạnh nhau trong suốt quá trình chuyển động, hoặc trôi xa nhau một cách từ từ, tuyến tính, để tạo thành các đường dòng đều đặn trong bức tranh ở hầm quạt gió. Các hạt khói bốc lên từ đầu cháy của điếu thuốc lá ban đầu cũng có hành trạng như vậy.

Rồi sau đó sự lộn xộn xuất hiện, đó là một sự trộn lộn của những chuyển động rối ren và bí hiểm. Các chuyển động này đôi khi được đặt tên: khi là dao động, phình giãn lệch, khi là cuộn chéo, thắt nút hay zíc zắc. Theo Landau, các chuyển động mới không ổn định đơn giản sẽ được tích tụ lại, cái này chồng lên cái kia, tạo thành các xoáy có vận tốc và kích thước gộp lên nhau. Về mặt khái niệm, ý tưởng có tính chính thống

này về sự chảy rối có vẻ phù hợp với thực tế, nhưng lại không thể sử dụng được về mặt toán học. Nhưng ít ra thì nó cũng cho phép giữ được phẩm giá trong khi đành phải gơ tay đầu hàng.

Nước chảy trong một ống dẫn hoặc quanh một xilanh, tạo ra một tiếng rít nhẹ êm ả. Hãy tưởng tượng là ta tăng áp suất lên. Bắt đầu nghe thấy một nhịp đều đặn. Giống như có một sóng chậm rãi đập vào ống. Tiếp tục tăng áp suất lên nữa. Từ đâu đó, một tần số thứ hai xuất hiện, không đồng bộ với với tần số thứ nhất. Hai tần số này gối lên nhau, cạnh tranh nhau, xung đột với nhau. Chỉ hai tần số này thôi cũng đủ để tạo ra một chuyển động phức tạp - các sóng đập vào thành ống, giao thoa với nhau - đến mức bạn gần như không thể theo dõi được nữa. Tiếp tục tăng thêm áp suất. Một tần số thứ ba xuất hiện, rồi thứ tư, thứ năm, thứ sáu, tất cả đều không thông ước với nhau. Dòng chảy trở nên cực kỳ phức tạp. Và có thể đó là sự chảy rối. Các nhà vật lý đã chấp nhận bức tranh này, nhưng không một ai có may mắn ý tưởng về chuyện làm thế nào tiên đoán được khi nào thì sự gia tăng năng lượng sẽ tạo ra một tần số mới và giá trị của tần số này bằng bao nhiêu. Và sở dĩ không một ai quan sát được bằng thực nghiệm những tần số xuất hiện một cách bí hiểm này, chính là bởi vì trên thực tế chẳng ai chịu kiểm tra lý thuyết của Landau về ngưỡng của sự chảy rối cả.

CÁC NHÀ LÝ THUYẾT THÌ TIẾN HÀNH các thí nghiệm trong đầu; còn các nhà thực nghiệm thì phải dùng cả chân tay nữa. Các nhà lý thuyết là các nhà tư tưởng, còn các nhà thực nghiệm là các tay thợ thủ công. Nhà lý thuyết không cần người giúp

việc; còn các nhà thực nghiệm phải tập hợp các nghiên cứu sinh, chiêu chuộng các kỹ thuật viên, và nịnh các nhân viên thí nghiệm. Nhà lý thuyết làm việc trong một môi trường lý tưởng, xa cách mọi tiếng ồn, các chấn động và bụi bặm. Còn nhà thực nghiệm sống gắn liền với vật chất như một nhà điêu khắc sống với đất sét, đánh vật với nó để nhào nặn nó, làm chủ được nó. Nhà lý thuyết sáng tạo ra những người tình riêng của mình, giống như một anh chàng Romeo ngâm thơ tưởng tượng ra nàng Juliette lý tưởng của riêng mình. Còn người yêu của nhà thực nghiệm là mồ hôi, là sự phàn nàn và khinh miệt.

Mặc dù cả hai đều cần đến nhau, nhưng trong quan hệ giữa nhà lý thuyết và nhà thực nghiệm vẫn tồn tại một sự bất công nhất định đã có từ xa xưa, từ cái thời mà mọi nhà khoa học đều vừa là nhà lý thuyết vừa là nhà thực nghiệm. Nếu như những nhà thực nghiệm giỏi nhất vẫn có ít nhiều chất của nhà lý thuyết, thì điều ngược lại không đúng. Nhưng cuối cùng, sự nổi tiếng chỉ dành cho nhà lý thuyết. Điều này đặc biệt đúng đối với vật lý năng lượng cao, ở đó mọi vinh quang đều rơi vào tay các nhà lý thuyết trong khi các nhà thực nghiệm trở thành các kỹ thuật viên có chuyên môn cao, điều khiển các thiết bị phức tạp và đắt tiền. Từ cuối Đại chiến thế giới II, trong khi vật lý bị đánh đồng với nghiên cứu các hạt cơ bản, thì các thực nghiệm nổi tiếng nhất trong mắt công chúng là các thực nghiệm được tiến hành trên các máy gia tốc hạt. Spin, đối xứng, màu, mùi là các khái niệm trừu tượng đầy mê hoặc. Đối với phần lớn những người ngoại đạo, và không ít các nhà vật lý, thì nghiên cứu về các hạt nguyên tử mới là vật lý. Nhưng nghiên cứu các hạt ngày càng nhỏ và trên các thang thời gian ngày càng ngắn này, có nghĩa là các năng lượng ngày phải càng cao. Máy móc cần thiết để thực

hiện các thí nghiệm quan trọng vì thế ngày càng lớn hơn theo thời gian, và điều này đã làm thay đổi hẳn bản chất của việc làm thực nghiệm trong vật lý hạt. Lĩnh vực này đã sử dụng rất nhiều nhà nghiên cứu và các thí nghiệm lớn khuyến khích làm việc theo nhóm. Các bài báo về vật lý hạt thường xuất hiện trong tạp chí nổi tiếng *Physical Review Letters*, trong đó danh sách các tác giả thường chiếm tới gần một phần tư độ dài của trang.

Tuy nhiên, một số nhà thực nghiệm lại thích nghiên cứu một mình hoặc chỉ với một người khác. Và họ thích làm việc với những thứ gần gũi với tay chân hơn. Trong khi các chuyên ngành như thủy động lực học đã đánh mất địa vị của mình, thì vật lý chất rắn lại có được một địa vị riêng và cuối cùng đã mở mang lãnh thổ của mình đủ rộng để đòi hỏi có một cái tên bao quát hơn, đó là “vật lý chất ngưng tụ”. Máy móc trong lĩnh vực này đơn giản hơn, và cái khe ngăn cách giữa các nhà lý thuyết và thực nghiệm cũng hẹp hơn. Các nhà lý thuyết ở đây đã bớt đi thói khệnh khạng và các nhà thực nghiệm cũng bớt đi sự thế thủ, nghi kỵ.

Dẫu vậy quan điểm của họ vẫn khác nhau. Nhà lý thuyết vẫn thích ngắt lời tham luận của một nhà thực nghiệm để hỏi anh ta: “Chẳng phải điều ông nói sẽ thuyết phục hơn nếu có thêm nhiều dữ liệu nữa sao? Ông không thấy là cái đồ thị kia hơi khó hiểu à? Đối với các số liệu này, liệu có thể mở rộng thang lên và xuống một vài bậc độ lớn hay không?”.

Để đáp lại, hoàn toàn đúng theo tính cách của Harry Swinney, ông dướn hết cỡ cả thân hình cao một mét sáu mươi lăm lên đáp trả, bằng một giọng khá quyến rũ thừa hưởng từ quê hương Louisiana pha lẫn một chút nóng nảy nhiễm phải ở New York: “Đúng thế! Đúng, nếu bạn có một số vô hạn các

dữ liệu không có nhiễu tạp”. Rồi ông quay ngoắt về phía bảng, nói thêm: “Tất nhiên, trên thực tế, bạn chỉ có một lượng hữu hạn dữ liệu chứa nhiễu tạp”.

Swinney làm các thí nghiệm về vật liệu. Nhưng đối với ông, bước ngoặt đã xảy ra khi làm nghiên cứu sinh ở Đại học Johns Hopkins. Sự hứng thú của ông đối với vật lý hạt là điều không thể nghi ngờ. Một lần, Murray Gell-Mall, một người rất có tài truyền cảm hứng, đến thuyết trình, và Swinney đã bị hút hồn. Nhưng khi thấy những gì các nghiên cứu sinh đang làm, ông phát hiện ra rằng tất cả bọn họ đều đang viết các chương trình hoặc đang hàn các máy dò hạt. Và thế là ông bèn nói chuyện với một nhà vật lý nhiều tuổi hơn, người mới bắt đầu nghiên cứu về các chuyển pha, tức là sự chuyển từ trạng thái rắn sang trạng thái lỏng, từ không có từ tính sang có từ tính, từ dẫn điện sang siêu dẫn. Trước đó ít lâu, Swinney có một phòng trống, không rộng hơn một cái phòng kho, nhưng là của riêng ông. Ông đã xem catalogue về các thiết bị và đặt hàng. Chẳng bao lâu ông đã có một chiếc bàn và một máy laser, một thiết bị làm lạnh và một vài cái máy dò. Ông cũng đã tự chế một máy để đo xem điôxít cacbon dẫn nhiệt tốt như thế nào ở xung quanh điểm tới hạn, điểm mà tại đó nó chuyển từ trạng thái hơi sang trạng thái lỏng. Hầu hết mọi người đều nghĩ rằng độ dẫn nhiệt này chỉ thay đổi rất ít, nhưng Swinney đã phát hiện ra rằng nó thay đổi tới 1000 lần. Thật tuyệt vời khi chỉ một mình trong một căn phòng nhỏ xíu, ông đã phát hiện ra điều mà không một ai khác biết. Ông đã nhìn thấy ánh sáng của một thế giới khác phát ra bởi một chất khí, bất kể là khí gì, ở lân cận điểm tới hạn, thứ ánh sáng mà người ta gọi là “ánh sữa” bởi vì tán xạ mềm của nó có màu trắng nhạt như màu ánh sữa.

Cũng rất giống với bản thân hỗn độn, các chuyển pha liên quan đến loại hành trạng vĩ mô, thường rất khó tiên đoán bằng cách xem xét các chi tiết vi mô. Khi người ta nung nóng một chất rắn, năng lượng dao động của các phân tử được tăng thêm. Chúng đẩy nhau ra xa chống lại lực liên kết và do đó buộc chất rắn phải giãn nở. Nhiệt cung cấp càng nhiều thì sự giãn nở càng lớn. Tuy nhiên, tại một nhiệt độ và áp suất nhất định, sự thay đổi trở nên đột ngột và gián đoạn. Dây bị kéo căng; giờ thì nó đứt. Cấu trúc tinh thể bị tan rã và các phân tử tách rời khỏi nhau. Giờ đây chúng tuân theo các định luật của chất lỏng, các định luật mà người ta không thể suy ra từ một khía cạnh nào của chất rắn. Mặc dù năng lượng trung bình của các nguyên tử thay đổi không nhiều, nhưng vật liệu - giờ là một chất lỏng, hay một nam châm, hay một chất siêu dẫn - đã bước vào một địa hạt mới.

Günter Ahlers, ở Phòng thí nghiệm AT&T Bell ở bang New Jersey, đã nghiên cứu cái mà người ta gọi là chuyển pha siêu chảy trong heli lỏng. Đây là sự chuyển pha trong đó, khi nhiệt độ giảm, vật liệu biến thành một loại chất lỏng thần kỳ, chảy mà hoàn toàn không có độ nhớt hay ma sát. Trước đó, một số nhà khoa học khác đã nghiên cứu tính siêu dẫn. Còn Swinney đã nghiên cứu điểm tới hạn mà ở đó vật chất thay đổi giữa trạng thái lỏng và trạng thái hơi. Vào giữa những năm 1970, các nhà thực nghiệm Swinney, Ahlers, Pierre Bergé, Jerry Gollub, Marzio Giglio và nhiều nhà nghiên cứu khác làm việc tại Mỹ, Pháp và Italia, toàn bộ thế hệ trẻ khám phá các chuyển pha, đang khao khát tìm kiếm các vấn đề mới. Như một người bưu tá biết rất rõ vị trí của các thùng thư trong khu vực mình, các nhà thực nghiệm này biết rõ các dấu hiệu đặc biệt của các

chất khi chúng thay đổi trạng thái cơ bản của chúng. Họ đã nghiên cứu đường biên mà trên đó vật chất được giữ cân bằng.

Nghiên cứu về các chuyển pha đã đạt được nhiều tiến bộ là nhờ dựa trên sự tương tự: chuyển pha từ tính/phi từ tính hóa ra lại *tương tự* với chuyển pha lỏng/khí. Chuyển pha lỏng/siêu lỏng là *tương tự* của chuyển pha dẫn/siêu dẫn. Toán học dùng cho một thực nghiệm áp dụng được cho rất nhiều thực nghiệm khác. Trong những năm 1970, bài toán này đã được giải quyết tương đối thấu đáo. Tuy nhiên, vẫn còn một câu hỏi: người ta có thể mở rộng lý thuyết này ra đến đâu? Liệu còn những thay đổi nào khác của tự nhiên, mà nếu xem xét kỹ lưỡng hơn, sẽ bộc lộ là các chuyển pha?

Ý tưởng ứng dụng các kỹ thuật chuyển pha cho dòng chảy của các chất lưu không phải là độc đáo nhất, và cũng chẳng phải là hiển nhiên nhất. Nó không là độc đáo nhất bởi vì vào đầu thế kỷ XX, những nhà tiên phong vĩ đại của thủy động lực học, như Reynolds, Rayleigh và những người nối nghiệp họ, đã nhận ra rằng một thực nghiệm trên các chất lưu được kiểm soát cẩn thận sẽ làm tạo ra một biến đổi về chất của chuyển động, hay nói theo ngôn ngữ toán học, là tạo ra sự “phân nhánh”. Chẳng hạn, một chất lỏng chứa trong một bình được đun nóng từ phía dưới sẽ chuyển đột ngột từ tĩnh sang động. Các nhà vật lý đã thử giả định rằng đặc tính vật lý của sự phân nhánh này rất giống với những thay đổi của một chất khi chuyển pha.

Đó cũng không phải là một ý tưởng hiển nhiên nhất bởi vì, không giống với các chuyển pha thật, những phân nhánh này của chất lỏng không kéo theo sự thay đổi nào của bản thân chất này. Thay vì thế, chúng đưa vào đó một yếu tố mới: đó là

chuyển động. Một chất lỏng đứng yên sẽ chuyển thành một chất lỏng chảy. Vậy thì lý gì mà toán học của sự biến đổi như vậy lại phải tương ứng với toán học của một hơi ngưng tụ?

NĂM 1973, SWINNEY giảng dạy tại trường City College ở New York. Jerrey Gollub, tốt nghiệp Đại học Harvard, nửa chơi nửa thật, giảng dạy tại Haverford. Haverford là một trường *liberal arts*^(*) mang phong cách điền viên, nhẹ nhàng đặt ở gần Philadelphia, nó dường như không phải là nơi lý tưởng đối với một nhà vật lý. Ở đó không có nghiên cứu sinh để giúp đỡ các công việc thí nghiệm và để hưởng sự đáp đền từ mối kết hợp quan trọng giữa thầy và trò. Tuy nhiên, Gollub rất thích dạy cho sinh viên và ông đã bắt đầu biến khoa vật lý thành một trung tâm cực kỳ nổi tiếng vì chất lượng của các công trình thực nghiệm ở đây. Năm đó, ông đã nghỉ dạy hẳn sáu tháng để nghiên cứu và đến New York công tác với Swinney.

Sẵn có trong đầu sự tương tự giữa các chuyển pha và tính bất ổn định của các chất lưu, hai nhà khoa học đã quyết định nghiên cứu một hệ cổ điển gồm một chất lỏng được chứa giữa hai xilanh đồng trục, đặt thẳng đứng. Xilanh trong, quay quanh trục, kéo chất lỏng chuyển động theo. Do bị giới hạn giữa hai mặt trụ nên khả năng chuyển động của chất lỏng rất hạn chế, khác các tia và các gợn sóng trên mặt nước tự do. Các xilanh quay tạo ra cái mà người ta gọi là dòng Couette-Taylor.

* Thuật ngữ liberal arts chỉ chương trình giảng dạy chỉ chú trọng kiến thức đại cương (cả khoa học xã hội lẫn khoa học tự nhiên) và phát triển tư duy lý tính và khả năng trí tuệ của sinh viên, chứ không chú trọng về chuyên ngành như các chương trình chuyên nghiệp, dạy nghề và kỹ thuật. Liberal arts hiện đại bao gồm việc học các môn văn học, ngôn ngữ, triết học, lịch sử, toán học và khoa học.



DÒNG CHẢY GIỮA HAI XILANH QUAY. Sự chảy của nước giữa hai xilanh đã cho phép Harry Swinney và Jerry Gollub quan sát được ngưỡng của sự chảy rối. Khi vận tốc quay tăng, cấu trúc trở nên phức tạp hơn. Ban đầu, nước tạo nên một hình mẫu đặc trưng giống như một chông các xam ô tô. Rồi sau đó các xam này bắt đầu lượn sóng. Các nhà vật lý đã sử dụng laser để đo các biến thiên vận tốc của nước mỗi khi một sự bất ổn định xuất hiện.



Thường để thuận tiện xi lanh bên trong quay còn vỏ ngoài thì đứng yên. Khi chuyển động quay bắt đầu và tăng tốc, sự bất ổn định đầu tiên xuất hiện: chất lỏng tự tổ chức thành một cấu trúc thanh nhả giống một chồng các xăm ô tô ở các trạm dịch vụ xe hơi: các lớp có hình xăm xe xếp chồng lên nhau bao quanh xi lanh quay. Một hạt bụi có trong chất lỏng sẽ không chỉ quay từ đông sang tây mà còn lên xuống, ra vào quay các cuộn hình xăm này. Hiện tượng này không phải là mới. G. I. Taylor đã quan sát và đo đạc nó từ năm 1923.

Thiết bị mà Gollube và Swinney tự chế để nghiên cứu dòng Couette được gắn ngay trên mặt bàn làm việc: một xi lanh ngoài bằng thủy tinh giống như hộp bóng tennis cực mỏng cao khoảng 30 cm và đường kính 5cm. Xi lanh ở giữa, bằng thép, chuyển động rất sát ở bên trong, chỉ để cho nước một khoảng không gian cỡ 3 milimét. “Trông thật thủ công”, Freeman Dyson nói. Freeman nằm trong số các vị khách lỗi lạc bất ngờ đến thăm họ trong những tháng sau đó. “Người ta thấy hai ông này giam mình trong một căn phòng nhỏ xíu, gần như không được hỗ trợ kinh phí gì, đang thực hiện một thí nghiệm vô cùng tuyệt vời. Đó là sự khởi đầu của một công trình định lượng tốt về sự chảy rối”.

Gollub và Swinney nhận thấy đây là một nhiệm vụ khoa học rất đáng quan tâm, nó đã mang lại cho họ một sự thừa nhận nhất định, nhưng rồi sau đó đã bị lãng quên. Ý định của họ là khẳng định ý tưởng của Landau về ngưỡng của sự chảy rối. Hai nhà thực nghiệm này không có bất kỳ lý do nào để nghi ngờ điều đó: Họ biết rằng các nhà thủy động lực học cũng tin như vậy. Với tư cách là các nhà vật lý, họ cũng rất thích ý tưởng đó bởi vì nó phù hợp với bức tranh tổng quát của các chuyển

pha, và bởi vì chính Landau đã cung cấp một khuôn khổ đầu tiên dễ dùng nhất cho nghiên cứu về các chuyển pha. Khuôn khổ này dựa trên một sự hiểu biết sâu sắc cho rằng những hiện tượng như thế có thể tuân theo các quy luật phổ quát, độc lập với các chất cụ thể. Khi Harry Swinney nghiên cứu điểm tới hạn của sự chuyển pha lỏng - hơi đối với điôxit cacbon, ông đã có niềm tin thừa hưởng từ Landau rằng các kết luận của ông có thể sẽ ứng dụng được cho một nghiên cứu tương tự về khí xenon - và trên thực tế quả là đúng như vậy. Tại sao, trong các điều kiện này, sự chảy rối lại khác với sự tích tụ liên tục các tần số xung đột nhau trong một chất lỏng chuyển động?

Swinney và Gollub đã chuẩn bị tấn công vào sự rối rắm của các chất lưu chuyển động bằng cả một kho kỹ thuật thực nghiệm tinh xảo, được chế tạo trong những năm trước đó, để nghiên cứu các chuyển pha trong những hoàn cảnh nhạy cảm nhất. Họ đã có trong tay các phương pháp và các thiết bị đo mà một nhà thủy động lực học chưa bao giờ dám mơ tới. Để dò các cuộn chất lưu, họ đã sử dụng ánh sáng laser. Chùm sáng chiếu qua nước bị lệch hướng - hay còn gọi là bị tán xạ - mà người ta có thể đo được nhờ một kỹ thuật gọi là giao thoa kế Doppler laser. Tất cả các dữ liệu được lưu trữ và xử lý bằng máy tính - một công cụ còn hiếm thấy vào năm 1975 cho một thí nghiệm nhỏ của phòng thí nghiệm.

Landau đã nói rằng các tần số mới sẽ xuất hiện nối tiếp nhau tùy thuộc vào sự tăng vận tốc của dòng. “Chúng tôi đã đọc được điều đó”, Swinney nhớ lại, “và chúng tôi tự nhủ: tốt, chúng ta hãy quan sát các chuyển pha vì chúng mà các tần số này xuất hiện. Và trên thực tế, chúng tôi đã nhìn thấy sự

chuyển pha rất rõ nét. Chúng tôi đã làm đi làm lại nhiều lần, tăng rồi giảm vận tốc quay của xilanh. Và quả thật sự chuyển pha ấy rất xác định”.

Khi bắt đầu báo cáo kết quả, Swinney và Gollub đã vấp phải một vấn đề xã hội học của khoa học, đó là vấn đề ranh giới giữa vật lý và cơ học chất lưu. Ranh giới này có đặc tính rất rõ nét. Chính nó đã vạch ra, ngay trong lòng Quỹ Khoa học Quốc gia, một bộ máy quan liêu chuyên lo cấp kinh phí cho các nghiên cứu. Nếu, trong những năm tám mươi, thí nghiệm Couette-Taylor được coi trở lại là vật lý, thì vào năm 1973, nó được coi là thuộc về cơ học chất lưu, và đối với những người quen thuộc với môn khoa học này, thì các số liệu thực nghiệm đầu tiên của phòng thí nghiệm nhỏ bé này của trường City College là rất đáng ngờ. Các nhà động lực học chất lưu đơn giản là không tin vào điều đó. Họ không quen với những thí nghiệm theo phong cách tỉ mỉ chính xác của vật lý các quá trình chuyển pha. Hơn nữa, theo quan điểm của động lực học chất lưu, khía cạnh lý thuyết của một thí nghiệm như vậy là rất khó nắm bắt. Khi Swinney và Gollub xin Quỹ Khoa học Quốc gia tiếp tục cấp kinh phí cho họ, Quỹ này đã từ chối. Một số chuyên gia phản biện đã không tin vào kết quả của họ, còn một số khác thì nói rằng chẳng có điều gì mới mẻ cả.

Nhưng thí nghiệm này đã không bao giờ dừng lại. “Sự chuyển pha này chắc chắn tồn tại, và rất xác định”, Swinney nói. “Thật tuyệt vời. Vì thế chúng tôi sẽ bắt tay tìm kiếm sự chuyển pha tiếp theo”.

Nhưng chuỗi Landau được chờ đợi đã bị ngắt. Thực nghiệm đã không khẳng định lý thuyết. Ở chuyển pha tiếp theo, dòng

chảy nhảy hẫng sang trạng thái hỗn loạn mà người ta không thể phát hiện ra ở đó một mảy may tính chu kỳ nào: không còn các tần số nữa, và cũng chẳng còn sự tăng dần độ phức tạp. “Tất cả những gì mà chúng tôi đã thấy, đó là nó trở thành hỗn độn”. Vài tháng sau, một người Bỉ, gầy gò, rất dễ mến, xuất hiện trước cửa phòng thí nghiệm của họ.

David Ruelle thi thoảng vẫn nói rằng có hai loại nhà vật lý, loại trưởng thành từ việc lắp ráp các máy thu thanh - trước thời kỳ tranzito, khi mà người ta còn có thể nhìn thấy đồng dây dợ và ánh sáng màu vàng nhạt của các đèn điện tử chân không và tưởng tượng một cái gì đó dựa trên sự chuyển động của các electron - và loại người chơi với bộ đồ chơi của các nhà hóa học trẻ. Ruelle là loại người thứ hai, nhưng những thứ mà ông chơi, không phải là các chất vô hại, mà là các sản phẩm thật, có thể phát nổ hoặc độc hại, dễ dàng mua được ở các hiệu thuốc tại Bỉ quê hương ông, rồi trộn lẫn, khuấy, đun nóng, cô đặc, và thỉnh thoảng làm cho Ruelle phải nhảy dựng người lên. Sinh ở Gand năm 1935, Ruelle là con trai của một giáo viên thể dục và một giáo viên ngôn ngữ ở trường đại học. Mặc dù đã xây dựng sự nghiệp trong một chuyên ngành khoa học trừu tượng, Ruelle vẫn giữ nguyên vẹn niềm đam mê đối với cái phần nguy hiểm của tự nhiên, nơi ẩn giấu những bất ngờ trong các cây nấm ẩn hoa, trong kali nitrat, lưu huỳnh hay than.

Tuy nhiên, cái quan trọng nhất mà ông đã đóng góp được cho sự khám phá hỗn độn là trong lĩnh vực vật lý toán. Năm 1970, ông đã đến Viện Nghiên cứu Khoa học Cao cấp (IHES), một trung tâm nghiên cứu nằm ở ngoại ô Paris và được xây dựng theo mô hình của Viện Nghiên cứu Cao cấp ở Princeton.

Ông đã mắc một thói quen, mà ông không bao giờ từ bỏ được, đó là thói quen định kỳ lại rời Viện và gia đình để đi ngao du một mình trong những vùng hẻo lánh ở Aixol-en-Provence hay các vùng nông thôn ở Médoc. Phần lớn thời gian, ông không gặp gỡ ai. Khi gặp một số người và đón nhận sự hiếu khách của họ - một vài cái bánh ngô không có mỡ động vật hay thực vật -, ông có cảm giác như mình đang được chứng kiến thế giới như nó đã tồn tại cách đây hai nghìn năm. Khi quay lại Viện, ông tiếp tục các nghiên cứu của mình, khuôn mặt hôm sau thêm, làn da của ông trắng trẻo và cái cằm nhọn như căng hơn một chút. Ruelle đã từng nghe các bài thuyết trình của Steve Smale về phép biến đổi hình sắt móng ngựa và những khả năng hỗn loạn của các hệ động lực. Ông cũng đã suy nghĩ về sự chảy rối của các chất lưu và mô hình cổ điển của Landau. Ông đã nghi ngờ mối quan hệ giữa các ý tưởng này, và ngờ rằng giữa chúng có một mâu thuẫn nào đó.

Ruelle chưa có một kinh nghiệm nào về sự chảy của các chất lưu, nhưng lại không nản chí như rất nhiều bậc tiền bối không gặp vận. Ông nói: “Vẫn là những người không chuyên phát hiện ra các kết quả mới. Vẫn chưa có một lý thuyết tự nhiên và sâu sắc về sự chảy rối. Tất cả các câu hỏi mà người ta có thể đặt ra về chảy rối đều chung chung, và chính vì vậy mà những người không chuyên vẫn còn tiếp cận được.” Thật dễ thấy tại sao sự chảy rối vẫn chống cự nổi mọi sự phân tích và tìm hiểu nó. Các phương trình mô tả sự chảy của các chất lưu là các phương trình đạo hàm riêng phi tuyến, không giải được trừ một số trường hợp đặc biệt. Tuy nhiên, Ruelle đã lập một mô hình trừu tượng thay thế cho mô hình của Landau. Được phát biểu theo ngôn ngữ của Smale, mô hình này coi

không gian như một vật liệu mềm dẻo có thể co, giãn, và gấp để thu được các hình dạng giống như kiểu hình sắt móng ngựa. Ông đã hợp tác với Floris Takens, một nhà toán học người Hà Lan, khách mời tại IHES, viết một bài báo công bố năm 1971. Phong cách của bài báo tất nhiên là toán học - các nhà vật lý, hãy dè chừng! - theo nghĩa mỗi một đoạn đều bắt đầu bằng *Định nghĩa* hay *Mệnh đề* hay *Chúng minh*, sau đó bao giờ cũng mở đầu: *Giả sử rằng...*

“Mệnh đề (5.2). *Giả sử X_μ một họ một-tham số các trường vector C^k trên không gian Hilbert H sao cho...*”

Tuy nhiên, đầu đề bài báo lại khẳng định một mối quan hệ với thế giới thực: *“Về bản chất của chảy rối”*, một liên tưởng trực tiếp tới nhan đề nổi tiếng của Landau, *“Về bài toán chảy rối”*. Lập luận của Ruelle và Takens có mục đích rõ ràng là vượt ra ngoài toán học: họ mong muốn cung cấp một quan niệm thay thế cho quan niệm truyền thống về sự xuất hiện của chảy rối. Thay vì một chồng các tần số dẫn đến một số vô hạn các chuyển động độc lập gối lên nhau, Ruelle và Takens đưa ra chỉ ba chuyển động độc lập, và chỉ ba chuyển động này thôi cũng đủ để sinh ra toàn bộ sự phức tạp của chảy rối. Về toán học mà nói, một số phần lập luận của Ruelle và Takens tỏ ra tối nghĩa, sai lầm, vay mượn, hay cả ba cùng một lúc. Những quan điểm này vẫn còn thay đổi 15 năm sau đó.

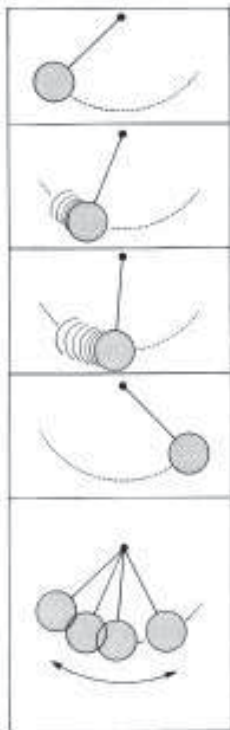
Nhưng sự hiểu biết sâu sắc, những lời bình luận, các nhận xét và vật lý đan bện với nhau trong bài báo này đã làm cho nó trở thành một món quà tặng có giá trị lâu bền. Trong đó cái hấp dẫn nhất là một hình ảnh mà hai tác giả gọi là *nhân hút lạ*. Như Ruelle ngẫm lại sau này thì, về mặt phân tâm học, thuật ngữ này rất “gợi”. Vị trí của nó trong nghiên cứu hỗn độn

có một tầm quan trọng tới mức ông và Takens đã tranh giành nhau, tất nhiên là trong giới hạn của phép lịch sự, vinh dự là người đã chọn thuật ngữ đó. Không một ai trong hai người nhớ chính xác sự thật là thế nào, nhưng Takens, một người Bắc Âu cao lớn, da đỏ, đam mê, chắc là đã nói: “Đã khi nào anh hỏi Chúa có phải Người đã tạo ra cái vũ trụ gồm ghiếc này hay không?... Còn tôi, tôi không nhớ gì hết... Tôi thường sáng tạo mà không nhớ mình đã sáng tạo ra cái gì”, trong khi Ruelle, tác giả chính, có lẽ đã nhận xét một cách mềm mỏng: “Thực tế là Takens đã được mời đến IHES. Những người khác nhau có các phương pháp nghiên cứu khác nhau. Một số người cố gắng viết bài báo một mình để gạt hái toàn bộ công trạng.”

Nhân hút lạ sống trong không gian pha, một trong những sáng tạo có sức sinh sôi mạnh nhất của khoa học hiện đại. Không gian pha cho phép chuyển các con số thành hình ảnh, để rút ra từng bit thông tin cốt yếu về một hệ gồm những cấu phần chuyển động - dù đó là hệ cơ học hay hệ chất lưu - và để dựng các bản đồ rất chi tiết cho tất cả các khả năng của nó. Các nhà vật lý đã biết hai loại “nhân hút” đơn giản hơn, đó là các điểm bất động và các chu trình giới hạn, biểu diễn một hành vi đạt tới trạng thái dừng hay được lặp đi lặp lại một cách liên tục.

Trong không gian pha, trạng thái hiểu biết đầy đủ về một hệ động lực tại một thời điểm nào đó được quy về một điểm. Điểm này là hệ động lực - ở thời điểm đó. Tuy nhiên, ở thời điểm tiếp sau, hệ sẽ thay đổi, dù chỉ là rất nhỏ, và điểm này sẽ dịch chuyển. Vì vậy người ta có thể biểu diễn lịch sử của hệ bằng điểm chuyển động này, bằng cách vạch ra “quỹ đạo” theo thời gian của nó trong không gian pha.

Adolph E. Brotman

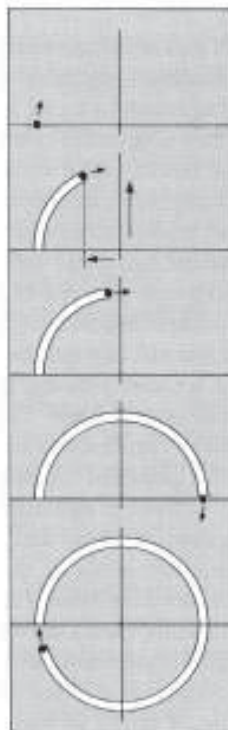


Vận tốc của con lắc bằng 0 khi nó bắt đầu dao động. Vị trí của nó có tọa độ âm ở bên trái của điểm gốc.

Hai số xác định một điểm duy nhất trong một không gian pha hai chiều.

Con lắc đạt vận tốc cực đại khi nó đi qua điểm gốc (vị trí cân bằng).

Vận tốc lại giảm về 0 rồi trở nên âm để biểu diễn chuyển động của con lắc về phía bên trái.



MỘT CÁCH NHÌN KHÁC ĐỐI VỚI CON LẮC. Một điểm của không gian pha (hình *bên phải*) chứa đựng mọi thông tin về trạng thái của hệ động lực (*bên trái*) ở thời điểm bất kỳ. Đối với một con lắc đơn, tất cả những điều bạn cần biết chỉ là hai con số: vận tốc và vị trí của con lắc.

Adolph E. Brotman



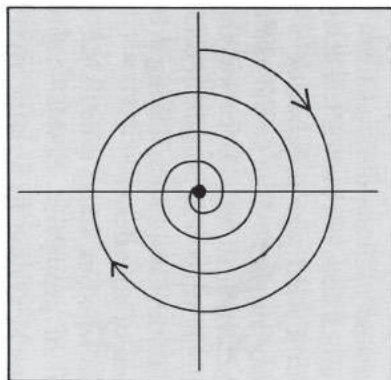
Các điểm nói ở trên vạch ra một quỹ đạo cho phép hiển thị hành trạng lâu dài của một hệ động lực. Một vòng kín lặp đi lặp lại biểu diễn một hệ có hành trạng tự lặp lại mình mãi mãi sau những khoảng thời gian đều đặn.

Nếu hành trạng lặp đi lặp lại này là ổn định (như trong trường hợp quả lắc đồng hồ), thì hệ sẽ khôi phục lại quỹ đạo của nó ngay cả sau khi chịu các nhiễu loạn nhỏ. Trong không gian pha, các quỹ đạo ở lân cận của quỹ đạo này đều sẽ bị hút vào nó. Quỹ đạo này cũng là một nhân hút.

Nhưng làm thế nào mà một điểm thôi lại có thể chứa toàn bộ thông tin về một hệ phức tạp? Nếu hệ này chỉ chứa hai biến, thì câu trả lời thật đơn giản. Nó suy ra trực tiếp từ hình học Descartes được dạy ở bậc trung học - đặt một biến trên trục hoành, một biến khác trên trục tung. Nếu hệ là con lắc dao động không ma sát, thì hai biến này là vị trí (li độ) và vận tốc; hai biến này biến thiên liên tục làm cho điểm biểu diễn hệ vạch nên một vòng kín tự lặp đi lặp lại mãi mãi. Nếu vẫn hệ đó nhưng có năng lượng cao hơn - tức là nó dao động nhanh hơn và có biên độ lớn hơn, - thì người ta thu được một vòng kín giống với vòng kín ban đầu, nhưng lớn hơn.

Nếu làm cho hệ hiện thực hơn một chút - như đưa thêm ma sát vào, chẳng hạn - thì bức tranh nói ở trên sẽ thay đổi. Không cần tới các phương trình chuyển động ta cũng biết được số phận của một con lắc chịu ma sát: mọi quỹ đạo rồi kết cục cũng đều dẫn đến cùng một vị trí, cụ thể là điểm gốc của các trục, tức là vị trí 0 và vận tốc 0. Điểm bất động ở trung tâm này “hút” các quỹ đạo, và các quỹ đạo sẽ hội tụ về nó theo các đường xoắn ốc chứ không lặp đi lặp lại mãi theo

Một nhân hút có thể chỉ là một điểm. Tất cả các quỹ đạo của một con lắc mất dần năng lượng do ma sát sẽ theo đường xoắn ốc vào trong hướng về một điểm, điểm này biểu diễn một trạng thái dừng - trong trường hợp này, trạng thái dừng tương ứng với trạng thái nghỉ.



Adolph E. Bromman

một vòng khép kín. Ma sát làm tiêu tán năng lượng của hệ và trong không gian pha sự tiêu tán này được thể hiện như một lực hút về tâm, từ các vùng ngoài có năng lượng cao hơn về các vùng trong có năng lượng thấp hơn. Nhân hút này - đơn giản nhất trong số các nhân hút - giống như một đầu kim nam châm cắm trong một tấm cao su.

Một trong những ưu điểm của việc coi trạng thái như một điểm trong không gian pha là giúp ta quan sát dễ dàng hơn những thay đổi của trạng thái. Một hệ có các biến tăng hoặc giảm liên tục sẽ trở thành một điểm động, như một con ruồi bay trong phòng. Nếu một số giá trị của các biến không bao giờ xuất hiện đồng thời, thì nhà khoa học sẽ đơn giản suy ra từ đó rằng vùng đó của căn phòng bị cấm: con ruồi sẽ không bao giờ bay tới đó. Nếu hệ có một chuyển động tuần hoàn, tức là thường xuyên trở đi trở lại cùng một trạng thái, thì con ruồi sẽ mô tả một vòng kín, nó sẽ thường xuyên qua lại cùng một vị trí trong không gian pha. Giống như một bức ảnh phong cảnh được chụp bằng tia hồng ngoại cho thấy các hình mẫu và các chi tiết chỉ tồn tại bên ngoài tầm với của tri giác, bức chân dung của các hệ vật lý trong không gian pha cho phép phát hiện ra các hình mẫu của chuyển động vốn không thể nhìn thấy bằng cách khác. Khi nhà khoa học nhìn một “bức chân dung pha”, anh ta có thể dùng óc tưởng tượng của mình để suy nghĩ trở lại về chính bản thân hệ. Cái vòng kín này phải ứng với tính tuần hoàn như thế. Sự vận xoắn nọ phải ứng với sự thay đổi kia. Và vùng trống rỗng ấy phải ứng với sự bất khả nọ về mặt vật lý.

Ngay cả trong trường hợp hai chiều, các chân dung pha cũng chứa đựng rất nhiều bất ngờ. Ngay cả một máy vi tính

khi biến đổi các phương trình thành những quỹ đạo được tô màu cũng có thể dễ dàng minh họa một số điều bất ngờ ấy. Một số nhà vật lý đã bắt đầu làm các bộ phim và băng video để chiếu cho các đồng nghiệp xem, và ở California, một số nhà toán học đã xuất bản những cuốn sách chứa hàng loạt các hình vẽ xanh đỏ tím vàng - một thứ “truyện tranh về hỗn độn”, nói theo cách dí dỏm của một số đồng nghiệp của họ. Nhưng hai chiều không đủ để giải thích các hệ mà các nhà vật lý cần nghiên cứu. Họ phải có nhiều biến hơn nữa, nghĩa là nhiều chiều hơn nữa. Trong một hệ động lực, mọi yếu tố di chuyển một cách độc lập lại tạo thêm một biến mới, một bậc tự do khác. Mỗi một bậc tự do mới đòi hỏi phải có một chiều mới trong không gian pha, để đảm bảo chắc chắn rằng một điểm duy nhất chứa đủ thông tin để xác định trạng thái của hệ một cách duy nhất. Các phương trình cơ bản của Robert May là một chiều - chỉ cần một con số là đủ để biểu diễn nhiệt độ hay số cá thể trong một loài, và con số này xác định vị trí của một điểm trên đường thẳng một chiều. Hệ giản lược hóa về sự đối lưu của một chất lưu được Lorenz nghiên cứu là ba chiều, không phải bởi vì chất lưu chuyển động trong không gian ba chiều, mà bởi vì tại mỗi thời điểm cần phải có ba con số khác nhau để biểu diễn trạng thái của nó (chất lưu).

Các không gian bốn, năm hoặc nhiều chiều hơn nữa thách thức khả năng hình dung của các nhà tôpô học, thậm chí cả những người thông minh nhất. Vậy mà các hệ phức tạp lại chứa vô số các biến độc lập. Các nhà toán học đã phải chấp nhận thực tế là các hệ có vô số bậc tự do - ví dụ các hiện tượng tự nhiên như sự chảy rối của một thác nước hay hoạt động không thể dự báo của não bộ - đòi hỏi một không gian pha vô số chiều. Ai có thể nghiên cứu một thứ như thế? Đó là

một con rắn bảy đầu tàn nhẫn, không thể kiểm soát nổi; và đó cũng chính là hình ảnh của Landau về sự chảy rối: một số vô hạn các mode dao động, một số vô hạn các bậc tự do, một số vô hạn các chiều.

CÁC NHÀ VẬT LÝ CÓ LÝ DO XÁC ĐÁNG để không đánh giá cao một mô hình chỉ cho một sự giải thích nghèo nàn về tự nhiên. Nhờ các phương trình phi tuyến mô tả chuyển động của chất lưu, các siêu máy tính nhanh nhất thế giới cũng không thể theo dõi một cách chính xác trong vài giây một dòng chảy rối bên trong một xentimét khối bé nhỏ của chất đó. Lỗi ở đây chắc chắn là của tự nhiên chứ không phải của Landau, nhưng cho dù như vậy thì bức tranh của Landau vẫn trái với ý muốn. Ngay cả không có kiến thức gì, thì một nhà vật lý vẫn có thể được phép ngờ rằng ở đây có một nguyên lý đang còn chờ được khám phá. Về chuyện này, nhà lý thuyết lượng tử vĩ đại Richard P. Feynman đã diễn đạt cảm giác đó như sau: “Tôi cảm thấy rất bức mình là theo các định luật mà chúng ta biết ngày nay, thì phải cần một cái máy để tính một số vô hạn các phép tính logic để hình dung ra những gì xảy ra trong một vùng không gian và trong một khoảng thời gian bất kể là nhỏ bé như thế nào. Làm thế nào mà tất cả những thứ đó lại có thể diễn ra trong một vùng không gian bé xíu như thế? Và tại sao lại cần phải có một lượng logic vô hạn để hình dung ra những cái sẽ xảy ra trong cái vùng rất nhỏ bé đó của không/thời gian?”

Cũng như rất nhiều nhà khoa học khác lao vào nghiên cứu hỗn độn, David Ruelle đã ngờ rằng các hình mẫu mà người

ta quan sát được trong một dòng chảy rối - các đường dòng quán bện vào nhau, các xoáy nước, các vòng xoắn nổi lên rồi lại tan ra ngay - phải phản ánh những hình mẫu mà chỉ những định luật còn chưa được phát minh ra mới giải thích nổi. Trong trí óc của ông, sự tiêu tán năng lượng trong một dòng chảy rối sẽ phải dẫn tới một sự co lại của không gian pha, tức là một lực kéo về một nhân hút nào đó. Nhân hút này chắc chắn không phải là một điểm bất động vì chất lưu không bao giờ đạt đến trạng thái nghỉ. Năng lượng đi vào trong hệ bao nhiêu thì chúng cũng thoát ra bấy nhiêu. Vậy đó có thể là nhân hút nào khác? Theo truyền thống, chỉ tồn tại duy nhất một loại nhân hút khác, đó là nhân hút tuần hoàn, một “chu trình giới hạn”, tức là một quỹ đạo kín hút tất cả các quỹ đạo ở lân cận nó. Nếu một con lắc đơn nhận năng lượng từ một lò xo và mất đi năng lượng do ma sát - nghĩa là cùng lúc dao động của nó vừa được duy trì vừa tắt dần - thì một trong những quỹ đạo ổn định của nó trong không gian pha có thể có dạng một vòng kín, biểu thị, chẳng hạn, dao động đều đặn của một quả lắc đồng hồ. Cho dù điểm xuất phát của con lắc có ở đâu chẳng nữa thì cuối cùng nó vẫn an bài ở chính quỹ đạo này. Đối với một số điều kiện ban đầu - các điều kiện với năng lượng thấp nhất - theo đó, con lắc cuối cùng sẽ dừng lại. Như vậy, trên thực tế hệ có hai nhân hút, một vòng kín và một điểm bất động, và mỗi một nhân hút có “lưu vực” của mình, giống như hai con sông cạnh nhau có các diện tích dẫn nước riêng của chúng.

Về ngắn hạn, mọi điểm của không gian pha đều có thể biểu diễn một hành trạng khả dĩ của hệ động lực. Nhưng về dài hạn, những hành trạng khả dĩ duy nhất chính là các nhân hút. Các

loại chuyển động khác thực ra chỉ là quá độ, tạm thời. Theo định nghĩa, nhân hút có một tính chất quan trọng, đó là tính ổn định - trong một hệ thực, ở đó các bộ phận chuyển động phải chịu các va chạm và dao động nhẹ do tạp nhiễu của thế giới thực, nhưng chuyển động luôn có xu hướng quay trở về nhân hút. Một va chạm có thể làm lệch quỹ đạo trong một khoảng thời gian ngắn, nhưng các chuyển động quá độ, tạm thời sinh ra từ đó rồi sẽ biến mất. Ngay cả khi con mèo có gõ vào quả lắc, thì quả lắc cũng không gõ sáu mươi hai giây mỗi phút. Trong một chất lưu, sự chảy rối có một hành trạng khác: nó không bao giờ sinh ra một tần số duy nhất để loại trừ các tần số khác. Một trong những đặc tính được biết rõ nhất của sự chảy rối là sự tồn tại đồng thời một phổ rất rộng các tần số khả dĩ. Nó giống như thứ nhiễu trắng, giống như tiếng ồn. Vậy bằng cách nào mà một thứ như thế có thể xuất hiện từ một hệ phương trình đơn giản và tất định?

Ruelle và Takens đã bắn khoản tự hỏi liệu có tồn tại một nhân hút loại khác có đủ các tính chất “cần phải có” hay không. *Ổn định* - biểu diễn trạng thái cuối cùng của một hệ động lực trong một thế giới nhiễu tạp. *Số chiều thấp* - một quỹ đạo trong không gian pha hai hoặc ba chiều, với chỉ vài ba bậc tự do. *Không tuần hoàn* - không bao giờ tự lặp lại, cũng không bao giờ đạt đến tính tuần hoàn đều đặn như một quả lắc đồng hồ. Ở cấp độ hình học, đó là một bài toán hóc búa: làm sao có thể vẽ được một quỹ đạo trong một không gian hữu hạn mà không bao giờ tự lặp lại cũng chẳng bao giờ tự cắt - vì một khi hệ trở lại một trạng thái mà nó đã từng ở trước đó, thì sau đó nó sẽ phải đi theo con đường cũ. Để tái tạo lại *tất cả* các tần số, quỹ đạo này phải có một chiều dài vô hạn được

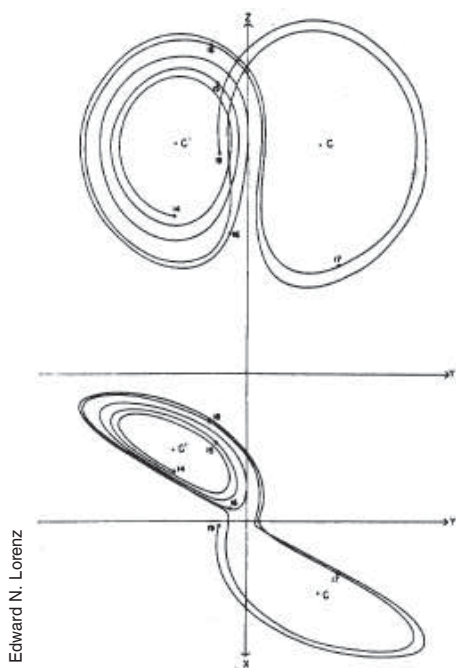
chứa trong một diện tích hữu hạn. Nói cách khác, nó phải là *fractal*, nhưng thuật ngữ này lúc đó còn chưa có ai nghĩ ra.

Nhiều khảo sát toán học đã dẫn Ruelle và Takens đi tới khẳng định rằng một đối tượng như thế nhất thiết phải tồn tại. Họ chưa bao giờ nhìn thấy và thậm chí cũng chưa bao giờ vẽ ra được dù chỉ là một đối tượng như thế. Nhưng khẳng định được cũng đã là đủ rồi. Sau này, tại phiên họp toàn thể của Đại hội toán học quốc tế, ở Vacsava (Ba Lan), Ruelle đã tuyên bố: “Đề xuất của chúng tôi đã được các nhà khoa học đón nhận một cách cực kỳ lạnh nhạt. Đặc biệt, ý tưởng gắn một phổ liên tục với vài ba bậc tự do đã bị rất nhiều nhà vật lý coi là một tà đạo.” Nhưng cũng chính các nhà vật lý - thực ra là một nhóm trong số họ - đã thừa nhận tầm quan trọng của bài báo viết năm 1971 này và đã bắt đầu nghiên cứu các hệ quả của nó.

THỰC TẾ, VÀO NĂM 1971, trong sách báo khoa học đã xuất hiện bức chân dung nhỏ của con quỷ kỳ quặc mà Ruelle và Takens đã cố gắng chỉ ra. Lorenz đã chạm vào nó trong bài báo của ông năm 1963 về hỗn độn tất định, một bức tranh đơn giản chỉ có hai đường cong ở bên phải, cái nọ ở bên trong cái kia, và năm đường cong ở bên trái. Để vẽ bảy vòng kín này, ông đã phải thực hiện trên máy tính 500 phép lặp. Điểm chuyển động dọc theo quỹ đạo này trong không gian pha, tức là dọc theo các vòng này, minh họa chuyển động quay chậm hỗn độn của chất lưu như được mô phỏng bởi ba phương trình của Lorenz về sự đối lưu. Vì hệ có ba biến độc lập, tức nhân hút này nằm trong một không gian pha ba chiều. Mặc dù mới chỉ vẽ được một mẫu của nó, nhưng Lorenz vẫn thấy được nhiều

hơn những gì ông vẽ được: đó là một loại đường xoắn ốc kép, như hai cánh bướm xếp gối lên nhau cực kỳ tinh tế. Khi nhiệt của hệ tăng, đẩy chất lưu chảy theo một hướng, quỹ đạo vẫn còn ở cánh bên phải; còn khi các cuộn xoáy dừng lại rồi đảo chiều, nó nhảy sang cánh bên trái.

Nhân hút này là ổn định, ít chiều, không tuần hoàn và không bao giờ tự cắt, bởi vì nếu tự cắt, nó sẽ trở về điểm mà trước đó nó đã ở và từ đó trở đi chuyển động sẽ tự lặp lại trên một vòng kín tuần hoàn. Và chính sự không bao giờ tự cắt này đã làm nên vẻ đẹp của nhân hút. Các vòng và các đường xoắn



Edward N. Lorenz

NHÂN HÚT LẠ ĐẦU TIÊN. Năm 1963, Edward Lorenz mới chỉ tính được các vòng đầu tiên của nhân hút đối với hệ phương trình giản lược của mình. Nhưng ông đã có thể nhận thấy rằng sự xâm nhập vào nhau của hai cánh hình xoắn ốc phải có một cấu trúc khác thường trên các thang nhỏ không thể nhìn thấy được.

ốc này bó chặt dần lại đến vô hạn, không bao giờ chạm vào nhau, cũng chẳng bao giờ cắt nhau, nhưng lại luôn ở trong một không gian hữu hạn, được giới hạn bởi một cái hộp. Tại sao điều này lại có thể xảy ra? Bằng cách nào mà một số vô hạn các quỹ đạo lại có thể tồn tại trong một không gian hữu hạn?

Vào thời kỳ mà các hình *fractal* của Mandelbrot vẫn còn chưa tràn ngập thị trường khoa học, thì rất khó có thể nghĩ ra một cách chi tiết cách dựng các hình như thế, và Lorenz đã thừa nhận một “mâu thuẫn bề ngoài” trong sự mô tả ban đầu của ông. Ông viết: “Thật khó mà dung hòa được chuyện hòa nhập của hai mặt, mỗi mặt chứa một đường xoắn ốc, thế nhưng hai quỹ đạo lại không thể hòa nhập với nhau”. Nhưng ông đã tìm ra câu trả lời. Tuy nhiên, nó quá tinh tế nên không thể xuất hiện trong chỉ một số ít phép tính nằm trong khả năng của máy tính lúc bấy giờ. Ông đã nhận ra rằng khi các đường xoắn ốc đường như nối với nhau, thì các mặt phải bị phân chia tạo thành các lớp rời nhau như các tầng lá của cây dương xỉ thảo. “Ta nhận thấy mỗi mặt trên thực tế là hai mặt, sao cho ở những chỗ chúng có vẻ sáp vào nhau thì trên thực tế có tới bốn mặt. Nếu lặp lại quá trình này cho vòng sau, sẽ thấy trên thực tế có tám mặt, v.v... Từ đó cuối cùng chúng ta kết luận rằng tồn tại một số vô hạn các mặt, mỗi mặt cực kỳ gần với một trong hai mặt nhập với nhau”. Sẽ không có gì phải ngạc nhiên khi mà vào năm 1963 các nhà khí tượng học không mấy may quan tâm đến loại tư biện này, và Ruelle, mười năm sau, đã ngạc nhiên và sung sướng khi cuối cùng ông đã phát hiện ra công trình này của Lorenz. Những năm sau đó ông chỉ tới gặp Lorenz có một lần, và chia tay ông với một chút thất vọng vì không nói với nhau được nhiều hơn về lãnh vực chung của

họ trong khoa học. Do tính rụt rè cố hữu, Lorenz đã biến cuộc gặp gỡ này thành một cuộc vui chơi, và họ đã cùng với các bà vợ của mình đi thăm một bảo tàng nghệ thuật.

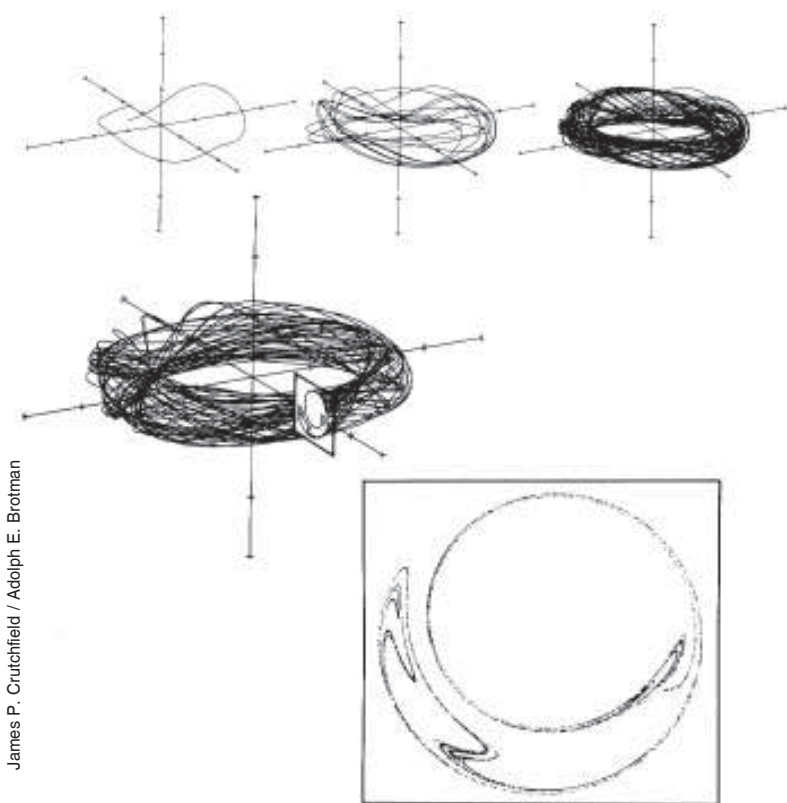
Những nỗ lực theo đuổi các gợi ý do Ruelle và Takens đưa ra đi theo hai hướng. Hướng thứ nhất là nghiên cứu lý thuyết để làm hiển thị các nhân hút lạ. Cái nhân hút của Lorenz liệu đã là điển hình chưa? Hay còn có loại nhân hút có hình dạng khác? Hướng thứ hai là một chương trình nghiên cứu thực nghiệm để khẳng định hoặc bác bỏ các hy vọng mới, hoàn toàn phi toán học, gợi ra khả năng áp dụng các nhân hút lạ cho hỗn độn trong tự nhiên.

Ở Nhật Bản, sự nghiên cứu các mạch điện mô phỏng các dao động - nhưng nhanh hơn rất nhiều - của các lò xo cơ học đã giúp Yoshisuke Ueda phát hiện ra một loạt các nhân hút lạ đẹp tuyệt vời. (Ở phương Đông ông cũng đã vấp phải sự lạnh nhạt tương tự như Ruelle đã vấp phải ở phương Tây: “Kết quả của anh chẳng qua cũng chỉ là một loại dao động gần như tuần hoàn. Vậy thì chế ra một khái niệm riêng về các trạng thái dừng để làm gì?”). Ở Đức, Otto Rossler, một bác sỹ không hành nghề, đến với hỗn độn qua con đường hóa học và sinh học lý thuyết, đã bắt đầu với một quan niệm lạ lùng là coi các nhân hút lạ như các đối tượng triết học, và đẩy lùi các khía cạnh toán học của chúng ra hậu cảnh. Tên tuổi của Rossler trở nên gắn liền với một nhân hút đặc biệt đơn giản dưới dạng một dải ruy-băng chứa một nếp gấp. Nhân hút này đã được nghiên cứu rất nhiều vì nó dễ vẽ. Ngoài ra, Rossler cũng đã hình dung được các nhân hút có số chiều lớn hơn” - “một cái xúc xích trong một cái xúc xích trong một cái xúc xích rồi trong một cái xúc xích nữa,” ông nói, “hãy cầm lấy nó, gấp nó, ép nó lại, và đặt nó xuống đó”. Thực tế, việc gấp và ép

không gian chính là chìa khóa cho phép dựng được các nhân hút lạ, và có lẽ cũng là chìa khóa của động lực học của các hệ thực sinh ra chúng. Rossler có cảm giác rằng các hình dạng này là hiện thân của một nguyên lý tự tổ chức của vũ trụ. Ông đã tưởng tượng một cái gì đó giống như một cái túi đo hướng và tốc độ tương đối của gió thường dùng ở các sân bay, “một cái tất bị đục một lỗ ở đầu, và gió làm cho nó phồng lên và bị bẫy ở đó”, ông nói. “Trái với ý muốn của mình, năng lượng tạo ra một cái gì đó hữu ích, giống như con quỷ thời Trung Cổ. Nguyên lý ở đây là, tự nhiên làm một điều gì đó trái với ý muốn của mình, và bằng cách tự làm vướng víu mình mà tạo ra vẻ đẹp”.

Về các nhân hút lạ không hề dễ dàng. Thường thì các quỹ đạo uốn lượn theo những con đường đi ngày càng phức tạp hơn qua ba chiều hoặc nhiều hơn, tạo thành một bức tranh rối ren tối tăm mà từ bên ngoài không thể nhìn thấy cấu trúc bên trong của nó. Để chuyển đổi các mớ chẳng chịt ba chiều này thành các hình ảnh phẳng, các nhà khoa học ban đầu đã sử dụng kỹ thuật chiếu, một kỹ thuật cho phép thu được một hình ảnh biểu diễn bóng mà nhân hút hút lên một mặt phẳng. Nhưng đối với các nhân hút phức tạp, sự phóng chiếu này chỉ làm nhem nhuốc thêm các chi tiết, biến nó thành một mớ rối rắm không thể giải mã nổi. *Ánh xạ Poincaré* là một kỹ thuật có khả năng phát lộ được nhiều hơn: nó thực hiện bằng cách lấy một lát cắt ở ngay chính tâm của mớ rối rắm của nhân hút, như một nhà bệnh học chuẩn bị lấy một lát mô để soi kính hiển vi.

Ánh xạ Poincaré lấy đi một chiều của nhân hút và biến một đường liên tục thành một tập hợp các điểm. Bằng cách



James P. Crutchfield / Adolph E. Brotman

BIỂU DIỄN CẤU TRÚC CỦA MỘT NHÂN HÚT. Nhân hút lạ được biểu diễn trên đây - ban đầu là một quỹ đạo, sau đó là mười, rồi một trăm - mô tả hành trạng hỗn độn của một quay tử, một con lắc dao động theo trọn một vòng tròn, được cung cấp năng lượng sau mỗi khoảng thời gian đều đặn. Khi đạt đến 1000 quỹ đạo (hình thứ tư từ trên xuống), nhân hút đã trở thành một mớ hết sức rối rắm.

Để quan sát cấu trúc bên trong, một máy tính đã thực hiện một lát cắt ngang nhân hút, cái gọi là tiết diện Poincaré. Kỹ thuật này biến một hình ảnh ba chiều thành hai chiều. Mỗi khi quỹ đạo chạy qua một mặt phẳng cố định, nó để lại phía sau một điểm và dần dần người ta thu được một hình mẫu cực kỳ chi tiết. Ví dụ này chứa hơn 8000 điểm, mỗi điểm thuộc một quỹ đạo quanh nhân hút. Thực tế hệ được "lấy mẫu" ở những khoảng đều đặn. Trên lát cắt này, một số thông tin bị mất, nhưng những thông tin khác lại nổi lên rõ nét.

quy giản nhân hút về tiết diện Pointcaré của nó theo cách đó, các nhà khoa học đã ngầm giả định rằng tiết diện này vẫn còn giữ được nhiều phần cốt yếu của chuyển động. Anh ta có thể tưởng tượng, chẳng hạn, một nhân hút lạ vo ve trước mắt anh ta, với các quỹ đạo lên và xuống, sang phải rồi sang trái, tiến rồi lui, xuyên qua màn hình máy tính của anh ta: mỗi lần quỹ đạo đi qua màn hình, nó để lại một điểm sáng tại giao điểm, và tập hợp các điểm sáng đó hoặc là tạo thành một đám mây ngẫu nhiên của các điểm, hoặc vẽ ra một hình nào đó lấp lánh sáng.

Mặc dù thao tác này thực chất là lấy mẫu trạng thái của hệ một cách ngắt quãng, chứ không phải là liên tục. Vấn đề khi nào lấy mẫu, và lấy lát cắt này ở đâu là tương đối mềm dẻo đối với nhà nghiên cứu. Khoảng chứa nhiều thông tin nhất có thể ứng với một đặc điểm vật lý nào đó của hệ động lực: ví dụ, một ánh xạ Poincaré có thể lấy mẫu vận tốc của quả nặng con lắc ở mỗi thời điểm khi nó đi qua điểm thấp nhất trong quỹ đạo của nó. Nhà nghiên cứu cũng có thể lựa chọn một khoảng thời gian đều đặn, khi cố định các trạng thái liên tiếp của hệ trong ánh sáng của một máy hoạt nghiệm tưởng tượng. Nhưng dù có lựa chọn thế nào chăng nữa, thì các hình ảnh này rất cuộc cũng đều phát lộ cấu trúc *fractal* tinh tế mà Lorenz đã thoáng nhìn thấy.

NHÂN HÚT CÓ Ý NGHĨA SOI SÁNG NHIỀU NHẤT, bởi vì nó đơn giản nhất, được khám phá bởi một người rất xa lạ với những bí mật của sự chảy rối và cơ học chất lưu. Người đó là Michel Hénon, một nhà thiên văn làm việc ở Đài thiên văn

Nice. Về một phương diện nào đó, các hệ động lực chắc chắn đã khởi đầu từ chính thiên văn học: chuyển động đều đặn của các hành tinh đã làm nên thành công cho cơ học Newton, và cảm hứng cho Laplace. Nhưng cơ học thiên thể khác với phần lớn các hệ trên Trái Đất ở một điểm cốt yếu. Đó là hệ trên Trái Đất mất năng lượng do ma sát và là các hệ tiêu tán. Nhưng các hệ thiên văn thì không như vậy: chúng là các hệ bảo toàn - hay còn gọi là hệ Hamilton. Trên thực tế, ở thang vi mô, các hệ thiên văn cũng chịu tác dụng một dạng ma sát: các sao bức xạ năng lượng và ma sát do thủy triều có tác dụng kìm hãm chuyển động các thiên thể. Nhưng đối với các mục đích thực tiễn, các nhà thiên văn đã bỏ qua sự tiêu tán này trong những tính toán của mình. Và khi không có sự hao tán, không gian pha sẽ không có nếp gấp hay co lại theo cách cần thiết để tạo ra sự phân tầng *fractal* vô hạn. Do đó sẽ không có một nhân hút lạ nào có thể hình thành ở đó. Vậy thì liệu có thể có hỗn độn không?

Rất nhiều nhà thiên văn có một sự nghiệp lâu dài và thành công mà không hề dành một chút suy nghĩ nào cho các hệ động lực. Hénon không nằm trong số họ. Sinh ở Paris năm 1931, ít hơn Lorenz vài tuổi, nhưng cũng như Lorenz, ông rất mê toán học. Nhưng ông thích các vấn đề nhỏ cụ thể có liên quan với các tình huống vật lý - “chứ không phải là thứ toán học mà người ta làm hiện nay”, ông thường nói như vậy. Khi các máy tính có được kích thước phù hợp với các nhà tin học nghiệp dư, để giải trí, ông đã mua một bộ linh kiện và tự lắp ráp lấy để chơi ở nhà. Nhưng trước đó rất lâu, ông đã lao vào nghiên cứu một bài toán động lực học rất phức tạp: đó là bài toán về các đám sao cầu - tức tập hợp hình cầu có thể chứa

tới cả triệu ngôi sao, những ngôi sao già nhất và chắc chắn là lạ lùng nhất trong số các thiên thể của bầu trời đêm. Các đám này có một mật độ sao lớn khủng khiếp. Vấn đề làm sao chúng có thể tồn tại cùng với nhau và chúng đã tiến hóa như thế nào đã làm các nhà thiên văn bối rối trong suốt thế kỷ XX.

Nói theo ngôn ngữ của động lực học, thì một đám sao cầu là một bài toán nhiều vật. Bài toán hai vật thì dễ. Newton đã giải được nó một cách trọn vẹn. Mỗi vật - như Trái Đất và Mặt Trăng, chẳng hạn, đều vạch ra một quỹ đạo elip hoàn hảo quanh khối tâm của hệ. Nhưng ngay khi thêm vào vật thứ ba, thì lập tức mọi chuyện đều thay đổi. Bài toán trở nên khó giải, thậm chí không thể giải được. Như Poincaré đã phát hiện, bài toán ba vật hầu hết đều không giải được. Người ta có thể tính được bằng số các quỹ đạo của chúng trong một khoảng thời gian nào đó, và nhờ có các máy tính mạnh, có thể theo dõi được chúng đủ lâu trước khi các bất định trở nên thống thế. Nhưng người ta không thể giải các phương trình mô tả hệ bằng giải tích, nghĩa là những câu hỏi dài hạn về hệ ba vật là không thể trả lời được. Hệ Mặt Trời liệu có bền vững, ổn định không? Về ngắn hạn mà nói, dường như là có, nhưng ngay cả ngày hôm nay, cũng không ai có thể biết một cách chắc chắn rằng quỹ đạo của một số hành tinh sẽ không trở nên ngày một lệch tâm hơn cho tới khi chúng vĩnh viễn rời khỏi hệ Mặt Trời.

Nếu một hệ như một đám sao cầu là quá phức tạp để có thể xử lý trực tiếp như một bài toán nhiều vật, thì dù sao người ta vẫn có thể nghiên cứu động lực học của chúng bằng cách chấp nhận một số nhượng bộ nào đó. Chẳng hạn, sẽ là hợp lý nếu giả định rằng các ngôi sao đơn lẻ của các đám này chuyển động trong một trường hấp dẫn trung bình với một tâm hấp

dẫn cụ thể nào đó. Nhưng thi thoảng hai ngôi sao sẽ xích lại gần nhau tới mức ta cần phải xem xét riêng rẽ sự tương tác của chúng. Và khi đó, các nhà thiên văn đã nhận thấy rằng các đám sao cầu nói chung là không ổn định, trong đó các ngôi sao có xu hướng cụm lại thành từng đôi, theo các quỹ đạo sát nhau, và khi hệ sao đôi này chạm trán với một sao thứ ba khác, thì một trong ba ngôi sao này sẽ bị lệch hướng đột ngột, đôi khi, nhờ tương tác đó, nó nhận được đủ năng lượng để đạt đến vận tốc thoát vĩnh viễn ra khỏi đám sao cầu; phần còn lại của đám khi đó sẽ hơi bị co lại. Vào năm 1960, khi Hénon nhận bài toán này làm đề tài cho luận án tiến sỹ của mình tại Paris, ông đã đưa ra một giả thiết có vẻ như khá vô đoán: một đám sao cầu là bất biến về thang. Các tính toán của ông dựa trên giả thiết đó đã cho một kết quả thật bất ngờ: lõi của đám bị co mạnh lại, hay như người ta thường nói là bị suy sập, làm tăng động năng của nó và đạt đến một trạng thái vô cùng đặc. Thật là một điều khó tưởng tượng và hơn nữa nó lại không tương thích với các bằng chứng về đám sao cầu đã được quan sát cho tới lúc đó. Nhưng rồi dần dần lý thuyết của Hénon - mà sau này người ta gọi là lý thuyết “suy sập hấp dẫn-nhiệt” - đã thắng thế.

Với hiểu biết như vậy cộng với mong muốn áp dụng toán học vào các vấn đề đã cũ, đồng thời cũng muốn tiếp tục theo đuổi các kết quả bất ngờ của mình tới các kết cục ít có thể nhất của chúng, ông đã lao vào nghiên cứu một bài toán đơn giản hơn rất nhiều trong động lực học các sao. Năm 1962, ông được mời đến Princeton, và ở đây lần đầu tiên ông được tiếp cận với máy tính, trong khi ở M.I.T, Lorenz đã bắt đầu sử dụng máy tính vào dự báo thời tiết. Ông đã bắt tay mô hình

hóa quỹ đạo của các sao quanh tâm thiên hà. Bằng cách giản lược hóa một cách hợp lý, người ta có thể coi các quỹ đạo này như quỹ đạo của các hành tinh quay quanh một mặt trời, chỉ trừ một điều là: nguồn hấp dẫn xuyên tâm không phải là một điểm, mà là một đĩa ba chiều (tức là có bề dày).

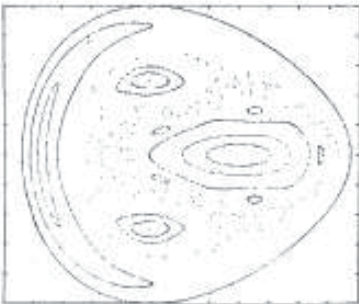
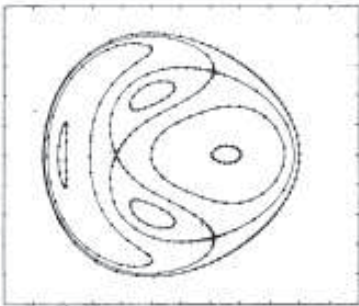
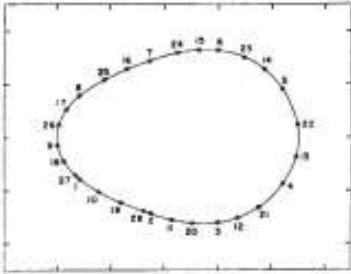
Ông đã làm một thỏa hiệp với các phương trình vi phân. “Để có nhiều tự do thực nghiệm hơn”, ông nói, “chúng ta sẽ phải tạm quên nguồn gốc thiên văn của bài toán”. Mặc dù lúc đó ông không nói ra, nhưng “tự do thực nghiệm” ở đây, một phần, có nghĩa là tự do xử lý bài toán trên một máy tính thô sơ. Máy tính của ông có bộ nhớ không bằng một phần nghìn khả năng nhớ của chỉ một chip trong máy tính cá nhân hai mươi năm sau đó; hơn nữa, nó còn chạy rất chậm. Nhưng cũng như các nhà thực nghiệm nghiên cứu sau này nghiên cứu hỗn độn, Hénon đã nhận thấy sự siêu giản lược hóa của mình cũng rất đáng giá. Bằng cách chất lọc lấy những cái cốt yếu của hệ, ông đã có những phát hiện có thể áp dụng được cả cho các hệ khác, những hệ còn quan trọng hơn. Nhiều năm sau, quỹ đạo của các sao trong thiên hà vẫn còn là một trò chơi lý thuyết, nhưng động lực học của các hệ như vậy đã trở thành đối tượng của những nghiên cứu hết sức mạnh mẽ và tốn kém của những người quan tâm đến quỹ đạo của các hạt trong các máy gia tốc năng lượng cao hoặc đến sự nhốt plasma bằng từ trường nhằm thực hiện phản ứng tổng hợp hạt nhân nguyên tử.

Trên một thang thời gian khoảng hai trăm triệu năm, quỹ đạo các sao trong một thiên hà có đặc tính ba chiều thay vì là các elip hoàn hảo. Các quỹ đạo ba chiều này rất khó hình dung cả khi chúng là các quỹ đạo thực cũng như khi chúng

là những cấu trúc ảo trong không gian pha. Vì thế, Hénon đã sử dụng một kỹ thuật giống với các ánh xạ Poincaré. Ông đã tưởng tượng một tờ giấy phẳng đặt vuông góc với một cạnh của thiên hà sao cho tất cả các quỹ đạo đều phải cắt tờ giấy, giống như các con ngựa trên một trường đua đều cắt vạch đích. Sau đó ông đánh dấu giao điểm của quỹ đạo với mặt phẳng này và theo dõi chuyển động của điểm đó ở mỗi một vòng quay.

Nhiều nhà khoa học sau này sử dụng kỹ thuật đó chỉ đơn giản ngồi quan sát sự xuất hiện các điểm trên màn hình máy tính, như các ngọn đèn đường lần lượt bật sáng lúc chiều tối, còn Hénon hồi đó thì phải vẽ bằng tay. Một quỹ đạo điển hình có thể bắt đầu từ một điểm ở phía dưới, bên trái của tờ giấy. Ở vòng sau, một điểm khác xuất hiện, chệch đi vài xentimet về bên phải, rồi một điểm thứ ba, hơi xa hơn và cao hơn một chút nữa về bên phải - và cứ tiếp tục như thế. Ban đầu, người ta không nhận ra bất kỳ một motif hay một hình mẫu rõ ràng nào; nhưng sau khoảng một chục hoặc vài chục điểm, một đường cong hình quả trứng bắt đầu hiện ra. Trên thực tế, các điểm nối tiếp nhau vẽ nên một vòng trên đường cong này, nhưng vì chúng không xuất hiện ở đúng một chỗ, nên cuối cùng, sau khoảng vài trăm hoặc vài nghìn điểm, thì đường cong mới được vạch ra một cách hoàn hảo.

Các quỹ đạo này không tuyệt đối đều đặn - vì chúng không bao giờ tự lặp lại một cách chính xác, - nhưng vẫn còn có thể tiên đoán được và còn lâu mới là hỗn độn: các điểm không bao giờ rơi ra ngoài đường cong, hay rơi vào bên trong của nó. Khi chuyển trở lại bức tranh ba chiều đầy đủ, thì các quỹ đạo vẽ nên một *hình xoắn*, giống như một chiếc xăm ô tô, còn



CÁC QUỹ ĐẠO QUANH TÂM THIÊN HÀ. Để tìm hiểu đường đi của các ngôi sao chuyển động trong một thiên hà, Michel Hénon đã tính toán giao điểm của các đường đi đó với một mặt phẳng. Các hình mẫu thu được phụ thuộc vào năng lượng toàn phần của hệ. Các điểm nằm trên một quỹ đạo ổn định dần dần vạch ra một đường cong liên tục và khép kín (hình thứ nhất). Tuy nhiên, các mức năng lượng khác tạo ra sự pha trộn phức tạp giữa ổn định và hỗn loạn, ứng với các vùng có các điểm phân tán.



Michel Hénon

ánh xạ Hénon là một tiết diện của hình xuyên đó. Cho tới lúc đó, Hénon mới chỉ làm được mỗi việc là minh họa những cái mà tất cả những người đi trước ông đã biết: các quỹ đạo có tính tuần hoàn. Ở Đài thiên văn Copenhagen, từ 1910 - 1913, cả một thế hệ các nhà thiên văn đã miệt mài quan sát và tính toán hàng trăm quỹ đạo, nhưng họ chỉ quan tâm đến các quỹ đạo tỏ ra có tính tuần hoàn. “Như tất cả mọi người thời đó, tôi cũng tin rằng tất cả các quỹ đạo đều có tính chất này”, Hénon nói. Dẫu vậy, ông vẫn tiếp tục cùng với Carl Heiles, một nghiên cứu sinh của ông ở Princeton, đã tính toán các quỹ đạo khác, khi tăng liên tục năng lượng cho mô hình của mình. Và chẳng bao lâu sau, ông đã thấy một cái gì đó hoàn toàn mới.

Trước hết, đường cong hình quả trứng biến dạng thành một hình phức tạp hơn, khi tự cắt thành các hình số tám và tách riêng ra thành các vòng kín rời nhau. Tuy nhiên, mỗi một quỹ đạo vẫn nằm trên một vòng kín nào đó. Rồi đối với các năng lượng còn lớn hơn nữa, một sự thay đổi khác đã xảy ra, hoàn toàn đột ngột. “Ở đây xuất hiện sự bất ngờ”, Hénon và Heiles viết. Một số quỹ đạo trở nên mất ổn định tới mức các điểm phân tán một cách ngẫu nhiên trên cả trang giấy. Nếu ở một vài chỗ người ta còn có thể vẽ được các đường cong, thì ở một số chỗ khác điều đó là hoàn toàn không thể. Bức tranh bây giờ nhìn thật ấn tượng: đó là bằng chứng của một sự hoàn toàn mất trật tự hòa trộn với những tàn dư còn rõ nét của trật tự, tạo nên các hình dạng gọi cho các nhà thiên văn này hình ảnh về các “hòn đảo” hay các “quần đảo”. Họ đã thử dùng hai máy tính khác nhau và hai phương pháp tích phân khác nhau, nhưng vẫn đi đến cùng một kết quả. Họ chỉ có thể khai phá và tư biện. Chỉ dựa vào thực nghiệm trên các con số, họ đã đưa

ra một phỏng đoán về cấu trúc sâu xa của các bức tranh như vậy. Với mức độ phóng đại càng lớn, thì càng có nhiều các đảo khác xuất hiện, ở các thang ngày càng nhỏ hơn, thậm chí có thể tới vô cùng. Vấn đề là còn phải chứng minh nó bằng toán học - “nhưng cách tiếp cận vấn đề này bằng toán học có vẻ như không quá dễ dàng”.

Rồi Hénon chuyển sang nghiên cứu các vấn đề khác, nhưng mười bốn năm sau, cuối cùng, khi nghe nói đến các nhân hút lạ của David Ruelle và Edwar Lorenz, ông đã hiểu ra ngay. Năm 1976, ông đã đến Đài thiên văn Nice, nằm trên Grande Corniche nhô ra Địa Trung Hải, để tham dự một xêmina về nhân hút của Lorenz do một nhà vật lý tới trình bày. Nhà vật lý này đã thử nhiều kỹ thuật khác nhau nhằm làm sáng tỏ “vi cấu trúc” tinh tế của nhân hút, nhưng đã không thu được thành công lớn. Mặc dù các hệ tiêu tán năng lượng không phải là lĩnh vực sở trường của Hénon (“các nhà thiên văn đôi khi thấy phất hoảng với các hệ tiêu tán năng lượng”), nhưng ông vẫn nghĩ mình có một ý tưởng.

Lại một lần nữa ông quyết định gạt bỏ mọi tham chiếu đến nguồn gốc vật lý của hệ để tập trung vào bản chất hình học của nó. Trong khi Lorenz và các nhà nghiên cứu khác vẫn trung thành với các phương trình vi phân - các dòng, với những biến thiên *liên tục* trong không gian và thời gian -, thì Hénon hướng sang các phương trình sai phân, rời rạc theo thời gian. Ông tin rằng chìa khóa của vấn đề nằm ở các kéo giãn và những nếp gấp lặp đi lặp lại của không gian pha, giống như người làm bánh nhào bột, kéo giãn rồi gấp lại, rồi lại nhào, lại gấp, lại kéo giãn để cuối cùng dẫn đến một cấu trúc có nhiều lớp mỏng. Hénon đã vẽ ra một hình ôvan lên

giấy, rồi kéo giãn nó nhờ một hàm số nhỏ, biến đổi mọi điểm bên trong nó thành một điểm khác thuộc một hình có điểm giữa bị kéo lên cao, như vòng cung. Hàm này là một ánh xạ, từng điểm một, biến toàn bộ hình ôvan thành một vòng cung. Rồi sau đó ông chọn một ánh xạ thứ hai, lần này là một phép co, nó ép vòng cung vào phía trong làm cho nó trở nên mảnh hơn. Cuối cùng, một ánh xạ thứ ba quay cái vòng cung hẹp này trên một cạnh của nó để lấy lại gần đúng hình ôvan ban đầu. Ba ánh xạ này có thể được tổ hợp lại thành một hàm duy nhất để tiến hành tính toán.

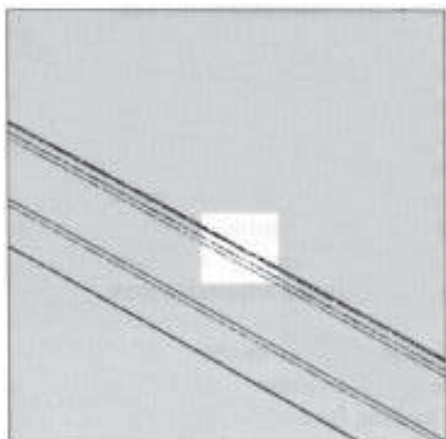
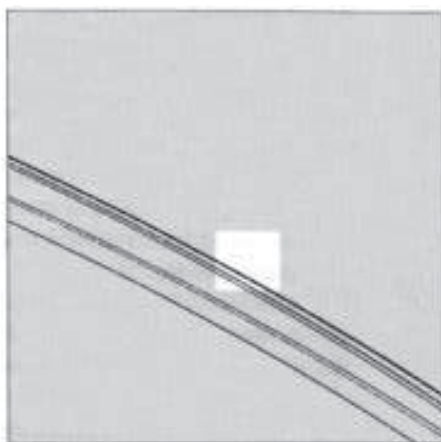
Về thực chất, ông đã đi theo ý tưởng sắt móng ngựa của Smale. Về mặt tính số mà nói, thì toàn bộ quá trình này đơn giản đến mức người ta có thể dễ dàng theo dõi trên một máy tính bỏ túi. Mỗi một điểm được xác định bằng một tọa độ x (hoành độ) và một tọa độ y (tung độ). Để tìm giá trị mới của x , quy tắc ở đây là thêm 1 vào giá trị cũ của y , sau đó trừ đi 1,4 lần bình phương giá trị cũ của x . Còn để tìm y mới, ta nhân giá trị cũ của x với 0,3. Kết quả là: $x_{sau} = y + 1 - 1,4x^2$ và $y_{sau} = 0,3x$. Hénon chọn một điểm xuất phát khá ngẫu nhiên, rồi lấy máy tính bỏ túi tính toán và bắt đầu vẽ các điểm mới, lần lượt cho tới khi thu được hàng nghìn điểm mới. Khi ông sử dụng một máy tính thực sự, máy IBM 7040, ông đã nhanh chóng thu được 5 triệu điểm. Ngày nay, chỉ cần dùng một máy vi tính và một màn hình đồ họa là có thể làm được điều đó một cách dễ dàng.

Ban đầu, các điểm có vẻ xuất hiện ngẫu nhiên. Điều này ứng với tiết diện Poincaré của nhân hút ba chiều chạy tới chạy lui qua màn hình một cách thất thường. Nhưng rồi rất nhanh, một hình dạng bắt đầu xuất hiện, hình có dạng giống như một

quả chuối. Chương trình chạy càng dài, thì càng có nhiều chi tiết xuất hiện. Nếu, ở một số vị trí, đường này có vẻ có một độ dày nhất định, thì độ dày này trên thực tế tự phân giải thành hai đường phân biệt, rồi đến lượt mình, hai đường này lại tách ra thành bốn, hai đường ở gần nhau và hai đường ở xa hơn. Với sự phóng đại thêm nữa, mỗi trong bốn đường này dường như lại được cấu thành từ hai đường cong khác - và cứ như vậy đến vô cùng. Cũng như nhân hút Lorenz, nhân hút Hénon ứng với một sự hồi quy vô hạn, giống như một chuỗi vô hạn các con búp bê Nga, con nọ nằm trong con kia.

Chi tiết lồng nhau - các đường nằm trong các đường - này có thể nhìn thấy ở dạng cuối cùng trong một loạt các bức tranh với độ phóng đại tăng dần. Tuy nhiên, có một cách khác để đánh giá hiệu ứng kỳ quái của nhân hút lạ, khi hình dạng được hiện rõ dần theo thời gian, lần lượt từng điểm một, như một bóng ma ló ra từ màn sương mù. Các điểm mới xuất hiện tản mát trên màn hình một cách ngẫu nhiên tới mức dường như không thể tưởng tượng được rằng chúng lại có thể ứng với một cấu trúc nào đó, chứ đừng nói gì đến một cấu trúc tinh tế và phức tạp. Hai điểm liên tiếp bất kỳ có thể nằm cách xa nhau một cách tùy ý, giống như hai điểm ban đầu nằm cạnh nhau trong một dòng chảy rối. Với số điểm đã cho bất kỳ, ta không thể tiên đoán được điểm tiếp theo sẽ xuất hiện ở đâu, chỉ có một điều chắc chắn là nó sẽ nằm ở đâu đó trên nhân hút.

Chuyển động của các điểm này là quá ngẫu nhiên, motif mà nó vẽ ra lại quá mỏng manh tới mức rất khó gọi nhớ rằng hình dạng này là một *nhân hút*. Nó không chỉ là một trong



James P. Crutchfield

NHÂN HÚT HÉNON. Một sự kết hợp đơn giản các phép gấp và kéo giãn đã tạo ra được một nhân hút dễ dàng tính toán được trên máy tính, tuy vậy các nhà toán học vẫn chưa hiểu thật rõ. Càng xuất hiện nhiều điểm, hàng nghìn, hàng triệu điểm, thì các chi tiết của nó càng xuất hiện nhiều hơn. Cái tưởng như là một đường hóa ra, khi phóng đại lên, lại là một cặp, rồi hai cặp. Tuy nhiên, người ta vẫn không thể tiên đoán được liệu hai điểm liên tiếp có còn ở cạnh nhau nữa hay không.

những quỹ đạo của một hệ động lực; mà nó còn là đường đi mà tất các đường đi khác sẽ phải hội tụ vào nó. Chính vì lẽ đó mà sự lựa chọn các điều kiện ban đầu là không quan trọng. Chừng nào điểm xuất phát còn nằm ở gần nhân hút, thì chừng ấy một số ít điểm tiếp sau sẽ hội tụ cực kỳ nhanh chóng về nhân hút này.

MẤY NĂM TRƯỚC, KHI RUELLE đến phòng thí nghiệm của Gollub và Swinney, ở City College, ba nhà vật lý này đã phát hiện ra một mối quan hệ yếu ớt giữa lý thuyết và thực nghiệm: một mặt, một toán học táo bạo về mặt triết lý nhưng lại không chắc chắn về kỹ thuật, mặt khác một xilanh chất lỏng chảy rối, nhìn chẳng có gì là ghê gớm nhưng rõ ràng lại không có sự hài hòa với lý thuyết cũ. Nhiều buổi trưa họ tranh luận với nhau, rồi Swinney và Gollub đi nghỉ hè với các bà vợ của họ trong một ngôi nhà gỗ nhỏ của Gollub ở Adirondacks. Họ chưa bao giờ nhìn thấy nhân hút lạ và họ cũng chưa đo đạc được nhiều về những cái thực sự xảy ra ở ngưỡng của sự chảy rối. Nhưng họ đã biết rằng Landau sai lầm và ngờ rằng Ruelle có lý.

Là một yếu tố của tự nhiên được phát lộ nhờ những khám phá trên máy tính, nhân hút lạ đã bắt đầu chỉ đơn giản như một khả năng, nó đánh dấu một chỗ mà nhiều bộ óc vĩ đại của thế kỷ XX đã không thể đi tới. Chẳng bao lâu sau, khi các nhà khoa học đã nhìn thấy cái mà máy vi tính phát lộ, họ cảm thấy dường như đó là một khuôn mặt mà họ đã gặp ở rất nhiều nơi, trong âm nhạc của các dòng chảy rối, hay trong các đám mây nằm rải rác như những cánh bướm ngang qua bầu trời. Thì ra tự nhiên chịu các *ràng buộc*. Dường như hỗn độn đã

được khai thông chảy vào các motif, các hình mẫu với một chủ đề chung nào đó nằm ẩn sâu bên dưới.

Sau này, sự thừa nhận các nhân hút lạ đã tiếp sức cho cuộc cách mạng về hỗn độn bằng cách cung cấp cho các nhà khảo cứu bằng số một chương trình rõ ràng cần phải thực hiện. Người ta tìm kiếm các nhân hút lạ ở khắp nơi, những nơi mà tự nhiên có vẻ như có một hành trạng ngẫu nhiên. Rất nhiều nhà nghiên cứu đã khẳng định rằng khí quyển của Trái Đất cũng nằm trên một nhân hút lạ. Các nhà nghiên cứu khác, tập hợp hàng triệu mẫu dữ liệu về thị trường chứng khoán và đã bắt đầu tìm kiếm ở đó một nhân hút lạ, bằng cách sẫm soi sự ngẫu nhiên thông qua cái thấu kính có thể điều chỉnh được của máy tính.

Vào giữa những năm 1970, các phát hiện này vẫn chỉ là chuyện của tương lai. Không một ai đã thực sự quan sát được nhân hút lạ bằng thực nghiệm, và người ta còn lâu mới biết cách làm thế nào để tìm ra được một nhân hút như thế. Trên phương diện lý thuyết, nhân hút lạ cho phép biểu thị bằng toán học các tính chất mới cơ bản của hỗn độn. Sự phụ thuộc nhạy cảm vào các điều kiện ban đầu là một trong những tính chất này. Sự “trộn” là một tính chất khác, nó có ý nghĩa rất quan trọng, chẳng hạn, trong thiết kế các động cơ phản lực để thu được một hỗn hợp hiệu quả giữa nhiên liệu và khí ôxy. Nhưng không một ai biết làm thế nào để đo được các tính chất này, làm thế nào để biểu thị chúng bằng các con số. Các nhân hút lạ có vẻ về bản chất là *fractal*, nghĩa là số chiều thực của chúng phải là các phân số, nhưng không một ai biết bằng cách nào có thể đo được số chiều này hay làm thế nào ứng dụng các phép đo như vậy vào các vấn đề kỹ thuật.

Điều quan trọng nhất là không một ai biết liệu các nhân hút lạ này có nói gì cho ta về vấn đề cực kỳ sâu sắc của các hệ phi tuyến hay không. Ngược lại với các hệ tuyến tính mà ta đã dễ dàng giải và phân loại được, các hệ phi tuyến dường như vẫn hoàn toàn thoát ra khỏi mọi sự phân loại - mỗi một hệ đều khác với các hệ khác. Các nhà khoa học đã bắt đầu ngờ rằng chúng phải có chung một số tính chất, nhưng khi bắt đầu thực hiện các phép đo và tính toán, thì mỗi hệ phi tuyến dường như lại là một thế giới riêng. Hiểu được một hệ phi tuyến dường như không giúp được gì để hiểu một hệ phi tuyến khác. Nếu một nhân hút lạ như nhân hút Lorenz minh họa sự ổn định và cấu trúc ẩn giấu của một hệ có vẻ như không có sự ổn định và cấu trúc, thì bằng cách nào đường xoắn kép đặc biệt này lại có thể giúp các nhà nghiên cứu khám phá các hệ không có liên quan? Điều này thì chưa một ai biết.

Trong khi chờ đợi, sự hứng khởi đã vượt ra ngoài phạm vi khoa học thuần túy. Các nhà nghiên cứu từng nhìn thấy các hình dạng này đã tự cho phép mình tạm thời quên đi các quy tắc của một diễn văn khoa học. Như Ruelle, chẳng hạn: “Tôi không muốn nói đến sự cuốn hút về mặt thẩm mỹ của các nhân hút lạ. Các hệ đường cong, những đám mây các điểm này đôi khi gợi đến những chùm pháo hoa hay các thiên hà, nhưng cũng đôi khi gợi đến sự sinh sôi vô độ đầy huyền bí và đáng lo ngại của thế giới thực vật. Ở đó có cả một thế giới các hình dạng để khám phá và các hài hòa để phát hiện.”

TÍNH PHỔ QUÁT

*Lặp lại những câu thơ này
nghĩa là đang tạo ra châu báu
Và khi vẽ cái vòng tròn này lên mặt đất,
Nghĩa là ta đang tạo ra các xoáy lốc,
bão giông và sấm chớp.*

—CHRISTOPHER MARLOWE
Bác sỹ Faustus

VÀI CHỤC MÉT PHÍA TRÊN THƯỢNG NGUỒN của một thác nước, con suối đang chảy hiền hòa dường như đã cảm nhận được mình sắp đổ xuống thác. Nó bắt đầu tăng tốc, hối hả. Các làn nước nhỏ phồng và cuộn lên như các tĩnh mạch khổng lồ. Mitchell Feigenbaum đứng trên bờ sông, mồ hôi lấm tấm trên chiếc áo vét thể thao và chiếc quần nhung. Ông châm một điếu thuốc. Những người bạn đi cùng ông tiếp tục tiến lên thượng nguồn, về phía các tầng nước êm đềm hơn. Đột nhiên, như thể bất chước một khán giả xem tennis dõi theo trái bóng, đầu ông liên tục lắc qua lắc lại hai phía. “Hãy chăm chú nhìn vào một chi tiết nào đó, một bọt nước, chẳng hạn. Bằng cách cử động đầu đủ nhanh, đột nhiên bạn có thể phân định được toàn bộ cấu trúc của bề mặt, và cảm nhận được nó rất rõ nét”. Ông rít một hơi thuốc. “Nhưng nếu bạn có hiểu biết toán học, và nếu bạn quan sát dòng nước này, hay các núi mây chồng lên nhau, hoặc bạn đứng trên một con đê trước biển hung dữ, thì tất cả những gì bạn biết, đó là bạn hoàn toàn không biết gì hết”.

Trật tự trong hỗn độn. Đó là lời sáo xưa nhất của khoa học. Ý tưởng về một sự thống nhất ẩn giấu và một dạng chung tiềm ẩn nằm bên dưới trong tự nhiên, tự bản thân nó rất cuốn hút, nhưng đã phải chịu số phận bất hạnh vì đã gây cảm hứng cho những kẻ ngụy khoa học và những kẻ lập dị. Khi Feigenbaum đến Phòng thí nghiệm quốc gia Los Alamos, vào năm 1974, lúc mới 29 tuổi, ông đã biết rằng nếu các nhà vật lý giờ đây muốn làm một cái gì đó đối với ý tưởng này, thì họ cần phải có một khuôn khổ thực tiễn, một phương tiện biến nó thành các phép tính. Cách tiếp cận đầu tiên vấn đề này còn lâu mới rõ ràng.

Feigenbaum đã được Peter Carruthers tuyển dụng. Là một nhà vật lý điềm tĩnh, thiên tài mà chẳng có vẻ gì là thiên tài cả, ông từ Cornell đến Los Alamos năm 1973 để lãnh đạo Ban vật lý lý thuyết. Việc đầu tiên của ông là cho nghỉ một loạt các nhà vật lý có thâm niên nghiên cứu đáng nể - ngược với các trường đại học, sự ổn định biên chế không tồn tại ở Los Alamos - và thay họ bằng các nhà nghiên cứu trẻ xuất sắc theo sự lựa chọn của ông. Với tư cách là giám đốc khoa học, ông có nhiều tham vọng lớn, và bằng kinh nghiệm ông biết rằng không phải lúc nào người ta cũng có thể hoạch định được một nghiên cứu có chất lượng.

“Nếu bạn lập một ủy ban trong phòng thí nghiệm hay ở Washington, và bạn tuyên bố ‘Sự chảy rối đang chặn đường của chúng ta, chúng ta nhất thiết phải hiểu nó nếu không sẽ chẳng có cơ hội nào để tiến bộ trong rất nhiều lĩnh vực’, và chắc chắn sau đó bạn sẽ tuyển mộ một nhóm nghiên cứu. Bạn sẽ mua một máy tính khổng lồ. Bạn sẽ bắt đầu chạy các chương trình lớn. Nhưng rồi bạn vẫn chẳng đi tới đâu. Thay vì, chúng ta có người đàn ông thông minh này, thường ngồi

yên trong góc phòng - dĩ nhiên đôi khi cũng có tranh luận với mọi người, nhưng thường là làm việc một mình.” Carruthers và Feigenbaum đã nói rất nhiều về chảy rối, nhưng rồi thời gian trôi đi, và bản thân Carruthers cũng không biết rõ Feigenbaum định hướng đi đến đâu. “Tôi cứ ngỡ rằng anh ấy đã từ bỏ và lao vào một vấn đề khác. Tôi không hề nghi ngờ rằng cái vấn đề khác này cũng vẫn là vấn đề *ấy*, vấn đề mà rất nhiều ngành khoa học vấp phải - đó là hành trạng phi tuyến của các hệ. Vào thời kỳ đó, không một ai nghĩ rằng nền tảng đúng đắn để giải quyết vấn đề này là phải hiểu vật lý hạt, phải biết lý thuyết trường lượng tử, và cũng cần phải biết rằng trong lý thuyết trường lượng tử, có những cấu trúc được gọi là nhóm tái chuẩn hóa. Cũng không một ai biết rằng cần phải hiểu lý thuyết tổng quát của các quá trình ngẫu nhiên, cũng như các cấu trúc *fractal*.

“Michell có tất cả nền tảng đó. Anh đã làm chính xác cái phải làm vào đúng thời điểm, và anh đã làm rất tốt. Không có cái gì nửa vời. Anh đã giải quyết được toàn bộ vấn đề”.

Feigenbaum đã mang đến Los Alamos niềm tin rằng khoa học trước kia đã không thể hiểu được các vấn đề khó - các vấn đề phi tuyến. Mặc dù gần như không để lại được gì với tư cách là nhà vật lý, nhưng ông đã tích lũy được một nền tảng trí tuệ khác thường. Ông đã có một hiểu biết sâu sắc và hiệu quả về phép phân tích toán học thuộc loại thách thức nhất, đó là những loại kỹ thuật tính toán mới thúc đẩy phần lớn các nhà khoa học đi đến hết giới hạn hiểu biết của họ. Ông cũng đã quyết định không loại bỏ một số ý tưởng có vẻ không khoa học thừa hưởng từ chủ nghĩa lãng mạn thế kỷ XVIII. Ông muốn xây dựng một khoa học mới. Ông đã bắt đầu bằng việc

tạm gạt sang một bên mọi ý định tìm hiểu tính phức hợp thực, và thay vì, ông đã tập trung nghiên cứu các phương trình phi tuyến đơn giản nhất mà ông có thể tìm được.

MITCHELL FEIGENBAUM lần đầu tiên bắt gặp bí mật của Vũ trụ dưới dạng chiếc radio nhãn hiệu Silvertone đặt trong phòng khách của căn nhà bố mẹ ông ở Flatbush, Brooklyn, năm ông mới 4 tuổi. Lúc đó vừa kết thúc Đại chiến thế giới thứ II. Tiếng nhạc phát ra không có nguyên nhân vật chất này làm ông kinh ngạc. Tuy nhiên, chiếc máy quay đĩa thì ông lại có cảm giác hiểu được. Bà nội lúc đó đã dành cho Feigenbaum một ưu ái đặc biệt là được đặt đĩa vào máy.

Cha ông là một nhà hóa học, làm việc ở cảng New York, rồi sau đó làm cho công ty mỹ phẩm Clairol. Mẹ ông dạy học trong các trường công của thành phố. Ban đầu Mitchell quyết định trở thành kỹ sư điện, một nghề danh giá ở Brooklyn, có thể mang lại một cuộc sống sung túc. Nhưng về sau, ông đã nhận ra rằng câu trả lời cho những thắc mắc của ông về chiếc đài có lẽ nằm trong vật lý nhiều hơn. Ông thuộc thế hệ các nhà khoa học lớn lên ở ngoại ô New York, có được một sự nghiệp rực rỡ, sau khi đã học qua những trường công danh tiếng, trong trường hợp của Mitchell đó là trường Samuel J. Tilden, và sau đó là City College.

Tại Brooklyn, trưởng thành về trí tuệ, trong một chừng mực nào, có nghĩa là lèo lái một hành trình không phẳng lặng giữa thế giới của trí óc và thế giới của những người khác. Từ khi còn rất trẻ Feigenbaum đã rất thích giao du, điều mà ông coi là cách để không bị ăn đòn bất nạt. Tuy nhiên, một cú hích

nhân thân đã xuất hiện khi Feigenbaum nhận ra rằng mình có thể học được nhiều điều. Feigenbaum dần tách khỏi đám bạn. Các cuộc nói chuyện phiếm không còn làm cậu thích thú nữa. Nhưng trong năm học cuối cấp phổ thông, Feigenbaum cảm thấy dường như đã bỏ phí tuổi trẻ, và quyết định giao du trở lại với mọi người. Ở quán cà phê của trường, Feigenbaum có thói quen ngồi im lặng, nghe các bạn nói chuyện phiếm, và dần lấy lại được nghệ thuật giao tiếp.

Sau khi nhận bằng tốt nghiệp phổ thông năm 1964, Feigenbaum được nhận vào học ở Viện Công nghệ Massachusetts (MIT). Tại đây, năm 1970, ông đã bảo vệ luận án tiến sỹ về vật lý hạt. Sau đó Feigenbaum làm việc ở Đại học Cornell và Đại học Bách khoa Virginia trong vòng bốn năm mà không mang lại kết quả gì, theo nghĩa không thường xuyên công bố các công trình khoa học về những vấn đề có thể tiếp cận được, một điều tối quan trọng đối với một giảng viên đại học trẻ. Nhiệm vụ của thực tập “sau tiến sỹ” (*postdoc*) được coi là sản xuất các bài báo. Thỉnh thoảng, giáo sư hướng dẫn lại hỏi Feigenbaum bài toán này hay khác đã ra sao rồi. Và lúc nào ông cũng trả lời: “Ồ, em biết rồi”.

Vừa đặt chân đến Los Alamos, Carruthers, vốn cũng là một tài năng khoa học, đã luôn tự hào là người có khả năng phát hiện ra các tài năng. Ông không tìm kiếm trí tuệ, mà tìm kiếm khả năng sáng tạo, một thứ dường như được tiết ra bởi một tuyến huyền bí nào đó. Ông luôn nhớ đến Kenneth Wilson, một nhà vật lý khác nói năng rất điềm đạm của Đại học Cornell, người tuyệt đối chưa sản xuất được bài báo nào. Nhưng nếu một ai đó nói chuyện lâu với Wilson sẽ nhận thấy rằng thực tế ông có một trực giác vật lý rất sâu sắc. Việc ông

tiếp tục được giữ trong biên chế đã trở thành một chủ đề tranh luận rất gay gắt. Nhiều nhà vật lý sẵn sàng đánh cược về những khả năng tiềm ẩn chưa được chứng minh của ông cuối cùng đã thắng thế. Và rồi như thác vỡ, các bài báo ào ạt ra đời, trong đó có một bài đã mang lại cho ông giải Nobel về vật lý năm 1982.

Đóng góp to lớn của Wilson cho vật lý, cùng với các công trình của hai nhà vật lý khác là Leo Kadanoff và Michael Fisher, đã tạo nên một nền móng vững chắc cho lý thuyết hỗn độn. Ba nhà khoa học này làm việc độc lập nhau và suy nghĩ theo những cách khác nhau về các chuyển pha. Họ đã nghiên cứu hành trạng của vật chất ở lân cận điểm nó chuyển từ trạng thái này sang trạng thái khác - từ trạng thái lỏng sang trạng thái khí, hay từ trạng thái từ tính sang trạng thái phi từ tính. Là các đường biên đặc biệt giữa hai trạng thái tồn tại của vật chất, các chuyển pha này tuân theo một thứ toán học có tính phi tuyến rất cao. Đồng thời hành trạng trơn tru và tiên đoán được của vật chất ở một pha nào đó thường giúp đỡ rất ít cho sự tìm hiểu các chuyển pha. Một nồi nước đặt trên bếp lò nóng lên liên tục cho tới khi đạt tới điểm sôi. Sau đó, sự tăng nhiệt độ tạm dừng, trong khi đó lại xuất hiện một hiện tượng rất thú vị ở mặt phân cách phân tử giữa pha lỏng và pha hơi.

Trong những năm 1960, đối với Kadanoff, các chuyển pha là một bài toán hóc búa. Hãy xét một khối kim loại đang bị từ hóa. Khi nó đi tới một trạng thái trật tự, nó phải đưa ra một quyết định: Nam châm có thể có hai định hướng và khối kim loại hoàn toàn được tự do lựa chọn. Nhưng mỗi một mẫu nhỏ của miếng kim loại phải có cùng một sự lựa chọn. Vậy điều đó đã được thực hiện bằng cách nào?

Khi thực hiện lựa chọn này, các nguyên tử của kim loại, bằng cách này hay cách khác, đã phải trao đổi thông tin với nhau. Cái ý tưởng sâu sắc của Kadanoff là cho rằng sự truyền thông tin này có thể được mô tả đơn giản nhất là thông qua bất biến thang. Thực vậy, ông tưởng tượng chia khối kim loại thành các ô hình lập phương, mỗi một ô có thể thông tin với các ô liền kề. Cách mô tả sự truyền thông tin này cũng giống như cách truyền thông tin giữa một nguyên tử với các nguyên tử ở kề cận nó. Từ đó thấy ngay tính hữu ích của bất biến thang: cách tốt nhất để tư duy về kim loại là thông qua mô hình kiểu *fractal*, với các ô có đủ loại kích thước khác nhau.

Chứng minh sức mạnh của khái niệm bất biến thang đòi hỏi rất nhiều phân tích toán học và thực nghiệm về các hệ thực. Kadanoff có cảm giác như đang lao vào một công việc hết sức khó nhằn và đã tạo ra một thế giới vô cùng đẹp đẽ và hoàn toàn độc lập. Một phần của vẻ đẹp này nằm trong tính phổ quát của nó. Ý tưởng của Kadanoff bắt nguồn từ một thực tế cực kỳ bất ngờ về các hiện tượng tới hạn, cụ thể là các chuyển pha mà bề ngoài tưởng như không có quan hệ gì với nhau - như sự sôi của các chất lỏng, sự nhiễm từ của các kim loại - nhưng tất cả đều tuân theo các quy luật giống nhau.

Sau đó Wilson đã tiến hành gộp toàn bộ lý thuyết lại dưới cái tên lý thuyết nhóm tái chuẩn hóa, cung cấp một phương tiện hữu hiệu để thực hiện các phép tính thực trên các hệ thực. Tái chuẩn hóa đã xuất hiện trong vật lý học vào những năm 1940, như một bộ phận của lý thuyết lượng tử, cho phép tính toán các tương tác giữa electron và photon. Vấn đề liên quan đến những tính toán này cũng như với những tính toán mà Kadanoff và Wilson quan tâm là ở chỗ: chúng đòi hỏi phải

xử lý một số đại lượng lớn vô hạn, một công việc rối rắm và rất khó chịu. Theo các phương pháp của Richard Feynman, Julian Schwinger, Freeman Dyson và các nhà vật lý khác, sự tái chuẩn hóa loại trừ được các đại lượng vô hạn đó.

Phải mãi rất lâu sau, vào những năm 1960, Wilson mới phát hiện ra những cơ sở đảm bảo thành công cho sự tái chuẩn hóa. Cũng giống như Kadanoff, ông đã nghĩ đến bất biến thang. Một số đại lượng, như khối lượng của một hạt, vẫn luôn được coi là cố định, vì khối lượng của một vật bình thường bất kỳ cũng luôn là một hằng số. Sự thành công của tái chuẩn hóa là ở chỗ nó coi một đại lượng, như khối lượng chẳng hạn, không có một giá trị cố định. Giá trị này tăng hay giảm tùy theo thang mà ta quan sát. Điều này xem ra có vẻ phi lý. Tuy nhiên, đó lại là một sự tương tự tuyệt vời với phát hiện của Mandelbrot về các hình dạng hình học và bờ biển nước Anh. Chiều dài của bờ biển này không thể đo một cách độc lập với thang được. Như vậy có một loại tính tương đối trong đó vị trí của người quan sát, ở gần hay ở xa, ở ngay trên bờ biển hay ở trên một vệ tinh, đều có ảnh hưởng đến kết quả đo. Mandelbrot cũng đã nhận thấy sự biến thiên theo thang này không phải là tùy tiện mà nó tuân theo các quy luật nhất định. Tính biến thiên trong các số đo chuẩn của khối lượng hay chiều dài cũng có nghĩa là có tồn tại một loại đại lượng khác vẫn còn là cố định. Trong trường hợp các hình *fractal*, đó là số chiều *fractal* - nó là một hằng số mà người ta có thể tính được và sử dụng cho các tính toán tiếp theo. Chấp nhận sự biến thiên khối lượng theo thang có nghĩa là các nhà toán học đã có thể thừa nhận một sự đồng dạng ở các thang khác nhau.

Như vậy, bằng cách tẩn công vào những tính toán cực kỳ khó khăn, lý thuyết nhóm tái chuẩn hóa của Wilson đã mở ra một con đường mới tiến đến giải quyết các vấn đề vô cùng phức tạp. Cho tới lúc đó, cách duy nhất tiếp cận các vấn đề có tính phi tuyến cao là sử dụng một kỹ thuật gọi là lý thuyết nhiễu loạn. Để tiến hành tính toán, bạn giả thiết rằng bài toán phi tuyến rất gần với một bài toán tuyến tính, có thể giải được - với phần phi tuyến chỉ như một nhiễu loạn nhỏ. Trước hết, bạn giải bài toán tuyến tính, rồi sau đó bạn thực hiện những thủ pháp tính toán rất phức tạp trên phần còn lại bằng cách khai triển nó thành cái mà người ta gọi là các giản đồ Feynman. Càng muốn chính xác hơn, bạn càng cần phải tính đến nhiều giản đồ rắc rối hơn. Nếu may mắn, các tính toán của bạn sẽ hội tụ về một nghiệm. Nhưng oái oăm thay, sự may mắn lại thường lủi mất mỗi khi liên quan đến bài toán đặc biệt hấp dẫn. Feigenbaum, cũng như tất cả các nhà vật lý hạt trẻ tuổi khác trong những năm 1960, đã phải tính toán với rất nhiều những giản đồ như vậy. Ông vẫn giữ nguyên niềm xác tín rằng lý thuyết nhiễu loạn là một cái gì đó rất mệt mỏi, nghèo nàn và ngu ngốc. Vì vậy ông đã rất mê lý thuyết nhóm tái chuẩn hóa mới của Wilson. Bằng cách thừa nhận tính bất biến thang hay tính tự tương tự, lý thuyết này đã cung cấp một phương tiện để bóc dỡ sự phức tạp, lần lượt từng lớp một.

Thực tế, nhóm tái chuẩn hóa còn lâu mới là sáng rõ hoàn toàn. Nó đòi hỏi người thực hiện phải rất khéo léo lựa chọn các tính toán đúng mới nắm bắt được bất biến thang. Nhưng nó đủ hiệu quả và cũng thường xuyên đủ để gây cảm hứng cho một số nhà vật lý, trong đó có Feigenbaum, thử áp dụng nó cho sự chảy rối. Xét cho cùng thì bất biến thang hay sự tự

tương tự dường như đã là dấu hiệu của sự chảy rối, của các thăng giáng trên các thăng giáng, của các cuộn xoáy trên các cuộn xoáy. Nhưng điều gì xảy ra ở ngưỡng của chảy rối - cái thời điểm huyền bí khi mà một hệ trật tự trở thành hỗn độn? Không có bằng chứng gì cho thấy nhóm tái chuẩn hóa có thể giải thích được sự chuyển pha này. Cũng không có bằng chứng nào cho thấy, chẳng hạn, rằng sự chuyển pha này có tuân theo bất biến thang hay không.

KHI CÒN LÀ SINH VIÊN ở Viện Công nghệ Massachussets (M.I.T), Feigenbaum đã trải qua một kinh nghiệm mà nhiều năm sau ông vẫn không thể nào quên. Đó là một buổi đi dạo quanh hồ Lincoln ở Boston cùng các bạn. Ông có thói quen đi dạo bốn đến năm tiếng, sắp xếp lại mớ lộn xộn những cảm giác và các ý tưởng vụt qua trong đầu. Ngày hôm đó, ông thấy mình tách ra khỏi nhóm và đi bộ một mình. Ông đã đi qua chỗ mấy người đi picnic, và khi đã đi xa họ hơn, thỉnh thoảng ông vẫn ngoái nhìn lại, lắng nghe thấy tiếng họ nói và quan sát những cử chỉ của họ. Rồi bỗng nhiên, ông cảm nhận thấy rằng bức tranh này đã vượt qua một ngưỡng nào đó và đi vào vùng không sao hiểu được. Các nhân vật quá nhỏ bé, không còn nhận ra ai với ai nữa. Những cử động của họ trông rời rạc, tùy tiện, ngẫu nhiên. Những âm thanh nhọt nhọt vắng đến tai ông chẳng có ý nghĩa gì.

Chuyển động vĩnh cửu và sự náo động khó hiểu của cuộc sống. Feigenbaum thích nhắc lại những lời này của Gustav Mahler miêu tả một tình cảm mà ông đã cố gắng nắm bắt trong chương ba của bản giao hưởng số hai của mình. *Cũng giống như những cử động của các vũ công trong một phòng*

nhảy được chiếu rất sáng mà bạn đứng nhìn từ bên ngoài, trong đêm tối, và từ một khoảng cách đủ xa khiến tai bạn không còn nghe thấy tiếng nhạc nữa... Và cuộc sống dường như trở nên vô nghĩa đối với bạn. Feigenbaum đã từng nghe Mahler và đọc Goethe, đắm chìm trong cuộc sống đầy lãng mạn của họ. Dĩ nhiên, ông thích *Faust* của Goethe nhất, thấm nhuần sự kết hợp những tư tưởng mê say nhất về thế giới với những ý tưởng trí tuệ bậc nhất của nhà thơ. Chắc hẳn, nếu không có thiên hướng nhất định đối với chủ nghĩa lãng mạn, thì ông đã vứt bỏ cảm giác về sự mơ hồ mà ông cảm thấy bên hồ Lincoln. Xét cho cùng thì vì lý do gì mà các hiện tượng lại phải giữ nguyên ý nghĩa của chúng như khi người ta quan sát chúng mỗi lúc một xa? Các định luật vật lý cho ta một giải thích tầm thường về sự nhỏ đi của chúng. Nhưng nghĩ kỹ lại thì thấy mối liên hệ giữa sự nhỏ đi và sự mất ý nghĩa là không hề hiển nhiên. Vì lý do gì các vật lại trở nên không thể hiểu được khi chúng co nhỏ lại?

Ông đã rất nghiêm túc thử phân tích kinh nghiệm này bằng các công cụ của vật lý lý thuyết, tự vấn về các hệ quả của nó ở cấp độ các cơ chế tiếp nhận thông tin của não. Bạn quan sát một số giao dịch của con người và từ đó rút ra một vài kết luận. Lượng thông tin mà các giác quan của bạn thu nhận được là rất lớn, vậy làm thế nào mà bộ phận giải mã của bạn có thể sắp xếp được các thông tin này? Rõ ràng hay hầu như là rõ ràng não không thực hiện các sao chép nguyên xi thế giới bên ngoài. Nó không chứa một thư viện các hình dạng và các ý tưởng để so sánh với các hình ảnh mà ta tri giác được. Thông tin được lưu trữ một cách mềm dẻo cho phép sự xếp đặt liên kết tuyệt vời và các bước nhảy của trí tưởng tượng. Cũng một

số hỗn độn tồn tại ở đó, nhưng nào dường như là mềm dẻo hơn vật lý cổ điển trong việc phát hiện ra trật tự ở trong đó.

Cùng thời gian đó, Feigenbaum còn suy nghĩ về màu sắc. Một trong những cuộc chiến nhỏ của khoa học vào những năm đầu thế kỷ XIX là cuộc chiến về bản chất của màu sắc giữa Goethe ở Đức và các học trò của Newton ở Anh. Theo vật lý Newton, thì các ý tưởng của Goethe chỉ là mấy trò vớ vẩn ngụy khoa học. Goethe từ chối coi màu sắc là một đại lượng tĩnh, được xác định bằng một máy quang phổ, rồi được ghim như ghim một con bướm lên tờ bìa. Ông khẳng định rằng màu sắc là vấn đề của thị giác. “Bằng cách sử dụng các trọng lượng và các đối trọng nhẹ, Tự nhiên dao động bên trong các giới hạn đã được quy định trước”, ông viết, “và điều đó đã làm xuất hiện mọi biến thể và những điều kiện của các hiện tượng được trình hiện trước mắt ta trong không gian và thời gian.”

Hòn đá tảng của lý thuyết Newton là thí nghiệm nổi tiếng của ông về lăng kính. Lăng kính tách một chùm ánh sáng trắng thành một cầu vồng các màu sắc trải ra toàn bộ quang phổ nhìn thấy được. Newton cũng đã nhận thấy rằng các màu ở trạng thái thuần khiết này là các thành phần cơ bản, mà nếu trộn lẫn chúng với nhau ta sẽ thu được ánh sáng trắng. Hơn nữa, ông đã cực kỳ sáng suốt vượt trước thời đại khi đưa ra giả thiết rằng các màu này tương ứng với các tần số. Ông đã tưởng tượng rằng các hạt dao động phải sinh ra các màu tỉ lệ với vận tốc dao động. Nếu như biết rằng quan niệm này có rất ít bằng chứng hỗ trợ, thì nó thật vừa khó biện minh lại vừa rất xuất sắc. Vậy màu *đỏ* là gì? Đối với một nhà vật lý, đó là ánh sáng bức xạ có bước sóng từ 620 đến 800 phần tỷ mét. Nếu như quang học của Newton được khẳng định rất nhiều lần, thì luận về màu

sắc của Goethe lại chìm trong một bóng tối đầy bao dung. Khi Feigenbaum cố công tìm lại cuốn sách đỏ, ông đã phát hiện ra rằng bản duy nhất của thư viện Harvard đã biến mất.

Cuối cùng, Feigenbaum cũng đã tìm được một cuốn. Ông phát hiện thấy rằng khi nghiên cứu về màu sắc, trên thực tế Goethe đã thực hiện một loạt các thí nghiệm đặc biệt. Cũng giống như Newton, Goethe bắt đầu với một lăng kính. Newton đặt lăng kính này trước nguồn sáng và thu chùm sáng bị phân tách lên một bề mặt màu trắng. Còn Goethe đặt lăng kính trước mắt và nhìn qua nó. Ông hoàn toàn không cảm nhận được màu gì, không nhìn thấy cầu vồng, cũng chẳng nhìn thấy một màu sắc riêng rẽ nào. Khi nhìn một bề mặt hoàn toàn trắng hoặc một bầu trời hoàn toàn xanh lam qua lăng kính, người ta chỉ thấy cùng một hiệu ứng: đó là tính đồng nhất.

Nhưng nếu một vết nhỏ xen vào bề mặt, hoặc nếu một đám mây xuất hiện trên bầu trời, thì ông quan sát thấy sự xuất hiện đột ngột của màu sắc. Ông kết luận: chính “sự trao đổi lẫn nhau giữa ánh sáng và bóng tối” đã sinh ra màu sắc. Ông đã tiếp tục các nghiên cứu của mình bằng cách phân tích cách mà con người tri giác các bóng được chiếu bởi các nguồn ánh sáng màu khác nhau. Trong một phạm vi rộng lớn các thí nghiệm tỉ mỉ của mình, ông đã sử dụng nến và bút chì, gương và kính tô màu, ánh sáng Mặt Trăng và ánh sáng Mặt Trời, các tinh thể, các chất lỏng và các đĩa màu. Ví dụ, vào lúc hoàng hôn ông thấp một cây nến đặt trước một tờ giấy trắng, giữa tờ giấy và cây nến ông đặt một cây bút chì. Trong ánh sáng của cây nến, bóng có màu lam sáng. Tại sao? Giấy trắng đúng một mình được nhìn thấy có màu trắng, dù là trong ánh sáng đang tàn của hoàng hôn hay có thêm ánh sáng của nến. Vậy bằng

cách nào mà bóng lại có thể chia màu trắng thành một vùng màu xanh lam và một vùng khác màu vàng đỏ nhạt? Goethe khẳng định, màu là “một cấp độ tối liên minh với bóng”. Trên hết, nói theo ngôn ngữ hiện đại hơn, thì màu bắt nguồn từ các điều kiện biên và các điểm kỳ dị.

Trong khi Newton là một nhà quy giản luận, thì Goethe lại là một nhà tổng thể luận. Newton phân tách ánh sáng và đưa ra những giải thích vật lý cơ bản nhất về màu sắc. Còn Goethe thì dạo quanh các vườn hoa và nghiên cứu hội họa, nhằm tìm ra một sự giải thích tổng quát và bao quát hơn. Newton đã làm cho lý thuyết về màu sắc của ông phù hợp với khuôn khổ toán học dùng cho toàn bộ vật lý học. Còn Goethe, may thay (hay là không may), lại ghét cay ghét đắng toán học.

Feigenbaum tin rằng Goethe có lý. Các ý tưởng của Goethe gợi nhớ đến một ý tưởng khác, hời hợt hơn và phổ biến ở các nhà tâm lý học, thiết lập sự phân biệt giữa thực tại vật lý và tri giác chủ quan hay thay đổi của con người về cái hiện thực ấy. Các màu mà chúng ta nhìn thấy thay đổi tùy theo thời điểm và từng người - đó là một điều hiển nhiên. Nhưng khi Feigenbaum hiểu được chúng, thì các ý tưởng của Goethe thực sự là có tính khoa học nhiều hơn. Những ý tưởng này là rất khó và mang tính kinh nghiệm. Goethe đã nhiều lần nhấn mạnh đến khả năng lặp lại các thí nghiệm của ông. theo ông, thì sự tri giác về các màu sắc là phổ quát và khách quan. Nhưng đâu là bằng chứng khoa học cho phép khẳng định phẩm chất không thể phủ định được của màu đỏ của thế giới thực là độc lập với tri giác của chúng ta?

Feigenbaum đã nhiều lần tự hỏi hình thức luận toán học nào có thể tương ứng với tri giác con người, đặc biệt là tri giác

biết sàng lọc những mớ hỗn độn của kinh nghiệm để chọn ra những tính chất phổ quát. Màu đỏ không nhất thiết phải là một dải ánh sáng cụ thể như những người theo trường phái Newton vẫn thường nói. Đó là một vùng trong một thế giới hỗn độn, mà các đường biên của vùng đó không dễ mô tả như thế. Tuy nhiên, não của con người nhận ra màu đỏ với một sự nhất quán chặt chẽ và kiểm chứng được. Đó là những ý tưởng của nhà vật lý trẻ, những ý tưởng mà thoát nhìn tưởng như chẳng có liên quan gì đến sự chảy rối của chất lưu cả. Tuy nhiên, để hiểu được đầu óc con người làm thế nào có thể sàng lọc, sắp xếp qua sự hỗn độn của tri giác, chắc chắn phải hiểu được hỗn độn có thể sinh ra tính phổ quát như thế nào.

KHI FEIGENBAUM BẮT ĐẦU SUY NGHĨ về tính phi tuyến, tại Los Alamos, ông đã nhận ra rằng nền giáo dục đã chẳng dạy ông điều gì hữu ích cả. Giải một hệ các phương trình vi phân phi tuyến là không thể, mặc dù có thể tìm thấy nhiều ví dụ cụ thể trong các sách giáo khoa. Áp dụng phương pháp nhiễu loạn, với những bổ chính liên tiếp cho một bài toán giải được mà người ta hy vọng rất gần với bài toán thực, có vẻ như là một việc làm vô nghĩa. Sau khi đọc rất nhiều tài liệu về các dòng chảy và dao động phi tuyến, ông quả quyết rằng chúng không chứa, hoặc gần như không chứa đựng gì có thể giúp cho một nhà vật lý đích thực. Với phương tiện tính toán chỉ có tờ giấy và cây bút chì, ông đã quyết định bắt đầu bằng một phương trình tương tự với phương trình đơn giản mà Robert May đã nghiên cứu trong bối cảnh các quần thể sinh học.

Thực ra đây là phương trình mà các học sinh trung học vẫn dùng trong hình học để vẽ một đường parabol. Nó có thể được

viết như sau: $y = r(x - x^2)$. Mỗi một giá trị của x cho một giá trị của y , và đồ thị của nó biểu diễn mối quan hệ giữa x và y trong một miền giá trị của x . Nếu x (số cá thể của quần thể ở năm nay) nhỏ, thì y (số cá thể của quần thể ở năm sau) cũng nhỏ, nhưng vẫn lớn hơn x ; đồ thị đi lên. Nếu x có giá trị ở khoảng giữa, thì y lớn. Sau đó parabol đạt đến cực đại rồi đi xuống: nếu x lớn, y sẽ trở nên nhỏ. Trong các mô hình sinh thái học, kết quả này ứng với sự suy sụp của các quần thể, nó ngăn không cho số lượng của quần thể này gia tăng vô độ và phi thực tế.

Cũng giống như May trước đó, Feigenbaum đã có ý tưởng thực hiện tính toán này, không phải chỉ một lần duy nhất, mà lặp lại nó mãi mãi, như một vòng hồi tiếp: kết quả của tính toán trước được dùng làm dữ liệu cho tính toán sau. Parabol giúp ta thấy rõ điều này xảy ra như thế nào. Hãy lấy một giá trị ban đầu trên trục x . Dựng tại đó đường thẳng vuông góc cho tới khi gặp parabol, đọc giá trị tương ứng trên trục y . Rồi lại bắt đầu với giá trị mới này. Cụ thể là đặt lại kết quả này lên trục x rồi thực hiện lại các bước đã làm ở trên. Thoạt đầu, chuỗi các điểm nhảy qua nhảy lại trên parabol, rồi, sau đó, có thể tiến đến một điểm cân bằng bền, tại đó x và y bằng nhau và giá trị của chúng không còn biến thiên nữa.

Về tinh thần mà nói thì không có gì lệch quá xa các tính toán phức tạp của vật lý chuẩn mực. Thay vì một sơ đồ nhằng nhịt như mê cung để giải một lần, thì ở đây là tính toán đơn giản nhưng được lặp đi lặp lại nhiều lần. Các nhà thực nghiệm số *quan sát* cũng chẳng khác gì một nhà hóa học quan sát một phản ứng sôi sục trong ống nghiệm. Nhưng ở đây, kết quả chỉ là một chuỗi các con số, không phải lúc nào cũng hội tụ đến

một trạng thái dừng. Nó có thể kết thúc bằng sự dao động giữa hai giá trị, hoặc, như May đã giải thích cho các nhà sinh thái học về các quần thể, nó biến thiên một cách hỗn độn chừng nào mà người ta còn muốn quan sát nó. Sự lựa chọn giữa các hành trạng khả dĩ khác nhau này phụ thuộc vào giá trị của tham số điều khiển r .

Song song với việc tiến hành nghiên cứu bằng số có hơi hướng thực nghiệm này, Feigenbaum cũng đã thử các phương pháp lý thuyết truyền thống hơn để phân tích các hàm phi tuyến. Thậm chí như vậy, ông cũng không nhìn thấy được toàn bộ bức tranh mà phương trình này vẽ nên, nhưng ông lại nhìn thấy rằng các khả năng ở đây là phức tạp đến mức ông rất khó có thể phân tích nổi. Ông biết rằng ba nhà toán học ở Los Alamos là Nicholas Metropolis, Paul Stein và Myron Stein cũng đã nghiên cứu những “ánh xạ” như thế vào năm 1971 và giờ đây Paul Stein đã cảnh báo với ông rằng sự phức tạp ở đây quả thực là đáng sợ. Nếu như cái phương trình đơn giản nhất này còn không thể chế ngự được, thì đối với các phương trình còn phức tạp hơn nhiều mà các nhà khoa học viết cho các hệ *thực* sẽ ra sao đây? Feigenbaum đành để treo vấn đề ở đó.

Trong lịch sử ngắn ngủi của hỗn độn, phương trình bề ngoài đơn giản này lại là một ví dụ điển hình nhất về cách mà các nhà khoa học thuộc các lĩnh vực khác nhau nhìn nhận cùng một vấn đề. Đối với các nhà sinh học, phương trình này chứa một thông điệp: các hệ đơn giản có thể sinh ra các hiện tượng rất phức tạp. Đối với Metropolis, Paul Stein và Myron Stein, vấn đề là lập danh mục tập hợp các hình mẫu topo mà không cần viện đến các giá trị số nào. Họ bắt đầu quá trình hồi tiếp

tại một điểm cụ thể nào đó, rồi quan sát các giá trị liên tiếp nhảy từ một vị trí này sang một vị trí khác trên parabol. Họ đã viết chuỗi các chữ *R* và *L* tùy theo các điểm này di chuyển sang phải (*Right*) hay sang trái (*Left*). Hình mẫu số một: *R*. Hình mẫu số hai: *RLR*. Hình mẫu số 193: *RLLLLLRRLL*. Đối với một nhà toán học, các chuỗi chữ cái này có các tính chất thú vị: chúng dường như luôn lặp lại theo cùng một trật tự đặc biệt. Nhưng đối với một nhà vật lý, thì chúng nhìn thật tối tăm và tẻ nhạt.

Ngày đó không một ai nhận ra, nhưng thực tế Lorenz đã xem xét chính phương trình này từ năm 1964. Thực ra, phương trình này được coi như một ẩn dụ đối với một câu hỏi rất sâu sắc về thời tiết, nó sâu sắc tới mức gần như trước đó không một ai nghĩ đến việc đặt ra nó: *Khí hậu liệu có tồn tại?* Nghĩa là thời tiết trên Trái Đất có một hành trạng trung bình dài hạn hay không? Phần lớn các nhà khí tượng học, hồi đó cũng như bây giờ, đều coi chuyện đó là tất nhiên. Hiển nhiên là mọi đại lượng đo được, dù có thăng giáng thế nào chăng nữa, cũng đều có một giá trị trung bình. Nhưng ngẫm nghĩ kỹ, thì điều đó còn lâu mới hiển nhiên. Như Lorenz đã nhấn mạnh, thời tiết trung bình của 12000 năm trở lại đây khác biệt rất nhiều so với thời tiết trung bình của 12000 năm trước đó, khi phần lớn diện tích của Bắc Mỹ bị băng tuyết bao phủ. Liệu một khí hậu có thể biến thành một khí hậu khác vì một số lý do vật lý hay không? Hay liệu có tồn tại một khí hậu thậm chí dài hạn trên một thang còn lớn hơn nữa, mà đối với nó các thời kỳ này chỉ là những thăng giáng? Hay liệu có thể có một hệ giống như thời tiết *không bao giờ* có thể hội tụ về một hành trạng trung bình hay không?

Lorenz còn đặt ra câu hỏi thứ hai. Hãy giả định rằng bạn có thể thực sự viết ra được hệ phương trình đầy đủ chi phối thời tiết. Nói cách khác, giả định rằng bạn đã có trong tay bản mã riêng của Chúa. Khi đó liệu bạn có thể sử dụng các phương trình này để tính các giá trị trung bình thống kê của nhiệt độ hoặc của lượng mưa không? Nếu các phương trình này là tuyến tính, thì câu trả lời rất đơn giản là có. Nhưng khốn nỗi chúng lại là các phương trình phi tuyến. Và bởi vì Chúa không cho sẵn các phương trình như thế, nên Lorenz đành bằng lòng nghiên cứu các phương trình sai phân bậc hai.

Cũng giống như May, lúc đầu Lorenz xem xét điều gì sẽ xảy ra khi lập phương trình này cho các giá trị khác nhau của tham số. Đối với các tham số nhỏ, hệ đạt đến một điểm bất động ổn định: khi này ta có một “khí hậu” theo nghĩa nhạt nhẽo nhất có thể của từ này - đó là một “thời tiết” không bao giờ thay đổi. Với các giá trị cao hơn, Lorenz quan sát thấy khả năng dao động giữa hai điểm, và ở đây một lần nữa, hệ hội tụ về một giá trị trung bình đơn giản. Nhưng vượt ra ngoài một giá trị nào đó của tham số, ông thấy hỗn độn xuất hiện. Vì ông suy nghĩ về khí hậu, nên ông đặt câu hỏi không chỉ về chuyện sự hội tiếp liên tục này có còn sinh ra một hành trạng tuần hoàn nữa hay không, mà còn đặt câu hỏi về kết cục trung bình của nó. Và ông đã nhận ra rằng bản thân kết cục trung bình này cũng thăng giáng, không ổn định. Ngay cả khi ông chỉ tăng giảm nhẹ tham số thôi thì kết cục trung bình này cũng thay đổi rất mạnh. Bằng phương pháp tương tự, từ đó ông đã suy ra rằng khí hậu của Trái Đất không bao giờ an bài một cách chắc chắn ở một trạng thái cân bằng có hành trạng trung bình dài hạn.

Với tư cách là một bài báo toán học, thì công trình của Lorenz về khí hậu là một thất bại - nó chẳng chứng minh gì hết theo kiểu tiên đề. Còn với tư cách là một bài báo vật lý, thì công trình này cũng phạm một lỗi nghiêm trọng: nó không hề biện minh bằng cách nào mà việc sử dụng một phương trình đơn giản như thế lại cho phép đưa ra các kết luận về khí hậu Trái Đất. Tuy nhiên, Lorenz biết mình nói gì. “Tác giả có cảm giác rằng sự giống nhau này không phải đơn giản là chuyện tình cờ, mà rằng phương trình sai phân này đã thu tóm được những điểm căn bản của phương diện toán học, nếu không muốn nói của cả vật lý, của các sự chuyển tiếp từ chế độ chảy này sang chế độ chảy khác, và, thực sự là của tổng thể hiện tượng bất ổn định này.” Thậm chí 20 năm sau cũng chưa ai hiểu được dựa trên cái trực giác nào mà Lorenz có thể đưa ra một khẳng định táo bạo đến thế đăng trên tờ *Tellus*, một tạp chí của Thụy Điển về khí tượng học. (“*Tellus* ư! Ai mà đọc tạp chí đó? - một nhà vật lý chắc chắn sẽ thốt lên chua chát như thế). Lorenz đã hiểu ngày càng sâu sắc các khả năng đặc biệt của các hệ hỗn độn - sâu sắc hơn cả những gì ông có thể thể hiện bằng ngôn ngữ của khí tượng học.

Khi tiếp tục khám phá những chiếc mặt nạ luôn thay đổi của các hệ động lực, Lorenz đã nhận ra rằng các hệ phức tạp hơn các ánh xạ bậc hai một chút có thể tạo ra những loại hình mẫu thật bất ngờ. Ẩn giấu bên trong một hệ đặc biệt có thể chứa hơn một nghiệm ổn định. Một người quan sát có thể nhìn thấy một loại hành trạng bộc lộ trong một khoảng thời gian rất dài, trong khi đó một hành trạng khác, hoàn toàn khác cũng vẫn có thể là hoàn toàn tự nhiên đối với hệ. Một hệ như thế được gọi là hệ *phi truyền ứng*. Nó có thể nằm ở trạng thái cân bằng

này hay khác, nhưng không bao giờ ở cả hai trạng thái đó cùng một lúc. Chỉ một nhiễu loạn nhỏ bên ngoài cũng có thể làm nó thay đổi trạng thái. Một ví dụ thông thường nhất về hệ phi truyền ứng chính là cái đồng hồ quả lắc: một mặt, bằng cơ cấu cái hồi, đồng hồ nhận một dòng năng lượng liên tục do dây cót hoặc pin cung cấp, và mặt khác, cũng có một dòng năng lượng bị mất đi do ma sát. Trạng thái cân bằng hiển nhiên là chuyển động đung đưa đều đặn của quả lắc. Tất nhiên quả lắc có thể lắc nhanh hơn hoặc chậm đi do tác dụng của một va chạm, như đập mạnh vào nó, chẳng hạn, nhưng quả lắc sẽ nhanh chóng lấy lại trạng thái cân bằng của nó. Đồng hồ này cũng còn có một trạng thái cân bằng thứ hai, một nghiệm thứ hai của phương trình chuyển động của nó: đó là trạng thái trong đó quả lắc đứng yên theo phương thẳng đứng. Một ví dụ khác về hệ phi truyền ứng, ít tầm thường hơn ví dụ trên, đó có thể là chính bản thân khí hậu, với nhiều vùng có hành trạng hoàn toàn khác nhau.

Các nhà khí hậu học sử dụng các mô hình toàn cầu để mô phỏng trên máy tính hành trạng lâu dài của khí quyển và các đại dương trên Trái Đất đã biết từ trước rằng các mô hình của họ cho phép tồn tại ít nhất là một trạng thái cân bằng rất khác. Nếu như trong suốt lịch sử địa chất học của Trái Đất, khí hậu khác này chưa bao giờ tồn tại, thì dù sao nó vẫn là một nghiệm hoàn toàn chấp nhận được của hệ các phương trình chi phối hành tinh chúng ta. Nó tương ứng với cái mà một số nhà khí hậu học gọi là khí hậu của “Trái Đất trắng”, tức là một Trái Đất mà các lục địa bị tuyết và các đại dương bị băng bao phủ. Một Trái Đất băng giá như thế phản xạ bảy mươi phần trăm bức xạ mặt trời chiếu tới và do đó vẫn còn cực kỳ lạnh lẽo. Lớp thấp nhất trong khí quyển của nó, gọi là

tăng đối lưu, mỏng hơn nhiều so với hiện nay. Các trận bão hoành hành trên bề mặt băng giá này cũng ít dữ dội hơn các trận bão ngày nay. Nhìn chung, khí hậu này là khắc nghiệt hơn đối với sự sống chúng ta biết. Các mô hình tin học có xu hướng khá mạnh dẫn đến một Trái Đất trắng như thế khiến các nhà hậu học phải đặt ra câu hỏi: vì lý do gì mà khí hậu ấy đã chưa bao giờ được hình thành? Cũng rất có thể đây đơn thuần chỉ là do ngẫu nhiên mà thôi.

Để đẩy khí hậu Trái Đất vào trạng thái băng giá, thì đòi hỏi phải có một tác động rất lớn có nguồn gốc từ bên ngoài. Nhưng Lorenz cũng đã phát hiện ra một hành trạng khả dĩ khác được gọi là “*chuẩn phi truyền ứng*”. Một hệ chuẩn phi truyền ứng bộc lộ một loại hành trạng trung bình trong một khoảng thời gian rất dài, nó thăng giáng bên trong những giới hạn nào đó. Rồi sau đó, chẳng vì lý do gì, nó chuyển sang một hành trạng khác, vẫn còn thăng giáng, nhưng xung quanh một hành trạng trung bình khác. Nếu những người xây dựng các mô hình tin học này biết đến phát hiện của Lorenz, thì chắc là họ sẽ bằng mọi giá tìm cách tránh tính phi truyền ứng này. Nó quả cực khó dự báo. Họ có một thiên hướng tự nhiên là xây dựng các mô hình định hướng mạnh mẽ đến trạng cân bằng mà chúng ta đo đạc hàng ngày trên hành tinh thật. Sau đó, để giải thích các thay đổi lớn về thời tiết, họ đi tìm các nguyên nhân từ bên ngoài - như những thay đổi trong quỹ đạo của Trái Đất, chẳng hạn. Tuy nhiên, một nhà khí tượng học không cần nhiều óc tưởng tượng lắm cũng thấy được rằng tính chuẩn phi truyền ứng có thể giải thích được lý do tại sao khí hậu của Trái Đất đã trải qua những thời kỳ băng giá kéo dài trong các khoảng thời gian đầy huyền bí và chẳng có một

quy luật nào. Như vậy, có lẽ sẽ không còn cần phải tìm kiếm những nguyên nhân vật lý cho nhịp thời tiết này nữa. Các thời kỳ băng giá ấy có thể chỉ là một sản phẩm phụ của hỗn độn.

NHƯ MỘT NHÀ SƯU TẬP SÚNG NGẮN ở thời vũ khí hiện đại tự động thêm khát nhớ về khẩu Colt 45 cổ lỗ, nhà khoa học hiện đại vẫn đôi khi hoài niệm về chiếc máy tính bỏ túi HP-65. Trong những năm còn thịnh hành, chiếc máy tính bỏ túi này đã làm thay đổi vĩnh viễn thói quen làm việc của nhiều nhà khoa học. Chính nó đã giúp Feigenbaum chuyển từ tính toán bằng tay sang các phương pháp nghiên cứu trên máy tính mà trước đó chưa hề có.

Feigenbaum không biết gì về Lorenz, nhưng vào mùa hè năm 1975, trong một hội thảo ở Aspen, bang Colorado, ông đã nghe Steve Smale nói về một số tính chất toán học của chính phương trình sai phân bậc hai mà ông đang nghiên cứu. Có vẻ như Smale nghĩ rằng nó chứa một số câu hỏi thú vị còn để mở về điểm chính xác mà ở đó ánh xạ thay đổi từ tính tuần hoàn sang hỗn độn. Như thường lệ, Smale có một bản năng nhạy bén đối với các vấn đề đáng để khảo cứu. Và Feigenbaum đã quyết định xem xét lại nó một lần nữa. Nhờ chiếc máy tính bỏ túi, ông đã bắt đầu kết hợp đại số giải tích với khảo sát bằng số để hiểu được ánh xạ bậc hai này, bằng cách tập trung vào vùng nằm ranh giới giữa trật tự và hỗn độn.

Một cách ẩn dụ - nhưng *chỉ* là ẩn dụ thôi - Feigenbaum biết rằng vùng này rất giống với đường biên bí ẩn giữa dòng chảy đều với dòng chảy rối của một chất lưu. Đây chính là vùng mà Robert May đã kêu gọi sự chú ý của các nhà sinh học nghiên

cứu về các quần thể, những người trước đó đã không nhận ra khả năng tồn tại của các chu kỳ nào khác trừ các chu kỳ trật tự trong các quần thể động vật có số lượng thay đổi. Trên con đường tiến đến hỗn độn trong vùng này là các đợt phân đôi chu kỳ: sự tách các chu kỳ hai thành chu kỳ bốn, chu kỳ bốn thành chu kỳ tám, và cứ tiếp diễn như vậy. Những tách đôi này tạo ra một hình ảnh đầy mê hoặc. Có những điểm mà ở đó một biến thiên nhỏ, chẳng hạn, của *khả năng sinh sản*, cũng có thể dẫn một quần thể bướm ngài thay đổi từ chu kỳ bốn năm thành chu kỳ tám năm. Feigenbaum đã quyết định bắt đầu bằng việc tính các giá trị chính xác của tham số gây ra các phân đôi này.

Rất cục, chính sự chậm chạp của chiếc máy tính bỏ túi, vào tháng tám năm ấy, đã đưa ông đến một phát minh. Cũng phải mất một khoảng thời gian - trên thực tế là vài phút - để tính toán mỗi một giá trị. Càng đi xuống phía cuối của chuỗi, thì các tính toán càng chậm. Với một máy tính nhanh và một máy in, có lẽ, Feigenbaum đã không quan sát được bất kỳ mô típ hay hình mẫu nào. Nhưng ông phải viết ra các số này bằng tay, rồi lại ngẫm nghĩ về chúng trong khi chờ đợi, và, để tiết kiệm thời gian, ông còn phỏng đoán đáp số tiếp theo sẽ nằm ở đâu.

Bỗng nhiên, ông chợt hiểu ra rằng ông không cần phải đoán nữa. Hệ này ẩn giấu một quy luật thật bất ngờ: các số này hội tụ theo cấp số nhân, giống như dãy các cột điện thoại chạy hút về phía chân trời trong một bức tranh vẽ theo phối cảnh. Nếu bạn biết khoảng cách giữa hai cột bất kỳ trong số các cột này, bạn sẽ biết tất cả: mối quan hệ giữa cột thứ hai và cột thứ nhất cũng sẽ là mối quan hệ giữa cột thứ ba với cột thứ hai, v.v. Các phân đôi chu kỳ không chỉ ngày càng nhanh, mà còn ngày càng nhanh với một tốc độ không đổi.

Tại sao lại như thế? Bình thường, sự hiện diện của hội tụ theo cấp số nhân cho phép người ta giả định rằng một cái gì đó, một phần nào đó, tự lặp lại ở các thang khác nhau. Nhưng chưa có ai nhận thấy rằng phương trình này chứa một môtip bất biến thang. Feigenbaum đã tính toán tốc độ hội tụ với độ chính xác nhất mà chiếc máy tính bỏ túi của ông cho phép - cụ thể là tới ba chữ số thập phân - và đã tìm ra con số 4,669. Con số này liệu có một ý nghĩa đặc biệt nào không? Feigenbaum đã làm điều mà tất cả những người yêu các con số sẽ làm. Ông đã dành phần còn lại của ngày để cố gắng tìm mối liên hệ của nó với tất cả các hằng số chuẩn như số π , e , v.v... Nhưng ông đã không tìm được một phương án nào.

Thật lạ là, sau này, chính Robert May đã thú nhận rằng bản thân ông cũng đã quan sát thấy sự hội tụ theo cấp số nhân này. Nhưng rồi ông đã quên nó cũng nhanh như ông đã từng nhận ra nó. Theo quan điểm của ông về sinh thái học, thì đó chẳng qua chỉ là một đặc điểm số học, chứ không là gì khác. Các hệ thực mà ông xem xét, như các quần thể động vật, hay thậm chí các mô hình kinh tế, đều không tránh khỏi có chứa các nhiễu tạp, nó che lấp bất cứ một chi tiết chính xác nào. Chính sự mất trật tự đã đưa ông đi quá xa nên đã không dừng ông lại ở điểm then chốt. May chỉ quan tâm đến hành trạng thô của phương trình. Ông chưa bao giờ hình dung rằng các chi tiết bằng số lại có thể hé lộ những điều quan trọng cả.

Còn Feigenbaum lại ý thức được những cái mà ông tìm thấy: sự hội tụ theo cấp số nhân có nghĩa rằng một cái gì đó trong phương trình này là *bất biến thang*, và ông biết sự bất biến thang này là một đặc tính quan trọng. Mọi lý thuyết tái chuẩn hóa đều phụ thuộc vào nó. Trong một hệ bề ngoài không có

trật tự, bất biến thang có nghĩa là tồn tại một tính chất nào đó được bảo toàn trong khi mọi thứ còn lại đều thay đổi. Một tính quy luật nào đó ẩn giấu dưới bề mặt rối loạn của phương trình. Nhưng mà giấu ở đâu? Rất khó nhìn thấy được điều gì sẽ cần phải làm tiếp sau.

Mùa hè nhanh chóng nhường chỗ cho mùa thu trong bầu không khí luẩn loãng của Los Alamos. Lúc gần hết tháng mười cũng là lúc Feigenbaum nảy ra một ý nghĩ kỳ quặc. Ông biết rằng Metropolis, Paul Stein và Myron Stein cũng đã nghiên cứu các phương trình khác, và họ đã phát hiện ra một số mô típ lặp lại trong các phương trình khác nhau. Họ cũng bắt gặp những tổ hợp giống nhau của các chữ cái R và L , và theo cùng một trật tự. Một trong những hàm này liên quan với hàm sin của một số, sự thay đổi này làm cho cách tiếp cận đã từng được Feigenbaum tiến hành rất cẩn thận đối với phương trình parabol trở nên không còn dùng được nữa. Ông phải bắt đầu lại từ đầu. Ông lấy chiếc HP-65 ra và bắt đầu tính các nhân đôi chu kỳ cho phương trình $x_{t+1} = r \sin \pi x_t$. Tính toán với một hàm lượng giác làm cho quá trình này trở nên chậm chạp hơn nhiều, khiến cho Feigenbaum đã băn khoăn tự hỏi, là liệu có thể sử dụng một cách làm tắt như ông đã từng làm với một phiên bản giản lược hóa của phương trình này hay không. Và trên thực tế, khi quan sát các con số hiển thị, ông đã nhận ra một cách khá chắc chắn rằng lại có một sự hội tụ theo kiểu cấp số nhân. Việc tính tốc độ hội tụ đối với phương trình mới này không có gì là khó khăn. Lại một lần nữa, mặc dù độ chính xác của ông khá hạn chế, nhưng ông cũng đã thu được một kết quả với ba chữ số thập phân: 4,669.

Lại vẫn là con số đó. Thật không thể tưởng tượng nổi, hàm lượng giác này không hề bộc lộ một sự đều đặn kiểu cấp số nhân nhất quán nào, thế mà nó lại cho hiển thị một tính quy luật mà về mặt con số là *đồng nhất* với tính quy luật của một phương trình đơn giản hơn rất nhiều. Không có bất kỳ lý thuyết toán học hay vật lý nào hiện có giải thích được tại sao hai phương trình khác nhau đến thế, cả về nội dung và hình thức, lại dẫn đến cùng một kết quả.

Feigenbaum đã gọi điện cho Paul Stein. Stein chưa sẵn sàng để tin vào sự trùng hợp này khi mà bằng chứng còn khá nghèo nàn như thế. Vì xét cho cùng thì độ chính xác ở đây còn khá thấp. Feigenbaum cũng đã gọi điện cho cha mẹ ông sống ở bang New Jersey để thông báo rằng ông đã phát hiện ra một điều gì đó khá sâu sắc, và nói với mẹ ông rằng phát hiện đó sẽ làm cho ông nổi tiếng. Sau đó ông đã liên tiếp thử với các hàm khác, bất kỳ hàm nào xuất hiện trong đầu ông mà có đi qua một chuỗi các phân nhánh trước khi dẫn tới hỗn loạn. Và tất cả các hàm này đều cho ra cùng con số đó.

Feigenbaum đã chơi với các con số trong suốt cuộc đời mình. Hồi còn ở tuổi *teen*, ông đã biết tính giá trị của hàm logarit và hàm sin mà hầu hết mọi người đều phải tra bảng. Nhưng ông chưa bao giờ học cách sử dụng máy tính nào lớn hơn chiếc máy tính bỏ túi của ông - và vì điều đó, ông là đại diện cho các nhà vật lý và toán học có xu hướng coi thường tư duy cơ học của máy tính. Nhưng bây giờ thì đã đến lúc phải học. Ông nhờ một đồng nghiệp dạy cho ông cách viết chương trình bằng ngôn ngữ Fortran, và đến cuối ngày ông đã tính được tốc độ hội tụ với tận năm con số thập phân cho các hàm khác nhau: 4,66920. Đêm đó, ông đọc về cách tăng gấp đôi độ

chính xác trong một cuốn sách hướng dẫn, và ngày hôm sau, ông đã nhận được con số 4,6692016090 - một độ chính xác đủ để thuyết phục Stein. Nhưng chính Feigenbaum cũng không chắc rằng bản thân mình đã bị thuyết phục. Feigenbaum đã bắt đầu lên đường săn tìm quy luật - hiểu theo nghĩa toán học -, nhưng ông cũng bắt đầu *biết* rằng một số loại phương trình, cũng giống như một số hệ vật lý, xử sự theo những cách rất đặc biệt và đặc trưng. Xét cho cùng thì các phương trình này thường đơn giản. Feigenbaum đã quá hiểu các hàm parabol, sin - trên góc độ toán học, chúng đều là tầm thường. Tuy nhiên, ở cốt lõi của các phương trình cực kỳ khác nhau này, một cái gì đó lặp đi lặp lại liên tục để cho ra một con số duy nhất. Và ông đã buộc phải đi đến kết luận: điều đó có thể chỉ đơn giản là một thứ của lạ; mà cũng có thể là một quy luật mới của tự nhiên.

Hãy thử hình dung một nhà động vật học thời tiền sử cho rằng có những thứ nặng hơn những thứ khác - tất cả các thứ này đều có một tính chất trừu tượng mà anh ta gọi là *trọng lượng* - và muốn khám phá về mặt khoa học ý tưởng này. Anh ta chưa bao giờ thực sự đo trọng lượng cả, nhưng anh ta tin là mình đã có một hiểu biết nhất định về nó. Anh ta quan sát những con rắn to và các con rắn nhỏ, những con gấu to và những con gấu nhỏ, và phỏng đoán rằng trọng lượng của các con vật này có một mối quan hệ nào đó với kích thước của chúng. Anh ta chế tạo một cái cân và bắt đầu cân các con rắn. Thật vô cùng ngạc nhiên, tất cả các con rắn đều có cùng một trọng lượng. Và đến lượt các con gấu cũng hết sức bất ngờ, tất cả chúng đều có cân nặng như các con rắn. Tất cả đều nặng 4,6692016090. Tất nhiên, cái mà anh ta đã giả thiết ở

trên không phải là *trọng lượng*. Cần phải tư duy lại hoàn toàn khái niệm này.

Thác nước, con lắc, các mạch dao động điện - rất nhiều hệ vật lý đều trải qua sự chuyển pha trong quá trình tiến đến hỗn độn, các chuyển pha này quá ư phức tạp khiến cho người ta chưa thể phân tích được. Thật trớ trêu, tất cả đều là những hệ mà động lực học của chúng dường như đã được hiểu một cách thấu đáo. Các nhà vật lý đều biết rõ tất cả các phương trình này, nhưng sự chuyển từ các phương trình này tới sự hiểu biết hành trạng tổng thể và dài hạn thì dường như lại là không thể. Thật không may, các phương trình của chất lưu, hay thậm chí đơn giản như phương trình của con lắc, cũng đã là một thách thức lớn hơn rất nhiều so với các ánh xạ *logistic* một chiều. Nhưng phát hiện của Feigenbaum ngụ ý rằng các phương trình không phải là quan trọng. Chúng không có liên quan nhiều. Khi trật tự xuất hiện, nó đột ngột quên ngay phương trình gốc là như thế nào. Dù là phương trình bậc hai hay phương trình lượng giác, thì kết quả vẫn thế. “Toàn bộ truyền thống của vật lý đều nói lên rằng một khi bạn đã tách riêng các cơ cấu ra, thì toàn bộ phần còn lại cũng gần như không bị ảnh hưởng”, Feigenbaum nói. “Nhưng điều này sẽ sụp đổ hoàn toàn. Ví như ở đây, bạn biết các phương trình đúng, nhưng chúng chẳng giúp gì cho bạn cả. Bạn cộng vào tất cả các yếu tố vi mô và bạn phát hiện ra rằng bạn không thể theo dõi được diễn biến của chúng về lâu dài. Chúng không hề quan trọng đối với bài toán đang xét. Điều đó làm thay đổi hoàn toàn ý nghĩa của việc *biết* một điều gì đó.”

Mặc dù mối quan hệ giữa các con số của Feigenbaum và vật lý vẫn còn khá mơ hồ, nhưng ông đã tìm ra bằng chứng

cho thấy cần phải tìm ra một cách mới để giải các bài toán phi tuyến phức tạp. Cho tới lúc đó, toàn bộ các kỹ thuật có thể sử dụng phụ thuộc vào các tính chất đặc thù của các hàm. Nếu đó là hàm sin, thì Feigenbaum thực hiện tỉ mỉ các tính toán trên hàm sin. Phát hiện của ông về tính phổ quát có nghĩa là cần phải vứt bỏ tất cả các kỹ thuật này. Tính quy luật không có liên quan gì đến các hàm sin, cũng chẳng liên quan gì với các parabol, hay với bất kỳ một hàm số nào. Nhưng tại sao? Thật là thất vọng. Tự nhiên đã có lúc vén bức màn bí mật cho thấy thấp thoáng một trật tự bất ngờ. Nhưng còn có những gì nữa đằng sau bức màn ấy?

KHI CẢM HỨNG ĐẾN, nó đến dưới dạng một bức tranh, một hình ảnh trong trí óc gồm hai hình nhỏ lượn sóng và một hình thứ ba lớn hơn. Chỉ có thể - một hình ảnh sáng, rõ nét, khắc sâu vào trí óc ông, và có lẽ nó không hơn cái phần nổi nhìn thấy được của tảng băng lớn xử lý trong óc diễn ra bên dưới mặt nước của ý thức. Nó liên quan đến bất biến thang, và mở ra cho Feigenbaum con đường mà ông hằng tìm kiếm.

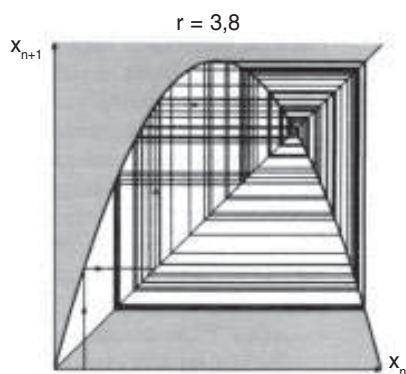
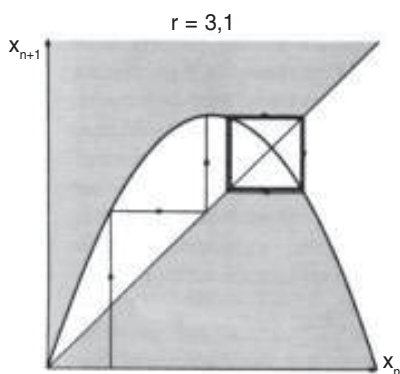
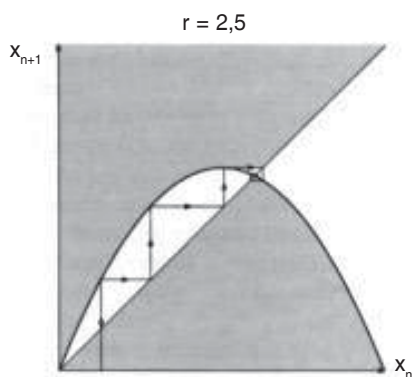
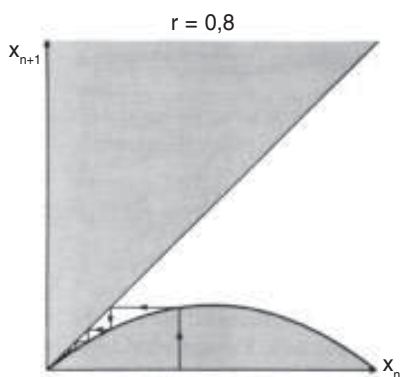
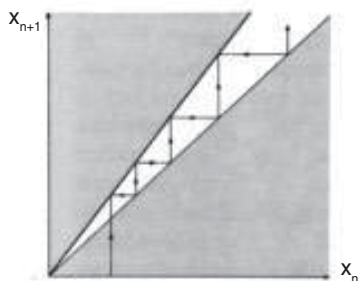
Ông đã nghiên cứu các nhân hút lạ. Sự cân bằng dừng thường xuyên đạt được bởi các ánh xạ của ông là một điểm bất động, nó hút tất cả các điểm khác - bất kể “số cá thể” ban đầu của quần thể có là thể nào đi nữa, thì nó vẫn luôn nhảy về nhân hút này. Sau đó, với sự nhân đôi chu kỳ đầu tiên, nhân hút này tách đôi, như một tế bào sống vậy. Ban đầu, hai điểm này gần như là trùng nhau; sau đó, khi tham số tăng, chúng tách ra khỏi nhau. Rồi lại xuất hiện một sự nhân đôi chu kỳ nữa: mỗi một điểm của nhân hút lại chia đôi một lần nữa, ở

cùng một thời điểm. Con số mà Feigenbaum tìm được đã cho phép ông tiên đoán được *khi nào* xảy ra các nhân đôi này. Bây giờ, ông đã phát hiện ra rằng ông còn có thể tiên đoán được giá trị chính xác của mỗi điểm trên cái nhân hút mỗi lúc một phức tạp này - hai điểm, bốn điểm, tám điểm... Ông cũng có thể tiên đoán số lượng các cá thể của các quần thể thực đạt được trong các dao động hằng năm. Tuy nhiên, ở đây cũng có sự hội tụ theo cấp số nhân khác. Và bản thân các con số này cũng tuân theo quy luật bất biến thang.

Feigenbaum khám phá ra một vùng đất trung gian, bị bỏ rơi, nằm giữa toán học và vật lý học. Thật khó mà xếp loại nghiên cứu của ông. Đó không phải là toán học vì ông không *chứng minh* một điều gì hết. Đúng là ông nghiên cứu các con số, nhưng những con số này đối với các nhà toán học chẳng khác gì các túi tiền xu đối với các ông chủ nhà băng. Trên danh nghĩa, những con số này đúng là vật liệu thuộc nghề nghiệp của ông, nhưng ở đây chúng thực sự là quá tầm thường và cụ thể, không đáng phải mất thời gian với chúng. Các ý tưởng mới mới chính là tiền bạc thực sự của các nhà toán học. Feigenbaum thực hiện một nghiên cứu trong lĩnh vực vật lý và, dường như lạ lùng thay, nó lại gần như là một loại vật lý thực nghiệm.

Nhưng thay vì là các hạt meson và quark, đối tượng nghiên cứu của ông lại là các con số và các hàm. Chúng cũng có các đường đi và các quỹ đạo^(*). Và ông cần phải khám phá hành trạng của chúng. Ông cần - nói theo cách sau này đã trở thành

* Do không có từ tương đương trong tiếng Việt, ở đây tạm quy định dùng từ đường đi (trajectory) để chỉ đường chuyển động nói chung, còn từ quỹ đạo (orbit) để chỉ các đường chuyển động khép kín (thường là tròn hoặc elip như của các hành tinh) - ND



SỰ HỘI TỤ VỀ HỖN ĐỘN. Một phương trình đơn giản, được lặp nhiều lần: Mitchell Feigenbaum tập trung vào các hàm đơn giản, lấy một số làm đầu vào và cho một số khác ở đầu ra. Đối với các quần thể động vật, hàm này có thể biểu thị mối quan hệ giữa số lượng cá thể của một quần thể của năm nay và số lượng các cá thể của năm sau.

Người ta có thể hiển thị các hàm như vậy bằng một đồ thị khi biểu diễn đầu vào trên trục hoành và đầu ra trên trục tung. Ở mỗi đầu vào x ứng với chỉ một đầu ra y , và tập hợp hai số này xác định dạng của đường cong được biểu diễn bằng nét đậm.

Sau đó, để làm sáng tỏ hành trạng lâu dài của hệ, Feigenbaum vẽ một đường đi xuất phát từ một giá trị tùy ý của x . Mỗi một giá trị của y vì lại được đưa trở lại làm đầu vào cho cùng hàm đó, nên ông có thể sử dụng một lối tắt trên đồ thị: đường đi sẽ nảy trên đường thẳng nghiêng một góc 45 độ, ở đó x bằng y .

Đối với một nhà sinh thái học, loại hàm mô tả rõ ràng nhất sự tăng trưởng ứng với một hàm tuyến tính, tức là kịch bản Malthus, trong đó dân số tăng liên tục và vô hạn, được xác định hằng năm bởi một tỷ lệ phần trăm cố định (*hình trên cùng*). Các hàm hiện thực hơn tạo thành một hình vòng cung làm cho dân số giảm khi nó trở nên quá lớn. “Hàm logistic” được minh họa ở đây là một parabol hoàn hảo được xác định bởi hàm $y = rx(1 - x)$, trong đó giá trị r nằm trong khoảng từ 0 đến 4, xác định độ dốc của parabol. Nhưng Feigenbaum đã phát hiện ra rằng hình dạng cụ thể của đường vòng cung mà ông sử dụng không có gì quan trọng, rằng các chi tiết của hàm là thứ yếu. Điều quan trọng duy nhất là hàm phải có một cái “bước”.

Tuy nhiên, hành trạng của dân số lại phụ thuộc một cách rõ rệt vào độ dốc của parabol - tức là vào mức độ phi tuyến, điều mà Robert May gọi là tác nhân gây “bùng nổ và suy thoái”. Một hàm quá bẹt dẫn đến một sự tuyệt diệt: dù dân số ban đầu có thể nào đi nữa, thì nó cũng vẫn sẽ tiến đến zero. Sự tăng độ dốc của parabol làm xuất hiện sự cân bằng tĩnh mà một nhà sinh thái học truyền thống mong đợi; điểm này sẽ hút tất cả các quỹ đạo, nên là một “nhân hút” một chiều.

Vượt ra ngoài một điểm nào đó, sự phân nhánh làm cho dân số dao động với chu kỳ hai. Sau đó lại xuất hiện các phân đôi chu kỳ khác, và cuối cùng (*hình dưới cùng, bên phải*) quỹ đạo không đạt tới một trạng thái cân bằng nào.

Feigenbaum đã xây dựng lý thuyết của ông xuất phát từ chính những đồ thị này. Ông bắt đầu tư duy theo lối đệ quy: qua các hàm của các hàm, và các hàm của các hàm của các hàm, và cứ tiếp tục như vậy; các ánh xạ của ông có hai “bước”, rồi bốn “bước”...

một cụm từ được ưa dùng của ngành khoa học mới - *sáng tạo ra thực giác*. Máy gia tốc và buồng bọt của ông là các máy tính. Song song với lý thuyết, ông đã xây dựng cả một phương pháp luận nữa. Thông thường, những người sử dụng máy tính dựng một bài toán, rồi nhập nó vào máy, và đợi cho máy tính toán và đưa ra nghiệm - một bài toán, một nghiệm số. Feigenbaum và những người sau này theo ông khai phá hỗn độn cần nhiều hơn thế. Họ cần làm cái mà Lorenz đã làm: đó là sáng tạo ra các tiểu vũ trụ và quan sát sự tiến hóa của chúng. Sau đó họ có thể thay đổi đặc điểm này hay khác và quan sát các quỹ đạo thay đổi từ đó. Nhưng trên hết, họ được trang bị một niềm tin mới, theo đó, những thay đổi rất nhỏ của một số đặc tính có thể kéo theo những thay đổi lớn trong hành trạng tổng thể.

Feigenbaum đã nhanh chóng nhận ra rằng các máy tính ở Los Alamos không phù hợp với kiểu tính toán mà ông muốn thực hiện. Mặc dù được hưởng một ngân sách khổng lồ, lớn hơn rất nhiều ngân sách của phần lớn các trường đại học, nhưng Los Alamos vẫn có rất ít các máy tính có khả năng hiển thị các đồ thị và hình ảnh. Chỉ Ban khí tài mới có loại máy này. Feigenbaum muốn lấy các con số và dựng thành các đồ thị. Ông đã phải sử dụng đến phương pháp thô sơ nhất có thể tưởng tượng ra được: ông dùng các cuộn giấy dài trên đó in các dãy những khoảng trống tiếp theo là một dấu hoa thị hoặc một dấu cộng. Chính sách của Los Alamos cho rằng một máy tính lớn duy nhất còn tốt hơn nhiều máy tính nhỏ cộng lại - một chính sách đi theo đường lối truyền thống *một bài toán, một nghiệm số*. Vì vậy, các máy tính nhỏ không được khuyến khích. Hơn nữa, một ban nào đó muốn mua máy tính đều phải tuân theo những quy định rất ngặt nghèo của chính quyền và đều

phải xét đi xét lại một cách phiền phức. Chỉ sau này, với sự tiếp tay về tài chính của Ban lý thuyết, thì Feigenbaum mới có được một chiếc máy tính để bàn với giá 20 000 USD. Nhờ đó ông có thể sửa đổi các phương trình và các đồ thị đang thực hiện, làm biến dạng chúng, hiệu chỉnh chúng, như là chơi một nhạc cụ vậy. Nhưng ở thời kỳ đó, một số ít các máy tính có khả năng vẽ đồ thị một cách thực sự chính xác lại nằm ở các khu vực được đảm bảo an ninh cao - đằng sau hàng rào, như cách nói của một số người. Feigenbaum đành phải sử dụng một máy tính được nối bằng đường dây điện thoại với một máy tính trung tâm. Các điều kiện làm việc như thế thật khó cho phép đánh giá được toàn bộ sức mạnh của máy tính ở bên kia đầu dây: một phép tính đơn giản nhất cũng phải mất nhiều phút. Để in một dòng chương trình, phải ấn vào phím *Return*, rồi chờ đợi, trong tiếng ù ù liên tục của chiếc *terminal* (đầu cuối), trong khi máy chủ phải xử lý các câu hỏi và đưa ra câu trả lời cho những người sử dụng khác của Phòng thí nghiệm.

Trong khi tính toán, Feigenbaum vẫn triền miên suy ngẫm. Lĩnh vực toán học mới nào có thể sinh ra vô số các mô típ bất biến thang mà ông đã quan sát được? Ông đã nhận ra rằng các hàm này phải một phần là *đệ quy*, *tự quy chiếu*, tức là hành trạng của một cái được dẫn dắt bởi một cái khác ẩn giấu ở bên trong nó. Hình ảnh lượn sóng xuất hiện trong trí óc ông ở khoảnh khắc cảm hứng là biểu hiện một điều gì đó về cách thức mà một hàm có thể thay đổi thang để ăn khớp với một hàm khác. Ông đã áp dụng toán học của lý thuyết tái chuẩn hóa và sử dụng bất biến thang để biến các vô hạn thành các đại lượng có thể tính toán được. Mùa xuân năm 1976, ông bắt đầu một nhịp sống mãnh liệt hơn bao giờ hết. Ông tập trung

làm việc như thể bị ma ám, miệt mài lập trình, ghi ngược ngoặc bằng cây bút chì, rồi lại lập trình tiếp. Ông không thể cầu cứu trung tâm tính toán giúp đỡ: điều đó sẽ làm gián đoạn sự kết nối với máy tính lớn, và việc khôi phục lại kết nối qua đường dây điện thoại chẳng có gì là chắc chắn. Ông không được phép dùng để nghỉ quá 5 phút, bởi vì nếu không máy tính sẽ tự động ngắt mạng. Ấy là còn chưa kể thi thoảng máy tính còn bị treo, khiến cho Feigenbaum rất bức mình. Ông đã làm việc không ngừng nghỉ trong suốt hai tháng. Thời gian làm việc hằng ngày của ông kéo dài tới 22 giờ. Ông cố gắng chớp mắt nhưng do quá xáo trộn, nên ông thường chỉ ngủ được hai tiếng, và lại tiếp tục các suy nghĩ của mình ở cái điểm mà ông đã tạm dừng. Đồ ăn của ông chủ yếu là café. (Ngay cả lúc khỏe và tinh thần sảng khoái, Feigenbaum cũng chỉ sống với các loại thịt đỏ nhất có thể, café và rượu vang đỏ. Các bạn của ông ngờ rằng ông lấy vitamin từ... thuốc lá!).

Cuối cùng, một bác sỹ đã buộc ông phải chấm dứt lối sinh hoạt đó. Bác sỹ đã kê cho ông một chế độ điều trị nhẹ nhàng nhất gồm thuốc an thần Valium và nghỉ ngơi. Nhưng vào lúc đó, thì Feigenbaum đã xây dựng xong một lý thuyết phổ quát.

TÍNH PHỔ QUÁT LÀM NÊN MỘT SỰ KHÁC BIỆT giữa cái đẹp và cái hữu ích. Vượt ra ngoài một điểm nào đó, các nhà toán học sẽ ít bận tâm đến chuyện họ có cung cấp một kỹ thuật tính toán hay không. Nhưng vượt ra ngoài một điểm nào đó, các nhà vật lý học cần các con số. Tính phổ quát mang lại niềm hy vọng rằng bằng cách giải một bài toán dễ, các nhà vật lý có thể sẽ giải được các bài toán khác khó hơn. Đáp số sẽ là như nhau. Hơn nữa, bằng cách đặt lý thuyết của mình trong

khuôn khổ của nhóm tái chuẩn hóa, Feigenbaum đã biến nó thành một công cụ tính toán được các nhà vật lý chấp nhận gần như là một công cụ chuẩn.

Nhưng điều làm cho tính phổ quát trở nên có ích thì cũng đồng thời lại làm cho trở nên khó thuyết phục đối với các nhà vật lý. Tính phổ quát có nghĩa là các hệ khác nhau hành xử một cách giống nhau. Tất nhiên, Feigenbaum mới chỉ nghiên cứu các hàm số đơn giản. Nhưng ông tin rằng lý thuyết của ông biểu thị một quy luật tự nhiên mà các hệ phải tuân theo tại điểm chuyển tiếp từ trật tự sang chảy rối. Tất cả mọi người đều biết rằng chảy rối tương ứng với một phổ các tần số liên tục, và tất cả mọi người cũng đều đặt câu hỏi về nguồn gốc của các tần số này. Và rồi bỗng nhiên, người ta bắt đầu *nhìn thấy* chúng, cái nọ xuất hiện sau cái kia. Hệ quả vật lý của hiện tượng này là các hệ của thế giới thực có cùng một hành trạng có thể nhận diện được, và hơn nữa hành trạng này còn như nhau cả về mặt *độ đo*. Tính phổ quát của Feigenbaum không chỉ là định tính, mà còn là định lượng; nó không chỉ phổ quát về cấu trúc mà còn cả về độ đo. Nó không chỉ áp dụng cho các hình dạng, mà còn cho cả các con số chính xác. Và điều này buộc các nhà vật lý phải tin.

Nhiều năm sau, Feigenbaum vẫn còn giữ các bức thư từ chối trong một ngăn kéo của bàn làm việc, ngay trong tầm tay. Vào thời đó, ông đã có được mọi sự thừa nhận mà ông cần có. Các công trình của ông ở Los Alamos đã mang lại cho ông nhiều giải thưởng và các phần thưởng, danh tiếng và tiền bạc. Nhưng ông vẫn còn chưa nguôi nổi tức giận đối với các biên tập viên của những tạp chí khoa học lớn, những tạp chí đã từng coi những công trình của ông là không thể đăng trong

suốt hai năm sau khi ông gửi chúng đến tòa soạn. Ngày nay thật khó có thể hình dung nổi một đột phá độc đáo và bất ngờ như thế lại có thể không được công bố. Khoa học hiện đại, với các luồng thông tin khổng lồ của nó và hệ thống phản biện sâu soi không thiên vị, không còn là chuyện sở thích cá nhân nữa. Một trong những biên tập viên đã gửi trả lại bản thảo của Feigenbaum nhiều năm sau đã phải thừa nhận rằng bài báo này đã đánh dấu một bước ngoặt trong lĩnh vực khoa học liên quan; tuy nhiên, ông ta vẫn khẳng định cho rằng nó không phù hợp với độc giả của tạp chí của ông, đó là các nhà toán học ứng dụng. Trong khoảng thời gian đó, và bất chấp sự im lặng của các tạp chí, tin tức về bước đột phá của Feigenbaum đã được đón nhận nồng nhiệt trong một số giới toán học và vật lý học. Điểm căn bản trong lý thuyết của ông về sau đã được lan truyền qua các kênh như phần lớn các tư tưởng khoa học khác - đó là các hội thảo và các bản thảo trước khi gửi in (*preprint*). Feigenbaum đã trình bày công trình của ông trong các cuộc hội thảo, và người ta đã hỏi xin ông bản sao các bài báo, ban đầu là một vài người, về sau là hàng trăm người.

NỀN KINH TẾ HIỆN ĐẠI chủ yếu dựa trên lý thuyết thị trường hiệu quả. Trong đó người ta giả định rằng tri thức lan truyền tự do từ nơi này sang nơi khác. Những người đưa ra các quyết định quan trọng được coi là đều tiếp cận gần như cùng một lượng thông tin như nhau. Chắc chắn đây đó họ vẫn vấp phải các vùng không biết hoặc sót thông tin, nhưng về tổng thể, khi một tài liệu được công bố, thì các nhà kinh tế học giả định rằng tất cả mọi người đều biết nó. Những người viết lịch sử khoa học cũng thường áp dụng lý thuyết thị trường này vào

chuyên ngành mà họ nghiên cứu: họ cho rằng mọi phát minh được công bố, mọi ý tưởng được đăng tải, đều trở thành tài sản chung của thế giới khoa học. Mỗi một khám phá, mỗi một ý tưởng mới, đều dựa trên những khám phá và ý tưởng trước chúng. Khoa học tiến bộ như một công trình xây dựng, viên gạch nọ tiếp nối viên gạch kia, và biên niên sử trí tuệ, trên thực tế, có thể coi như là tuyến tính.

Quan niệm này về khoa học thể hiện rõ nhất khi một chuyên ngành đã được xác định rõ chờ lời giải của một bài toán cũng đã được xác định rõ. Chẳng hạn, không một ai hiểu sai về phát hiện cấu trúc phân tử của ADN. Nhưng lịch sử các tư tưởng không phải lúc nào cũng rõ ràng như thế. Khi khoa học phi tuyến xuất hiện ở những xó xỉnh của nhiều chuyên ngành khác nhau, thì dòng chảy của các ý tưởng không tuân theo logic chuẩn của các nhà sử học. Sự xuất hiện hỗn độn với vai trò là một thực thể riêng là câu chuyện không chỉ về các học thuyết và các phát minh mới, mà còn về cả sự hiểu biết muộn mằn các tư tưởng cũ. Rất nhiều mảnh trong câu đố ghép hình đã được nhìn thấy từ lâu trước đó - bởi Poincaré, Maxwell, và cả Einstein nữa - nhưng rồi đã bị lãng quên. Ban đầu, chỉ một vài người trong cuộc là hiểu được những mảnh ghép mới: các nhà toán học hiểu một phát minh trong toán học, các nhà vật lý hiểu một phát minh trong vật lý, nhưng không một ai hiểu được một phát minh trong khí tượng học. Cách lan truyền ý tưởng trở nên cũng quan trọng như cách chúng sinh ra.

Mỗi nhà khoa học đều có một di sản trí tuệ riêng, các quan niệm riêng và những hạn chế riêng. Sự hiểu biết không bao giờ là đầy đủ. Các nhà khoa học chịu ảnh hưởng của các thói quen nghề nghiệp hoặc bởi những ngẫu nhiên trong quá trình

học tập của họ. Thế giới khoa học đôi khi lại hữu hạn một cách đáng ngạc nhiên. Không một hội đồng các nhà khoa học nào thay đổi được dòng chảy lịch sử, nhưng chỉ một nhóm các cá nhân, với những trực giác cá nhân cùng với các mục đích cá nhân, lại làm được điều đó.

Sau đó, một sự đồng thuận mới bắt đầu hình thành về chuyện những đổi mới nào và những đóng góp nào là có ảnh hưởng nhất. Nhưng sự đồng thuận này cũng hàm chứa một phần tinh thần xem xét lại. Trong cơn cuồng nhiệt khám phá, đặc biệt vào cuối những năm 1970, người ta không thấy có hai nhà vật lý, hai nhà toán học nào lại có cách hiểu về hỗn độn giống nhau một trăm phần trăm. Một nhà khoa học quen với các hệ cổ điển không ma sát hoặc không tiêu tán năng lượng sẽ coi mình thuộc trường phái của những người Nga như A. N. Kolmogorov và V. I. Arnold. Một nhà toán học quen với các hệ động lực cổ điển thì lại thuộc trường phái Poincaré, Birkhoff, Levinson và Smale. Sau này, một nhà toán học có thể viện dẫn tới Smale, Guckenheimer và Ruelle, hay một nhóm các nhà tin học tiền bối gắn liền với Los Alamos: Ulam, Metropolis, Stein. Một nhà vật lý lý thuyết có thể nghĩ đến Ruelle, Rössler và Yorke. Một nhà sinh học nghĩ đến Smale, Guckenheimer, May và Yorke. Các tổ hợp như thế là vô hạn. Một nhà khoa học làm việc với các vật liệu của vỏ Trái Đất- như một nhà địa chất học hay một nhà địa chấn học, chẳng hạn - sẽ đề cao ảnh hưởng trực tiếp của Mandelbrot; nhưng một nhà vật lý lý thuyết thì hầu như không biết tới cái tên này.

Vai trò của Feigenbaum đã trở thành một nguồn cơn đặc biệt của các tranh luận. Rất lâu sau, khi ông đã tạo được một tiếng tăm nhất định, một số nhà vật lý lại ra sức trích dẫn các

nhà khoa học khác, những người đã từng nghiên cứu cùng một vấn đề vào gần như cùng một thời kỳ. Một số còn lên án ông đã quá tập trung vào một vùng nhỏ của một phổ rộng lớn các hành trạng hỗn độn. Người ta đã đánh giá quá cao “Feigenbaum học”, một nhà vật lý khẳng định, một nghiên cứu hay, hấp dẫn, nhưng không có ảnh hưởng sâu rộng, chẳng hạn như, các công trình của Yorke. Năm 1984, Feigenbaum được mời đến phát biểu tại Hội nghị Nobel diễn ra ở Thụy Điển. Và một cuộc tranh luận đã nổ ra. Benoit Mandelbrot đã làm một bài thuyết trình đầy ẩn ý xấu, mà các thính giả sau đó đã miêu tả đây là một “bài thuyết trình chống Feigenbaum”. Không hiểu bằng cách nào, ông ta đã “khai quật” được một bài báo cũ cách đó hai mươi năm về sự phân đôi chu kỳ của một nhà toán học Phần Lan tên là Myrberg, và ông ta đã luôn miệng gọi các dãy Feigenbaum là các “dãy Myrberg”.

Nhưng chính Feigenbaum mới là người phát hiện ra tính phổ quát và đã sáng tạo ra một lý thuyết để giải thích nó. Đó là trụ cột của khoa học mới này. Trong hoàn cảnh không thể tưởng tượng được một kết quả gây ngạc nhiên và trái với trực giác như thế, ông đã truyền bá cái từ này (tức tính phổ quát - ND) trong một loạt các hội nghị như hội thảo tổ chức tại New Hampshire tháng 8 năm 1976, hội nghị quốc tế của các nhà toán học tại Los Alamos vào tháng 9, và trong nhiều bài thuyết trình của ông tại Đại học Brown vào tháng 11. Phát minh và lý thuyết của ông đã gây nên sự kinh ngạc, nỗi hoài nghi và cả sự hứng khởi nữa. Một nhà khoa học càng suy nghĩ về tính phi tuyến, sẽ càng cảm thấy sức mạnh của tính phổ quát do Feigenbaum phát hiện ra. Một trong số họ đã nói đơn giản thế này: “Thật là vừa hạnh phúc vừa rất sốc khi phát hiện thấy trong các hệ

phi tuyến sự tồn tại của các cấu trúc luôn luôn là như nhau, nếu ta biết nhìn chúng một cách đúng đắn.” Một số nhà vật lý đã sử dụng không chỉ các ý tưởng của ông, mà cả các kỹ thuật của ông nữa. Chơi với các ánh xạ này - chỉ là chơi thôi - họ đã thấy sướng run lên. Với chiếc máy tính bỏ túi, họ đã có thể tìm lại được sự ngạc nhiên và thích thú từng giúp cho Feigenbaum đứng vững ở Los Alamos. Và họ đã hoàn thiện lý thuyết của ông. Sau khi nghe bài thuyết trình của ông tại Viện Nghiên cứu Cao cấp ở Princeton, Predrag Cvitanovic, một nhà vật lý hạt cơ bản, đã giúp Feigenbaum đơn giản hóa lý thuyết và mở rộng tính phổ quát của nó. Nhưng đồng thời, ông lại làm ra vẻ rằng đó chỉ là một việc làm cho vui thôi; ông không dám thú nhận với các đồng nghiệp của mình những việc ông đã làm.

Các nhà toán học cũng có một thái độ dè dặt, đặc biệt bởi vì Feigenbaum không đưa ra các chứng minh chặt chẽ. Thực tế phải mãi đến năm 1979 người ta mới thấy xuất hiện một chứng minh theo đúng nghĩa toán học của từ đó trong một bài báo của Oscar E. Landford III. Feigenbaum thường nhớ lại lần ông giới thiệu lý thuyết của mình trước một cử tọa ưu tú ở Los Alamos hồi tháng 9. Khi vừa mới bắt đầu mô tả công trình của mình thì nhà toán học lỗi lạc Mark Kac đã đứng dậy hỏi: “Thưa ông, ông định chỉ cho chúng tôi những con số hay là một chứng minh?”

Cả hai, Feigenbaum đáp lại.

Liệu một người *biết điều* có thể gọi đó là một chứng minh hay không?”

Feigenbaum đã đáp rằng xin mời các thánh giả hãy tự phán xét. Khi bài thuyết trình kết thúc, ông hỏi ý kiến của Kac và

ông này đã trả lời mỉa mai: “Phải, đó đúng là chứng minh của một người biết điều. Những chi tiết của nó có thể để lại cho các nhà toán học chặt chẽ làm tiếp”.

Vậy là một trào lưu đã được khơi mào, nó được khích lệ bởi phát hiện về tính phổ quát. Mùa hè năm 1977, hai nhà vật lý là Joseph Ford và Giulio Casati đã tổ chức cuộc hội thảo đầu tiên về một khoa học mới được đặt tên là hỗn độn. Hội thảo được tổ chức tại một biệt thự sang trọng ở Côme (Italia), một thành phố nhỏ nằm bên bờ phía nam của cái hồ cùng tên có màu xanh thẫm tuyệt vời nhận nước từ các tảng băng tan trên núi Alps. Hàng trăm người đã tham dự hội thảo - chủ yếu là các nhà vật lý, và cả các nhà khoa học hiếu kỳ thuộc các chuyên ngành khác. Ford nói: “Mitch (tức Feigenbaum - ND) đã nhìn thấy tính phổ quát và đã phát hiện ra cách nó thể hiện ở tất cả các cấp độ; con đường mà ông khai mở hướng đến hỗn độn về trực giác là rất quyến rũ. Lần đầu tiên chúng ta có được một mô hình rõ ràng, mà tất cả mọi người đều có thể hiểu được”.

“Và thời điểm đã đến. Trong các chuyên ngành, từ thiên văn học cho tới địa chất học, người ta đã làm những điều giống nhau, công bố trong các tạp chí chuyên ngành rất hẹp của họ, mà hoàn toàn không biết rằng những người khác cũng nghiên cứu về cùng chủ đề đó. Họ nghĩ mình là những người duy nhất, và, trong chuyên môn của họ, người ta coi họ gần như là những người kỳ quặc. Họ đã khai thác hết tất cả các vấn đề đơn giản mà người ta có thể đặt ra, và bắt đầu quan tâm đến các hiện tượng phức tạp hơn một chút. Và họ đã sung sướng đến rơi nước mắt khi biết rằng nhiều người khác cũng đã đạt tới cùng một điểm như họ”.

SAU NÀY, FEIGENBAUM sống trong một căn hộ rất rộng, một cái giường trong phòng ngủ, một máy tính trong một phòng khác, và một phòng dành cho các các thiết bị nghe nhạc để thỉnh thoảng thưởng thức bộ sưu tập đĩa chủ yếu là tiếng Đức của mình. Kinh nghiệm duy nhất của ông trong việc bài trí nội thất là ông đã mua một cái bàn bằng cẩm thạch đắt tiền trong thời gian ở Italia, và kết cục là một thất bại: ông đã nhận được một kiện các mảnh vỡ. Các chồng bài báo và sách xếp dọc theo các bức tường. Ông nói nhanh, bộ tóc dài của ông, giờ đã muối tiêu, hất ngược ra phía sau. “Trong những năm hai mươi đã xảy ra một cái gì rất kịch tính. Chẳng rõ vì sao các nhà vật lý đã được chứng kiến một cách mô tả, về căn bản là đúng, về thế giới xung quanh - bởi vì, theo một nghĩa nào đó, cơ học lượng tử về cơ bản là đúng đắn. Nó nói với bạn lấy đất như thế nào và biến chúng thành máy vi tính ra sao. Chính bằng cách đó, chúng ta đã học được cách nhào nặn vũ trụ của chúng ta. Cũng chính bằng cách này chúng ta đã tạo ra các hóa phẩm, các chất dẻo, và trăm thứ bà rần khác. Người ta cũng biết tính toán với lý thuyết này như thế nào. Đó là một lý thuyết tuyệt vời đúng - trừ điều là ở một mức độ nào đó, nó không sao hiểu được.

“Nó chưa được hình dung một cách đầy đủ. Nếu bạn tự hỏi các phương trình này thực sự có ý nghĩa gì, và sự mô tả thế giới theo lý thuyết này là gì, thì bạn sẽ phát hiện ra rằng sự mô tả này là trái với trực giác của bạn. Bạn không thể biểu diễn chuyển động của một hạt bằng một quỹ đạo. Bạn không được phép hình dung nó theo cách đó. Và nếu bạn bắt đầu tự đặt cho mình các câu hỏi ngày càng tinh tế hơn - chẳng hạn, thế giới theo lý thuyết này sẽ giống cái gì? - thì kết cục bạn sẽ xa rời cách hình dung thông thường của bạn về các sự vật

tới mức bạn sẽ vấp phải đủ loại mâu thuẫn. Bây giờ, thế giới có thể là như vậy. Nhưng bạn không thực sự biết rằng liệu có tồn tại một cách khác để tập hợp toàn bộ thông tin này mà không đòi hỏi phải từ bỏ một cách triệt để cách thức mà bạn vốn thường trực cảm các sự vật hay không?

“Trong vật lý có một giả định rất căn bản nói rằng, để hiểu thế giới, ta thường xuyên phải cô lập các cấu phần của nó cho tới khi hiểu được cái mà chúng ta cho là thực sự cơ bản. Sau đó bạn giả định rằng phần còn lại, mà bạn chưa hiểu, chỉ là những chi tiết. Giả thiết là tồn tại một số nhỏ các nguyên lý mà ta có thể nhận thức được bằng cách nhìn sự vật ở trạng thái thuần khiết - đó là khái niệm phân tích đích thực - rồi sau đó, bằng cách nào đó, bạn lắp ráp các yếu tố này một cách phức tạp hơn để giải các bài toán gai góc hơn. Nếu bạn *có thể*.

“Rồi sau cùng, bạn nhận thấy rằng, để hiểu được, bạn phải thay đổi tất cả. Bạn phải tập hợp lại để hình dung xem các sự vật quan trọng diễn ra như thế nào. Bạn có thể thử mô phỏng dòng chảy của một chất lưu trên máy tính. Điều đó ngày nay là hoàn toàn có thể. Nhưng điều đó cũng chỉ tốn công vô ích, bởi vì điều *thực sự* xảy ra không có gì liên quan với một chất lưu hay một phương trình cụ thể. Điều cần phải làm, đó là một mô tả tổng quát về những cái xảy ra trong rất nhiều hệ khi các hiện tượng sinh ra lẫn nhau đến vô hạn. Điều này đòi hỏi một cách tư duy khác về vấn đề này.

“Khi bạn nhìn căn phòng này - ở đây có một đồng giấy lộn, một người ngồi đó và cái cửa ở đằng kia - bạn được yêu cầu sử dụng các nguyên lý sơ cấp của vật chất và viết ra các hàm sóng mô tả chúng. Nhưng điều đó là không khả thi. Có thể Chúa làm được điều đó, nhưng không tồn tại một tư duy phân tích nào để hiểu được một vấn đề như thế.

“Câu hỏi cái gì sẽ diễn ra đối với một đám mây không còn là một vấn đề hàn lâm nữa. Người ta rất muốn biết nhiều - và điều này có nghĩa là cần có tiền cho nó. Vấn đề này nằm ở ngay tâm điểm của vật lý, và nó cũng rộng như chính vật lý vậy. Đó là một cái gì đó phức tạp, và cách giải quyết nó hiện nay là cố gắng nhìn ở nhiều điểm nhất có thể, đủ để nói ở đâu có mây, ở đâu có khí nóng, vận tốc của nó là bao nhiêu, v.v... Rồi bạn nhồi tất cả những thứ đó vào trong cỗ máy tính lớn nhất mà bạn có thể mua, và cố gắng thu được một ý tưởng về những cái sau đó sẽ xảy ra. Nhưng điều đó không mấy hiện thực.”

Ông dụi tắt điều thuốc và châm một điếu khác. “Cần phải tìm kiếm các con đường khác. Cần phải tìm kiếm các cấu trúc bất biến thang - các chi tiết lớn gắn với các chi tiết nhỏ như thế nào. Hãy xem xét các xoáy nước trong một chất lỏng; đó là các cấu trúc phức tạp trong đó độ phức tạp được sinh ra bởi một quá trình liên tục. Ở một mức độ nào đó, các xoáy nước này không quá bận tâm đến kích thước của quá trình - nó có thể có kích thước của một hạt đậu Hà Lan hoặc một quả bóng bàn. Quá trình này cũng không bận tâm đến chuyện nó ở đâu, và hơn nữa, nó chẳng cần biết mình đã tồn tại từ bao giờ. Theo một nghĩa nào đó, chỉ những cái bất biến thang mới luôn luôn là phổ quát.

“Về một phương diện nào đó, nghệ thuật là một lý thuyết về cách thế giới trình hiện trước mắt con người. Hoàn toàn hiển nhiên rằng chúng ta không biết hết các chi tiết của thế giới xung quanh chúng ta. Điều mà các nghệ sĩ đã đạt được, đó là họ đã nhận ra rằng chỉ có một số lượng nhỏ các sự vật là quan trọng, rồi họ nhìn cái mà chúng vốn thế. Như thế họ có thể thực hiện một phần những nghiên cứu của tôi thay cho tôi. Khi bạn nhìn những bức tranh đầu tiên của Van Gogh, bạn sẽ phát hiện ra ở

đó hàng tỉ chi tiết, luôn luôn có vô số thông tin trong các bức tranh của ông. Hiển nhiên là ông đã tự hỏi đâu là lượng thông tin không thể giảm bớt mà ông cần phải đưa vào tranh. Bạn cũng có thể nghiên cứu phong cảnh trong các bức tranh mực của người Hà Lan, vào những năm 1600, với các bụi cây nhỏ, và mấy con bò nhìn rất thực. Nếu bạn nhìn gần, cây có các loài có tán lá rậm, nhưng sẽ là không ổn nếu chỉ có thế - chúng còn chứa, ngoài những thứ đó, các nét nhỏ có hình dạng cành cây. Có một sự tương tác chính xác giữa các yếu tố mờ và các môtip với các đường viền rất xác định. Và chính sự kết hợp hai thứ đó đã tạo nên hiệu quả mong muốn. Ở Ruysdael và Turner, khi bạn nhìn cách họ vẽ sự phức tạp của nước, bạn sẽ thấy ngay rằng rõ ràng là nó đã được làm theo cách lặp. Họ đã vẽ một lớp, rồi lại phủ một lớp lên trên, và *tiếp tục lên trên nữa*, họ đã thêm vào một vài chỉnh sửa. Đối với các họa sĩ này, các chất lưu chảy rồi luôn chứa đựng trong nó một ý niệm về thang.

“Tôi thực sự muốn biết làm thế nào để mô tả các đám mây. Nhưng nói rằng có một mật độ như thế ở đây, và ngay bên cạnh là một mật độ khác - tích tụ một thông tin chi tiết như thế, theo tôi đó là một sai lầm. Cái cách mà con người tri giác các đối tượng này hoàn toàn không phải như vậy, thậm chí cả các nghệ sĩ cũng vậy. Về một phương diện nào đó, viết ra các phương trình đạo hàm riêng không phải là cách giải quyết vấn đề.

“Tóm lại, lời hứa huyền diệu của Trái đất là nó chứa những điều tuyệt vời, huyền diệu và hấp dẫn, và nghề nghiệp của bạn làm cho bạn muốn tìm hiểu chúng.” Ông đặt điều thuốc xuống. Khói thuốc bay lên từ chiếc gạt tàn, ban đầu là một cột khói mỏng, sau đó (như muốn ám chỉ về tính phổ quát) nó tan tác thành những tua mảnh xoáy lên trần nhà.

NHÀ THỰC NGHIỆM

Ý thức được rằng điều đã xảy ra trong đầu mình tương ứng chính xác với cái xảy ra trong tự nhiên là một trải nghiệm không gì sánh được, đó là điều tuyệt vời nhất có thể đến với một nhà khoa học. Thật xúc động mỗi khi điều này xảy ra. Người ta ngạc nhiên khi phát hiện ra rằng một cấu trúc hình thành trong óc mình lại thực sự được thực hiện ở thế giới thực bên ngoài kia. Một cú sốc lớn, nhưng cũng là một niềm vui lớn, rất rất lớn.

—LEO KADANOFF

Ở TRƯỜNG SƯ PHẠM, một trường cùng với trường Bách khoa Paris được coi là danh giá nhất trong các trường đại học của nước Pháp, mọi người bắt đầu xì xào: “Albert già mất rồi”. Họ tự hỏi không biết Albert Libchaber có phải là nạn nhân của tuổi tác hay không. Ông đã trở nên nổi tiếng trong ngành vật lý nhiệt độ thấp bởi các công trình nghiên cứu về hành trạng lượng tử của heli siêu chảy ở nhiệt độ vài ba độ trên không độ tuyệt đối. Ông đã tạo dựng được một uy tín lớn, một vị trí ổn định ở trường đại học. Ấy vậy mà vào năm 1977, ông đã lãng phí thời gian, và tiền bạc của nhà trường, để làm một thí nghiệm có vẻ như là khá tầm thường. Vả lại chính ông cũng sợ sẽ phá hỏng sự nghiệp của một sinh viên nếu lôi kéo anh ta vào một đề tài nghiên cứu như thế. Vì thế ông đã chọn một kỹ sư chuyên nghiệp làm trợ lý.

Là con trai của một gia đình người Ba Lan gốc Do Thái, cháu của một Giáo trưởng Do Thái, Libchaber sinh ở Paris 5 năm trước khi quân Đức xâm chiếm thành phố. Cũng giống

Mandelbrot, Libchaber đã thoát chết trong cuộc chiến tranh nhờ sống nương náu ở một tỉnh lẻ, tách khỏi cha mẹ vì họ có giọng nói với ngữ điệu quá ư nguy hiểm. Cha mẹ Libchaber cũng may mắn sống sót; nhưng những người còn lại của gia đình đều bị Đức Quốc xã sát hại. Trong hoàn cảnh thất thường của số phận chính trị, Libchaber đã có một cuộc sống an toàn nhờ sự bảo trợ của một viên mật thám của Pétain^(*) tại địa phương, một người mà tinh thần chống phát xít cũng mãnh liệt không kém niềm tin cực hữu của ông ta. Sau chiến tranh, cậu bé lên 10 đã trả ơn ông ta. Lờ mờ ý thức được sự nghiêm trọng của tình hình, cậu bé đã khai trước một ủy ban về các tội ác chiến tranh và sự làm chứng của cậu đã cứu sống viên mật thám đó.

Trên con đường thăng tiến trong thế giới khoa học hàn lâm của nước Pháp, trí tuệ xuất sắc của Libchaber là điều không ai dám nghi ngờ. Các đồng nghiệp của Libchaber đôi khi thấy ông hơi điên điên, cũng là điều dễ hiểu, vì ông - một người Do Thái bí hiểm giữa những người duy lý, một người theo chủ nghĩa De Gaulle, trong khi phần lớn các nhà khoa học đều là cộng sản. Họ trêu ông về lý thuyết Vĩ Nhân của lịch sử, về sự gắn bó của ông với Goethe, về nỗi ám ảnh của ông đối với các cuốn sách cũ. Ông có hàng trăm cuốn sách khoa học rất độc đáo, một số xuất bản từ những năm 1600. Ông đọc những cuốn sách này không phải như những thứ của lạ của lịch sử, mà như là suối nguồn của những ý tưởng tinh khôi về bản chất của thực tại, chính cái thực tại mà ông đang thăm dò bằng các tia laser và các cuộn làm lạnh công nghệ cao cực kỳ tinh

* Tổng thống Pháp từ 1940 đến 1944. Sau Chiến tranh thế giới lần thứ hai, bị kết án tử hình vì tội phản bội tổ quốc do cộng tác với phát xít Đức, sau được giảm án thành tù chung thân.

xảo. Ông đã tìm thấy một sự đồng điệu về tinh thần trong con người của chàng kỹ sư tên là Jean Maurer, một người Pháp chỉ làm việc khi anh ta thích. Libchaber cho rằng Maurer sẽ thấy dự án mới của ông là *vui vẻ* - mà điều đó theo cách nói trại đi của người Pháp có nghĩa là *hấp dẫn, kích thích hay sâu sắc*. Năm 1977, hai nhà nghiên cứu đã lao vào xây dựng một thí nghiệm nhằm làm sáng tỏ ngưỡng của sự chảy rối.

Với tư cách là nhà thực nghiệm, Libchaber nổi tiếng theo kiểu thế kỷ XIX: thông minh, khéo tay, và luôn thích sự khéo léo hơn là sức mạnh. Ông không thích công nghệ công kênh và những tính toán khổng lồ. Quan niệm của ông về một thí nghiệm hay cũng giống như quan niệm về một chứng minh hay đối với một nhà toán học. Về đẹp của thí nghiệm cũng quan trọng như kết quả của nó. Tuy nhiên, một số đồng nghiệp của ông lại cho rằng ông có thái độ hơi thái quá đối với thí nghiệm mới về ngưỡng chảy rối: thiết bị nhỏ tới mức người ta có thể đặt nó trong một hộp diêm - và đôi khi Libchaber mang theo nó, như một tác phẩm nghệ thuật. Ông gọi nó là “Hêli trong Hộp Nhỏ”. Lõi của thiết bị còn nhỏ hơn nữa; một khoang có kích thước chỉ bằng một tép chanh, được khoét trong một mẫu thép không gỉ, có rìa và thành nhẵn nhất có thể. Ông đưa vào đó hêli lỏng được làm lạnh tới khoảng 4 độ trên không độ tuyệt đối, một nhiệt độ cao so với nhiệt độ trong các thí nghiệm trước của ông về các chất siêu chảy.

Phòng thí nghiệm của ông chiếm hai tầng của tòa nhà vật lý của trường Sư phạm, chỉ cách phòng thí nghiệm cũ Pasteur vài trăm mét. Cũng giống như mọi phòng thí nghiệm vật lý nói chung, phòng thí nghiệm của Libchaber luôn lộn xộn, lỉnh kỉnh các hộp sơn và các dụng cụ nằm rải rác trên đất và mặt

bàn, và vùng vãi khắp nơi là các mẫu kim loại và nhựa có hình dạng kỳ dị. Ở giữa mớ lộn xộn này, chỉ có mỗi một dụng cụ chứa một ngăn nhỏ chứa chất lỏng của Libchaber là có vẻ có một mục đích cụ thể. Cái ngăn làm bằng thép không gỉ này đặt trên một tấm đồng rất tinh khiết, rồi đặt lên mặt trên của tinh thể saphir. Các vật liệu này đã được chọn dựa theo khả năng dẫn nhiệt của chúng. Ngoài ra còn có các cuộn dây đốt rất nhỏ và các miếng đệm bằng teflon. Heli lỏng chảy từ một bình chứa dung tích khoảng tám xentimét khối. Toàn bộ hệ được đặt trong một bình chân không gần như tuyệt đối. Và bản thân bình này lại được đặt trong một bể nitơ lỏng để giữ cho nhiệt độ ổn định.

Mối lo lắng thường xuyên của Libchaber là các chấn động. Cũng giống như các hệ phi tuyến, thí nghiệm của ông luôn phải đối mặt với nhiều nền gây khó khăn cho việc đo đạc và làm sai lệch các dữ liệu. Trong các dòng chảy nhạy cảm với nhiễu tạp - mà thí nghiệm của Libchaber luôn tạo ra các dòng chảy như vậy - nhiễu tạp có thể gây rối loạn dòng chảy phi tuyến, làm cho nó nhảy từ một loại hành trạng này sang một loại hành trạng khác. Nhưng tính phi tuyến có thể làm cho hệ ổn định cũng như làm cho nó mất ổn định. Sự hồi tiếp phi tuyến điều chỉnh chuyển động và làm cho nó kháng cự tốt hơn đối với các nhiễu loạn. Trong một hệ tuyến tính, nhiễu loạn luôn có một tác dụng không đổi. Khi có mặt tính phi tuyến, nhiễu loạn chỉ có thể sống bằng chính nó và cuối cùng sẽ biến mất và hệ sẽ tự động quay trở lại trạng thái ổn định. Libchaber nghĩ rằng các hệ sinh học đã sử dụng tính phi tuyến của chúng như một sự bảo vệ chống lại các nhiễu tạp. Sự truyền năng lượng bởi các protein, chuyển động sóng

của điện tim, rồi hệ thần kinh - tất cả các hệ này đều giữ được các đặc tính của chúng trong một môi trường đầy nhiễu tạp. Libchaber hy vọng rằng bất kể cấu trúc nền là thế nào thì sự chảy của một chất lưu cũng đủ bền để thí nghiệm của ông có thể phát hiện được.

Ý tưởng của ông là tạo ra sự đối lưu trong héli lỏng bằng cách tăng nhiệt độ của tấm bên dưới so với nhiệt độ của tấm bên trên. Đó chính xác là mô hình đối lưu đã từng được Edward Lorenz mô tả, và hệ cổ điển đó được gọi là đối lưu Rayleigh-Bénard. Ngày đó Libchaber vẫn chưa biết đến Lorenz. Ông cũng không có một tí ý niệm nào về lý thuyết của Mitchell Feigenbaum. Năm 1977, Feigenbaum bắt đầu đi khắp các hội thảo khoa học, và các phát hiện của ông chỉ thuyết phục được các nhà khoa học biết giải thích chúng. Còn đối với phần lớn các nhà vật lý, thì các hình mẫu và các quy luật của “lý thuyết Feigenbaum” chẳng có một chút liên hệ rõ ràng nào với các hệ thực cả. Các hình mẫu này chỉ là sản phẩm của máy tính, và các hệ vật lý thì phức tạp hơn thế rất rất nhiều. Không có thêm các bằng chứng mới, điều tốt nhất mà người ta có thể nói đó là Feigenbaum đã phát hiện ra một sự tương tự toán học *nhìn giống* với sự bắt đầu của chảy rối.

Libchaber biết rằng các thí nghiệm của người Pháp và người Mỹ đã đặt vấn đề xem xét lại những ý tưởng của Landau về sự xuất hiện của chảy rối bằng cách chứng minh rằng nó xảy ra trong một sự chuyển pha đột ngột, chứ không phải bởi một sự tích tụ liên tục các tần số khác nhau. Các nhà thực nghiệm như Jerry Gollub và Harry Swinney, với dòng Couette-Taylor của mình, đã chứng tỏ rằng cần phải có một lý thuyết mới nhưng đã không thể quan sát một cách chi tiết sự chuyển tiếp sang

hỗn độ. Libchaber cũng biết rằng chưa từng xuất hiện một hình ảnh rõ nét nào về ngưỡng của sự chảy rối trong phòng thí nghiệm cả, và ông đã quyết định rằng khoảng hêli có thể sẽ cung cấp một hình ảnh rõ ràng nhất có thể.

MỘT SỰ THU HẸP TẦM NHÌN đã cho phép khoa học tiến bộ. Với hiểu biết của mình, các nhà thủy động lực học có lý do chính đáng để nghi ngờ về độ chính xác cao mà Swinney và Gollub khẳng định đã đạt được với các dòng Couette của họ. Và cũng với hiểu biết của mình, các nhà toán học có lý do chính đáng để bức bối, như họ đã từng thể hiện trước Ruelle. Ông đã phá vỡ các quy tắc và đưa ra một lý thuyết vật lý đầy tham vọng dưới chiêu bài một mệnh đề toán học chặt chẽ. Thật khó có thể phân định rạch ròi giữa cái mà ông giả định và cái mà ông chứng minh. Các nhà toán học từ chối chấp nhận một ý tưởng chừng nào nó còn chưa đáp ứng được sơ đồ tiêu chuẩn *định lý, chứng minh, định lý, chứng minh*, theo đúng vai trò mà chuyên ngành đã trao cho họ: dù có ý thức hay không ý thức, họ có nhiệm vụ đứng gác những kẻ gian lận và thần bí. Nếu một biên tập viên của các tạp chí, người đã gạt bỏ những ý tưởng mới bởi vì chúng được thể hiện bằng một phong cách khác thường, bị các nạn nhân coi như một tên mật thám làm tay sai cho các đồng nghiệp đã có uy tín, thì bản thân anh ta cũng có một vai trò chính đáng trong cộng đồng, đó là vai trò canh chừng những cái không được kiểm chứng. “Khoa học được xây dựng để chống lại những sự ngu ngốc ấy”, bản thân Libchaber cũng từng nói như vậy. Khi các đồng nghiệp coi ông là kẻ huyền bí, thì không phải lúc nào điều đó cũng có nghĩa là thiện cảm.

Libchaber là một nhà thực nghiệm nghiêm cẩn và có kỷ luật, ông nổi tiếng vì độ chính xác trong sự phân tích các đối tượng vật chất của ông. Tuy nhiên, ông lại rất thích thú một đối tượng trừu tượng, chưa được định nghĩa một cách rõ ràng, nó mơ hồ như bóng ma, được gọi là *dòng chảy*. Một dòng chảy, đó là hình dạng cộng với thay đổi, là chuyển động cộng với hình dạng. Một nhà vật lý lập một hệ phương trình vi phân gọi chuyển động toán học của chúng là một dòng chảy. Dòng chảy là một ý niệm kiểu Platon giả định rằng sự tiến hóa của hệ phản ánh một thực tại nào đó độc lập với thời điểm. Libchaber có chung cảm giác với Platon theo đó các hình dạng ẩn giấu choán đầy vũ trụ. “Bạn đã biết quá rõ điều này! Bạn đã thấy các lá cây. Khi bạn nhìn tất cả các lá, chẳng lẽ bạn không thấy ngạc nhiên trước một thực tế là, số các chủng loại hình dạng của chúng là hữu hạn hay sao? Bạn có thể dễ dàng vẽ nên một hình dạng chung. Sẽ là tương đối thú vị khi hiểu được điều đó. Hoặc các hình dạng khác. Các bạn cũng đã thấy, trong một thí nghiệm, một chất lỏng xâm nhập vào bên trong một chất lỏng khác.” Phòng làm việc của ông đầy các bức ảnh kiểu này, các phần loang rộng dạng *fractal* của chất lỏng. “Và trong bếp của bạn, khi bạn bật bếp ga lên, bạn thấy ngọn lửa cũng có hình dạng như thế. Rất rộng. Phổ quát. Dù đó là một ngọn lửa, một chất lỏng trong một chất lỏng, hay một tinh thể đang được nuôi lớn thì cũng không có gì quan trọng- điều thu hút tôi, đó là hình dạng này.

“Từ thế kỷ XVIII, người ta ít nhiều đã nghĩ, rằng khoa học đã không quan tâm tới sự tiến triển của hình dạng trong không gian và theo thời gian. Khi bạn nghĩ đến một dòng chảy, bạn có thể hình dung ra các sự vật khác nhau, chẳng hạn, một dòng

chảy trong kinh tế hay một dòng chảy trong lịch sử. Ban đầu nó có thể là phân lớp, nhưng sau đó sẽ phân nhánh tới một trạng thái phức tạp hơn, và có thể có cả các dao động nữa. Rồi sau nữa có thể là hỗn độn”.

Tính phổ quát của các hình dạng, những đồng dạng hay tương tự qua các thang, khả năng đệ quy của các dòng chảy bên trong các dòng chảy, tất cả những điều này đều vượt ra ngoài tầm với của cách tiếp cận vi tích phân chuẩn đối với các phương trình mô tả sự thay đổi. Nhưng điều này không dễ nhận thấy. Trong khoa học, các bài toán đều được biểu diễn bằng ngôn ngữ khoa học hiện có. Và cho tới thời điểm đó, cách thể hiện đạt nhất của thế kỷ XX về trực giác của Libchaber đối với một dòng chảy phải cần tới ngôn ngữ của thi ca. Chẳng hạn như thơ của Wallace Stevens, người đã có những cảm xúc về thế giới đi trước cả những hiểu biết của các nhà vật lý. Điều thật huyền bí là thi sĩ này đã ngờ về cách mà một dòng chảy tự lặp lại trong quá trình nó thay đổi:

Dòng sông nhấp nhô

Chảy mãi, chảy mãi không bao giờ lặp lại

Chảy qua rất nhiều nơi, mà dường như đứng yên một chỗ.

Thơ của Stevens thường cho ta một cái nhìn rộn ràng về nước và khí quyển. Nó cũng chuyển tải một niềm tin đối với các hình dạng ẩn, không nhìn thấy được, làm nên trật tự trong tự nhiên, một niềm tin

rằng, trong khí quyển vô hình

Tri thức hiện hữu khắp nơi nhưng không được nhận ra.

Vào những năm 1970, khi mà Libchaber và một số nhà thực nghiệm khác lao vào nghiên cứu chuyển động của các chất lưu, thì họ đã làm điều đó gần với tinh thần của thi ca mang tính lật đổ này. Họ đã ngờ rằng có một mối quan hệ giữa chuyển động và một hình dạng phổ quát. Họ đã tích lũy các dữ liệu chỉ theo một cách khả dĩ, nghĩa là bằng cách ghi lại các con số hoặc lưu giữ chúng trong một máy tính số. Sau đó họ chỉ tìm cách để bắt các dữ liệu đó phải hé lộ ra các hình dạng. Họ hy vọng có thể biểu diễn các hình dạng này qua chuyển động. Họ tin rằng hình dạng động như ngọn lửa và các hình dạng hữu cơ như những chiếc lá đều vay mượn hình dạng của chúng từ mối quan hệ chằng chịt của các lực còn chưa được giải thích. Các nhà thực nghiệm này, những người duy nhất tìm bắt hỗn độn với một quyết tâm cực kỳ cao, đã đạt được mục đích của họ bằng cách từ chối chấp nhận toàn bộ thực tại được coi như đóng băng trong bất động. Ngay cả Libchaber cũng chưa bao giờ diễn đạt được nó bằng các từ ngữ này, nhưng quan niệm của họ rất gần với cái mà Stevens cảm nhận như một “sự nổi dậy không rắn của vật rắn”:

*Sức mạnh của vinh quang, một lấp lánh trong các vân đá,
Khi các sự vật đột sinh, chuyển động và tan rã*

*Thành khoảng cách, thay đổi hay hư vô,
Các biến đổi hữu hình của đêm hè,*

*Một trù tượng hóa như ánh bạc xích gần hình dạng
Và bỗng nhiên tự phủ nhận chính mình.*

LIBCHABER ĐÃ KHOI CẢM HỨNG huyền bí của mình từ Goethe, chứ không phải từ Stevens. Trong khi Feigenbaum tìm kiếm trong thư viện Đại học Harvard cuốn *Luận về mẫu sắc* của Goethe, thì Libchaber đã thu xếp để đưa thêm vào bộ sưu tập của mình bản gốc của cuốn *Về sự biến đổi của thực vật*, một chuyên khảo của Goethe còn khó hiểu hơn. Trong đó Goethe đã khiêu chiến với các nhà vật lý, những người mà theo ông chỉ quan tâm đến các hiện tượng tĩnh chứ không phải là các sinh lực và các dòng chảy tạo ra các hình dạng mà chúng ta vẫn thường nhìn thấy. Một phần di sản của Goethe - một phần rất nhỏ nếu xét trên quan điểm của các nhà lịch sử văn học - đã được tái hiện ở Đức và Thụy Sĩ trong một trào lưu giả-khoa học được các nhà triết học như Rudolf Steiner và Theodor Schwenk duy trì. Các nhà triết học này cũng rất được Libchaber khâm phục, trong mức độ có thể đối với một nhà vật lý.

“Hỗn độn nhạy cảm” - *Das sensible Chaos* - đó là cụm từ mà Schwenk đã dùng để diễn tả mối quan hệ giữa lực và hình dạng. Ông cũng đã dùng nó làm nhan đề cho một cuốn sách nhỏ kỳ lạ được xuất bản lần đầu năm 1965 và thỉnh thoảng sau đó cũng đã được tái bản. Đó là một cuốn sách trước hết nói về nước. Bản dịch tiếng Anh có một lời tựa rất ngợi khen của thuyền trưởng Jacques Y. Cousteau và các nhận xét của hai tạp chí *Water Resources Bulletin* và *Journal of the Institute of Water Engineers*. Cuốn sách của Schwenk không có nhiều kỳ vọng về khoa học, cũng như toán học. Nhưng Schwenk đã thể hiện óc quan sát tuyệt vời. Ông đã vẽ ra rất nhiều hình dạng của các dòng chảy tự nhiên bằng một con mắt của người nghệ sỹ. Ông đã tập hợp các bức ảnh và thực hiện hàng chục

ký họa chính xác, như một nhà sinh vật học vẽ phác các tế bào khi nhìn qua chiếc kính hiển vi đầu tiên. Sự rộng mở tâm hồn và sự ngây thơ trong trắng của ông có lẽ đã khiến cho Goethe phải kiêu hãnh.

Các hình ảnh về các dòng chảy xuất hiện rất nhiều trong cuốn sách của ông. Các dòng sông lớn như Mississippi và Basin d'Arcachon ở Pháp chạy ngoằn ngoèo ra biển qua nhiều khúc uốn quanh co. Ngay cả ở biển, dòng hải lưu Gulff Stream cũng uốn khúc quanh co, tạo thành các vòng lượn xoáy từ đông sang tây. Đó là một dòng nước ấm lớn chảy bên trong các vùng nước lạnh, một dòng sông, nói theo cách của Schwenk, “đã dựng nên hai bờ của nó bằng chính nước lạnh”. Khi dòng hải lưu này đi qua hoặc không nhìn thấy, thì sự tồn tại của nó vẫn còn cảm nhận được. Các dòng khí cũng để lại dấu vết của chúng trong sa mạc, đó là các sóng trên cát. Thủy triều xuống cũng để lại trên bãi biển một mạng lưới các vân. Schwenk không tin vào sự trùng hợp. Ông tin vào các nguyên lý phổ quát, và còn hơn cả tính phổ quát, ông tin vào sự tồn tại trong tự nhiên một tinh thần nhất định, điều làm cho giọng văn của ông sắc mùi phổng nhân hình luận^(*) đến khó chịu. “Nguyên lý gốc” của ông là thế này: dòng chảy luôn “muốn thực hiện mình, bất chấp vật liệu bao quanh nó là như thế nào”.

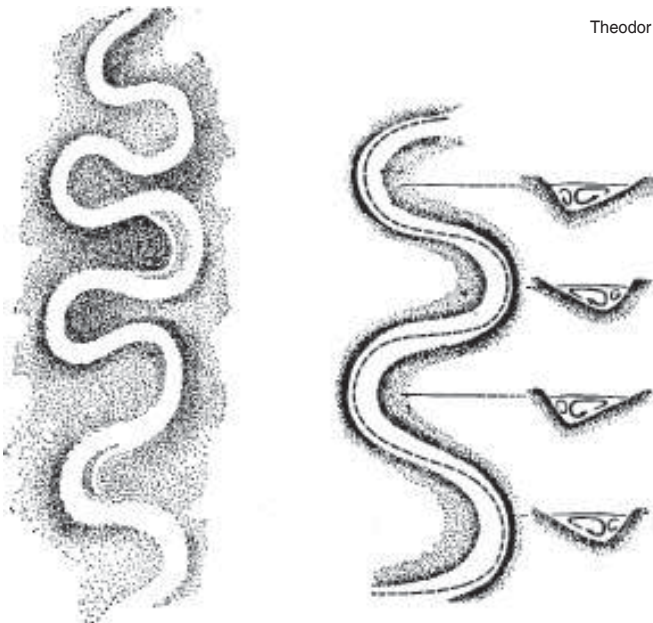
Trong các dòng chảy, ông biết, còn có các dòng thứ cấp. Nước, ngoài dòng chính chuyển động xuôi theo con sông quanh co, còn có dòng phụ chảy quanh trục của sông, cụ thể là chảy hướng tới một bờ, rồi đi xuống đáy sông, sau đó chuyển động hướng sang phía bờ kia, rồi lại đi lên bề mặt,

* Quan niệm cho rằng thần, động vật, v.v. đều phổng theo con người cả về hình dạng lẫn tính cách.

giống như một hạt chuyển động xoắn ốc quanh trục của một cái xăm ô-tô. Quỹ đạo của một hạt nước nào đó vẽ nên một lò xo xoắn quanh các lò xo khác. Đối với các hình mẫu như vậy, Schwenk quả là có trí tưởng tượng của một nhà tô-pô học. “Hình ảnh về các sợi cuộn thành hình xoắn ốc này chỉ thực sự chính xác đối với chuyển động thực. Người ta thường nói về “các sợi” nước, nhưng chúng không phải là các sợi riêng rẽ thực sự mà toàn bộ các mặt, đan bện với nhau về mặt không gian và chảy qua nhau”. Ông cũng đã nhận thấy các tần số cạnh tranh nhau trong các sóng, còn các sóng vượt qua nhau, chia cắt các mặt và các lớp biên. Ông thấy các xoáy nước và chuỗi các xoáy nước, và giải thích chúng như là sự “lăn” của một bề mặt này trên một bề mặt khác. Ở đây, Schwenk là triết gia có quan niệm gần gũi nhất với các nhà vật lý về động lực học ở lân cận sự chảy rối. Các niềm xác tín nghệ thuật của ông cũng đòi hỏi tính phổ quát. Theo Schwenk, các xoáy đồng nghĩa với bất ổn định, mà bất ổn định thì có nghĩa là dòng chảy đấu tranh chống lại sự bất bình đẳng ở ngay bên trong nó, và chính sự bất bình đẳng này là “gốc”. Sự lăn của các cuộn xoáy, sự đâm chồi của các cây dương xỉ, các nếp uốn của các dãy núi, sự trống rỗng bên trong của các cơ thể động vật, tất cả, như ông thấy, đều đi theo một con đường. Nó không có liên quan gì với một môi trường cụ thể, hay một loại khác biệt cụ thể nào. Các bất bình đẳng này có thể là chậm và nhanh, nóng và lạnh, đặc và loãng, mặn và ngọt, nhớt và lỏng, axit và kiềm. Và sự sống sinh sôi nảy nở chính ở trên đường ranh giới.

Tuy nhiên, sự sống là lĩnh địa của D’Arcy Wentworth Thompson. Nhà tự nhiên học tuyệt vời này đã viết vào năm 1917 như thế này: “Có thể là tất cả các định luật về năng

lượng, tất cả các tính chất của vật chất, và toàn bộ hóa học của tất cả các chất keo đều không thể giải thích được thể xác, cũng như không hiểu được tâm hồn. Về phần tôi, tôi nghĩ là không.” D’Arcy Thompson đã đưa vào nghiên cứu về sự sống cái mà Schwenk còn thiếu một cách nghiêm trọng: đó là toán học. Schwenk suy luận bằng loại suy. Các lập luận của ông - mang màu sắc duy linh, phong phú và bách khoa - và cuối cùng là quy về trình bày các điểm tương đồng. Tinh thần và các phương pháp của Schwenk được chia sẻ phần nào trong tác phẩm quan trọng của D’Arcy Thompson, *On Growth and*

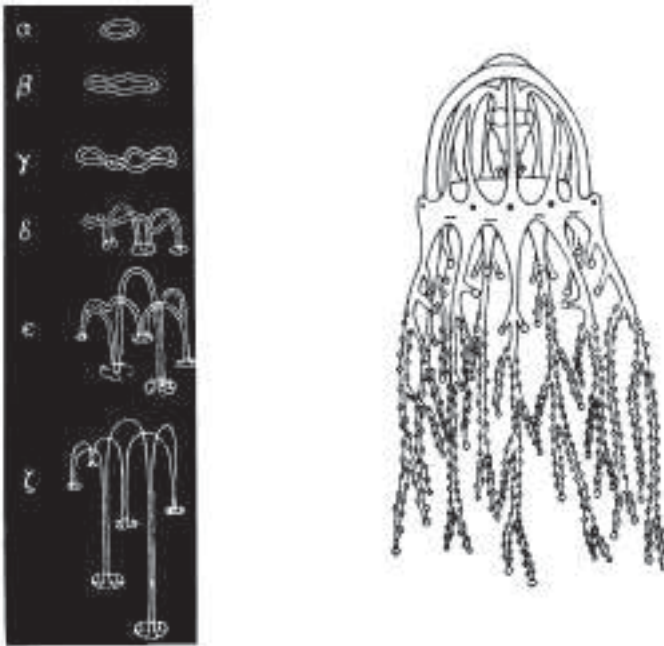


Theodor Schwenk

CÁC DÒNG CHẢY UỐN Lượn VÀ XOẮN ỐC. Théodor Schwenk miêu tả dòng của các dòng chảy tự nhiên như các sợi có các chuyển động thứ cấp phức hợp. “Tuy nhiên, không thực sự tồn tại các sợi riêng rẽ”, ông viết, “mà là toàn bộ các mặt đan bện với nhau về mặt không gian”.

Form (Về sự tăng trưởng và hình dạng). Bạn đọc hiện đại có thể băn khoăn tự hỏi có thể dành bao nhiêu niềm tin cho các hình ảnh chi tiết về sự rơi thành chùm của các giọt chất lỏng này, chúng lơ lửng thành các sợi uốn lượn, nhìn giống một con sứa sống đến kỳ lạ. Phải chăng đây là trường hợp cao cấp của một sự trùng hợp ngẫu nhiên? Nếu hai hình dạng giống nhau, thì liệu người ta có cần phải tìm kiếm các nguồn gốc giống nhau của chúng hay không?

D'Arcy Thompson chắc chắn là nhà sinh học có tầm ảnh hưởng nhất đã bị bỏ lại bên lề của nền khoa học chính thức. Cuộc cách mạng sinh học thế kỷ XX, manh nha từ thời ông còn sống, đã vượt qua ông hoàn toàn. Ông không hề biết gì về hóa học, lại có một quan niệm sai lầm về tế bào, và đã không dự báo được sự phát triển bùng nổ của di truyền học. Ngay cả ở thời của ông, các bài viết của ông cũng tỏ ra quá kinh điển và quá văn chương - quá đẹp nên được coi là thiếu nghiêm túc về khoa học. Việc đọc D'Arcy Thompson không phải là bắt buộc đối với một nhà sinh học hiện đại. Tuy nhiên, những nhà sinh học nổi tiếng nhất lại khá thích cuốn sách của ông. Theo Sir Peter Medawar, “chắc chắn đây là tác phẩm tuyệt vời nhất chưa từng có trong lịch sử các tài liệu khoa học viết bằng tiếng Anh”. Chính cuốn sách này, hơn tất cả các cuốn khác, đã làm nảy sinh trong Stephen Jay Gould cảm giác ngày càng mạnh mẽ rằng tự nhiên chỉ cho phép một số hình dạng hạn chế. Ngoài D'Arcy Thompson, rất ít nhà sinh học hiện đại theo đuổi việc tìm kiếm sự thống nhất không thể chối cãi của các cơ thể sống. Gould nói: “Rất ít người tự hỏi liệu tất cả những mô típ này có thể quy về một hệ duy nhất các lực phát sinh hay không. Và cũng rất ít người cảm nhận được một chứng



CÁC GIỌT ROI. D'Arcy Wentworth Thompson đã cho thấy các sợi và các cột lơ lửng được tạo thành bởi các giọt mực roi trong nước (*trái*) và bởi một con sứa (*phải*). “Một kết quả cực kỳ lạ lùng... cho thấy các giọt này nhảy cảm như thế nào đối với các điều kiện vật lý. Bằng cách sử dụng cùng một chất keo động vật và đơn giản chỉ thay đổi mật độ của chất lỏng ở chữ số thập phân thứ ba, người ta đã thu được cả một họ các cấu hình, từ giọt treo lơ lửng bình thường cho tới những giọt treo với motif phân nhánh...”

minh như vậy của sự thống nhất có tầm quan trọng như thế nào đối với khoa học về hình thái hữu cơ”.

Nhà cổ điển học, nhà toán học, nhà động vật học và người biết nhiều ngôn ngữ này đã cố gắng nhìn sự sống trong tổng thể của nó ngay khi sinh học còn đang nhắm tới các phương pháp rất có hiệu quả là quy giản cơ thể về các bộ phận chức

năng cấu thành của nó. Quy giản luận đã giành chiến thắng ở khắp nơi, từ tiến hóa cho tới y học, nhưng ấn tượng mạnh nhất là trong sinh học phân tử. Nhưng làm thế nào để hiểu được các tế bào chỉ bằng cách hiểu các màng và nhân, và cuối cùng là các protein, enzym, nhiễm sắc thể và các cặp bazo? Khi rốt cuộc sinh học phải xét đến các hoạt động nội tại của các xoang, các võng mạc, các dây thần kinh, mô não, thì trở trêu thay nó lại phải quan tâm tới *hình dạng* của sọ não. D'Arcy Thompson là người cuối cùng làm điều đó. Ông cũng là nhà sinh học lớn cuối cùng trong suốt nhiều năm ròng dành nhiệt huyết của mình để thảo luận thấu đáo về khái niệm *nguyên nhân*, đặc biệt là sự phân biệt giữa nguyên nhân cuối cùng và nguyên nhân gây hậu quả hay nguyên nhân vật lý. Nguyên nhân cuối cùng là nguyên nhân dựa trên mục đích, dự định: một bánh xe hình tròn bởi vì hình dạng này cho phép nó vận tải dễ dàng hơn. Nguyên nhân vật lý là có tính cơ học: Trái Đất tròn bởi vì lực hấp dẫn làm cho một chất lỏng quay có dạng phỏng cầu. Sự phân biệt giữa hai khái niệm này không phải lúc nào cũng rõ ràng. Một cái cốc có dạng tròn là bởi vì đó là hình dạng tiện nhất để cầm và uống nước. Một cái cốc có dạng tròn cũng có thể bởi vì đó là hình dạng được chấp nhận một cách tự nhiên nhất của đất sét trên bàn quay hoặc của thủy tinh được thổi.

Trong khoa học, về tổng thể mà nói, thì nguyên nhân vật lý chiếm ưu thế. Khi thiên văn học và vật lý học tách khỏi các ảnh hưởng của tôn giáo, người ta không có bất kỳ khó khăn nào trong việc vứt bỏ những lập luận có tính mục đích luận, kiểu như Trái đất như thế là để cho nhân loại có thể làm những điều mà nó vốn làm. Tuy nhiên, trong sinh học, Darwin đã kiên định coi mục đích luận là kiểu tư duy trung tâm về khái niệm

nguyên nhân. Nếu thế giới sinh học có thể không thực hiện ý đồ của Chúa, thì nó đã thực hiện một ý đồ được định hình bởi chọn lọc tự nhiên. Chọn lọc tự nhiên tác động không phải trên các gen hay các phôi, mà là trên sản phẩm cuối cùng. Chẳng hạn, cách giải thích của một nhà thích nghi luận về hình dạng của một cơ thể hay chức năng của một cơ quan trong cơ thể luôn nhìn vào *nguyên nhân* của nó, không phải nguyên nhân vật lý mà là nguyên nhân cuối cùng. Nguyên nhân cuối cùng này vẫn sống sót trong khoa học, ở bất cứ chỗ nào mà tư duy kiểu Darwin đã trở thành một thói quen. Một nhà nhân chủng học hiện đại tư biện về tục ăn thịt người hay tục hiến sinh để tế thần luôn có xu hướng, dù đúng hay sai, chỉ đặt câu hỏi về mục đích của những nghi lễ đó. D'Arcy Thompson đã cảm nhận được điều đó. Ông đã đề nghị rằng sinh học cũng phải nhớ đến nguyên nhân vật lý, cùng với các cơ chế và mục đích luận. Ông đã lao vào giải thích các lực toán học và vật lý vận hành trong sự sống. Khi thích nghi luận đang đắc thế, thì những lời giải thích như vậy dường như là không đúng lúc. Giải thích chiếc lá có hình dạng được tạo bởi chọn lọc tự nhiên như thế nào đó để nó trở thành một tấm pin mặt trời có hiệu suất cao, quả là một vấn đề phong phú và hiệu quả! Phải rất lâu sau đó, một vài nhà khoa học mới lại cố gắng tìm hiểu cái khía cạnh bị bỏ lại chưa được giải thích này của tự nhiên. Các lá chỉ có một số lượng rất hạn chế các hình dạng trong số tất cả các hình dạng mà con người có thể tưởng tượng ra; và hình dạng của một cái lá không được quyết định bởi chức năng của nó.

Toán học mà D'Arcy Thompson sử dụng không cho phép chứng minh điều ông muốn chứng minh. Điều tốt nhất mà ông có thể làm, chẳng hạn, là vẽ trên giấy ô vuông hộp sọ của

những loài cùng họ, và chứng minh rằng chỉ bằng một phép biến đổi hình học đơn giản là có thể biến hợp sọ này thành hợp sọ khác. Đối với các cơ thể đơn giản - với hình dạng gợi nhớ một cách treu người với tia chất lỏng, sự bắn tóe các giọt nước, và các biểu hiện khác của sự chảy, thì ông nghi rằng các nguyên nhân vật lý như trọng lực và sức căng bề mặt không thể thực hiện công việc định hình mà ông đòi hỏi. Vậy thì vì lẽ gì mà Albert Libchaber lại nghĩ về cuốn *On Growth and Form* khi ông bắt đầu các thí nghiệm của mình trên các chất lỏng?

Trực giác của D'Arcy về các lực tạo dạng sự sống gần gũi với viễn cảnh của các hệ động lực hơn là bất cứ thứ gì trong dòng chủ lưu của sinh học. Đối với ông, sự sống là *sống động*, luôn luôn chuyển động, luôn luôn đáp ứng lại một cách liên tục với các nhịp - các “nhịp nằm rất sâu của sự tăng trưởng”, mà ông tin rằng chúng đã tạo nên các hình dạng phổ quát. Ông coi các nghiên cứu riêng của mình không chỉ đơn thuần về những hình dạng vật chất của các vật, mà còn về động lực học của chúng nữa - đó là “sự giải thích thông qua lực và sự vận hành của Năng lượng”. Ông đủ khả năng toán học để biết rằng lập danh mục các hình dạng còn chưa chứng minh được điều gì hết. Ông cũng có đủ khả năng thi ca để tin rằng cả ngẫu nhiên lẫn mục đích đều không thể giải thích được tính phổ quát đáng kinh ngạc của các hình dạng mà ông đã thu thập được trong suốt nhiều năm quan sát tự nhiên. Giải thích nó phải là các định luật vật lý, những định luật chi phối lực và sự tăng trưởng mà hiện vẫn đang còn nằm ngoài tầm của sự hiểu biết. Platon từng nói: đằng sau các hình dạng cụ thể, nhìn thấy được của vật chất luôn ẩn giấu các hình dạng ảo làm khuôn mẫu vô hình cho chúng. Các hình dạng luôn vận động.

LIBCHABER ĐÃ CHỌN HÊLI LỎNG để thí nghiệm. Hêli lỏng có độ nhớt cực kỳ thấp và do đó chỉ một kích thích nhẹ là nó cũng có thể cuộn lại. Một thí nghiệm tương tự được làm với một chất lưu có độ nhớt trung bình, như không khí hoặc nước, có lẽ cần một khoang lớn hơn nhiều. Độ nhớt thấp này của hêli còn cho phép Libchaber làm cho thí nghiệm nhạy cảm hơn nhiều đối với nhiệt: để tạo ra đối lưu trong một khoang nhỏ cỡ milimét của mình, ông chỉ cần tạo ra một sự khác biệt về nhiệt độ cỡ một phần nghìn độ giữa mặt đáy và đỉnh của nó. Đó là lý do tại sao khoang này lại phải nhỏ như vậy. Nếu dùng một hộp lớn hơn, hêli có nhiều chỗ để cuộn lại, thì chuyển động tương đương sẽ đòi hỏi một chênh lệch nhiệt độ nhỏ hơn, nhỏ hơn rất nhiều. Trong một hộp có kính thước lớn hơn gấp mười lần, kích thước của một quả nho, tức một thể tích lớn hơn một nghìn lần, thì sự đối lưu sẽ xuất hiện khi sự chênh lệch nhiệt độ chỉ là một phần triệu độ. Một sự chênh lệch quá nhỏ, không thể kiểm soát được.

Trong quá trình lập kế hoạch, thiết kế và chế tạo, Libchaber và viên kỹ sư của ông đã tìm mọi cách để loại bỏ mọi dấu hiệu của sự lộn xộn. Thực vậy, họ đã làm tất cả những gì có thể để loại bỏ chuyển động mà họ đang cố gắng nghiên cứu. Chuyển động của chất lỏng, từ sự chảy đều cho tới chảy rối, đều được coi là chuyển động qua không gian. Sự phức tạp của nó trình hiện như một sự phức tạp về không gian, các nhiễu động và các xoáy của nó như là một sự hỗn độn không gian. Nhưng Libchaber lại tìm kiếm các nhịp điệu là thứ thể hiện như một sự thay đổi qua thời gian. Thời gian vừa là sân chơi vừa là thước đo trong thí nghiệm của ông. Libchaber nén không gian về một điểm gần như 1- chiều. Ông đã đẩy đến

cực điểm một kỹ thuật mà những người đi trước ông trong động lực học chất lưu cũng đã sử dụng. Tất cả mọi người đều biết rằng một dòng chảy khép kín trong hộp như sự đối lưu Rayleigh-Bénard hay sự quay Couette-Taylor trong một hình trụ- xét trên góc độ đo đạc, đều xử sự tốt hơn một dòng chảy hở, như các sóng trong đại dương hay trong khí quyển. Trong dòng chảy hở, mặt biên của chất lỏng vẫn là tự do và sự phức tạp được nhân lên.

Vì sự đối lưu trong một hình hộp chữ nhật tạo ra các cuộn chất lỏng có hình dạng giống như cái bánh mì nhân xúc xích - còn trong trường hợp đang xét là các hạt vùng-, Libchaber đã chọn cẩn thận kích thước của hộp sao cho nó chỉ có đủ chỗ cho hai cuộn. Heli lỏng đi lên ở giữa, rồi rẽ sang hai phía phải và trái, sau đó đi xuống dọc theo thành của khoang. Đó là một hình học bị cưỡng ép. Dao động của các cuộn bị hạn chế. Hình dạng và các tỷ lệ của khoang được tính toán chi tiết tỉ mỉ để loại trừ mọi thăng giáng lạ khỏi thí nghiệm. Libchaber đã cho đóng băng không gian sao cho ông có thể chơi với chỉ thời gian mà thôi.

Một khi thí nghiệm bắt đầu được thực hiện, heli cuộn lại bên trong ngăn đặt bên trong bình chân không ở bên trong bể nitơ lỏng. Libchaber rất muốn bằng một cách nào đó nhìn thấy những điều xảy ra. Ông đã đặt hai dụng cụ đo nhiệt độ rất nhỏ vào mặt trên làm bằng saphir của ngăn. Các số chỉ của chúng liên tục được ghi lại nhờ một máy ghi đồ thị và nhờ đó ông có thể kiểm soát nhiệt độ giữa hai điểm ở đỉnh của chất lỏng. Dụng cụ của Libchaber nhạy và thông minh đến mức một nhà vật lý phải thốt lên, Libchaber đã đánh lừa được cả tự nhiên.

Phải mất hai năm thì cái kiệt tác nhỏ xíu và chính xác tuyệt vời này mới được khai thác hoàn toàn, nhưng như Libchaber

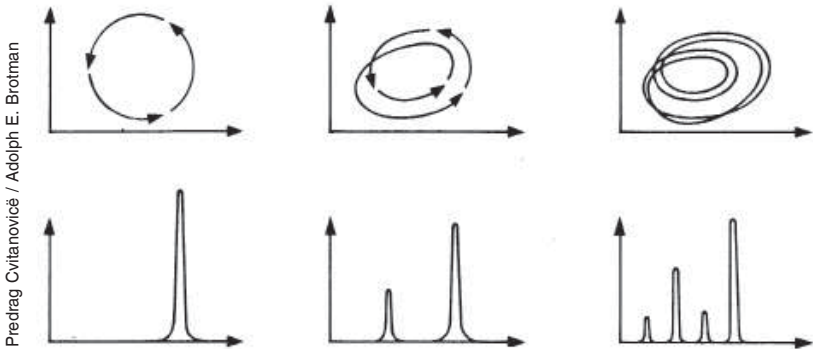
nói, nó đúng là cây cọ vẽ lý tưởng cho bức tranh của ông, không quá lớn cũng chẳng quá tinh xảo. Cuối cùng ông đã quan sát thấy tất cả. Tiến hành thí nghiệm giờ này qua giờ khác, hết ngày lại sang đêm, Libchaber đã phát hiện ra ở ngưỡng chảy rồi một loại hành trạng phức tạp hơn ông tưởng tượng rất nhiều. Chuỗi đầy đủ các nhân đôi chu kỳ đã xuất hiện. Libchaber đã giam và tinh lọc chuyển động của một chất lỏng xuất hiện dưới tác dụng của nhiệt. Quá trình bắt đầu bằng sự phân đôi đầu tiên, sự xuất hiện của chuyển động diễn ra ngay khi tám đồng có độ tinh khiết cao ở đáy đủ nóng để thắng xu hướng giữ nguyên trạng thái đứng yên của chất lỏng. Ở vài độ trên không độ tuyệt đối, chỉ cần một phần nghìn độ là đủ. Chất lỏng ở đáy của ngăn nóng lên, giãn nở, và trở nên nhẹ hơn chất lỏng lạnh ở bên trên. Để cho chất lỏng nóng này nổi lên, chất lỏng lạnh cần phải chìm xuống. Để hai chuyển động này có thể xảy ra, chất lỏng ngay lập tức tự tổ chức thành hai cuộn hình trụ. Các cuộn này đạt đến một vận tốc không đổi và hệ đạt tới cân bằng - một trạng thái cân bằng động, trong đó nhiệt năng liên tục được chuyển hóa thành chuyển động, rồi bị tiêu tán thành nhiệt do ma sát, và cuối cùng được tỏa ra qua tấm lạnh hơn ở đỉnh của ngăn.

Cho tới lúc này, Libchaber mới chỉ lặp lại một thí nghiệm nổi tiếng trong cơ học chất lưu, một thí nghiệm đã nổi tiếng tới mức khiến người ta coi thường. “Nó chẳng qua chỉ là vật lý cổ điển thôi”, ông nói, “thật không may điều đó có nghĩa là nó quá cũ kỹ, và tức là nó chẳng có gì hay ho cả”. Cũng có thể đó chính là dòng chảy mà Lorenz đã mô phỏng bằng hệ ba phương trình của ông. Nhưng một thí nghiệm thật - một chất lỏng thật, một hộp được cắt bởi một chuyên gia cơ khí,

trong một phòng thí nghiệm chịu các rung động do xe cộ trên đường phố Paris gây ra, đã làm cho nhiệm vụ thu thập các dữ liệu trở nên khó khăn hơn nhiều so với việc đơn thuần tạo ra các con số trên máy tính.

Các nhà thực nghiệm như Libchaber thường sử dụng một máy vẽ đồ thị đơn giản để ghi lại nhiệt độ do một máy dò gắn ở mặt trên của ngăn đo được. Trong chuyển động cân bằng, sau lần phân nhánh đầu tiên, nhiệt độ ở một điểm bất kỳ ít nhiều vẫn ổn định, và đồ thị thu được là một đường thẳng. Khi tăng nhiệt, thì sự bất ổn định cũng bắt đầu. Một nút nhỏ bất thường xuất hiện trong mỗi cuộn và nút này chuyển động tới lui một cách đều đặn. Sự lắc lư này bộc lộ khi nhiệt độ thay đổi, tăng lên giảm xuống giữa hai giá trị. Bây giờ đồ thị được vẽ trên trang giấy là một đường lượn sóng.

Từ đồ thị nhiệt độ đơn giản, liên tục thay đổi và chập chờn do ảnh hưởng của nhiễu tạp thí nghiệm, ta không thể đọc được chính xác thời điểm xuất hiện của mỗi phân nhánh mới, hoặc suy ra bản chất của chúng. Đồ thị này vẽ nên các đỉnh và các hõm thất thường, dường như cũng ngẫu nhiên như đồ thị về cơn sốt chứng khoán. Libchaber đã phân tích các dữ liệu như vậy bằng cách biến chúng thành một biểu đồ phổ nhằm làm phát lộ các tần số chính ẩn giấu trong các biến thiên nhiệt độ. Vẽ một biểu đồ phổ từ các dữ liệu thực nghiệm cũng giống như sự biểu diễn bằng đồ thị các tần số âm thanh tạo nên một hợp âm phức tạp trong một bản giao hưởng. Luôn luôn có một đường mấp mô, nhòe mờ, chạy ở chân biểu đồ - đó là nhiễu tạp của thí nghiệm. Các âm chính được biểu thị bằng các đỉnh thẳng đứng: âm càng mạnh thì các đỉnh này càng cao. Và tương tự, nếu các dữ liệu chứa một tần số chủ đạo - chẳng



HAI CÁCH NHÌN MỘT PHÂN NHÁNH. Khi một thí nghiệm như ngăn đối lưu của Libchaber sinh ra một dao động ổn định, chân dung pha của nó là một vòng kín tự lặp lại sau những khoảng thời gian đều đặn (*hình phía trên bên trái*). Một nhà thực nghiệm đo tần số trong các dữ liệu sẽ quan sát thấy một biểu đồ phổ gồm một đỉnh nhọn ứng với một tần số duy nhất. Sau một phân nhánh nhân đôi chu kỳ, hệ quay hai vòng trước khi tự lặp lại một cách chính xác (*hình ở giữa*) và nhà thực nghiệm bây giờ sẽ quan sát thấy một nhịp mới với tần số bằng một nửa - còn chu kỳ lớn gấp đôi - ban đầu. Các nhân đôi chu kỳ tiếp theo sẽ được thể hiện trong biểu đồ phổ với nhiều đỉnh hơn.

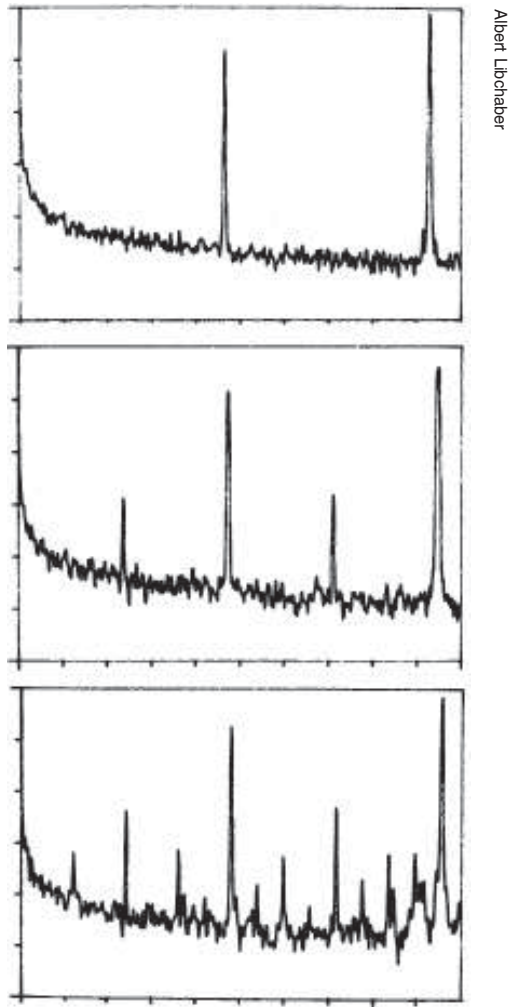
hạn như một nhịp đập mỗi giây -, thì tần số này sẽ được thể hiện bằng một đỉnh trên biểu đồ phổ.

Trong thí nghiệm của Libchaber, bước sóng đầu tiên xuất hiện là khoảng hai giây. Sự phân nhánh tiếp sau kéo theo một sự thay đổi tinh tế. Cuộn tiếp tục lắc lư và nhiệt độ của bức xạ kế tiếp tục tăng lên, giảm xuống theo một nhịp chủ đạo. Nhưng ở các chu kỳ lẻ nhiệt độ bắt đầu tăng nhẹ một chút so với trước và ở các chu kỳ chẵn, nhiệt độ giảm nhẹ một chút. Trên thực tế, nhiệt độ tối đa tách ra thành hai, tạo ra hai cực đại và hai cực tiểu khác nhau. Trên đồ thị ghi được, mặc dù rất khó đọc, nhưng cũng đã cho thấy một dao động ở đỉnh

của một dao động - tức một siêu dao động. Điều này được thấy rõ hơn trên biểu đồ phổ. Tần số đầu tiên vẫn hiện hữu rõ nét, nhiệt độ vẫn còn tăng cứ mỗi hai giây. Nhưng bây giờ một tần số mới đã xuất hiện chính xác nhỏ hơn tần số đầu tiên hai lần, bởi vì hệ đã phát triển một thành phần được lặp lại cứ mỗi bốn giây một lần. Khi các phân nhánh tiếp tục, người ta có thể phân biệt được một hình mẫu nhất quán một cách kỳ lạ: mỗi một tần số mới xuất hiện lại bằng một nửa của tần số trước, và trên biểu đồ phổ xuất hiện rất nhiều các đỉnh nằm ở một phần tư, một phần tám, một phần mười sáu của tần số đầu tiên, bắt đầu nhìn giống như một hàng rào, với các cọc rào cao thấp xen kẽ nhau.

Ngày cả đối với người chuyên tìm kiếm các hình dạng ẩn giấu bên trong mớ hỗn độn các dữ liệu, thì cũng phải tiến hành hàng chục đến hàng trăm lần thí nghiệm trước khi những thói quen của cái ngăn nhỏ xíu này mới bắt đầu hiện rõ ra. Những điều đặc biệt luôn có thể xảy ra, khi Libchaber và viên kỹ sư của ông tăng chậm nhiệt độ, và hệ được xác lập hết từ trạng thái cân bằng này sang một trạng thái cân bằng khác. Đôi khi xuất hiện các tần số nhất thời chậm chạp trượt ngang qua biểu đồ phổ, rồi biến mất. Cũng đôi khi, bất chấp sự chính xác của hình học, trong ngăn hình thành ba cuộn thay vì hai - nhưng làm thế nào họ biết được điều gì thực sự đã xảy ra bên trong cái ngăn bé tí xíu này?

NẾU VÀO THỜI ĐIỂM ĐÓ LIBCHABER biết được phát minh của Feigenbaum, thì ông đã biết chính xác chỗ mà ông cần tìm kiếm các phân nhánh và biết gọi tên chúng như thế nào. Năm 1979, ngày càng có nhiều các nhà toán học và nhà



Albert Libchaber

CÁC DỮ LIỆU THỰC KHẮNG ĐỊNH LÝ THUYẾT. Các biểu đồ phổ của Libchaber cho thấy rõ ràng bức tranh chính xác của sự nhân đôi chu kỳ đã được lý thuyết tiên đoán. Đỉnh ứng với các tần số mới tách ra hiện rõ nét trên nền nhiễu tạp của thực nghiệm. Lý thuyết bất biến thang của Feigenbaum tiên đoán không chỉ ở đâu và khi nào xuất hiện các tần số này, mà cả cường độ - biên độ của chúng nữa.

vật lý có thiên hướng toán học chú ý đến lý thuyết mới của Feigenbaum. Nhưng nhìn chung, phần lớn các nhà khoa học đã quen với những bài toán về các hệ vật lý thực nghi rằng họ có những lý do xác đáng để bảo lưu ý kiến của mình. Sự phức tạp của các hệ một chiều, như các ánh xạ của May và Feigenbaum, là một chuyện. Còn sự phức tạp của các hệ hai, ba hoặc bốn chiều tương ứng với các thiết bị cơ học mà một kỹ sư có thể chế tạo ra chắc chắn lại là một chuyện khác. Các thiết bị này đòi hỏi các phương trình vi phân nghiêm túc, chứ không phải là những phương trình sai phân đơn giản. Một hố ngăn cách khác dường như cũng chia rẽ các hệ có số chiều thấp với các hệ dòng chảy của các chất lưu, những hệ mà các nhà vật lý gán cho một số chiều tiềm tàng là vô hạn. Ngay cả một ngăn như của Libchaber được chế tạo rất chính xác cũng có thể ẩn chứa một số vô hạn các hạt chất lỏng, và mỗi một hạt, ít nhất, cũng tiềm tàng một chuyển động độc lập. Trong một số hoàn cảnh, một hạt bất kỳ đều có thể là nơi khởi nguồn của một cuộn hay một xoáy mới.

“Quan niệm cho rằng cái chuyển động cơ bản thực sự có liên quan trong một hệ như vậy sẽ quy về các ánh xạ, là điều không một ai hiểu được”, Pierre Hohenberg, thuộc Phòng thí nghiệm AT&T Bell bang New Jersey, nói. Ông là một trong số rất hiếm các nhà vật lý theo đuổi đồng thời cả lý thuyết mới lẫn các thí nghiệm mới. “Feigenbaum có thể đã mơ về điều đó, nhưng chắc chắn là ông đã không nói ra. Công trình của ông là về các ánh xạ. Nhưng tại sao các nhà vật lý lại phải quan tâm đến các ánh xạ cơ chứ? - đó là một trò chơi. Thực tế, chừng nào họ vẫn còn chơi với các ánh xạ, thì chừng đó điều này vẫn còn xa vời với điều mà chúng ta muốn hiểu.

“Nhưng khi người ta đã tận mắt nhìn thấy nó trong các thí nghiệm, thì khi đó nó thực sự trở nên hứng khởi. Điều kỳ diệu là trong các hệ đáng *quan tâm*, bạn vẫn còn có thể hiểu được một cách chi tiết hành trạng của hệ nhờ một mô hình có một số nhỏ các bậc tự do”.

Rốt cuộc, chính Hohenberg là người đã tập hợp các nhà lý thuyết và thực nghiệm lại. Ông đã tổ chức một cuộc hội thảo ở Aspen mùa hè năm 1979, và Libchaber đã tham dự. (Bốn năm trước, cũng ở hội thảo mùa hè này, Feigenbaum đã nghe Steve Smale nói về một con số - chỉ một con số thôi - dường như xuất hiện khi một nhà toán học nhìn sự chuyển pha sang hỗn độn trong một phương trình nào đó.) Khi Libchaber mô tả thí nghiệm với héli lỏng, thì Hohenberg ngồi ghi chép rất cẩn thận. Trên đường trở về nhà, ông đã dừng lại ở New Mexico và gặp Feigenbaum. Ít lâu sau, đáp lại lời mời, Feigenbaum đã đến thăm Libchaber ở Paris. Hai người đứng giữa những mớ lộn xộn các máy móc và các đồ linh kính khác. Libchaber tự hào chỉ cái khoang nhỏ xíu của mình rồi để Feigenbaum giải thích lý thuyết mới nhất của ông. Sau đó họ đã đi dạo quanh Paris, tìm kiếm các quán café ngon nhất ở đó. Libchaber sau này nhớ lại ông đã rất ngạc nhiên khi thấy một nhà lý thuyết trẻ đến thế và cũng, *trần trụi sức sống* đến thế.

CHUYỂN TỪ CÁC ÁNH XẠ sang dòng chảy của các chất lưu dường như là một bước nhảy quan trọng tới mức mà ngay cả các nhà khoa học có trọng trách nhất đôi khi cũng cảm thấy giống như một giấc mơ. Bằng cách nào tự nhiên lại có thể ràng buộc một sự phức tạp như thế với một sự đơn giản như thế là chuyện còn xa mới là hiển nhiên. “Cần phải xem nó

như một loại phép màu; điều đó không giống với mối quan hệ thông thường giữa lý thuyết và thực nghiệm”, Jerry Gollub nói. Trong vài năm, phép màu này đã được lặp đi lặp lại nhiều lần trong một tập hợp rộng lớn các hệ thực nghiệm: các ngăn chứa chất lỏng lớn hơn, chứa nước và thủy ngân, các mạch dao động điện, các laser, và cả các phản ứng hóa học nữa. Các nhà lý thuyết áp dụng những kỹ thuật của Feigenbaum và đã phát hiện ra các con đường toán học khác dẫn tới hỗn độn, “chị em” với sự phân đôi chu kỳ: ví như sự ngắt quãng và tính chuẩn tuần hoàn. Các con đường này cũng tỏ ra là phổ quát trong cả lý thuyết và thí nghiệm.

Những phát minh của các nhà thực nghiệm cũng cho phép khai mở kỷ nguyên thí nghiệm trên máy tính. Các nhà vật lý đã phát hiện ra rằng máy tính cũng tạo ra các bức tranh định tính như các thí nghiệm thực, nhưng với tốc độ nhanh hơn hàng triệu lần và với một độ tin cậy lớn hơn. Đối với nhiều người, mô hình chất lỏng do Valter Franceschini, thuộc Đại học Modène, Italia, nghĩ ra - một hệ gồm năm phương trình vi phân sinh ra các nhân hút và các phân đôi chu kỳ - còn thuyết phục hơn các kết quả của Libchaber. Franceschini không hề biết gì về Feigenbaum, nhưng mô hình phức tạp, nhiều chiều của ông cũng dẫn đến cùng những hằng số mà Feigenbaum đã tìm thấy với các ánh xạ một chiều. Năm 1980, một nhóm các nhà khoa học châu Âu đã đưa ra một giải thích toán học đầy tính thuyết phục: sự tiêu tán làm suy yếu một hệ phức tạp chứa nhiều chuyển động cạnh tranh nhau và kết thúc bằng việc rút gọn hành trạng đa chiều về một chiều.

Tìm ra một nhân hút trong một thí nghiệm thực về chất lỏng, chứ không phải bằng cách mô phỏng trên máy tính,

là một thách thức rất lớn. Trong những năm 1980, điều này đã khiến các nhà thực nghiệm như Harry Swinney hết sức bận tâm. Và khi rốt cuộc các nhà thực nghiệm này đã thành công, thì những kết quả của họ lại bị các chuyên gia tin học mới coi thường, vì họ xem chúng chỉ là sự tái tạo thô thiển và dễ phỏng đoán từ các hình ảnh chi tiết đến tuyệt vời mà các máy đồ họa của họ tạo ra. Khi người ta tạo ra được trên máy tính hàng nghìn hay hàng triệu điểm dữ liệu, thì các hình ảnh xuất hiện sẽ nhìn như thật. Trong một phòng thí nghiệm, cũng như trong thế giới thực, cần phải phân biệt giữa thông tin hữu ích và nhiễu tạp. Trong một thí nghiệm trên máy tính, các dữ liệu như rượu vang chảy ra từ một cái cốc thần. Còn trong một thí nghiệm thực người ta phải vật lộn để thu được từng giọt.

Tuy nhiên, nếu như chỉ có các thí nghiệm trên máy tính, thì lý thuyết mới của Feigenbaum và của các nhà nghiên cứu khác đã không thể thúc đẩy sự hưởng ứng của một cộng đồng các nhà khoa học rộng lớn đến thế. Các sửa đổi, các thỏa hiệp, và các phép gần đúng cần thiết để số hóa các hệ phương trình vi phân phi tuyến quả là đáng nghi ngờ. Các mô phỏng phá vỡ hiện thực thành các thành phần nhiều nhất có thể, nhưng bao giờ cũng là quá ít. Một mô hình tin học chỉ là một tập hợp các quy tắc vô đoán được những người lập trình lựa chọn. Một chất lỏng thực, ngay cả khi bị nhốt trong một ngăn có mỗi cạnh bằng một milimét đi nữa, cũng chắc chắn có khả năng thực hiện tất cả các chuyển động tự do, không kiểm soát được, của hỗn độn tự nhiên. Nó ẩn chứa một tiềm năng bất ngờ.

Vào thời của những mô phỏng tin học, trong khi mà dòng chảy trong tất cả các vật, từ các bình phản ứng đến các tâm thất đều được mô hình hóa trên các siêu máy tính, thì người ta

có xu hướng quên mất rằng tự nhiên có thể dễ dàng làm cho một nhà thực nghiệm bối rối. Trên thực tế, không một máy tính nào hiện nay có thể mô phỏng được hoàn hảo dù chỉ là một hệ đơn giản như ngăn hêli lỏng của Libchaber. Bất cứ khi nào một nhà vật lý giỏi xem xét một mô phỏng, anh ta đều phải tự hỏi người ta đã tước bỏ đi thành phần nào của hiện thực, bất ngờ tiềm tàng nào đã bị né tránh. Libchaber thích nói rằng ông không muốn bay trên một chiếc máy bay được chế tạo trên máy vi tính - vì ông sẽ luôn phải bắn khoản tự hỏi liệu người ta có bỏ sót điều gì chẳng. Hơn nữa, ông nói, cho dù các mô phỏng này có giúp tạo dựng trực giác hoặc cho phép tinh lọc các tính toán, thì chúng cũng không thể cho ra đời các phát minh thực sự. Dù thế nào chẳng nữa thì đó vẫn là niềm xác tín của các nhà thực nghiệm.

Thí nghiệm của ông miễn chê, các mục đích khoa học của ông trùu tượng tới mức có các nhà vật lý cho rằng những nghiên cứu của ông giống triết học hay toán học hơn là vật lý. Libchaber nghĩ rằng thực ra các chuẩn mực đang áp dụng trong chuyên ngành của ông mang tính quy giản luận: chúng trao vị trí hàng đầu cho các nguyên tử. “Một nhà vật lý hỏi tôi: “Bằng cách nào nguyên tử này lại đến đây và bám vào kia? Và đâu là độ nhảy của bề mặt này? Và liệu bạn có thể viết Hamiltonian cho hệ này không?”

“Nếu tôi nói với anh ta: ‘Tôi cóc cần, điều tôi quan tâm đó là *hình dạng* này, toán học của hình dạng đó và sự tiến hóa, sự phân nhánh của hình dạng này sang hình dạng kia rồi lại sang hình dạng khác nữa’, thì anh ta sẽ trả lời tôi: ‘Đó không phải là vật lý, mà là ông đang nghiên cứu toán học’. Ngay cả hiện nay, anh ta cũng sẽ vẫn trả lời tôi như thế. Vậy tôi biết nói

gì đây? Vâng, đúng là tôi nghiên cứu toán học. Nhưng chúng liên quan tới những gì xung quanh chúng ta. Và đó cũng là tự nhiên”.

Các hình mẫu mà ông đã phát hiện ra thực sự là trừu tượng. Chúng là toán học. Chúng chẳng cho biết gì về các tính chất của hêli lỏng, của đồng, hay về hành trạng của các nguyên tử quanh không độ tuyệt đối. Nhưng chúng là những hình mẫu mà những người đi trước Libchaber mơ ước. Chúng làm cho việc tiến hành thực nghiệm trở thành chính thống, trong đó rất nhiều nhà khoa học, từ các nhà hóa học cho đến các kỹ sư điện, nhanh chóng biến thành các nhà khám phá đi tìm các yếu tố mới của chuyển động. Người ta đã nhìn thấy những hình mẫu lần đầu tiên mà ông thành công khi tăng đủ nhiệt độ để tách riêng sự phân đôi chu kỳ đầu tiên, rồi sự phân đôi tiếp theo, rồi tiếp theo nữa. Theo lý thuyết mới, các phân nhánh này phải sinh ra một hình học với một bất biến thang xác định; đó chính là cái mà Libchaber đã nhìn thấy: các hằng số phổ quát của Feigenbaum, tại thời điểm đó, đã chuyển từ các ý niệm toán học thành một phần của thực tại vật lý, đo đạc được, tái tạo được. Rất lâu sau đó, ông vẫn còn nhớ rõ cái cảm giác kỳ lạ khi chứng kiến hết sự phân nhánh này đến sự phân nhánh khác và sau đó nhận ra rằng mình đang nhìn thấy những bậc thác vô hạn, rất phong phú về cấu trúc. Và điều đó, như ông nói, thật là thích thú.

CÁC HÌNH ẢNH CỦA HỖN ĐỘN

*Còn gì khác nữa khi mà hỗn độn hướng tất cả
các lực vào bên trong để tạo thành một chiếc lá?*

—CONRAD AIKEN

MICHAEL BARNSELEY đã gặp Mitchell Feigenbaum trong một cuộc hội nghị ở đảo Corse năm 1979. Đó là khi, Barnsley, một nhà toán học được đào tạo tại Oxford, lần đầu tiên nghe nói về tính phổ quát, về sự nhân đôi chu kỳ và chuỗi vô hạn các phân nhánh. Một ý tưởng hay, ông nghĩ, loại ý tưởng mà chắc chắn các nhà khoa học sẽ đổ xô vào bắt lấy một miếng cho mình. Và về phần mình, Barnsley đã thấy một miếng, mà ông nghĩ, chưa một ai khác đã nhận ra.

Từ đâu mà có các chu kỳ 2, 4, 8, 16, các chuỗi Feigenbaum này? Phải chăng chúng bước ra từ một chân không toán học nhờ có phép màu, hay là chúng gợi ý về sự tồn tại của một điều gì đó ẩn sâu hơn? Trực giác của Barnsley mách bảo rằng chúng phải thuộc một đối tượng fractal còn ẩn giấu nào đó mà cho tới lúc ấy ta vẫn chưa nhìn thấy.

Để biểu đạt ý tưởng của mình, Barnsley đã sử dụng một địa hạt các con số được gọi là “mặt phẳng phức”. Trong mặt phẳng này, các số nằm trong khoảng từ âm vô cực đến dương

vô cực - nghĩa là tất cả các số thực - được đặt trên một đường thẳng trải dài từ Tây sang Đông, với số 0 ở trung tâm. Nhưng đường thẳng này chỉ là xích đạo của một thế giới cũng trải đến vô cực về hai hướng Bắc và Nam. Mỗi một số bây giờ gồm hai phần, phần *thực* ứng với kinh độ đông-tây, và một phần *ảo* ứng với vĩ độ bắc-nam. Theo quy ước, các số phức này được viết, chẳng hạn như $2 + 3i$, với i ký hiệu cho phần ảo. Hai thành phần này cho mỗi số một vị trí duy nhất trong mặt phẳng phức hai chiều. Đường thẳng các số thực khi đó chỉ là một trường hợp đặc biệt: đó là tập hợp các số mà phần ảo bằng 0. Trong mặt phẳng phức, chỉ nhìn các số thực thôi - tức chỉ nhìn các điểm của xích đạo - sẽ hạn chế tầm nhìn đối với các giao tuyến ngẫu nhiên của các hình dạng, những giao tuyến có thể phát lộ những bí mật khác nếu người ta nhìn chúng theo hai chiều - đó là điều Barnsley nghi ngờ.

Những cái tên *thực* và *ảo* bắt nguồn từ thời mà các con số thông thường tỏ ra là thực hơn so với loại số lai mới mẻ này; nhưng ngày nay, những tên gọi đó được thừa nhận là hoàn toàn vô đoán, vì hai loại số này cũng là thực và ảo như nhau mà thôi. Xét trên góc độ lịch sử, các số ảo đã được phát minh ra để lấp một khoảng trống về khái niệm được tạo ra bởi câu hỏi: căn bậc hai của một số âm là gì? Theo quy ước, căn bậc hai của -1 là i , căn bậc hai của -4 là $2i$, và cứ tiếp tục như vậy. Người ta nhanh chóng nhận thấy rằng sự tổ hợp các số thực và số ảo cho phép thực hiện các tính toán mới trên các phương trình loại đa thức. Người ta có thể cộng, nhân, lấy trung bình, phân tích ra thừa số, thậm chí lấy tích phân các số phức. Hầu hết các tính toán được thực hiện với các số thực đều có thể thực hiện đối với số phức. Khi bắt đầu chuyển dịch các hàm số

của Feigenbaum vào mặt phẳng phức, Barnsley đã thấy xuất hiện các hình bóng của một họ kỳ lạ các hình dạng, dường như có liên quan với các ý tưởng động lực học đầy hấp dẫn đối với các nhà vật lý thực nghiệm, nhưng đồng thời cũng gây ngạc nhiên như là các cấu trúc toán học.

Hóa ra các chu kỳ không phải xuất hiện từ hư không, Barnsley nhận xét. Chúng rơi từ mặt phẳng phức xuống đường thẳng thực: nếu nhìn mặt phẳng này, bạn sẽ phát hiện thấy ở đó cả một tập hợp đủ loại các chu kỳ. Luôn luôn có chu kỳ đôi, chu kỳ ba, chu kỳ bốn, nổi trôi không nhìn thấy được chừng nào chúng chưa chạm tới đường thẳng thực. Barnsley bèn vội vã rời đảo Corse, trở lại phòng làm việc của ông ở Viện Công nghệ Georgia để hoàn thành một bài báo và gửi ngay cho tạp chí *Communications in Mathematical Physics*. Thật tình cờ, tổng biên tập tạp chí này lại là David Ruelle, và Ruelle đã báo cho ông một tin xấu: Barnsley đã tình cờ phát hiện lại một công trình cũ đã bị chôn vùi từ năm mươi năm nay của một nhà toán học Pháp. “Ruelle đã đưa trả lại tôi bài báo cứ như thể nó làm bỏng các ngón tay ông và nói: “Michael ạ, anh đã nói về các tập hợp Julia”, Barnsley nhớ lại. Và Ruelle còn đưa thêm một lời khuyên: “Hãy tiếp xúc với Mandelbrot”.

BA NĂM TRƯỚC, JOHN HUBBARD, một nhà toán học người Mỹ thích mặc áo sơ mi lòe loẹt theo mốt, đang dạy môn giải tích cho sinh viên năm thứ nhất của Đại học Orsay (Pháp). Ngoài các chủ đề chuẩn theo quy định khác, chương trình còn đề cập đến một phương pháp cổ điển của Newton để giải các phương trình bằng các phép gần đúng liên tiếp. Hubbard vốn không mấy quan tâm đến các chủ đề cổ điển, nhưng một lần,

ông đã quyết định trình bày phương pháp Newton theo một cách buộc sinh viên phải suy nghĩ.

Phương pháp Newton là một kỹ thuật cũ, cũ ngay khi Newton mới nghĩ ra nó. Người Hy Lạp cổ đại đã sử dụng phương pháp này để tìm căn bậc hai. Đầu tiên, người ta xuất phát từ một giá trị ước lượng. Giá trị này dẫn đến một giá trị gần đúng tốt hơn, và quá trình lặp này sẽ hội tụ về đáp số chính xác, giống như một hệ động lực tìm kiếm trạng thái dừng của nó vậy. Đây là một phương pháp tính nhanh, số các số thập phân chính xác thu được thường tăng gấp đôi sau mỗi bước tính. Tất nhiên, ngày nay, việc tìm căn bậc hai, cũng như việc tìm nghiệm các phương trình bậc hai - tức các phương trình trong đó các biến chỉ có lũy thừa cao nhất là hai, đã trở nên dễ dàng hơn nhờ các phương pháp giải tích. Nhưng phương pháp Newton vẫn thường có hiệu quả đối với các phương trình đa thức bậc cao hơn mà người ta không thể giải được một cách trực tiếp. Nó cũng rất hiệu quả đối với một loạt các thuật toán tin học - bởi vì, như thường lệ, quá trình lặp vốn là điểm mạnh của máy tính. Tuy nhiên, phương pháp này cũng có một nhược điểm nhỏ: các phương trình thường có nhiều hơn một nghiệm, đặc biệt khi người ta tính đến cả các nghiệm phức, và nghiệm nào trong số đó tìm thấy bằng phương pháp này phụ thuộc vào giá trị ước lượng ban đầu của bạn. Trong thực tiễn, điều này không đặt ra bất kỳ vấn đề nào đối với sinh viên. Họ thường có một ý tưởng tốt về điểm xuất phát, và nếu như ước lượng đầu tiên dẫn đến kết quả tồi, họ sẽ làm lại với giá trị ước lượng thứ hai.

Người ta có thể hỏi: phương pháp Newton đã chính xác đi theo con đường nào khi nó zíc zắc tiến đến một nghiệm của

một đa thức bậc hai trong mặt phẳng phức. Bằng tư duy hình học, người ta có thể trả lời rằng, đơn giản là phương pháp này sẽ tìm ra nghiệm nào (trong hai nghiệm) ở gần nghiệm ước lượng ban đầu hơn. Đó là điều mà Hubbard đã nói với các sinh viên ở Orsay khi câu hỏi này được đặt ra.

“Bây giờ, đối với các phương trình, ví dụ như bậc ba, chẳng hạn, tình hình dường như sẽ phức tạp hơn, Hubbard nói một cách tự tin. Tôi sẽ suy nghĩ về điều này và sẽ trả lời các em vào tuần sau”.

Thực ra, ông vẫn đinh ninh rằng điều khó khăn nhất là dạy cho sinh viên biết thực hiện quá trình lặp như thế nào, chứ còn việc lựa chọn giá trị ước lượng đầu tiên thì chẳng có gì là khó cả. Nhưng càng nghĩ về điều đó, thì ông lại càng thấy mù mịt - cái gì tạo nên một phỏng đoán thông minh, hay trong trường hợp này, phương pháp Newton thực sự đã làm gì? Điều hiển nhiên nhất, về mặt hình học mà nói, có lẽ là sự phân chia mặt phẳng thành ba vùng bằng nhau mỗi vùng chứa một nghiệm. Nhưng Hubbard đã phát hiện thấy điều này không ổn. Xảy ra các điều lạ lùng ở gần các đường biên. Ngoài ra, Hubbard cũng phát hiện ra rằng ông không phải là nhà toán học đầu tiên gặp phải vấn đề khó một cách đáng ngạc nhiên này. Năm 1879 Huân tước Arthur Cayley đã thử chuyển từ trường hợp dễ giải bậc hai sang trường hợp khó một cách đáng sợ, là bậc ba. Nhưng Hubbard, một thế kỷ sau, đã có trong tay một công cụ mà Cayley không có.

Hubbard thuộc số các nhà toán học ưa sự chặt chẽ, coi thường các phỏng đoán và ước lượng, các phép tính gần đúng và các sự thật nửa vời dựa trên trực giác chứ không phải dựa trên một chứng minh. Ông thuộc loại các nhà toán

học vẫn tiếp tục khẳng định, hai mươi năm sau khi nhân hút của Edward Lorenz xuất hiện trong sách báo khoa học, rằng không một ai thực sự *biết* các phương trình này có sinh ra một nhân hút lạ hay không. Đó mới chỉ là một phỏng đoán chứ chưa được chứng minh. Đường xoắn kép quen thuộc, ông nói, không phải là một chứng minh, nó đơn giản chỉ là một bằng chứng, một thứ mà máy tính vẽ ra.

Giờ đây, mặc dù không muốn, nhưng Hubbard đã bắt đầu sử dụng máy tính để làm những điều mà các kỹ thuật chính thống không làm. Máy tính không *chứng minh* gì hết. Nhưng ít nhất thì nó có thể hé lộ chân lý khiến cho nhà toán học có thể biết được cái mà anh ta phải tìm cách chứng minh. Và thế là Hubbard bắt đầu thực nghiệm. Ông coi phương pháp Newton không phải là một cách để giải các bài toán, mà coi bản thân nó là một bài toán. Ông đã xét ví dụ đơn giản nhất về đa thức bậc ba, tức là phương trình $x^3 - 1 = 0$. Cụ thể là tìm căn bậc ba của 1. Trong các số thực, chắc chắn chỉ có một nghiệm mà ai cũng biết, đó là $x = 1$. Nhưng đa thức này cũng còn chấp nhận hai nghiệm phức nữa, đó là $(-1 + i\sqrt{3})/2$ và $(-1 - i\sqrt{3})/2$. Trên mặt phẳng phức, ba nghiệm này tạo thành một tam giác đều, một ở vị trí như kim đồng hồ chỉ ba giờ, một ở bảy giờ và một ở mười một giờ. Vấn đề đặt ra là: xuất phát từ một số phức nào đó, phương pháp Newton sẽ dẫn đến *ng nghiệm* nào trong số ba nghiệm trên? Thành thử, phương pháp Newton giống như một hệ động lực với ba nghiệm là ba nhân hút; hay nói một cách hình ảnh, mặt phẳng phức giống như một bề mặt nhẵn dốc đổ về ba thung lũng sâu. Một viên bi đặt ở một vị trí nào đó của mặt này sẽ phải lăn về một trong ba thung lũng đó - nhưng cụ thể là thung lũng nào trong ba thung lũng này?

Hubbard đã thử tính với rất nhiều điểm tạo nên mặt phẳng. Lần lượt từng điểm một, ông dùng máy tính tính theo phương pháp Newton và cho tô màu kết quả. Các điểm xuất phát dẫn đến một nghiệm được tô cùng một màu xanh lơ, các điểm dẫn đến nghiệm thứ hai được tô toàn màu đỏ và các điểm dẫn tới nghiệm thứ ba được tô toàn màu xanh lá cây. Ở ngay phép gần đúng đầu tiên, Hubbard đã nhận thấy rằng quả thật động lực học của phương pháp Newton đã chia mặt phẳng thành ba vùng. Về đại thể, các điểm ở *gần* một nghiệm cụ thể nào đó sẽ tiến nhanh đến nghiệm này. Nhưng sự khảo sát một cách hệ thống bằng máy tính đã cho thấy ẩn giấu bên dưới tất cả là một tổ chức phức tạp mà các nhà toán học trước đó đã không quan sát được, họ chỉ có khả năng tính toán được một điểm ở chỗ này, một điểm ở chỗ kia mà thôi. Trong khi một số ước lượng ban đầu đều nhanh chóng dẫn đến một nghiệm, thì một số ước lượng khác lại nhảy nhót lung tung một cách có vẻ như là ngẫu nhiên, nhưng rồi cuối cùng cũng hội tụ về một nghiệm. Cũng đôi khi, một điểm dường như rơi vào một chu trình lặp đi lặp lại một cách vĩnh viễn, tức một chu trình tuần hoàn, mà không bao giờ hội tụ đến nghiệm nào.

Khi Hubbard ra lệnh cho máy tính khám phá không gian một cách ngày càng chi tiết hơn, cùng với các nghiên cứu sinh của mình, ông đã sửng sốt trước các hình ảnh xuất hiện. Thay vì một đường biên rõ ràng giữa, chẳng hạn, các thung lũng xanh lơ và đỏ, ông lại thấy xuất hiện các vết xanh lá cây, xâu chuỗi như các viên ngọc trên một vòng đeo cổ. Nó tựa như thể một viên bi, bị co kéo dẹt bằng hai thung lũng ở gần để rồi cuối cùng lại kết thúc ở thung lũng thứ ba, xa hơn. Không bao giờ có đường biên rạch ròi giữa hai màu. Quan sát gần

Helmut Otto Peitgen, Peter H. Richter



CÁC ĐƯỜNG BIÊN VÔ CÙNG PHỨC TẠP. Khi cắt một chiếc bánh thành ba phần, các phần gấp nhau ở chỉ một điểm duy nhất và đường biên giữa hai phần bất kỳ đều rất đơn giản. Nhưng nhiều quá trình của toán học trừu tượng và của thế giới thực dường như lại tạo ra các đường biên phức tạp hầu như không thể tưởng tượng nổi.

Trong hình trên, phương pháp Newton được áp dụng để tìm căn bậc ba của -1 chia mặt phẳng thành ba vùng giống hệt nhau, một trong số chúng được biểu diễn ở đây bằng màu trắng. Tất cả các điểm trắng đều bị “hút” về phía giá trị của nghiệm nằm ở vùng trắng rộng nhất; tất cả các điểm màu đen bị hút về một trong hai nghiệm còn lại. Đường biên có một tính chất đặc biệt: mỗi điểm trên đó đều tiếp giáp với cả ba vùng. Và như các phụ bản trên hình cho thấy, sự phóng đại các đoạn phát lộ cấu trúc *fractal*, trong đó các hình mẫu cơ bản được lặp lại trên các thang ngày càng nhỏ hơn.

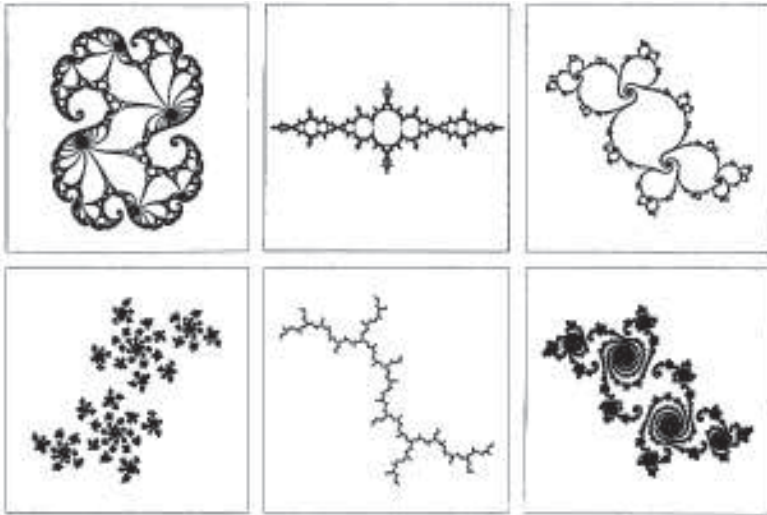
hơn nữa ta thấy đường ngăn cách giữa vết màu xanh lá cây và thung lũng xanh lơ lại chứa các vết đỏ - và cứ tiếp diễn như vậy. Đường biên này cuối cùng tiết lộ cho Hubbard thấy một tính chất đặc biệt, quá ư phức tạp ngay cả đối với những người đã quen thuộc với các hình *fractal* quỷ quái của Mandelbrot: *không* có điểm nào đánh dấu đường biên giữa hai màu nào đó. Cứ mỗi khi hai màu tiến lại gần nhau, thì một màu thứ ba lại len vào giữa chúng và cho ra đời một loạt các đạn xen mới tự tương tự. Thật hết sức khó tin, mọi điểm biên đều tiếp xúc đồng thời với cả ba màu.

Hubbard đã lao vào nghiên cứu các hình dạng phức tạp này và những hệ quả toán học của chúng. Nghiên cứu của ông và các đồng nghiệp đã nhanh chóng trở thành một hướng tiếp cận mới đối với vấn đề về các hệ động lực. Ông đã nhận thấy rằng ánh xạ của phương pháp Newton chỉ là một trong cả một họ những hình ảnh khác còn chưa được khám phá, phản ánh hành trạng của các lực trong thế giới thực. Michael Barnsley cũng tìm kiếm các thành viên khác của họ các hình kiểu nói trên, nhưng chẳng bao lâu sau, cả hai đều biết rằng Benoit Mandelbrot đã phát hiện ra ông tổ của tất cả các hình đó.

TẬP HỢP MANDELBROT là đối tượng phức tạp nhất trong toán học, - những người hâm mộ nó thường thích nói như vậy. Dù có sống mãi cũng không thể thấy hết toàn bộ tập hợp đó, với các đĩa tua tua những gai nhọn, với các đường xoắn ốc và các sợi cuộn ra phía ngoài và ra xung quanh, chứa các phân tử hình củ hành và treo lơ lửng và vô cùng sắc sảo như các chùm nho trong vườn nho của Chúa Trời. Được quan sát dưới dạng tô màu qua một cửa sổ điều chỉnh được trên màn hình máy

tính, tập hợp Mandelbrot nhìn còn *fractal* hơn tất cả các hình *fractal*, sự phức tạp của nó rất phong phú ở tất cả các thang. Phân loại các hình ảnh khác nhau trong tập hợp đó, hay mô tả số hóa các đường nét đại thể của nó đòi hỏi một lượng thông tin vô hạn. Nhưng có một nghịch lý: sự mô tả nó một cách đầy đủ bằng tin học lại chỉ đòi hỏi vài chục chuỗi ký tự. Một chương trình đơn giản cũng chứa đủ thông tin để tái tạo toàn bộ tập hợp này. Những người đầu tiên hiểu được cách thức mà tập hợp này hòa trộn sự phức tạp với sự đơn giản đã rất bất ngờ - kể cả Mandelbrot. Tập hợp Mandelbrot đã trở thành một loại biểu tượng công khai đối với hỗn độn, nó xuất hiện trên bìa các ấn phẩm của các cuộc hội thảo và tạp chí kỹ thuật, tạo thành tác phẩm trung tâm của một triển lãm nghệ thuật tin học hành trình xuyên thế giới trong các năm 1985 và 1986. Nếu như vẻ đẹp của nó được toát ra một cách tự nhiên từ các hình ảnh này, thì việc nắm bắt được ý nghĩa của nó đối với các nhà toán học lại khó khăn hơn rất nhiều. Họ đã hiểu được nó một cách vô cùng vất vả và chậm chạp.

Rất nhiều hình *fractal* có thể được tạo nên nhờ các quá trình lặp trong mặt phẳng phức, nhưng chỉ tồn tại một tập hợp Mandelbrot duy nhất. Nó bắt đầu xuất hiện, một cách mơ hồ và ma quái, khi Mandelbrot cố gắng tìm cách tổng quát hóa một lớp các hình dạng được gọi là các “tập hợp Julia”. Các tập hợp này đã được các nhà toán học người Pháp là Gaston Julia và Pierre Fatou phát hiện và nghiên cứu trong thời gian Đại chiến thế giới thứ nhất mà không hề có sự trợ giúp của đồ họa vi tính. Mandelbrot đã xem các hình vẽ khiêm tốn này và đọc các công trình của họ - dù còn rất mù mờ - khi ông mới hai mươi tuổi. Các tập hợp Julia, ẩn trong rất nhiều các nguy trang, chính xác



Heinz-Otto Peitgen, Peter H. Richter

MỘT VÀI TẬP HỢP JULIA.

là các đối tượng đã kích thích trí tò mò của Barnsley. Một tập hợp Julia giống như các vòng tròn bị kẹp và làm cho biến dạng ở nhiều chỗ để cho chúng có một cấu trúc *fractal*. Một số khác bị phá vỡ thành nhiều vùng, một số khác nữa lại chỉ là các hạt bụi nằm rải rác. Nhưng chẳng có thuật ngữ nào cũng như chẳng có khái niệm nào của hình học Euclid mô tả được chúng. Theo nhà toán học Pháp Adrien Douady: “Bạn thu được một họ đáng kinh ngạc các tập hợp Julia: một số trông như các đám mây béo ú, một số khác lại như các bụi cây gầy guộc, một số khác nữa lại giống các tàn lửa chập chờn trong không khí ở cuối buổi bắn pháo hoa. Có tập hợp có hình dạng giống như con thỏ, và rất nhiều tập hợp giống đuôi con cá ngựa.”

Năm 1979, Mandelbrot phát hiện ra rằng ông đã tạo được một hình ảnh trong mặt phẳng phức có thể được dùng như một

catalog của các tập hợp Julia, cho phép xác định tất cả các tập hợp đó mà không có một ngoại lệ nào. Ông đã khảo sát sự lặp của các quá trình phức tạp, như các phương trình với căn bậc hai, với các hàm sin và cosin. Ngay cả sau khi đã tạo dựng đời sống trí tuệ của mình dựa trên giả thiết rằng cái đơn giản sẽ sinh ra cái phức tạp, thì ông cũng không hiểu được ngay bản chất khác thường của cái đối tượng lấp ló trên màn hình máy tính của ông ở IBM và Harvard. Ông ép các lập trình viên của ông phải thu được nhiều chi tiết hơn, và họ đã phải đổ mồ hôi sôi nước mắt để tìm được chỗ trong một bộ nhớ quá ư hạn hẹp và nghĩ ra một phép nội suy mới trên một máy tính lớn của IBM với một đèn hình đen trắng thô sơ. Tồi tệ hơn nữa, các lập trình viên còn luôn phải canh chừng một cái bẫy thường gặp trong những khảo sát trên máy tính, đó là sự tạo ra các “hiện tượng giả”, chúng xuất hiện chỉ là do sự trái tính trái nết nào đó của máy tính, và sẽ biến mất khi chương trình được viết khác đi.

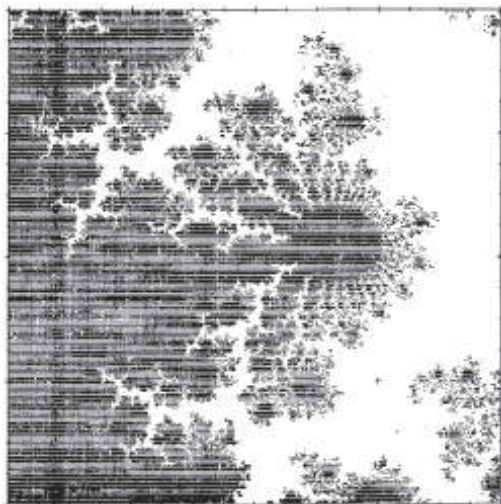
Sau đó Mandelbrot đã chuyển sự chú ý của ông đến một ánh xạ đơn giản, đặc biệt dễ lập trình. Sau vài vòng lặp, những đường viền đầu tiên của các đĩa bắt đầu xuất hiện. Vài dòng tính toán bằng tay đã chứng tỏ rằng các đĩa này về toán học là thật chứ không phải là sản phẩm của sự trái tính trái nết của máy tính. Ở bên trái và bên phải của các đĩa chính đã lơ mơ xuất hiện nhiều hình dạng hơn. Như Mandelbrot khẳng định sau này, trong đầu ông lúc đó, ông đã nhìn thấy nhiều hơn: đó là một thứ bậc các hình dạng, các nguyên tử làm bật ra các nguyên tử khác nhỏ hơn, và cứ như thế đến vô cùng. Và ở những nơi cắt đường thẳng thực, các đĩa này nhỏ dần về thang theo một quy luật hình học mà các nhà động lực học giờ đây đã nhận ra: đó chính là chuỗi những phân nhánh Feigenbaum.

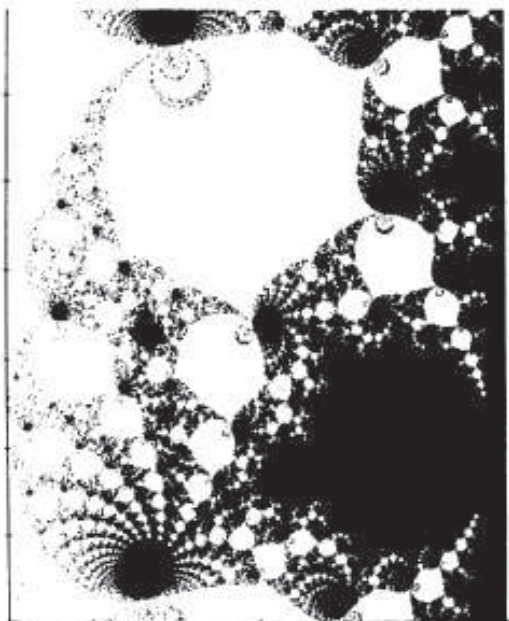
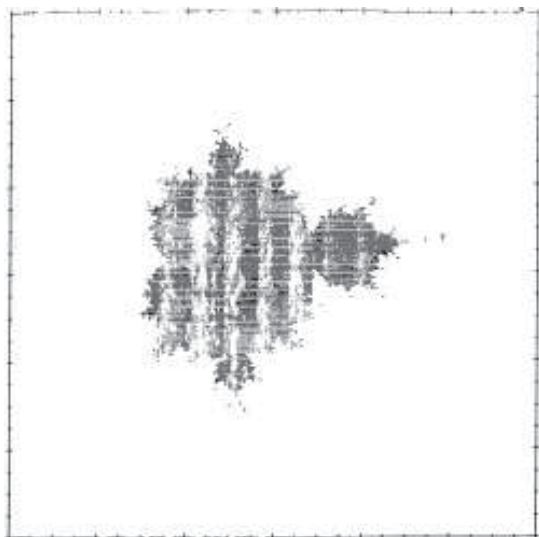
Điều đó đã khuyến khích Mandelbrot đẩy sự tính toán đi xa hơn; ông đã làm cho các hình ảnh thô đầu tiên này trở nên tinh tế hơn và đã nhanh chóng phát hiện ra các vết bụi bám vào mép của các đĩa và trôi nổi trong không gian lân cận. Trong khi cố gắng tính toán các chi tiết ngày càng tinh tế hơn, ông chợt nhận thấy rằng vận may đã rời bỏ ông. Thay vì trở nên sắc nét hơn, các hình ảnh lại hóa ra mờ nhòe hơn. Ông đã quay lại trung tâm nghiên cứu IBM, ở quận Westchester, để thử tính toán ở một thang tinh vi hơn trên một máy tính mạnh mà ở Harvard không có. Thật vô cùng ngạc nhiên, sự mờ nhòe tăng dần này lại là dấu hiệu của một cái gì đó có thực. Các chồi đâm và các tua hình xoắn ốc uể oải lan tỏa ra từ các đảo chính. Mandelbrot đã thấy một đường biên tưởng là nhẵn nhụi, nhưng giờ đây tự phân giải thành một chuỗi các đường xoắn ốc tựa như đuôi của con cá ngựa. Cái vô lý đã làm giàu có hơn cho cái hợp lý.

Tập Mandelbrot là một tập hợp các điểm. Mọi điểm trên mặt phẳng phức - nghĩa là mọi số phức - hoặc là ở bên trong hoặc ở bên ngoài tập hợp đó. Một trong các cách để xác định tập hợp này là kiểm tra mỗi điểm của mặt phẳng phức bằng một phép tính số học được lập một cách đơn giản. Để kiểm tra một điểm, hãy lấy số phức xác định điểm đó, rồi bình phương nó lên và thêm vào số ban đầu; rồi lại bình phương kết quả và cộng thêm vào số ban đầu; rồi lại bình phương kết quả... và cứ tiếp tục như vậy. Nếu kết quả tiến đến vô hạn, thì điểm ban đầu không thuộc tập hợp Mandelbrot; nếu nó vẫn còn hữu hạn (dù nó có bị bẫy trong một vòng tuần hoàn nào đó hay di chuyển một cách thất thường), thì điểm ban đầu là thuộc tập hợp Mandelbrot.



SỰ ĐỘT SINH CỦA TẬP HỢP MANDELBROT. Trên bản in thô đầu tiên từ máy tính của Benoit Mandelbrot, một cấu trúc thô đã xuất hiện với các chi tiết được hiện dần lên khi chất lượng tính toán được hoàn thiện hơn. Các “phân tử” hay những đối tượng giống như những con bọ nhỏ xíu trôi nổi này, liệu có phải là các hòn đảo biệt lập? hay là chúng được gắn với khối chính bởi các sợi quá mỏng nên không quan sát thấy? Không thể nói được.





Việc lập một quá trình một cách vô hạn và đặt câu hỏi liệu kết quả có là vô hạn hay không rất giống với các quá trình hồi tiếp xảy ra trong thực tế. Hãy hình dung bạn điều chỉnh micro, ampli và các loa trong hội trường. Vấn đề mà bạn lo lắng là tiếng rít do sự hồi tiếp âm. Nếu micro đủ nhạy, âm thanh được khuếch đại sẽ hồi tiếp trở lại micrô theo một vòng vô tận mỗi lúc một chói tai hơn. Trái lại, nếu âm thanh này đủ yếu, nó sẽ suy giảm dần trước khi trở lại micro. Để mô phỏng quá trình hồi tiếp này bằng các con số, hãy lấy một con số xuất phát, rồi nhân số này với chính nó, rồi lại nhân kết quả với chính nó, và cứ tiếp tục như vậy. Bạn sẽ phát hiện ra rằng các con số lớn sẽ nhanh chóng trở nên vô hạn: 10, 100, 10000..., nhưng các số nhỏ sẽ hội tụ về 0: $1/2$, $1/4$, $1/16$... Để tạo ra một bức tranh hình học, bạn hãy xác định tập hợp tất cả các điểm mà khi nạp vào phương trình này nó không dẫn đến vô hạn. Hãy xét các điểm thuộc đường thẳng xuất phát từ 0 hướng lên trên. Nếu một điểm tạo ra tiếng rít hồi tiếp, thì hãy tô nó bằng màu trắng. Nếu không, hãy tô nó bằng màu đen. Bạn sẽ nhanh chóng nhận được một hình gồm đoạn thẳng màu đen từ 0 đến 1.

Trong quá trình một chiều, thực tế, không ai cần sử dụng đến sự kiểm tra thực nghiệm này. Khá dễ dàng chứng minh được rằng chỉ những số lớn hơn 1 sẽ phân kỳ, tức là dẫn đến vô cực, trong khi những số còn lại thì không. Nhưng trong hai chiều của mặt phẳng phức, chỉ biết về phương trình thôi, thì nhìn chung, sẽ là không đủ để suy ra một hình dạng được xác định bởi một quá trình lặp. Không giống với các hình dạng của hình học truyền thống - như vòng tròn, elíp và parabol - tập hợp Mandelbrot không cho phép bất kỳ một con đường đi tắt

nào. Cách duy nhất để nhìn thấy loại hình dạng gắn với một phương trình cụ thể nào đó là tiến hành bằng cách thử và sai, và phong cách thử và sai sẽ đưa các nhà thám hiểm miền đất mới này đến gần tinh thần của Magellan hơn là của Euclid.

Sự kết nối thế giới của các hình dạng này với thế giới các con số theo cách đó thể hiện một sự đoạn tuyệt với quá khứ. Các hình học mới luôn xuất hiện khi một ai đó làm thay đổi một quy tắc cơ bản. *Giả sử rằng không gian là cong chứ không phẳng*, một nhà hình học nói, và kết quả sẽ là một phiên bản bị uốn cong một cách kỳ lạ của hình học Euclid. Và cái hình học uốn cong này đã cung cấp chính xác một khuôn khổ đúng cho thuyết tương đối rộng. Rồi giả sử rằng không gian có thể có bốn, hoặc năm, hoặc sáu chiều. Rồi lại giả sử con số biểu thị số *chiều* có thể là một phân số. Lại giả sử rằng các hình dạng có thể xoắn, vặn, kéo dãn, hay thắt nút. Hay bây giờ giả sử rằng các hình dạng được xác định không phải bằng cách giải một phương trình một lần, mà bằng cách lặp lại nó theo một vòng lặp.

Julia, Fatou, Hubbard, Barnsley, Mandelbrot, tất cả các nhà toán học này đều đã thay đổi quy tắc để tạo ra các hình dạng hình học. Ai đã từng học môn hình học ở bậc phổ thông đều quen thuộc với các phương pháp biến các phương trình thành đồ thị của Euclid và Descartes hay tìm một điểm trên bản đồ theo hai tọa độ. Hình học cổ điển xét một phương trình và tìm tập hợp các số *thỏa mãn* phương trình đó. Nghiệm của một phương trình như $x^2 + y^2 = 1$ tạo nên một đường cụ thể, trong trường hợp này là một vòng tròn. Các phương trình đơn giản khác cho ta các hình khác, như elip, parabol, hay hyperbol của các tiết diện conic, hay những hình phức tạp hơn được tạo ra

bởi các phương trình vi phân trong không gian pha. Nhưng khi một nhà hình học lập một phương trình thay vì giải nó, thì phương trình này trở thành một quá trình chứ không phải một mô tả, là động chứ không còn là tĩnh nữa. Khi người ta đưa vào phương trình một con số, sẽ xuất hiện một con số mới và con số này, đến lượt mình, lại được đặt vào phương trình, và cứ tiếp tục như vậy, với các điểm nhảy từ chỗ này sang chỗ khác. Một điểm được vẽ lên hình không phải khi nó thỏa mãn phương trình, mà là khi nó tạo ra một loại hành trạng nào đó. Một loại hành trạng có thể là trạng thái dừng, một loại khác hội tụ về sự lặp tuần hoàn của các trạng thái, hay loại khác nữa là chạy tuốt đến vô cùng một cách không thể kiểm soát nổi.

Trước kỷ nguyên máy tính, ngay cả Julia và Fatou đều đã hiểu được các khả năng của loại tạo ra những hình dạng mới này, nhưng họ không có các phương tiện để biến nó thành một khoa học. Cần phải đợi đến sự xuất hiện của máy tính thì hình học thử và sai mới trở nên có thể. Hubbard đã khảo sát phương pháp Newton bằng cách tính toán hành vi của hết điểm này đến điểm khác, còn Mandelbrot phát hiện ra tập hợp của ông cũng theo cách tương tự, khi ông dùng máy tính quét các điểm của mặt phẳng, hết điểm này đến điểm khác. Tất nhiên là không phải tất cả các điểm. Vì thời gian và khả năng của máy tính không phải là vô hạn, nên những tính toán này sử dụng một lưới các điểm. Các ô của lưới càng nhỏ, thì hình ảnh càng nét, nhưng tính toán lại càng lâu. Đối với tập hợp Mandelbrot, việc tính toán là đơn giản bởi vì bản thân quá trình là đơn giản: chỉ cần thực hiện phép lặp đối với ánh xạ $z \rightarrow z^2 + c$ trong mặt phẳng phức. Hãy lấy một số, nhân số này với chính nó và cộng với số ban đầu.

Khi đã quen dần với phong cách khám phá mới các hình dạng trên máy tính, Hubbard cũng đã đưa vào một phong cách toán học mới khác bằng cách sử dụng các phương pháp của giải tích phức, một nhánh của toán học mà cho tới thời điểm đó vẫn còn chưa được áp dụng để nghiên cứu các hệ động lực. Ông có cảm giác rằng tất cả đã hội lại với nhau. Các chuyên ngành toán học vốn xưa nay là tách biệt đang hội tụ về một ngã tư. Hubbard cũng biết rằng *nhìn* tập hợp Mandelbrot thôi là chưa đủ; trước khi làm điều đó, ông muốn hiểu tập hợp này, và thực tế, cuối cùng, ông tuyên bố rằng mình đã hiểu được nó.

Nếu đường biên đơn giản là hình *fractal* theo nghĩa những con quỷ đầu thế kỷ của Mandelbrot, thì mỗi hình ảnh sẽ khá giống với hình ảnh trước nó. Nguyên lý bất biến thang (hay tính tự tương tự ở các thang khác nhau) có lẽ đã cho phép tiên đoán được điều mà kính hiển vi điện tử sẽ nhìn thấy ở mức phóng đại tiếp theo. Thay vì thế, mỗi một đột nhập vào cấp độ sâu hơn lại tiết lộ những bất ngờ mới. Mandelbrot đã bắt đầu tự hỏi phải chăng mình đã cho *fractal* một định nghĩa quá chặt hẹp; khỏi phải nói là ông muốn rằng thuật ngữ này cũng phải áp dụng được cho cả đối tượng mới này. Khi phóng đại đủ lớn, tập hợp của ông cho thấy nó có chứa các bản sao thô của chính nó, những đối tượng giống như những con bọ nhỏ xíu trôi nổi quanh khối hình chính, nhưng một phóng đại lớn hơn nữa cho thấy rằng không một phân tử nào trong số các phân tử này phù hợp chính xác với một phân tử khác. Luôn luôn có các loại cá ngựa mới, các loài ngoại lai mới. Trên thực tế, *bất kể ở cấp độ phóng đại nào* cũng không tồn tại một bộ phận nào của tập hợp giống hệt với một bộ phận khác.

Tuy nhiên, sự phát hiện ra các phân tử trôi nổi này ngay lập tức làm xuất hiện vấn đề. Tập hợp Mandelbrot liệu có là liên thông, một lục địa với các bán đảo nhô rất xa ra biển? Hay đó là bụi, một thân chính bao quanh bởi các hòn đảo nhỏ xù? Câu trả lời còn xa mới là hiển nhiên. Thí nghiệm về các tập hợp Julia cũng không mang lại một sự trợ giúp nào - những tập hợp này xuất hiện dưới cả hai dạng: các hình dạng toàn vẹn và bụi. Do bản chất *fractal* của chúng, nên các bụi này có một tính chất đặc biệt: chúng không chứa hai thành phần “dính với nhau” - vì mỗi một thành phần lại tách biệt với các thành phần khác bởi một vùng không gian trống rỗng -, nhưng lại không có thành phần nào là “cô đơn” - vì đối với bất kỳ thành phần nào bao giờ cũng tìm được một nhóm các thành phần ở gần nó một cách tùy ý. Khi Mandelbrot nhìn các hình ảnh thu được của mình, ông đã hiểu ngay rằng thí nghiệm trên máy tính không thể giải quyết được vấn đề cơ bản này. Ông đã đặc biệt tập trung vào các hạt nhỏ lang thang quanh thân chính. Một số biến mất, nhưng một số khác lại phát triển thành các phiên bản rõ ràng là rất gần gũi của chúng. Chúng dường như là độc lập. Nhưng cũng có thể là chúng được kết nối các đường cong mảnh tới mức chúng vẫn thoát khỏi lưới các điểm được tính toán.

Douady và Hubbard đã chứng minh bằng một chuỗi các lập luận toán học xuất sắc rằng mỗi một phân tử trôi nổi này thực sự là được treo trên một sợi dây vô cùng mảnh nối với toàn bộ phần còn lại của tập hợp, tạo nên một mạng lưới tinh vi lan tỏa từ các sợi li ti đâm ra từ tập hợp chính, một thứ “polime quỳ quái” - theo cách nói của Mandelbrot. Hai nhà toán học này đã chứng minh được rằng một đoạn bất kỳ - bất kể ở vị trí nào và nhỏ đến mức nào -, mỗi khi được máy tính phóng

đại lên, đều tiết lộ các phân tử mới, mỗi một phân tử này đều giống với tập hợp chính, nhưng lại không hoàn toàn đồng nhất với nó. Mỗi phân tử mới lại được bao quanh bởi các đường xoắn ốc và các phóng chiếu riêng của nó giống như các ngọn lửa, rồi đến lượt mình, những ngọn lửa này, không tránh khỏi, lại tiết lộ các phân tử còn nhỏ hơn nữa, vẫn luôn luôn đồng dạng, nhưng không bao giờ đồng nhất, dường như thực hiện một mệnh lệnh về sự thay đổi vô cùng đa dạng, một sự thần kỳ của quá trình tiểu hình hóa trong đó mỗi một chi tiết chắc chắn phải là một vũ trụ tự thân, khác biệt và toàn vẹn.

“TẤT CẢ ĐỀU LÀ NHỮNG CÁCH TIẾP CẬN theo đường thẳng, rất hình học”, Heinz-Otto Peitgen nói về nghệ thuật hiện đại. “Tác phẩm của Josef Albers, chẳng hạn, khi cố gắng phát hiện mối quan hệ giữa các màu sắc, thì đó chủ yếu chỉ là các hình vuông có màu sắc khác nhau xếp chồng lên nhau. Những bức tranh này đã từng rất phổ biến. Nhưng nếu ngày nay bạn xem chúng, thì dường như đã lỗi mốt rồi. Người ta không còn thích nó nữa. Ở Đức, người ta đã xây dựng các tòa nhà chung cư lớn theo phong cách Bauhaus; nhưng nhiều người đã chuyển đi, họ không thích sống trong đó. Theo ý tôi, trong xã hội hiện nay có rất nhiều lý do sâu sắc để người ta chán ghét một số khía cạnh trong quan niệm của chúng ta về tự nhiên.” Peitgen đã giúp một khách thăm chọn hình phóng đại của các vùng thuộc tập hợp Mandelbrot, các tập Julia, và các quá trình lặp phức tạp khác, tất cả đều được tô màu rất khéo léo. Trong căn phòng làm việc nhỏ bé của ông ở California, ông giới thiệu các *slide*, tức các tờ giấy chiếu trong suốt, và cả một cuốn lịch về tập Mandelbrot. “Sự hứng thú đặc biệt của chúng ta một phần

liên quan với cách nhìn khác và mới mẻ này đối với tự nhiên. Đây là khía cạnh thực của một vật tự nhiên? Như cái cây, chẳng hạn, cái gì là quan trọng? Nó là một đường thẳng hay là một đối tượng *fractal*?" Trong thời gian này, ở Cornell, John Hubbard đang phải vật lộn với các đơn đặt hàng. Hàng trăm lá thư gửi đến khoa toán yêu cầu các bức ảnh về tập hợp Mandelbrot; và ông đã quyết định cần phải tạo ra các mẫu và biểu giá tương ứng. Với sự giúp đỡ của các nghiên cứu sinh, ông đã có hàng chục hình ảnh, đã được tính toán và lưu giữ trong máy tính, sẵn sàng trình diễn bất cứ lúc nào. Nhưng các hình ảnh ấn tượng nhất, với độ phân giải lớn nhất và màu sắc rực rỡ nhất, là của hai người Đức, Peitgen và Peter H. Richter, và nhóm nghiên cứu của họ ở đại học Bremen, được một ngân hàng địa phương nhiệt tình tài trợ.

Peitgen và Richard, người đầu tiên là nhà toán học và người thứ hai là nhà vật lý, đã đi sâu nghiên cứu tập hợp Mandelbrot. Tập hợp này đối với họ ẩn chứa cả một vũ trụ các ý tưởng: một triết lý hiện đại của nghệ thuật, một sự biện minh cho vai trò mới của thực nghiệm trong toán học, một phương tiện đưa các hệ phức hợp đến với công chúng rộng lớn. Họ đã xuất bản sách và các catalog, và đem các hình ảnh của họ đi triển lãm trên khắp thế giới. Từ vật lý, Richter đã chuyển sang các hệ phức hợp thông qua hóa học, rồi sinh hóa học, khi nghiên cứu các dao động trong các con đường chuyển hóa. Trong một loạt các bài báo về các hiện tượng như hệ miễn dịch và chuyển hóa đường thành năng lượng nhờ men, ông phát hiện ra rằng các dao động thường chi phối động lực học của các quá trình mà bình thường được coi là tĩnh, vì một lý do chính đáng là, các hệ sống không thể dễ dàng mở ra để khảo sát trong thời gian thực

được. Richter đã gắn lên mép cửa sổ của ông một con lắc kép được bôi trơn dầu mỡ, “hệ động lực yêu thích” của ông, được xướng của trường chế tạo riêng cho ông. Thỉnh thoảng, ông lại làm cho nó quay một cách hỗn độn không có nhịp điệu gì mà ông cũng có thể mô phỏng trên máy tính. Sự phụ thuộc vào các điều kiện ban đầu nhạy cảm tới mức lực hấp dẫn dù chỉ của một giọt mưa ở cách xa 1,5km cũng làm xáo trộn chuyển động trong năm mươi đến sáu mươi vòng quay, tức là khoảng hai phút. Các hình ảnh đồ họa nhiều màu trong không gian pha về con lắc kép của ông cho thấy một sự hòa trộn các vùng tuần hoàn và hỗn độn. Và ông cũng dùng chính các kỹ thuật đồ họa này để, chẳng hạn, làm hiển thị các vùng từ hóa lý tưởng trong một kim loại, cũng như để nghiên cứu tập hợp Mandelbrot.

Đối với đồng nghiệp Peitgen của ông, nghiên cứu các hệ phức tạp là một cơ hội để tạo nên các truyền thống mới trong khoa học thay vì chỉ đơn giản là giải các bài toán. “Trong một lĩnh vực hoàn toàn mới như lĩnh vực này, các bạn có thể bắt đầu suy nghĩ ngày hôm nay và nếu là một nhà khoa học giỏi bạn sẽ đạt được những lời giải thú vị trong vài ngày, một tuần hoặc một tháng”, Peitgen nói. “Đó là một chủ đề không có cấu trúc”.

“Trong một chủ đề có cấu trúc, người ta biết cái gì đã biết, cái gì còn chưa biết, cái mà người ta đã thử và không đi đến đâu. Bạn buộc phải nghiên cứu một vấn đề mà người ta đã biết đó là một vấn đề thực sự, nếu không thì bạn sẽ lạc đường. Nhưng một vấn đề mà người ta đã biết là một vấn đề thực sự thì hẳn phải là một vấn đề khó, nếu không thì nó đã được giải rồi”.

Peitgen không mấy chia sẻ với sự khó chịu của các nhà toán học khi dùng máy tính để làm thí nghiệm. Tất nhiên rồi cuối cùng

mọi kết quả đều sẽ phải được làm cho thật chặt chẽ bằng các phương pháp chứng minh cổ điển - nếu không thì không còn là toán học nữa. Nhìn một hình ảnh trên màn hình đồ họa không hề bảo đảm cho sự tồn tại của nó trong ngôn ngữ của các định lý và chứng minh. Nhưng chính sự khả dụng của các hình ảnh này đã đủ để làm thay đổi sự tiến hóa của toán học. Sự khảo sát nhờ máy tính, theo Peitgen, sẽ mang lại cho các nhà toán học sự tự do đi theo con đường tự nhiên hơn. Một nhà toán học có thể tạm thời gác lại đòi hỏi phải chứng minh chặt chẽ. Anh ta có thể đi tới bất kỳ đâu mà các thí nghiệm dẫn dắt tới, giống như một nhà vật lý vậy. Sức mạnh tính số của máy tính và các gợi ý thị giác cung cấp cho trực giác sẽ hé mở những viễn cảnh đầy hứa hẹn và cho phép nhà toán học tránh được các ngõ cụt. Rồi, một khi các con đường mới được vạch ra và các đối tượng mới được tách riêng, nhà toán học có thể quay trở lại với các chứng minh truyền thống. “Sự chặt chẽ là sức mạnh của toán học”, Peitgen nói. “Chúng tôi vẫn sẽ tiếp tục lối suy luận phải được đảm bảo một cách tuyệt đối, và các nhà toán học sẽ không bao giờ từ bỏ điều đó. Nhưng bạn có thể gặp những tình huống mà hôm nay chúng ta mới chỉ hiểu *một phần*, và có lẽ những thế hệ tương lai sẽ hiểu được chúng một cách chính xác và chặt chẽ. Chặt chẽ thì đúng rồi, nhưng không tới mức để tôi phải vứt bỏ một điều gì đó chỉ bởi vì *hiện thời* tôi chưa hiểu được nó.”

Trong những năm 1980, một máy tính cá nhân có thể thực hiện các phép tính số học đủ chính xác để cho hiển thị các hình ảnh sắc sỡ sắc màu của tập hợp Mandelbrot. Các nhà tin học nghiệp dư đã nhanh chóng phát hiện ra rằng sự khám phá các hình ảnh này ở các độ phóng đại ngày một tăng sẽ tạo ra cảm giác rất mạnh về sự mở rộng thang. Nếu người ta coi tập hợp này

như một đối tượng có kích thước bằng một hành tinh, thì một máy tính cá nhân cũng có thể cho thấy trọn vẹn đối tượng đó, hay những đặc trưng có kích thước cỡ các thành phố, các tòa nhà, các căn phòng, các cuốn sách, các lá thư, vi khuẩn, các nguyên tử. Những ai đã từng quan sát những hình ảnh như thế đều thấy rằng tất cả các thang đều phô bày những hình mẫu đồng dạng nhưng vẫn khác biệt. Và toàn bộ những phong cảnh vi mô này đều được sinh ra bởi cùng một vài dòng chương trình máy tính.^(*)

Đường biên của tập hợp Mandelbrot là những điểm tại đó chương trình chạy tốn nhiều thời gian nhất và có nhiều thỏa

* Chương trình cho phép dựng tập hợp Mandelbrot chỉ bao gồm vài lệnh chủ yếu. Phần chính của nó là vòng lặp các lệnh: lấy một số phức ban đầu và áp dụng cho nó một quy tắc số học nào đó. Đối với tập Mandelbrot, quy tắc đó là: $z \rightarrow z^2 + c$, trong đó z bắt đầu từ 0 và c là số phức ban đầu ứng với điểm cần kiểm tra. Như vậy, hãy lấy số 0, nhân nó với chính nó rồi cộng với số ban đầu; sau đó lấy kết quả - chính là số xuất phát -, nhân với chính nó rồi lại cộng với số ban đầu; rồi lại lấy kết quả mới này, nhân với chính nó và cộng với số ban đầu. Số học của các số phức cũng khá đơn giản. Một số phức được viết thành hai phần: chẳng hạn, $2+3i$ (đó là vị trí của điểm nằm ở 2 về phía đông và 3 về phía bắc trong mặt phẳng phức). Để cộng hai số phức, chỉ cần cộng các phần thực và phần ảo của chúng lại với nhau:

$$\begin{array}{r} 2 + 4i \\ + 9 - 2i \\ \hline 11 + 2i \end{array}$$

Để nhân hai số phức, bạn nhân mỗi phần của một số này với mỗi phần của số kia rồi cộng bốn kết quả thu được lại với nhau. Vì, theo định nghĩa, i nhân với chính nó bằng -1 , nên ta có.

$$\begin{array}{r} 2 + 3i \\ \times 2 + 3i \\ \hline 6i + 9i^2 \\ 4 + 6i \\ \hline 4 + 12i + 9i^2 \\ = 4 + 12i - 9 \\ = -5 + 12i \end{array}$$

hiệp nhất. Ở đây, ngay cả sau 100, 1000 hay 10000 lần lặp, một chương trình cũng vẫn không thể xác định một cách hoàn toàn chắc chắn rằng điểm ban đầu có rơi vào tập hợp Mandelbrot hay không. Ai mà biết được điều gì sẽ xảy ra sau lần lặp thứ một triệu? Vì vậy các chương trình đưa ra được những hình ảnh bất ngờ nhất, phóng đại tới mức chi tiết nhất của tập hợp Mandelbrot, phải chạy trên các máy chủ lớn, hay trên các máy tính chuyên xử lý song song, với hàng nghìn bộ não riêng rẽ thực hiện cùng một số phép tính theo kiểu dây chuyền. Như vậy đường biên là nơi các điểm chậm được giải thoát khỏi sức hút của tập hợp này nhất, cứ như thể chúng dùng dằng giữa hai nhân hút cạnh tranh nhau, một ở điểm zero, một vậy gọi chúng từ xa vô cùng.

Để thoát khỏi vòng lặp này, chương trình cần kiểm tra kết quả của mỗi lần lặp: nếu nó tiến đến vô cùng, ngày càng xa gốc của mặt phẳng, thì điểm ban đầu không thuộc tập hợp, chẳng hạn như nếu phần thực hay phần ảo của một kết quả trung gian lớn hơn 2 hoặc nhỏ hơn -2, thì chắc chắn nó sẽ chạy ra xa vô cùng. Nếu ngược lại chương trình thực hiện phép lặp nhiều lần mà kết quả trung gian không lớn hơn 2, thì điểm ban đầu thuộc tập hợp Mandelbrot. Số của các phép lặp lại này phụ thuộc vào độ phóng đại. Đối với một thang mà máy tính cá nhân tiếp cận được, thì lặp 100 hay 200 lần thường là đủ, và 1000 lần là đảm bảo chắc chắn.

Chương trình phải lặp quá trình này đối với từng điểm trong số hàng nghìn điểm trên lưới, với một thang có thể điều chỉnh được tùy theo độ phóng đại. Và chương trình cần phải cho hiển thị kết quả trên màn hình. Người ta có thể tô màu đen cho các điểm thuộc tập hợp và màu trắng cho các điểm còn lại. Để làm cho hình ảnh hấp dẫn hơn, các điểm trắng có thể được thay bằng các cấp độ màu. Nếu quá trình lặp ngắt, chẳng hạn, sau mười lần lặp, thì chương trình hiển thị một điểm màu đỏ; sau hai mươi lần, màn hình hiển thị một điểm màu cam; sau bốn mươi lần, một điểm màu vàng, và cứ tiếp tục như vậy. Sự lựa chọn các màu và số tối đa các lần lặp có thể phụ thuộc vào sở thích của người lập trình. Các màu này cho thấy rõ đường biên của vùng ngay sát bên ngoài tập hợp.

Các tính chất của đường biên sẽ được bộc lộ đầy đủ khi các nhà khoa học chuyển từ tập hợp Mandelbrot sang các vấn đề mới liên quan với các hiện tượng vật lý thực. Đường biên giữa hai hay nhiều nhân hút của một hệ động lực được dùng như một loại ngưỡng dường như chi phối rất nhiều các quá trình thông thường, từ sự phá hỏng các vật liệu cho tới sự ra quyết định. Mỗi nhân hút trong một hệ như vậy đều có một chỗ trũng riêng của nó - cũng như mỗi dòng sông có một lưu vực riêng - và mỗi một lưu vực đều có đường biên của nó. Đối với một nhóm có ảnh hưởng vào đầu những năm 1980 thì lĩnh vực mới có nhiều hứa hẹn nhất trong toán học và vật lý chính là sự nghiên cứu các đường biên *fractal* giữa lưu vực của các nhân hút.

Nhánh này của động lực học không quan tâm đến sự mô tả trạng thái cuối cùng, ổn định của một hệ, mà là đến cách thức hệ lựa chọn giữa nhiều khả năng cạnh tranh nhau. Mô hình giờ đã trở thành cổ điển của Lorenz chỉ chấp nhận một nhân hút duy nhất, một hành trạng duy nhất lần ắt tất cả các nhân hút và hành trạng khác khi hệ được an bài và đó là nhân hút hỗn độn. Các hệ khác có thể an bài ở một trạng thái dừng, không hỗn độn - nhưng với nhiều trạng thái dừng khả dĩ. Nghiên cứu các đường biên *fractal* của lưu vực các nhân hút là nghiên cứu các hệ đạt đến một trong số nhiều trạng thái cuối cùng không hỗn độn và một câu hỏi đặt ra khi này là làm thế nào tiên đoán được đó là *trạng thái nào*. Mười năm sau khi cho hỗn độn cái tên của nó, James Yorke lại trở thành một trong những người tiên phong nghiên cứu các đường biên *fractal* này. Ông đã đề xuất một máy bắn bi tưởng tượng. Cũng như phần lớn các máy bắn bi khác, máy bắn bi tưởng tượng này

cũng có một bộ phóng dùng lò xo. Bạn kéo lò xo xuống rồi buông ra để nó đưa viên bi lên sân chơi. Chiếc máy này cũng có diện mạo như thông thường: một mặt phẳng nghiêng, các dây cao su và các máy chặn điện tử có tác dụng cung cấp các xung năng lượng cho viên bi khi va chạm vào nó. Các xung năng lượng này đóng một vai trò quan trọng: chúng đảm bảo cho năng lượng của viên bi không giảm đi một cách đều đặn. Để cho đơn giản, chiếc máy này chỉ có hai rãnh thoát ở hai bên và viên bi phải chạy qua một trong hai rãnh đó để rời khỏi sân chơi.

Đó là một máy bắn bi có tính tất định, miễn là đừng có lắc lư nó. Chỉ có một thông số điều khiển điểm đến của viên bi, đó là vị trí ban đầu của bộ phóng. Hãy tưởng tượng rằng chiếc máy được chế tạo sao cho khi kéo lò xo xuống một khoảng ngắn thì viên bi sẽ kết thúc bằng cách đi ra theo rãnh thoát bên phải, trong khi nếu kéo nó một khoảng dài, thì viên bi sẽ thoát ra theo rãnh bên trái. Trước khi chọn một trong hai lối ra này, viên bi đã đi theo một quỹ đạo khá phức tạp, khi nảy từ máy chặn này đến máy chặn khác một cách mạnh mẽ, ồn ào, theo các khoảng thời gian không đều.

Bây giờ hãy tưởng tượng ta biểu diễn bằng đồ thị kết quả bắn bi theo mỗi vị trí khả dĩ của bộ phóng. Đồ thị nhận được chỉ là một đường. Ở vị trí có kết cục là viên bi đi ra bên phải được đánh dấu bằng một điểm màu đỏ, còn ở vị trí có kết cục là viên bi đi ra bên trái được đánh dấu bằng một điểm màu xanh. Bạn kỳ vọng có thể phát hiện ra điều gì về các nhân hút được coi là hàm của vị trí ban đầu này?

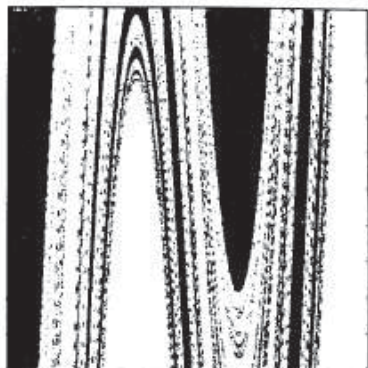
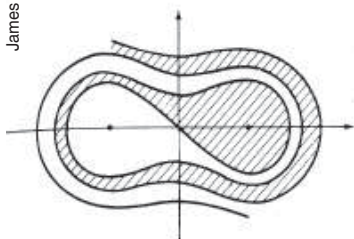
Đường biên hóa ra là một tập hợp *fractal*, không hẳn là bất biến thang, nhưng vô cùng chi tiết. Một số vùng của đường

sẽ thuần túy chỉ là màu đỏ hoặc xanh, trong khi một số vùng khác, khi được phóng đại lên, sẽ cho thấy các vùng mới màu đỏ bên trong vùng màu xanh, hoặc màu xanh bên trong vùng màu đỏ. Nói một cách khác, đối với một số vị trí bệ phóng, một số thay đổi nhỏ không tạo ra một sự khác biệt nào. Nhưng trong một số trường hợp khác, thậm chí một sự thay đổi, dù là rất nhỏ, của vị trí này, cũng sẽ tạo ra sự khác biệt giữa đỏ và xanh.

Thêm một chiều thứ hai vào có nghĩa là thêm một thông số thứ hai, một bậc tự do thứ hai. Với máy bắn bi, người ta có thể thay đổi độ nghiêng của sân chơi, chẳng hạn. Khi đó người ta sẽ phát hiện ra một loại phức tạp cực kỳ đa dạng gây ác mộng cho các kỹ sư phụ trách việc kiểm soát tính ổn định của các hệ thực hoạt động mãnh liệt, nhạy cảm, chứa nhiều hơn một thông số - chẳng hạn như các mạng lưới phân phối điện và các nhà máy điện hạt nhân. Chính vì vậy mà trong những năm 1980, cả hai hệ này đã trở thành đối tượng của những nghiên cứu ráo riết được lấy cảm hứng từ hỗn độn. Đối với một giá trị của thông số A, thông số B có thể tạo ra một loại hành trạng trật tự, chắc chắn, với các vùng ổn định chặt chẽ. Các kỹ sư có thể tiến hành các nghiên cứu, vẽ các đồ thị đúng với loại mà sự đào tạo định hướng tuyến tính của họ gợi ý. Tuy nhiên, cũng có thể có một giá trị khác của thông số A, tiềm ẩn ở gần đó, làm thay đổi tầm quan trọng của thông số B.

Trong các cuộc hội thảo, Yorke đều đứng lên trưng bày các bức ảnh về đường biên *fractal* của các lưu vực. Một số bức ảnh biểu thị hành trạng của các con lốc cường bức có thể kết thúc ở một trong hai trạng thái cuối cùng (nhiều người trong cử tọa đều biết rõ con lốc cường bức là một dao động tử cơ bản mà người ta thấy được ngay trang dưới nhiều dạng khác

James A. Yorke



CÁC ĐƯỜNG BIÊN FRACTAL CỦA LƯU VỰC NHÂN HÚT. Ngay cả khi hành trạng lâu dài của một hệ động lực không là hỗn độn, thì hỗn độn vẫn có thể xuất hiện ở đường biên giữa loại hành trạng dừng này và loại hành trạng dừng khác. Thường thì một hệ động lực có nhiều hơn một trạng thái cân bằng - chẳng hạn như một con lắc kết thúc hành trình của nó trên một trong hai nam châm đặt ở chân của nó. Mỗi một trạng thái cân bằng là một nhân hút, và đường biên giữa hai nhân hút có thể là phức tạp nhưng trơn (*hình bên trái*) và cũng có thể là phức tạp và không trơn. Sự lồng ghép rất *fractal* các màu trắng và đen (*hình bên phải*) là giản đồ không gian pha của con lắc. Hệ chắc chắn đạt tới một trạng trong hai trạng thái dừng khá dĩ. Đối với một số điều kiện ban đầu, kết cục là hoàn toàn có thể tiên đoán được - đen là đen và trắng là trắng. Nhưng ở gần biên, sự tiên đoán trở nên hoàn toàn không thể.

nhau trong cuộc sống hàng ngày). “Không một ai có thể nói rằng tôi đã cố tình giả mạo hệ này bằng cách chọn một con lắc”, Yorke nói một cách vui vẻ. “Đó là loại dụng cụ mà các bạn bắt gặp khắp nơi trong tự nhiên. Nhưng hành trạng của nó thì khác với tất cả những gì các bạn đọc được trong sách báo. Đó là một hành trạng *fractal* thuộc loại hoang dã”. Các bức ảnh của ông cho thấy các xoáy trắng và đen huyền hoặc, tựa như một trục trặc gì đó làm cho chiếc máy khuấy không thể trộn đều một cốc kem vani-chocolat. Để thu được các bức

ảnh này, máy tính của ông đã quét một lưới ô vuông 1000x1000 điểm, mỗi điểm biểu thị một vị trí ban đầu của con lắc, và kết quả được đánh dấu bằng màu đen hoặc trắng. Đó là các lưu vực hút, được hòa trộn và cuộn lại bởi các phương trình chuyển động Newton quen thuộc, và kết quả là các điểm biên lại nhiều hơn các điểm khác: hơn ba phần tư số điểm được vẽ nằm trên đường biên này.

Đối với các nhà nghiên cứu và các kỹ sư, các bức ảnh này chứa đựng một bài học - một bài học và một sự cảnh báo. Rất thường khi, phạm vi tiềm tàng các hành trạng của những hệ phức tạp cần phải được phỏng đoán từ một tập hợp nhỏ các dữ liệu. Khi một hệ vận hành bình thường, ở trong một phạm vi hẹp của các thông số, các kỹ sư tiến hành quan sát và hy vọng từ đó có thể ngoại suy theo cách gần như tuyến tính tới một hành trạng ít quen thuộc hơn. Nhưng các nhà khoa học nghiên cứu những đường biên *fractal* của lưu vực các nhân hút đã chứng minh một cách chặt chẽ rằng ranh giới giữa tĩnh lặng và tai biến có thể phức tạp hơn những gì người ta tưởng. “Toàn bộ mạng lưới phân phối điện ở bờ Đông (nước Mỹ - ND) là một hệ dao động, trong phần lớn thời gian nó là ổn định, nhưng người ta muốn biết điều gì sẽ xảy ra nếu nó phải chịu một nhiễu loạn nào đó”, Yorke nói. Để làm điều này, cần phải biết đường biên của nó. Nhưng thực tế là chẳng ai biết mặt mũi cái đường biên ấy nó như thế nào.”

Các đường biên *fractal* này có liên quan tới nhiều vấn đề sâu sắc của vật lý lý thuyết. Các chuyển pha thực chất là các vấn đề về ngưỡng. Peitgen và Richter đã xem xét một trong những chuyển pha đã được nghiên cứu kỹ lưỡng nhất, đó là sự từ hóa và không từ hóa trong các vật liệu. Các bức ảnh của họ về các

đường biên này cho thấy một sự phức tạp cực kỳ đẹp, xuất hiện dường như rất tự nhiên: một hình dạng giống như cây súp lơ, với các bắp và các khe hở liên tiếp chồng chập lên nhau. Khi họ thay đổi các thông số và làm tăng độ phóng đại các chi tiết, thì một bức tranh mỗi lúc một dường như có tính ngẫu nhiên hơn, cho tới khi đột nhiên, hoàn toàn bất ngờ, ở sâu ngay giữa trung tâm của một vùng vô cùng lộn xộn, lại xuất hiện một hình dạng quen thuộc, dẹt, tua tủa các chồi: đó chính là tập hợp Mandelbrot, với các xoắn ốc và các nguyên tử, ở đúng chỗ của chúng. Đây là một dấu hiệu khác của tính phổ quát. “Có lẽ rồi chúng ta sẽ phải tin vào ma thuật mất”, họ viết.

MICHAEL BARNSLEY lại đi theo một con đường khác. Ông suy nghĩ về chính các hình ảnh của tự nhiên, đặc biệt là các hình mẫu do các cơ thể sống sinh ra. Ông đã thử nghiệm trên các tập Julia và đã thử cả các quá trình khác nhằm tìm kiếm các con đường phát sinh ra khả năng biến hóa thậm chí còn lớn hơn nữa. Và cuối cùng ông đã quay về tính ngẫu nhiên, coi nó là cơ sở cho một kỹ thuật mới để mô hình hóa các hình dạng tự nhiên. Khi viết về kỹ thuật này, ông gọi nó là “sự xây dựng tổng thể các hình *fractal* bằng các hệ hàm lặp.” Nhưng khi nói về nó, ông lại gọi nó là “trò chơi hỗn độn”.

Để chơi trò hỗn độn này được nhanh, bạn phải có một máy tính cấu hình mạnh với màn hình đồ họa và một chương trình tạo các số ngẫu nhiên, nhưng, về nguyên tắc, cũng có thể chơi trò này với một tờ giấy và một đồng xu. Bạn hãy chọn một điểm xuất phát trên giấy, ở bất cứ chỗ nào, và nghĩ ra hai luật, một đối với mặt sấp và một đối với mặt ngửa. Các luật này sẽ nói cho bạn biết bằng cách nào để chuyển từ một điểm này

sang một điểm khác: chẳng hạn như “dịch 5cm theo hướng đông-bắc” hay “dịch 25 phần trăm tới gần tâm hơn”. Bây giờ bạn hãy tung đồng xu và đánh dấu lại các điểm bằng cách áp dụng luật “ngửa” khi đồng xu rơi ngửa và luật “sấp” khi đồng xu rơi sấp. Nếu bạn loại đi năm mươi điểm đầu tiên, bạn sẽ phát hiện ra rằng trò chơi hỗn độn sẽ tạo ra không phải một tập hợp ngẫu nhiên các điểm, mà là một hình được vẽ ra ngày càng sắc nét khi trò chơi còn tiếp diễn.

Ý tưởng chủ đạo của Barnsley là thế này: các tập hợp Julia và các hình *fractal* khác, mặc dù được coi một cách đúng đắn như là kết cục của một quá trình tất định, nhưng còn có một cách tồn tại thứ hai, cũng hoàn toàn có cơ sở: chúng là *giới hạn* của một quá trình ngẫu nhiên. Tương tự, ông gợi ý, người ta có thể tưởng tượng một bản đồ nước Anh được vẽ bằng phấn trên nền nhà. Một nhân viên trắc đạc được trang bị các dụng cụ truyền thống chắc sẽ cảm thấy khó khăn trong việc đo diện tích của các hình kỳ dị với các đường bờ biển thực sự là hình *fractal* này. Nhưng hãy giả sử rằng bạn tung các hạt gạo, từng hạt một, để chúng rơi một cách ngẫu nhiên xuống sàn nhà và đếm số hạt gạo rơi vào trong bản đồ. Trong khoảng thời gian dài, kết quả sẽ tiến gần đến diện tích của hình này, như giới hạn của một quá trình ngẫu nhiên. Theo ngôn ngữ động lực học, thì các hình dạng Barnsley tỏ ra là các nhân hút.

Trò chơi hỗn độn sử dụng đến một tính chất *fractal* của một số hình ảnh, đó là tính chất dựng lại các bản sao nhỏ hơn của hình ảnh chính. Hành động viết ra một tập hợp các quy tắc được lập một cách ngẫu nhiên đã nắm bắt được một thông tin tổng thể nào đó về một hình dạng và quá trình lập các quy tắc này sẽ lại cho ra đúng thông tin đó độc lập với thang. Theo nghĩa

này, một hình dạng càng *fractal*, thì các quy tắc định nghĩa nó càng đơn giản. Barnsley đã nhanh chóng phát hiện ra rằng ông có thể tạo ra tất cả các hình *fractal* (giờ đã thành cổ điển) trong cuốn sách của Mandelbrot. Kỹ thuật của Mandelbrot là một chuỗi dựng và chỉnh sửa kéo dài vô hạn. Đối với bông tuyết của Koch hay cái rây của Sierpinski, cần phải lấy đi các đoạn và thay chúng bằng các hình xác định. Thay vì thế, nhờ sử dụng trò chơi hỗn độn, Barnsley đã dựng được các hình ảnh bằng cách ban đầu dùng các hình nhại mờ nhạt, nhưng sau mỗi lần lặp chúng sẽ lại dần sắc nét thêm. Không cần phải có quá trình chỉnh sửa: chỉ một tập hợp các quy tắc bằng cách nào đó đã thể hiện nên hình dạng cuối cùng.

Barnsley và các cộng sự của ông đã cuồng nhiệt lao vào dựng hình - các cây cải, mớ và búp. Vấn đề then chốt là làm thế nào đảo ngược lại quy trình: với một hình cụ thể đã cho làm thế nào chọn được tập hợp các quy tắc tương ứng? Câu trả lời, mà Barnsley gọi là “định lý cắt dán”, đơn giản đến mức các thính giả đôi khi nghĩ rằng chắc là có một trò ma mãnh nào đây. Bạn có thể bắt đầu bằng cách vẽ hình dạng mà mình muốn tái tạo. Từ lâu không hiểu sao người ta đã rất thích thú lá cây dương xỉ, nên Barnsley đã chọn một cây dương xỉ đen cho một trong những thí nghiệm đầu tiên của mình. Sau đó, dùng một máy tính và một con chuột làm thiết bị con trỏ, bạn có thể đặt các bản sao nhỏ lên hình gốc, nếu cần có thể để chúng gối lên nhau. Một hình dạng càng *fractal* thì nó càng dễ được lát bằng các bản sao của chính nó, còn hình ít *fractal* hơn thì cũng ít dễ dàng hơn, và ở một cấp gần đúng nào đó, tất cả các hình đều có thể lát được.

“Nếu hình ảnh phức tạp, thì các quy tắc cũng sẽ phức tạp”, Barnsley nói. “Mặt khác, nếu đối tượng chứa một kiểu *fractal*

Michael Barnsley



TRÒ CHƠI HỖN ĐỘN. Mặc dù mỗi một điểm rơi một cách ngẫu nhiên, nhưng tập hợp của chúng vẫn dần dần vẽ nên hình ảnh của một lá dương xỉ. Mọi thông tin cần thiết đã được mã hóa trong một vài quy tắc đơn giản.

ẩn giấu nào đó - mà Benoit đã đưa ra một nhận xét rất quan trọng rằng rất nhiều thứ trong tự nhiên đều có cái kiểu ẩn giấu này -, thì chỉ cần vài quy tắc là có thể giải mã được nó. Do đó, mô hình này sẽ là thú vị hơn mô hình được làm từ hình học Euclid, bởi vì người ta biết rằng khi nhìn vào mép lá, người ta

không thấy các đường thẳng”. Chiếc lá dương xỉ đầu tiên mà Barnsley thu được nhờ một máy tính để bàn trùng hợp khít với hình ảnh trong cuốn sách về các lá dương xỉ mà ông đã đọc trong thời thơ ấu. “Đó là một hình ảnh gây kinh ngạc, nó chính xác trên mọi phương diện. Bất kỳ nhà sinh vật học nào cũng có thể dễ dàng nhận ngay ra nó”.

Theo một ý nghĩa nào đó, Barnsley khẳng định, tự nhiên phải chơi trò chơi hỗn độn theo một phiên bản riêng của nó. “Bào tử mã hóa một cây dương xỉ chỉ chứa bấy nhiêu thông tin”, ông nói. “Do vậy phải có một giới hạn đối với mức độ tỉ mỉ chi tiết mà theo đó một cây dương xỉ lớn lên. Vì vậy không có gì phải ngạc nhiên khi chúng ta thấy một thông tin tương đương rất ngắn gọn để miêu tả các cây dương xỉ này. Nếu không là như thế mới là đáng ngạc nhiên”.

Nhưng sự may rủi liệu có cần thiết không? Hubbard cũng đã suy nghĩ đến sự tương đồng giữa tập hợp Mandelbrot và sự mã hóa thông tin trong sinh học, nhưng ông vẫn nổi đóa lên khi người ta nói rằng những quá trình này có thể phụ thuộc vào xác suất. “Không có ngẫu nhiên trong tập hợp Mandelbrot”, Hubbard nói. “Không có ngẫu nhiên trong tất cả những gì tôi làm. Và tôi hoàn toàn không nghĩ rằng ngẫu nhiên lại có một mối quan hệ trực tiếp với sinh học. Trong sinh học, ngẫu nhiên là chết, hỗn độn là chết. Mọi thứ đều có tính cấu trúc cao. Khi bạn thực hiện một sinh sản vô tính đối với cây cối, trật tự mà theo đó các cành xuất hiện là hoàn toàn như nhau. Tập hợp Mandelbrot tuân theo một sơ đồ cực kỳ chính xác, không để bất kỳ chút gì cho ngẫu nhiên cả. Tôi rất ngờ rằng một ngày nào đó, một ai đấy thực sự hiểu được tổ chức của não, anh ta sẽ rất ngạc nhiên phát hiện ra rằng có tồn tại một

sơ đồ mã hóa cho sự tạo dựng bộ não với một độ chính xác phi thường. Ý tưởng về sự tồn tại của ngẫu nhiên trong sinh học chỉ là một phản xạ”.

Trong kỹ thuật của Barnsley, ngẫu nhiên chỉ tham gia như một công cụ. Các kết quả đều là tất định và tiên đoán được. Khi các điểm sáng trên màn hình máy tính, thì không một ai có thể đoán được điểm tiếp sau sẽ xuất hiện ở đâu; vị trí này phụ thuộc vào mặt sắp hay ngửa của đồng xu được tung trong máy tính. Tuy nhiên, luồng sáng này vẫn luôn luôn nằm bên trong các ranh giới cần thiết để xác định một hình dạng phát sáng. Trong chừng mực này, vai trò của ngẫu nhiên chỉ là một ảo giác. “Ngẫu nhiên đánh lạc hướng”, Barnsley nói. “Nó có vai trò cốt yếu trong việc thu được các hình ảnh của một bất biến thang nào đó tùy thuộc vào đối tượng *fractal*. Nhưng bản thân đối tượng không phụ thuộc vào ngẫu nhiên. Bạn sẽ luôn luôn thu được cùng một hình ảnh, với xác suất bằng 1.

“Sự thăm dò các đối tượng *fractal* bằng một thuật toán ngẫu nhiên sẽ mang lại cho chúng ta một thông tin sâu sắc. Tựa như khi chúng ta bước vào một căn phòng mới; mắt chúng ta đảo quanh nó một lượt theo một trật tự có thể coi gần như là ngẫu nhiên, và chúng ta có được một ý niệm khá đầy đủ về căn phòng. Nhưng căn phòng thì vẫn là nó. Nó tồn tại độc lập với những cái mà tôi có thể làm.”

Tương tự như vậy, tập hợp Mandelbrot vốn đã tồn tại. Tồn tại trước cả khi Peitgen và Richter bắt đầu biến nó thành một đối tượng nghệ thuật, trước khi Hubbard và Douady hiểu bản chất toán học thực sự của nó, và thậm chí trước cả khi Mandelbrot phát hiện ra nó. Nó đã tồn tại ngay khi khoa học tạo ra một bối cảnh - một khuôn khổ của các số phức và khái

niệm về các hàm được lập. Sau đó nó chỉ còn chờ để người ta khám phá ra nó. Nhưng cũng có thể nó đã tồn tại còn sớm hơn nữa, ngay khi tự nhiên bắt đầu tự tổ chức nhờ các định luật vật lý đơn giản, được lặp đi lặp lại ở khắp mọi nơi với một sự kiên nhẫn vô hạn.

TẬP THỂ NGHIÊN CỨU CÁC HỆ ĐỘNG LỰC

*Mọi giao tiếp xuyên qua đường ranh giới mang tính
cách mạng đều không tránh khỏi phiến diện.*

—THOMAS S. KUHN

SANTA CRUZ LÀ KHU ĐẠI HỌC MỚI NHẤT trong hệ thống của Đại học California, được xây dựng trong một khung cảnh thơ mộng, nằm ở phía nam San Francisco khoảng một giờ ô tô; đôi khi người ta nói rằng nó giống với một công viên quốc gia hơn là một trường đại học. Các tòa nhà nằm dưới các tán cây cù tùng và, theo một của thời đó, các kiến trúc sư đã cố gắng giữ lại cây cối ở nguyên vị trí của chúng. Những con đường nhỏ nối nơi này với nơi khác. Toàn bộ khu đại học nằm trên đỉnh một quả đồi, và thi thoảng, người ta vẫn thấy, khi nhìn về phía nam, những con sóng lấp lánh của vịnh Monterey. Được khai trương năm 1966, nhưng rất nhanh, chỉ sau vài năm, Santa Cruz đã trở thành nơi được lựa chọn nhiều nhất trong số các khu đại học ở California. Sinh viên thường gắn tên của trường với một số nhân vật tiên phong về trí tuệ: Norman O. Brown, Gregory Bateson và Herbert Marcuse đã dạy ở đó, và Tom Lehrer đã hát ở đó. Các khoa đào tạo sau đại học được xây dựng từ số không, lúc đầu với những dự án cũng chưa thật rõ ràng lắm, và vật lý không phải là một ngoại lệ. Khoa năng

động này gồm khoảng 15 nhà vật lý, phần lớn đều là những người trẻ tuổi xuất sắc và không chịu tuân theo một khuôn khổ có sẵn nào được Santa Cruz kéo về. Nhưng mặc dù bị ảnh hưởng bởi hệ tư tưởng tư duy tự do của thời đó, các nhà vật lý này vẫn ngưỡng vọng về phía nam, phía Caltech (Viện Công nghệ California), và nhận ra cần phải thiết lập các chuẩn mực và chứng minh sự nghiêm túc của mình.

Một trong những nghiên cứu sinh mà không một ai có thể nghi ngờ độ nghiêm túc của anh, đó là Robert Stetson Shaw, một người râu ria xồm xoàm, sinh ở Boston, từng tốt nghiệp Đại học Harvard, anh cả của sáu đứa em trong một gia đình có bố là bác sỹ và mẹ là y tá, và vào năm 1977, anh vừa bước sang tuổi 31. Shaw hơi già hơn so với phần lớn các nghiên cứu sinh ở đây, vì thời gian học ở Harvard của anh bị gián đoạn một vài lần do nghĩa vụ quân sự, do cuộc sống hippy và những trải nghiệm tùy hứng khác nằm ở đâu đó giữa hai thái cực này. Anh cũng chẳng biết tại sao mình lại đến Santa Cruz. Anh cũng chưa bao giờ thấy tận mắt khu đại học này, mà chỉ qua một tờ quảng cáo trong đó có các bức ảnh chụp những cây cù tùng lẫn với vài dòng giới thiệu về ý định áp dụng các triết lý giáo dục mới. Shaw là một người điềm đạm - một kiểu sức mạnh lạnh lẽ. Là một nghiên cứu sinh giỏi, chỉ vài tháng nữa là anh sẽ hoàn tất luận án tiến sỹ về siêu dẫn. Không một ai để ý đặc biệt đến việc Shaw dành thời gian dưới tầng hầm của tòa nhà vật lý để chơi với một chiếc máy tính tương tự.^(*)

* Một loại máy tính dùng các tính chất có thể thay đổi một cách liên tục của các hiện tượng vật lý như các đại lượng điện, cơ, thủy lực để lập mô hình bài toán cần giải. Trái lại, các máy tính số hóa biểu diễn các đại lượng biến thiên một cách gián đoạn khi giá trị bằng số của chúng thay đổi.

Quá trình đào tạo một nhà vật lý học phụ thuộc vào hệ thống thầy và trò. Các giáo sư đã thành danh nhận nghiên cứu sinh để làm trợ lý nghiên cứu, giúp mình làm các ông việc trong phòng thí nghiệm hoặc thực hiện những tính toán nhàm chán. Đổi lại, họ nhận được trợ cấp của thầy và một phần uy tín gắn với các công bố của thầy. Một người thầy giỏi sẽ giúp nghiên cứu sinh chọn các bài toán vừa có khả năng giải được vừa có khả năng phát triển. Nếu mối quan hệ phát triển thuận lợi thì sự ảnh hưởng của thầy sẽ giúp nghiên cứu sinh của mình tìm được một công việc. Tên của họ thường gắn liền với nhau mãi mãi. Nhưng khi một môn khoa học còn chưa tồn tại, thì ít giáo viên sẵn sàng dạy nó. Năm 1977, hỗn độn vẫn chưa có thầy. Vẫn chưa có các lớp dạy về hỗn độn, cũng chẳng có các trung tâm chuyên nghiên cứu về phi tuyến và các hệ phức tạp, cũng chẳng có sách, chẳng có tạp chí nào về hỗn độn hết.

LÚC 1 GIỜ SÁNG, WILLIAM BURKE, một nhà vũ trụ học và chuyên gia về thuyết tương đối của Santa Cruz, đã chạy tới gặp bạn ông là Edward A. Spiegel, một nhà vật lý thiên văn, tại sảnh của một khách sạn ở Boston nơi họ đang tham dự một hội thảo về thuyết tương đối rộng. “Này, mình vừa nghe nói về nhân hút của Lorenz đấy”, Spiegel nói. Spiegel đã sử dụng một mạch điện tùy hứng mắc với một dàn hi-fi để làm thay đổi biểu tượng này về hỗn độn thành những tiếng rú rít chói tai. Ông đã kéo Burke vào quầy bar nhâm nhi và kể cho Burke biết các chi tiết.

Spiegel đã quen biết Lorenz và cũng đã nghe nói về hỗn độn từ những năm 1960. Ông cũng đã vận dụng nó để tìm kiếm

những đầu mối về khả năng tồn tại hành trạng thất thường trong các mô hình về sự chuyển động của sao và đã tiếp xúc với nhiều nhà toán học Pháp. Cuối cùng, khi đã trở thành giáo sư của Đại học Columbia, trọng tâm nghiên cứu thiên văn của ông là sự chảy rối trong không gian - hay nói một cách hình ảnh là sự “loạn nhịp vũ trụ”. Ông biết cách thu hút sự chú ý của các đồng nghiệp đối với các ý tưởng mới, và đêm nay Burke cũng đã bị ông thuyết phục. Burke là người cởi mở đối với loại vấn đề như vậy. Ông đã trở nên nổi tiếng nhờ nghiên cứu một trong những món quà nghịch lý nhất mà Einstein đã để lại cho vật lý, đó là khái niệm về các sóng hấp dẫn uốn lượn qua cấu trúc của không-thời gian. Đây là một vấn đề có tính phi tuyến cao, với một hành trạng khó chịu gắn liền với những phi tuyến rắc rối của động lực học chất lưu, một vấn đề hoàn toàn trừu tượng và lý thuyết. Nhưng Burke cũng thích cả thứ vật lý trần tục nữa, có lần ông đã cho công bố một bài báo về quang học của các cốc bia: Chiếc cốc phải có độ dày bằng bao nhiêu để tạo ra ảo giác là nó luôn luôn đầy? Ông thích nói rằng mình đã hơi lỗi thời vì coi vật lý đồng nghĩa với thực tại. Hơn nữa, ông cũng đã đọc một bài báo của Robert May đăng trên tờ *Nature*, kêu gọi tăng cường giảng dạy về các hệ phi tuyến cơ bản, và bản thân ông cũng đã dành vài giờ để chơi với các phương trình của May trên chiếc máy tính cầm tay. Vì thế ông thấy nhân hút của Lorenz là khá thú vị. Nhưng ông không có ý định chỉ nghe về nó. Mà ông muốn nhìn thấy nó. Khi quay trở lại Santa Cruz, ông đã đưa cho Rob Shaw một mẫu giấy trên đó có viết vội một hệ ba phương trình vi phân và hỏi Shaw liệu có thể đưa chúng vào chiếc máy tính tương tự của mình hay không?

Các máy tính tương tự là một ngỗ cụt trong quá trình phát triển của máy tính. Người ta không thấy loại máy tính này ở các khoa vật lý, và sự hiện diện của chúng ở Santa Cruz là hoàn toàn ngẫu nhiên: trong các dự án ban đầu, khu đại học này có cả một trường đào tạo kỹ sư; nhưng vào thời gian dự án về trường kỹ sư bị hủy bỏ, người phụ trách trang thiết bị do quá năng nổ đã vội vàng đã mua sắm một số máy móc. Các máy tính kỹ thuật số, được lắp ráp từ các mạch điện mở hoặc đóng, 0 và 1, có và không, đã đưa ra các câu trả lời chính xác cho những câu hỏi của các lập trình viên, và chúng tỏ ra thích hợp hơn đối với sự tiểu hình hóa và sự tăng tốc của công nghệ dẫn tới cuộc cách mạng về máy tính. Tất cả những gì một máy tính kỹ thuật số làm một lần có thể được làm lại, và cho chính xác cùng một kết quả, và về nguyên tắc có thể được thực hiện trên bất kỳ một máy tính kỹ thuật số nào khác. Các máy tính tương tự, về nguyên tắc chế tạo, đã là gần đúng. Các khối cấu thành của nó không phải là các chuyển mạch có-không, mà là các mạch điện tử bao gồm các điện trở và tụ điện - những thứ rất quen thuộc với tất cả những ai, như Shaw, đã từng mày mò với các máy thu thanh ở thời trước khi xuất hiện các tranzito. Chiếc máy ở Santa Cruz mang nhãn hiệu Systron-Donner, là một chiếc máy nặng nề, phủ đầy bụi bặm, với mặt trước có một panel các ổ nối giống như trong các tổng đài điện thoại cũ kỹ. Lập trình trên một máy tương tự đồng nghĩa với việc lựa chọn các linh kiện điện tử và cắm dây nối vào các ổ cắm này.

Bằng cách tạo những tổ hợp mạch điện khác nhau, người lập trình có thể mô phỏng của các hệ phương trình vi phân hoàn toàn phù hợp với các bài toán kỹ thuật. Hãy tưởng tượng bạn muốn mô phỏng hệ thống treo của xe ô tô, với các lò xo,

các giảm xóc và khối lượng của nó, để tạo ra một sự thoải mái tối đa trên đường. Người ta có thể tạo ra các dao động của một mạch điện tương ứng với các dao động của một hệ cơ học. Một tụ điện ứng với các giảm xóc, một cuộn cảm thay cho khối lượng, và cứ tiếp tục như vậy. Nhưng kết quả thu được là không thật chính xác. Việc tính toán bằng số được gặt sang một bên. Thay vì, người ta thu được một mô hình tạo thành từ kim loại và các electron, rất nhanh, và hay nhất là rất dễ điều chỉnh. Chỉ cần vặn nút là có thể điều chỉnh được các biến số, tăng độ cứng của lò xo hay làm giảm ma sát. Và người ta có thể quan sát những thay đổi này ngay tức thì, theo những hình ảnh được vẽ trên màn hình của máy hiện sóng.

Ở trên gác, trong phòng thí nghiệm về siêu dẫn, thỉnh thoảng Shaw mới làm việc về luận án tiến sĩ của mình và dành ngày càng nhiều thời gian để chơi với chiếc máy Systron-Donner. Anh đã tiến đủ xa để quan sát được chân dung trong không gian pha của một vài hệ đơn giản - các quỹ đạo tuần hoàn hay các chu trình giới hạn. Giá như Shaw có nhìn thấy hỗn độn, dưới dạng các nhân hút lạ, thì chắc anh cũng không nhận ra. Các phương trình Lorenz mà Burke đã đưa cho Shaw trên một mảnh giấy không phức tạp hơn các hệ mà Shaw đã mày mò. Shaw chỉ mất vài giờ để nối cáp và điều chỉnh các nút. Và chỉ vài phút sau, Shaw biết rằng mình sẽ không bao giờ hoàn thành được luận án tiến sĩ về siêu dẫn nữa.

Shaw đã dành nhiều đêm ở dưới tầng hầm, quan sát chấm sáng xanh chạy trên màn hình của máy hiện sóng, vẽ đi vẽ lại mặt con chim cú đặc trưng của nhân hút Lorenz. Sự phong phú của hình dạng lưu lại trên võng mạc của anh, một cái gì đó loé sáng và vỗ cánh, không có gì giống với các đối tượng mà

anh đã từng nhìn thấy trong quá trình nghiên cứu của mình. Nó dường như có một cuộc sống riêng. Nó thôi miên anh như một ngọn lửa, và trình hiện các môtip không bao giờ lặp lại. Sự không chính xác và tính không lặp lại một cách hoàn hảo của máy tính tương tự lại là một ưu thế đối với Shaw. Anh đã nhanh chóng nhận ra sự phụ thuộc rõ rệt vào các điều kiện ban đầu, điều đã từng thuyết phục Lorenz tin rằng mọi dự báo thời tiết dài hạn đều là hão huyền cả. Anh đưa vào các điều kiện ban đầu, ấn nút chạy, và nhân hút bắt đầu xuất hiện ngay lập tức. Rồi anh lại nhập vào chính những điều kiện ban đầu ấy - gần nhất có thể về mặt vật lý với các điều kiện đưa vào lần đầu - và quỹ đạo nhí nhánh rời xa đường đi trước đây của nó, nhưng rồi cuối cùng vẫn dẫn đến cái nhân hút ấy.

Hồi còn trẻ, Shaw đã có những ảo tưởng về khoa học - đó là sự dần thân đầy lãng mạn vào cái chưa biết. Loại nghiên cứu mà anh thực hiện trên chiếc máy Systron-Donner cuối cùng cũng đã phù hợp với các ảo tưởng của anh. Vật lý nhiệt độ thấp chắc chắn là thú vị đối với những người ưa mây mờ tháo lắt, với hệ thống các ống dẫn, heli lỏng và các mặt chia độ, nhưng đối với Shaw, nó chẳng dẫn đến đâu. Chẳng bao lâu sau, chiếc máy tính tương tự đã được chuyển lên gác, và căn phòng này không bao giờ còn được sử dụng cho nghiên cứu về siêu dẫn nữa.

“CHỈ CẦN ĐẶT TAY LÊN NHỮNG CHIẾC NÚT NÀY là bạn sẽ ngay lập tức được khám phá một thế giới khác, nơi mà bạn là một trong những lữ khách đầu tiên và bạn sẽ không muốn ngoi lên để lấy hơi nữa”, Ralph Abraham nói. Ông là giáo sư toán học đã tới ngay để nhìn cái nhân hút Lorenz đang vận

động. Ông chính là người đã cùng với Steve Smale trong những ngày đầu vinh quang nhất của Berkeley, và là một trong vài ba thành viên của Santa Cruz có đủ hiểu biết để nắm bắt được tầm quan trọng của trò chơi của Shaw. Phản ứng đầu tiên của ông là ngạc nhiên trước vận tốc hiển thị của nhân hút - Shaw giải thích rằng anh đã phải sử dụng thêm mấy tụ điện phụ để làm cho nó không chạy quá nhanh. Cái nhân hút này quá bền vững. Sự không chính xác của mạch tương tự chứng tỏ điều ấy - dù người ta có vận nhẹ nhàng hay vận đột ngột các nút, thì nhân hút vẫn không biến mất, không bao giờ biến thành một cái gì đó ngẫu nhiên; mà trái lại, nó được biến đổi hoặc biến dạng thành một hình ảnh chậm chạp hé mở sự gắn kết chặt chẽ của nó. “Rob đã cảm nhận được ngay rằng một khám phá nhỏ cũng đủ để phát lộ tất cả các bí mật”, Abraham nói. “Tất cả các khái niệm quan trọng - như số mũ Lyapounov, chiều fractal - đều xuất hiện trước mắt bạn một cách tự nhiên. Bạn nhìn thấy chúng là lập tức muốn tự mình khám phá”.

Nhưng liệu đó có phải là khoa học không? Chắc chắn đó không phải là toán học, chiếc máy tính hoạt động không hề có các hình thức luận hay các chứng minh, và không một sự ủng hộ nào về tình cảm của những người như Abraham có thể làm thay đổi được điều đó. Khoa vật lý cũng không thấy có bất cứ lý do gì để cho rằng đó là vật lý. Nhưng dù thế nào đi nữa thì nó cũng thu hút được nhiều người đến xem. Khi đi ra ngoài, Shaw thường để cửa mở, mà lối vào khoa vật lý lại nằm ngay bên cạnh hội trường. Lượng người qua đây là rất lớn, và trước đó rất lâu, Shaw đã có nhiều người đi theo.

Nhóm người này sau đó đã tự gọi mình là Tập thể Nghiên cứu các Hệ động lực - một số người khác đôi khi lại gọi nó là

Nhóm truyền bá hỗn độn - họ xoay quanh cái tâm điểm là anh chàng Shaw, một con người kín đáo. Shaw tỏ ra thiếu tự tin khi trình bày các ý tưởng của mình trước đông đảo giới hàn lâm; nhưng rất may cho anh, những người cộng sự mới của anh lại không vấp phải vấn đề này. Trong khi chờ đợi, họ thường nhắc lại các quan điểm của cá nhân anh về cách tiến hành một chương trình khảo sát còn chưa thật xác định đối với một khoa học còn chưa được thừa nhận.

Doyne Farmer, một anh chàng cao kều, khuôn mặt góc cạnh, tóc vàng hung người gốc Texas, là người phát ngôn lưu loát nhất của nhóm. Năm 1977, anh mới hai mươi tư tuổi, đầy nghị lực và nhiệt huyết, một cỗ máy chuyên sản sinh ra các ý tưởng. Những người gặp Farmer thoát nhìn đôi khi nghĩ rằng anh chỉ là một gã hoạt ngôn. Mùa thu năm đó, Norman Parkard, trẻ hơn anh ba tuổi, một người bạn từ thời thơ ấu, đã cùng lớn lên với anh ở Silver City, một thành phố thuộc bang New Mexico, đã đến Santa Cruz, vào đúng thời kỳ mà Farmer bắt đầu một năm nghỉ dạy để dành toàn bộ nghị lực của mình cho dự án áp dụng các định luật chuyển động cho trò chơi roulette (cò quay). Dự án này nghe có vẻ vừa nghiêm túc vừa kỳ cục. Trong hơn một chục năm, Farmer và một nhóm các nhà vật lý với thành phần luôn luôn thay đổi, những tay cờ bạc chuyên nghiệp và những kẻ theo đóm ăn tàn khác, đã theo đuổi giấc mơ cò quay. Ngay cả khi đến làm việc ở Ban lý thuyết thuộc Phòng thí nghiệm quốc gia Los Alamos, anh cũng không hề từ bỏ giấc mơ đó. Họ đã tính toán các độ nghiêng và quỹ đạo, viết đi viết lại các phần mềm chuyên dụng, giấu máy tính vào trong giấy và mạo hiểm đột nhập vào các sòng bạc - nhưng chẳng có gì diễn ra như dự kiến của họ. Thi thoảng,

tất cả các thành viên của Tập thể, ngoại trừ Shaw, cũng dành một ít sức lực cho dự án cò quay, và phải thừa nhận rằng nếu như dự án này đã rèn giũa cho họ một khả năng khác thường để phân tích nhanh các hệ động lực, thì nó lại làm được rất ít để cho khoa vật lý của Santa Cruz yên tâm rằng Farmer vẫn đang làm khoa học một cách nghiêm túc.

Thành viên thứ tư của nhóm là James Crutchfield, người trẻ nhất và cũng là người gốc California duy nhất. Bé nhỏ và gầy gò, đó là một tay lướt ván sành điệu và, điều quan trọng nhất đối với nhóm, anh là một tài năng bẩm sinh về tin học. Crutchfield đến Santa Cruz với tư cách đơn giản là sinh viên, đã từng làm trợ lý phòng thí nghiệm về siêu dẫn của Shaw trước khi Shaw lao vào hỗn độn, anh cũng đã trải qua một năm như con thoi đi qua “phía bên kia đồi”, như người ta vẫn nói ở Santa Cruz, để làm việc tại một trung tâm nghiên cứu của IBM ở San Jose, và mãi đến năm 1980, anh mới thực sự là thành viên của Khoa Vật lý với tư cách là nghiên cứu sinh. Trong hai năm quanh quẩn ở phòng thí nghiệm của Shaw, anh đã ngốn đủ các thứ toán mà anh cần biết để tìm hiểu các hệ động lực. Và cũng như những người khác trong nhóm, anh đã không đi theo con đường truyền thống mà khoa đã vạch ra.

Phải đợi đến mùa xuân năm 1978 thì khoa vật lý mới hoàn toàn tin rằng Shaw đã từ bỏ luận án của mình về siêu dẫn, mặc dù mọi thứ gần như đã xong xuôi. Khoa đã khuyên anh rằng, dù có chán thế nào đi nữa, thì hãy cứ làm nhanh chóng các thủ tục để bảo vệ luận án và kiếm lấy việc làm cái đã. Còn chuyện hỗn độn thì có vấn đề về chuyên môn. Không một ai ở Santa Cruz có đủ trình độ để dạy một giáo trình về cái môn học còn chưa có tên này. Cũng chưa có ai được nhận học vị

tiến sỹ về chủ đề này. Mà cũng chẳng có vị trí công tác nào dành cho những người tốt nghiệp loại chuyên môn này. Ngoài ra, còn có vấn đề tiền bạc. Ở Santa Cruz cũng như trong tất cả các trường đại học ở Mỹ, vật lý được cấp kinh phí chủ yếu bởi Quỹ Khoa học Quốc gia và các cơ quan khác của chính phủ liên bang thông qua các hợp đồng nghiên cứu của các thành viên trong khoa. Hải quân, Không quân, Bộ năng lượng và CIA, tất cả đều chi các khoản tiền khổng lồ cho các nghiên cứu cơ bản, mà không cần quan tâm tới các ứng dụng trực tiếp của nó vào thủy động lực học, khí động lực học, năng lượng hay tình báo. Một nhà vật lý trong khoa sẽ nhận được đủ tiền để trang bị cho phòng thí nghiệm của mình và trả lương cho các trợ lý - như vậy các nghiên cứu sinh cũng được hưởng trợ cấp từ các hợp đồng đó. Ông ta cũng trả tiền in sao tài liệu cho họ, chi phí đi lại cho các hội thảo, và thậm chí còn cho họ tiền sống trong mùa hè. Nếu không có sự giúp đỡ này, nghiên cứu sinh sẽ không có đủ tiền để tiếp tục học tập. Nhưng giờ đây Shaw, Farmer, Packard và Crutchfield đã mất nguồn tài trợ từ hệ thống đó.

Khi một số loại thiết bị điện tử bắt đầu bị biến mất trong đêm, thì nên thận trọng tìm kiếm chúng trong phòng thí nghiệm nhiệt độ thấp trước kia của Shaw. Thi thoảng, một thành viên của nhóm lại xin được khoảng một trăm đôla của hiệp hội nghiên cứu sinh, hoặc khoa vật lý tìm cách để cho họ số tiền này. Các máy vẽ, các máy đổi điện, các bộ lọc điện bắt đầu được tích lũy dần. Một nhóm nghiên cứu vật lý hạt, ở cuối hành lang, có một máy tính kỹ thuật số nhỏ bị bỏ không; và thế là nó cũng tìm được đường về phòng thí nghiệm của Shaw. Farmer đã tự biến mình thành một

chuyên gia đánh cắp thời gian tính toán. Một mùa hè, anh được mời đến Trung tâm nghiên cứu khí quyển quốc gia ở Boulder, bang Colorado, ở đó có rất nhiều máy tính lớn dùng để nghiên cứu mô phỏng thời tiết toàn cầu, và khả năng lấy trộm thời gian quý giá trên các máy tính này của anh đã làm kinh ngạc các nhà khí hậu học.

Tính thích mày mò cũng đã giúp ích rất nhiều cho nhóm các nghiên cứu sinh này của Santa Cruz. Shaw lớn lên đã có thiên hướng sáng chế các thiết bị. Là một cậu bé tinh nghịch, Packard đã biết sửa chữa TV từ hồi còn ở Silver City. Còn Crutchfield thuộc thế hệ đầu tiên các nhà toán học mà đối với họ logic của các bộ vi xử lý là một ngôn ngữ tự nhiên. Bản thân tòa nhà vật lý, dưới bóng của các cây cù tùng, cũng giống như mọi tòa nhà vật lý ở những nơi khác, cũng với những sàn nhà bằng bê tông và các bức tường luôn luôn trong tình trạng chờ được sơn lại; nhưng phòng của nhóm nghiên cứu hỗn độn có một không khí riêng, với các chồng báo và ảnh những cư dân của đảo Tahiti trên tường và cả những hình ảnh về các nhân vật được in ra. Hầu như bất cứ giờ nào, nhưng vào ban đêm thì chắc chắn hơn, người ta đều thấy các thành viên của nhóm đang sắp xếp lại một mạch tích hợp, tháo các cáp nối, tranh luận về ý thức và tiến hóa, xử lý màn hình của máy hiện sóng, hay đơn giản là trở mắt nhìn khi điểm xanh sáng trên màn hình vạch một đường cong sáng, với quỹ đạo của nó rung rinh và động đậy như một cái gì đó sống động.

“TẤT CẢ CHÚNG TÔI đều rút ra cùng một điều: quan niệm cho rằng chúng ta có quyết định luận, nhưng không thực sự như vậy”, Farmer nói. “Ý tưởng cho rằng tất cả các hệ cổ điển

tất định mà chúng ta đã biết có thể sinh ra ngẫu nhiên là điều rất hấp dẫn. Điều đó đã thúc đẩy chúng tôi tìm hiểu cái gì đã làm nên điều khó chịu đó.

“Bạn không thể đánh giá hết tầm vóc của loại phát hiện này chừng nào bạn chưa bị tẩy não bởi sáu hoặc bảy năm học chương trình vật lý chuẩn ở nhà trường. Người ta dạy bạn rằng tồn tại các mô hình cổ điển trong đó tất cả được quyết định bởi các điều kiện ban đầu, rồi có các mô hình lượng tử ở đó các thứ cũng được quyết định, nhưng bạn phải hài lòng với một hạn chế về bao nhiêu thông tin ban đầu mà bạn có thể thu thập được. *Phi tuyến* là một thuật ngữ chỉ gặp ở cuối sách. Khi một nghiên cứu sinh vật lý cầm một giáo trình toán học, anh ta sẽ thấy các phương trình phi tuyến thường nằm ở chương cuối. Thông thường thì người ta bỏ qua nó; nhưng nếu có đọc, thì bạn sẽ thấy rằng tất cả những gì người ta làm là lấy các phương trình phi tuyến này và quy chúng về các phương trình tuyến tính, và trong mọi trường hợp bạn chỉ nhận được các nghiệm gần đúng. Đó là một bài tập gây thất vọng.

“Chúng ta không có khái niệm về sự khác biệt thực sự mà tính phi tuyến đã tạo ra trong mô hình. Nếu nghiệm một phương trình có thể nhảy lung tung một cách dường như là ngẫu nhiên - như thế đã là đủ kích thích lắm rồi. Bạn sẽ hỏi: “Cái chuyển động ngẫu nhiên đó tới từ đâu nhỉ? Có thấy nó ở trong các phương trình đâu”. Điều này giống như một cái gì đó cho không, hay một cái gì đó xuất hiện chẳng từ cái gì cả”.

Crutchfield nói thêm: “Chúng tôi đã nhận thấy tồn tại cả một lĩnh vực thực nghiệm vật lý không tương hợp với khuôn khổ hiện có. Tại sao điều đó lại không nằm trong những cái mà người ta đã dạy chúng ta? Chúng tôi đã có cơ hội quan sát

thế giới thực quanh ta - một thế giới bình thường nhưng cũng hết sức kì diệu - và đã hiểu được một cái gì đó”.

Họ tự lấy làm vui sướng, và làm rưng rờ các giáo sư bằng cách tấn công họ với những câu hỏi về quyết định luận, về bản chất của trí tuệ và hướng tiến hóa của sinh học.

“Điều gắn kết chúng tôi, đó là một tầm nhìn dài hạn”, Packard nói. “Điều khiến chúng tôi phải sống sót, đó là nếu chúng ta lấy các hệ vật lý chính tắc đã từng được vật lý cổ điển phân tích cặn kẽ, thì chỉ cần làm trệch đi một ly thôi trong không gian các tham số là cuối cùng sẽ thu được một cái gì đó mà toàn bộ kho vũ khí phân tích hùng hậu nói trên sẽ không còn áp dụng được nữa.

“Lẽ ra hiện tượng hỗn độn đã được phát hiện từ lâu, rất lâu rồi. Nhưng thực tế lại không như vậy, một phần là do toàn bộ các công trình khổng lồ về động lực học các chuyển động chuẩn tắc lại không dẫn dắt theo hướng này. Nhưng hãy nhìn và bạn sẽ thấy nó ở đó. Hỗn độn đã cho phép chúng ta hiểu được rằng phải để cho vật lý và các quan sát dẫn dắt, để thấy những bức tranh lý thuyết nào mà ta có thể phát triển. Trong cuộc chạy đường dài này, chúng ta đã thấy sự nghiên cứu các động lực học phức tạp như một điểm tiếp cận có thể sẽ dẫn chúng ta tới hiểu được các hệ động lực thực rất rất phức tạp”.

Farmer nói: “Ở một cấp độ triết học, tôi thấy điều đó như một phương tiện thao tác để định nghĩa ý chí tự do, theo cách cho phép bạn dung hòa được ý chí tự do và quyết định luận. Hệ là tất định, nhưng bạn lại không thể biết điều gì sẽ diễn ra sau đó. Đồng thời, tôi luôn có cảm giác rằng các vấn đề quan trọng, ở bên ngoài thế giới kia, đều có liên quan với sự sáng tạo ra tổ chức, trong sự sống hoặc trí tuệ. Nhưng nghiên cứu

điều đó như thế nào? Điều mà các nhà sinh học đã làm dường như chỉ là ứng dụng và mang tính chuyên biệt; các nhà hóa học chắc chắn không nghiên cứu nó, các nhà toán học lại càng không, và các nhà vật lý học cũng chưa hề chạm tới. Tôi luôn có cảm giác rằng sự đột sinh tự phát của sự tự tổ chức phải là một phần của vật lý.

“Đây là đồng xu có hai mặt. Một mặt là trật tự, với sự đột sinh của ngẫu nhiên, rồi, một bước tiếp sau nữa là ngẫu nhiên, với một trật tự riêng ẩn giấu bên dưới nó”.

SHAW VÀ CÁC ĐỒNG NGHIỆP của anh đã phải biến nhiệt huyết ban đầu của mình thành một chương trình khoa học. Họ phải đặt ra các câu hỏi có thể trả lời và đáng được trả lời. Họ đã tìm cách kết nối lý thuyết và thực nghiệm - họ cảm thấy ở đó có một hố ngăn cách cần phải lấp đầy. Nhưng trước khi có thể bắt đầu, họ phải tìm hiểu về những điều mà người ta đã biết và những điều mà người ta chưa biết, và chính bản thân điều này đã là một thách thức lớn.

Dự án của họ đã bị chậm lại do xu hướng truyền bá thông tin trong khoa học quá ư rời rạc, nhất là khi đề tài mới có liên quan đến nhiều chuyên ngành đã được xác lập. Họ thường không biết mình đang nằm trong vùng đã biết hay chưa biết. Sự thiếu thông tin của họ đã được Joseph Ford, một người bệnh vực nhiệt thành cho hỗn độn ở Viện Công nghệ Georgia, tặng cho một phương thuốc vô giá. Ford đã quyết định rằng tương lai - toàn bộ tương lai - của vật lý học nằm trong động lực học phi tuyến và đã biến mình thành một trung tâm thông tin về các bài báo khoa học thuộc lĩnh vực này. Chuyên ngành của ông là hỗn độn không tiêu tán, đó là hỗn độn của các hệ

thiên văn hay trong vật lý hạt. Ông có những hiểu biết đặc biệt sâu sắc về các nghiên cứu của trường phái Xô Viết và tìm cách tiếp xúc với tất cả những ai chia sẻ, dù chỉ rất ít, triết lý chủ đạo trong kế hoạch mới này của ông. Ông có những người bạn ở khắp nơi. Một nhà khoa học công bố một bài báo, và thế là công trình của anh ta làm dài thêm danh sách các bài báo được Ford tóm tắt. Khi biết sự tồn tại của danh sách này, nhóm các nghiên cứu sinh ở Santa Cruz đã làm ra một phiếu có dạng như một tấm bưu thiếp để xin bản trước khi in (preprint) của các bài báo đó. Và chẳng bao lâu sau các bản preprint này ò ạt chảy đến.

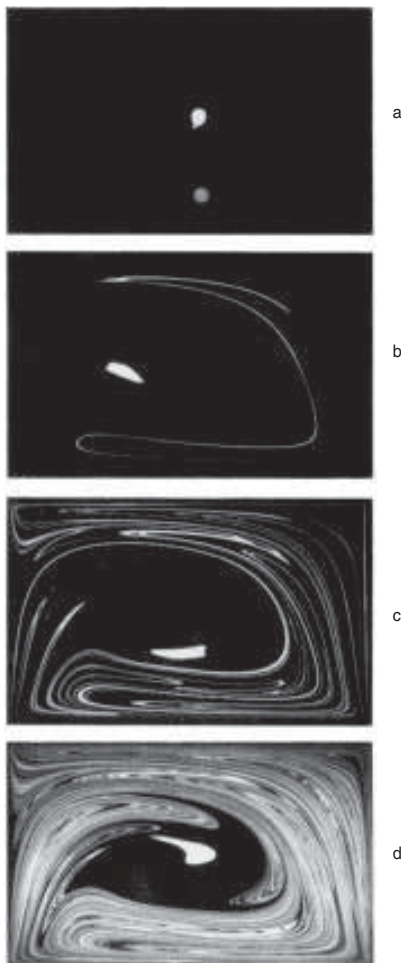
Họ đã nhận ra rằng có thể đặt ra rất nhiều câu hỏi về các nhân hút lạ. Hình dạng đặc trưng của chúng là gì? Cấu trúc tô pô của chúng ra sao? Hình học của chúng có thể hé lộ điều gì về vật lý của các hệ động lực có liên quan? Phương pháp tiếp cận đầu tiên là khám phá bằng tay, mà chính Shaw cũng đã bắt đầu bằng phương pháp này. Phần lớn các tài liệu toán học đều tiếp cận trực tiếp với chính cấu trúc, nhưng theo Shaw, đó là một cách tiếp cận quá chi tiết - có quá nhiều cây mà lại không đủ là rừng. Khi tìm hiểu kỹ lưỡng qua các tài liệu đó, Shaw nhận thấy dường như các nhà toán học, do truyền thống của mình, không biết sử dụng các công cụ mới của tin học, họ khép mình trong tính toán những chỗ phức tạp đặc biệt của các cấu trúc quỹ đạo, chỗ này là những vô hạn, chỗ kia là những gián đoạn. Họ không bận tâm một cách đặc biệt đến sự mờ nhòe (của máy tính) tương tự - cái mờ nhòe, mà xét trên quan điểm của nhà vật lý, chắc chắn phải chi phối các hệ thực. Điều mà Shaw thấy trên máy hiện sóng của mình không phải là các quỹ đạo riêng lẻ, mà là một bao hình chứa tất cả các quỹ đạo: chính cái bao

hình này thay đổi khi anh quay nhẹ các nút của máy. Và mặc dù còn chưa thể đưa ra một giải thích chặt chẽ bằng ngôn ngữ tôpô cho các nếp gấp và các xoắn này, nhưng anh đã bắt đầu cảm nhận thấy anh đã hiểu chúng.

Điều quan trọng đối với một nhà vật lý, đó là thực hiện các phép đo. Nhưng phải đo cái gì trong các hình ảnh chuyển động loang loáng này? Shaw và các bạn của anh đã cố gắng tìm cách cô lập các tính chất đặc biệt làm cho các nhân hút lạ trở nên rất quyến rũ như thế. *Sự phụ thuộc nhạy cảm vào các điều kiện ban đầu* - xu hướng của các quỹ đạo ở cạnh nhau trở nên dần xa cách nhau. Chính tính chất này đã cho phép Lorenz ý thức được rằng dự báo thời tiết mang tính quyết định luận dài hạn là một điều không thể. Nhưng đặt thước ở đâu để đo một tính chất như thế? Liệu bản thân tính không thể tiên đoán có đo đạc được không?

Câu trả lời cho câu hỏi này nằm trong một khái niệm của một người Nga, đó là số mũ Lyapunov. Con số này đã cung cấp một thước đo cho chính các tính chất tôpô tương ứng với các khái niệm như tính không thể tiên đoán được. Các số mũ Lyapunov của một hệ cung cấp một cách đo các hiệu ứng đối kháng của sự kéo giãn, co rút và gấp trong không gian pha của một nhân hút. Chúng cho một hình ảnh về tất cả các tính chất của một hệ dẫn đến ổn định hay bất ổn định. Một số mũ lớn hơn không ứng với một sự kéo giãn - ở gần các điểm sắp bị tách rời. Một số mũ nhỏ hơn không có nghĩa là co lại. Đối với một điểm bất động, tất cả các số mũ Lyapunov đều âm, vì hướng kéo là vào trong, hướng tới trạng thái cân bằng cuối cùng. Một nhân hút có dạng một quỹ đạo tuần hoàn có một số mũ chính xác bằng không và tất cả các số mũ khác

Julio M. Ottino, University of Massachusetts at Amherst



Trộn hỗn độn: Một giọt trộn rất nhanh, trong khi một giọt khác, ở gần tâm hơn một chút thì hầu như lại chẳng trộn gì hết. Trong các thí nghiệm của Julio M. Ottino và những người khác với các chất lưu thực, quá trình trộn - có mặt ở khắp nơi, trong tự nhiên cũng như trong công nghiệp và vẫn còn được hiểu khá sơ sài - đã tỏ ra có mối liên hệ vô cùng khăng khít với toán học của hỗn độn. Các hình mẫu này đã hé lộ sự kéo giãn và cuộn gấp dẫn ngược trở lại hình ảnh cái ánh xạ móng sắt ngựa của Smale.

đều âm. Đối với một nhân hút lạ, hóa ra phải có ít nhất một số mũ Lyapunov dương.

Nếu như nhóm nghiên cứu sinh ở Santa Cruz thất vọng vì đã không phát minh ra khái niệm này, thì họ cũng đã phát triển được những ứng dụng thực tiễn nhất có thể, họ biết cách tính toán các số mũ này và gắn kết chúng với các tính chất quan trọng khác. Họ đã sử dụng cách biểu diễn bằng tin học để thực hiện các bộ phim minh họa sự pha trộn lẫn nhau giữa trật tự và hỗn độn trong các hệ động lực. Sự phân tích của họ đã cho thấy một cách rõ ràng bằng cách nào mà một số hệ có thể sinh ra hỗn độn theo một hướng này, nhưng lại vẫn còn là hiền hòa ngoan ngoãn theo các hướng khác. Một trong những bộ phim của họ đã cho thấy điều gì sẽ xảy ra đối với một đám rất nhỏ các điểm - biểu diễn các điều kiện ban đầu - nằm trên một nhân hút lạ khi hệ tiến hóa theo thời gian. Đám này bắt đầu lan rộng và trở nên thưa thớt dần. Nó biến thành một điểm rồi thành một giọt. Đối với một số loại nhân hút, giọt này khuếch tán rất nhanh trên toàn bộ màn hình. Những nhân hút như thế có một khả năng *hòa trộn (mixing)* rất hiệu quả. Tuy nhiên, đối với các nhân hút khác, sự khuếch tán này chỉ xảy ra theo một số hướng. Giọt biến thành một dải thẳng, hỗn độn theo trục này nhưng lại trật tự theo một trục khác, cứ như thể hệ trình hiện cùng lúc hai xu hướng, một trật tự và một hỗn độn, và các xu hướng này độc lập với nhau. Trong khi một hướng dẫn đến tính không thể tiên đoán được một cách ngẫu nhiên, thì xu hướng kia lại đi theo thời gian với một sự chính xác như một chiếc đồng hồ. Hai xu hướng này đều có thể xác định và đo được.

DẤU ẤN MANG ĐẬM TÍNH Santa Cruz nhất để lại trong nghiên cứu về hỗn độn liên quan đến một tác phẩm triết học-toán học do một nhà nghiên cứu của Phòng thí nghiệm Bell Telephone, tên là Claude Shannon đưa ra vào khoảng cuối những năm 1940. Shannon đặt tên cho cuốn sách là *The Mathematical Theory of Communication* (“Lý thuyết toán học của truyền thông”), nhưng nó liên quan đến một đại lượng khá đặc biệt gọi là “thông tin” (*information*), nên cũng thường được gọi là “lý thuyết thông tin”. Lý thuyết này là một sản phẩm của kỷ nguyên điện tử. Các đường truyền thông cũng như phát thanh và truyền hình đều vận tải một cái gì đó mà sau này, chúng được các máy tính lưu giữ nó trên các phiếu đục lỗ hay trên các trống từ, và đó không phải là kiến thức cũng không phải là ý nghĩa. Đơn vị cơ bản của nó không phải là những ý tưởng hay các khái niệm, cũng không nhất thiết phải là các từ hay các số. Cái này có thể là có nghĩa hoặc vô nghĩa - nhưng các kỹ sư và các nhà toán học lại có thể đo đếm được nó, truyền nó và kiểm tra được độ chính xác của sự truyền này. Từ *thông tin* là một từ cũng bình thường như bất kỳ một từ nào khác, nhưng mọi người phải nhớ rằng họ đang sử dụng một từ chuyên môn không có một giá trị cụ thể nào, không có các hàm nghĩa thông thường về sự kiện, hiểu biết, thông thái, hiểu hay giải thích.

Chính cái phần cứng của máy tính đã quyết định hình hài của lý thuyết này. Vì thông tin được lưu giữ trong các chuyển mạch nhị phân tắt-mở gọi là các “bit”, nên các bit này đã trở thành thước đo cơ bản của thông tin. Xét trên quan điểm kỹ thuật, lý thuyết thông tin đã trở thành một công cụ cho phép nắm bắt được bằng cách nào mà một nhiều tạp dưới dạng

các sai số ngẫu nhiên đã giao thoa với dòng các bit. Nó cho ta một phương tiện để tiên đoán khả năng truyền tải cần thiết của các đường truyền thông, của các đĩa compact hay mọi công nghệ mã hóa ngôn ngữ, âm thanh hay hình ảnh khác. Nó cung cấp một phương tiện lý thuyết để xác định tính hiệu quả của các sơ đồ sửa lỗi khác nhau - chẳng hạn bằng cách sử dụng một số bit để kiểm soát một số bit khác. Nó đã đưa ra một khái niệm rất quan trọng là độ dôi dư (*redundancy*). Theo lý thuyết của Shannon, ngôn ngữ thông thường có đến hơn năm mươi phần trăm sự dư thừa dưới dạng các âm hay các chữ vốn không thực sự cần thiết cho sự chuyển tải một thông điệp. Đó là một ý tưởng khá quen thuộc, sự truyền thông thông thường trong một thế giới của những tiếng nói lý nhí và các lỗi in ấn phụ thuộc nhiều vào độ dôi dư. Hiện tượng này đã được minh họa trong một quảng cáo nổi tiếng cho các khóa học tốc ký - *if u cn rd ths msg^{*}* - và lý thuyết thông tin cho phép đo được độ dôi dư đó. Độ dôi dư là sự sai lệch có thể tiên đoán được đối với ngẫu nhiên. Trong ngôn ngữ thông thường, một phần của sự dôi dư này nằm trong ý nghĩa của nó, và phần này rất khó định lượng; nó phụ thuộc vào sự hiểu biết của mọi người về ngôn ngữ và thế giới của họ. Chính phần này đã cho phép người ta giải các ô chữ hay điền từ còn thiếu. Tuy nhiên, cũng tồn tại các loại dôi dư khác dễ đo đếm bằng số hơn. Xét về mặt thống kê, tần suất của chữ cái “e” trong tiếng Anh cao hơn nhiều so với bất kỳ chữ nào khác trong số 26 chữ của bảng chữ cái. Hơn nữa, các chữ cái không nên được đếm như các đơn vị riêng lẻ. Trong một văn

* Phiên âm của *if you can read this message* (có nghĩa là nếu bạn có thể đọc thông điệp này).

bản tiếng Anh, khi biết một chữ cái là “t” sẽ giúp ta tiên đoán được chữ cái theo sau nó rất có thể là chữ “h” hoặc “o”; và nếu biết hai chữ cái sẽ cho phép tiên đoán được nhiều hơn nữa, v.v.... Xu hướng có tính chất thống kê của các tổ hợp hai và ba chữ cái khác nhau xảy ra trong một ngôn ngữ giúp ích rất nhiều cho việc tìm hiểu đặc trưng cơ bản của ngôn ngữ này. Một máy tính chỉ được dẫn dắt bởi xác suất tương đối của các chuỗi khả dĩ gồm ba chữ cái sẽ sinh ra một lô các từ tiếng Anh vô nghĩa. Các nhà mật mã từ lâu đã sử dụng các hình mẫu thống kê như vậy để giải các mật mã đơn giản. Các kỹ sư truyền thông ngày nay sử dụng chúng để xây dựng các kỹ thuật nén dữ liệu bằng cách loại bỏ đi các đôi dư để tiết kiệm chỗ trên đường truyền hay trên các đĩa lưu trữ thông tin. Theo Shannon, cách tốt nhất để xem xét các sơ đồ này là thế này: dòng dữ liệu trong ngôn ngữ thông thường còn xa mới là ngẫu nhiên; mỗi bit mới bị ràng buộc một phần bởi các bit trước nó và do đó chuyển tải ít hơn một chút thông tin bình thường được chứa trong một bit. Công thức này ẩn chứa một nghịch lý nhỏ: đoạn dữ liệu càng ngẫu nhiên, thì mỗi bit mới càng chuyển tải nhiều thông tin.

Ngoài sự thích ứng về mặt kỹ thuật cho sự khởi đầu của kỷ nguyên tin học, lý thuyết thông tin của Shannon còn có một chiều kích triết học khiêm tốn, và người ta cho rằng, đối với những người không cùng lĩnh vực chuyên môn với Shannon, phần đáng ngạc nhiên trong sự hấp dẫn của lý thuyết này là do sự lựa chọn một từ, đó là từ *entropy*. Như Warren Weaver từng viết trong một bản thuyết trình kinh điển về lý thuyết thông tin: “Khi một người gặp khái niệm entropy trong lý thuyết thông tin, người đó có quyền cảm thấy được phấn khích - quyền được

ngờ rằng mình đang nắm trong tay một cái gì đó căn bản và quan trọng”. Khái niệm entropy bắt nguồn từ nhiệt động lực học, như một bổ trợ của Nguyên lý hai, nó khẳng định rằng vũ trụ và mọi hệ riêng lẻ chứa trong đó đều có một xu hướng không gì cưỡng nổi là tiến đến một trạng thái có mức độ hỗn loạn ngày càng gia tăng. Hãy chia một bể nước thành hai phần bằng một vách ngăn; đổ nước vào một ngăn và mực vào ngăn kia, rồi đợi cho đến khi hai ngăn yên lặng thì nhấc vách ngăn ra; sau một thời gian, chỉ do chuyển động hỗn loạn của các phân tử, mực và nước hòa trộn với nhau một cách đồng nhất. Sự hòa trộn này không bao giờ tự đảo ngược lại, cho dù bạn có kiên nhẫn chờ đến ngày tận thế của vũ trụ; vì lý do này mà người ta thường nói rằng Nguyên lý hai là phần của vật lý học biến thời gian thành con đường một chiều. Entropy là tên chỉ tính chất của các hệ luôn làm tăng sự hòa trộn, hỗn loạn và ngẫu nhiên dưới tác dụng của Nguyên lý hai. Đó là một khái niệm dễ nắm bắt bằng trực giác hơn là bằng đo đạc trong hoàn cảnh thực tế. Vậy làm thế nào để kiểm tra được một cách đáng tin cậy mức độ hòa trộn của hai chất? Người ta có thể nghĩ là bằng cách đếm các phân tử của hai chất này trong một mẫu của hỗn hợp. Nhưng điều gì sẽ xảy ra nếu các phân tử này được sắp xếp theo trật tự có-không-có-không-có-không-có-không? Sẽ rất khó khẳng định là entropy của hệ này tăng lên. Người ta có thể chỉ đếm các phân tử chẵn; nhưng điều gì sẽ xảy ra nếu chúng sắp xếp theo trật tự có-không-không-có-có-không-không-có? Cái cách mà trật tự len vào thách thức mọi thuật toán đếm một cách trực tiếp. Hơn nữa, trong lý thuyết thông tin, các vấn đề về ý nghĩa và biểu diễn làm cho tình hình trở nên phức tạp hơn. Dãy số 01 0100 0100 0010 111 010 11 00 000 0010 111 010 11

0100 0 000 000... chỉ có thể coi là có trật tự đối với người quan sát đã quá quen thuộc với mã Morse và Shakespeare Nhưng sẽ nói thế nào đây về các mô típ đầy ương ngạnh về mặt tô pô của một nhân hút lạ?

Theo Robert Shaw, các nhân hút lạ là các cỗ máy thông tin. Trong quan niệm ban đầu và cũng là vĩ đại nhất của anh, hỗn độn đã cung cấp một phương tiện tự nhiên để trả lại cho các khoa học vật lý, dưới một dạng mới, các ý tưởng cho rằng lý thuyết thông tin đã được bắt nguồn từ nhiệt động lực học. Bằng cách kết hợp trật tự và phi trật tự, các nhân hút lạ đã cho ta một khúc quanh đầy thách thức đối với vấn đề đo entropy của một hệ. Chúng là các máy trộn rất hiệu quả. Chúng tạo ra tính không thể tiên đoán được. Chúng làm tăng entropi. Và như Shaw từng phát hiện, chúng tạo ra thông tin ở những nơi không tồn tại thông tin.

Một hôm, Norman Packard thấy trên tờ *Scientific American* có đăng thông báo về cuộc thi Louis Jacot. Giải thưởng được một nhà tài phiệt Pháp hào phóng tài trợ. Chính ông này cũng đã xây dựng một lý thuyết riêng của mình về cấu trúc của Vũ trụ, về các thiên hà bên trong các thiên hà. Yêu cầu của cuộc thi là viết một tiểu luận về cái gì cũng được miễn là về chủ đề Jacot. (Theo lời của Farmer thì “Đó là một trò chơi ngông của nhà tài phiệt”). Nhưng ban giám khảo của cuộc thi gồm các nhân vật đầy ấn tượng thuộc các cơ quan khoa học của Pháp, và tiền thưởng của cuộc thi cũng ấn tượng không kém. Packard đã đưa thông báo này cho Shaw xem. Hạn chót là ngày 1 tháng 1 năm 1978.

Vào thời kỳ đó, Tập thể nghiên cứu các hệ động lực thường xuyên tụ tập với nhau trong một ngôi nhà cũ nhưng rộng rãi

ở Santa Cruz, cách bãi biển không xa. Họ chất trong nhà các vật tư mua ở chợ trời và các thiết bị tin học, chủ yếu dành cho vấn đề trò chơi cờ quay. Shaw có một chiếc piano để chơi nhạc *baroc* hoặc phóng tác các bản nhạc pha trộn cổ điển và hiện đại. Trong những cuộc gặp mặt của họ, các nhà vật lý này đã cùng nhau tạo dựng ra một phong cách làm việc, một quy chế tung ra các ý tưởng, rồi sàng lọc chúng qua cái rây của tính thực tiễn, đọc tài liệu chuyên ngành và thai nghén các bài báo của riêng mình. Nếu như cuối cùng họ đã học được cách cùng nhau viết các bài báo này theo một tinh thần hết sức bình đẳng, thì bài báo đầu tiên lại là bài báo của Shaw, và như thường lệ, anh không nói cho những người khác biết. Và cũng như thường lệ, bài báo này đã bị chậm.

Tháng 12 năm 1977, Shaw rời Santa Cruz để tham dự hội thảo đầu tiên về hỗn độn do Viện Hàn lâm Khoa học New York tổ chức. Giáo sư hướng dẫn luận án tiến sỹ của ông về siêu dẫn đã cấp cho tiền đi lại và, dù không được mời, nhưng Shaw đã có cơ hội nhìn thấy tận mắt các nhà khoa học mà ông chỉ mới biết qua các bài báo của họ - David Ruelle, Robert May, James Yorke. Anh đã rất ấn tượng bởi những con người này và cũng bởi giá phòng ở khách Barbizon quá cao - những 35 đô la. Khi nghe họ thuyết trình, Shaw bị dao động giữa cảm giác mình đã tái phát hiện lại các ý tưởng mà những người này đã phát triển một cách cực kỳ chi tiết mà không biết, và mặt khác là cảm giác mình cũng đã đóng góp được một quan điểm mới và quan trọng. Shaw có mang theo một bản nháp chưa hoàn chỉnh của bài báo về lý thuyết thông tin, viết nguệch ngoạc trên các mẫu giấy và cố gắng tìm kiếm một chiếc máy chữ, ban đầu là ở khách sạn rồi sau đó ở các cửa hàng sửa chữa ở

gần đó, nhưng không thành công. Cuối hội thảo, Shaw đành mang nguyên bài báo của mình trở về. Về sau, khi các bạn hỏi anh về các chi tiết, anh đã kể cho họ nghe rằng thời gian tuyệt vời là được ăn tối chào mừng Edward Lorenz, một người rất cuộc cũng đã giành được sự trân trọng mà ông đã không được hưởng trong rất nhiều năm. Khi Lorenz đi vào phòng, ngượng nghịu cầm tay vợ, các nhà khoa học đã đứng lên hoan hô. Shaw đã sững sờ trước sự hoảng hốt của nhà khí tượng học già.

Vài tuần sau, trong một chuyến đi đến Maine, nơi cha mẹ anh có một ngôi nhà nghỉ dưỡng, cuối cùng anh đã gửi bài viết của mình cho Ban tổ chức cuộc thi Jacot. Ngày Năm Mới đã qua nhưng phong bì đã được nhân viên bưu điện khu vực hào hiệp đóng lù ngay. Bài báo này - một sự hòa trộn của toán học khó hiểu và triết học tư biện được minh họa bằng các bức họa theo phong cách truyện tranh của Chris, em trai Shaw - đã giành được bằng khen. Shaw đã nhận được một phần thưởng bằng tiền mặt đủ cho chuyến đi đến Paris để nhận giải. Đó là một kết quả khiêm tốn, nhưng nó lại đến vào thời điểm đầy khó khăn trong quan hệ giữa tập thể của họ và khoa vật lý. Họ đã tuyệt vọng tìm kiếm ở bên ngoài tất cả những gì có thể đảm bảo cho họ một sự tin cậy. Farmer đã từ bỏ vật lý thiên văn, Packard đã bỏ cơ học thống kê, và Crutchfield không còn sẵn sàng đăng ký làm nghiên cứu sinh nữa. Khoa vật lý cảm thấy tình hình đã thoát khỏi sự kiểm soát của mình.

“CÁC NHÂN HÚT LẠ, hành trạng hỗn độn và luồng thông tin” được lan truyền năm đó dưới dạng một bài báo nội bộ, cuối cùng được in tới 1000 bản, đã trở thành một nỗ lực nghiêm túc đầu tiên nhằm kết nối lý thuyết thông tin và hỗn độn.

Shaw đã lôi ra từ bóng tối một số giả thiết của cơ học cổ điển. Trong các hệ tự nhiên, năng lượng tồn tại ở hai cấp độ: ở các thang vĩ mô - thang mà ở đó các vật có thể được đo đếm hàng ngày, và ở các thang vi mô - thang ở đó vô số các nguyên tử trôi nổi trong một chuyển động ngẫu nhiên, không đo đếm được trừ khi là một thực thể trung bình, như nhiệt độ chẳng hạn. Như Shaw đã nhận thấy, tổng năng lượng ở các thang vi mô có thể vượt quá năng lượng của các thang vĩ mô, nhưng trong các hệ cổ điển, chuyển động nhiệt này là không có liên quan, nó bị biệt lập và không sử dụng được. Các thang này không thông với nhau. “Để giải một bài toán cơ học, người ta không cần phải biết nhiệt độ”, Shaw nói. Nhưng ý tưởng của anh là các hệ hỗn độn và cận hỗn độn đã thiết lập một cầu nối giữa các thang vĩ mô và vi mô. Hỗn độn là sự sáng tạo ra thông tin.

Chúng ta hãy hình dung sự chảy của nước qua một vật cản. Như tất cả các nhà thủy động lực học và những người chèo xuồng xuống thác đều biết, nếu nước chảy đủ nhanh, thì nó sinh ra dòng chảy có xoáy. Đối với một vận tốc nhất định, các xoáy này đứng yên; đối với một vận tốc lớn hơn, các xoáy sẽ dịch chuyển. Một nhà thực nghiệm có rất nhiều phương pháp để rút ra các dữ liệu từ một hệ như thế - bằng các máy dò vận tốc, v.v... -, nhưng người ta có thể tiến hành một cách đơn giản hơn: hãy lấy một điểm ở ngay hạ lưu của vật cản và nhìn, ở các khoảng thời gian đều nhau, xem xoáy nước quay sang phải hay sang trái.

Nếu các xoáy là tĩnh, thì chuỗi dữ liệu sẽ như thế này: trái-trái-trái-trái-trái-trái-trái-trái-trái-trái-trái-trái-trái-trái-trái-trái-trái-trái. Sau một lúc, người quan sát bắt đầu

có cảm giác rằng những bit dữ liệu mới không còn cung cấp thông tin gì mới về hệ nữa.

Cũng có thể là các xoáy chuyển động tới lui một cách tuần hoàn: trái-phải-trái-phải-trái-phải-trái-phải-trái-phải-trái-phải-trái-phải-trái-phải-trái-phải-trái-phải. Cả ở đây cũng vậy, dù thoát nhìn hệ dường như thú vị hơn một bậc, nhưng nó cũng nhanh chóng mất đi các bất ngờ.

Nhưng khi hệ trở nên hỗn độn, mà chủ yếu là do tính không tiên đoán được của nó, hỗn độn sẽ phát sinh một dòng liên tục các thông tin. Mỗi một quan sát mới lại là một bit mới. Và đây là một vấn đề đối với nhà thực nghiệm, những người muốn làm rõ đặc tính của hệ một cách đầy đủ. “Anh ta không bao giờ được dừng quan sát, - Shaw nói. Dòng này sẽ là một nguồn thông tin liên tục”.

Vậy thông tin này đến từ đâu? Từ bồn nhiệt của các thang vĩ mô, với hàng tỉ các phân tử trong vũ điệu nhiệt động lực đầy tính ngẫu nhiên của chúng. Cũng giống như sự chảy rối truyền năng lượng từ thang lớn đến những thang nhỏ tiêu tán do độ nhớt thông qua các xoáy, nhưng thông tin thì truyền theo chiều ngược lại, từ các thang nhỏ sang các thang lớn hơn - chỉ ít đó là cách mà Shaw và các đồng nghiệp của anh đã bắt đầu mô tả nó. Và kênh truyền thông tin hướng lên này là nhân hút lạ, nó khuếch đại tính ngẫu nhiên ban đầu giống như Hiệu ứng Con bướm khuếch đại những bất định nhỏ thành các bức tranh khí tượng ở thang lớn.

Vấn đề là khuếch đại lên bao nhiêu. Một lần nữa, sau khi đã tình cờ lập lại một số công trình của họ, Shaw đã phát hiện ra rằng các nhà khoa học Xô Viết lại là những người đầu tiên có mặt ở đây. A. N. Kolmogorov và Yasha Sinai đã giải quyết

được một số vấn đề toán học làm sáng tỏ cách mà “entropi trên đơn vị thời gian” của một hệ áp dụng cho bức tranh hình học về sự kéo giãn và gấp của các bề mặt trong không gian pha. Trong nguyên lý của nó, kỹ thuật này thực chất là vẽ một cái hộp, nhỏ tùy ý, bao quanh một tập hợp các điều kiện ban đầu - như người ta vẽ một hình vuông nhỏ trên bề mặt của một quả bóng - rồi sau đó tính các hiệu ứng mà các giãn nở hay vặn xoắn khác nhau gây ra cho nó. Hộp có thể, chẳng hạn, bị kéo theo một hướng, nhưng đồng thời vẫn giữ kích thước của nó theo các hướng khác. Sự thay đổi diện tích khi đó sẽ tương ứng với việc đưa vào một độ bất định về quá khứ của hệ, một sự thu hay mất thông tin.

Trong chùng mực “thông tin” chỉ là một từ đặt biệt để chỉ “tính không thể tiên đoán được”, thì khái niệm này đơn giản là ăn khớp với các ý tưởng mà các nhà khoa học như Ruelle đã phát triển. Nhưng khuôn khổ của lý thuyết thông tin đã cho phép nhóm của Santa Cruz sử dụng tập hợp các lập luận toán học đã từng được các nhà lý thuyết về truyền thông nghiên cứu rất kỹ. Chẳng hạn, vấn đề cộng một nhiễu tạp bên ngoài vào một hệ tất định là một vấn đề mới trong động lực học, nhưng lại quá quen thuộc trong truyền thông. Nhưng sự cuốn hút thực sự mà lý thuyết trên tác động đến các nhà khoa học trẻ này chỉ một phần là toán học. Khi nói đến các hệ phát sinh ra thông tin, họ đã nghĩ đến sự phát sinh tự phát các hình mẫu trong thế giới. “Ở đỉnh điểm của các hệ động lực phức tạp là các quá trình tiến hóa sinh học, hay các quá trình tư duy, - Packard nói. Theo trực giác, thì dường như có một hướng rõ ràng theo đó các hệ cực kỳ phức tạp này phát sinh ra thông tin. Hàng tỉ năm trước chỉ tồn tại các giọt nguyên sinh chất,

thế mà ngày nay, hàng tỉ năm sau, chúng ta đang hiện diện ở đây. Như vậy, thông tin đã được tạo ra và lưu trữ trong cấu trúc của chúng ta. Trong sự phát triển trí tuệ của một con người, từ thời thơ ấu, thông tin không chỉ được tích lũy, mà hiển nhiên nó còn được sinh ra - được tạo ra từ các kết nối chưa từng tồn tại trước đó”. Loại bàn thảo này có thể làm cho một nhà vật lý học bình thường phải chóng mặt.

NHUNG TRƯỚC HẾT HỌ LÀ những người thích mây mù, rồi sau đó họ mới là các triết gia. Liệu họ có thể bắt được chiếc cầu nối giữa các nhân hút lạ mà họ đã biết quá rõ và những thí nghiệm của vật lý cổ điển không? Nói rằng phải-trái-phải-phải-trái-phải-trái-trái-trái-phải là không thể tiên đoán được và sinh ra thông tin là một chuyện. Còn lấy một luồng các dữ liệu thực rồi đo số mũ Lyapunov, entropy và số chiều của nó lại là một chuyện khác. Tuy nhiên, các nhà vật lý ở Santa Cruz quen với các ý tưởng này hơn bất kỳ ai trong số các đồng nghiệp lớn tuổi hơn họ. Ngày đêm sống với các nhân hút lạ, họ tin rằng họ có thể nhận ra chúng trong các hiện tượng vỡ, lắc, đập và dao động mà họ thường gặp trong cuộc sống hàng ngày.

Có một trò mà họ rất thích chơi trong một quán cà phê. Họ hỏi nhau: nhân hút lạ gần nhất nằm cách họ bao xa? Liệu đó có phải là cái cản sức lung lay của chiếc xe ô tô đậu kia không? hay là lá cờ đang bay phấp phật trong gió? hay là một chiếc lá đang run rẩy? “Bạn sẽ không thấy gì hết chừng nào bạn chưa có một ẩn dụ đúng cho phép bạn tri giác điều đó”, - Shaw nói một cách đồng điệu với Thomas S. Kuhn. Trước đó rất lâu, Bil

Burke, một người bạn của nhóm, chuyên nghiên cứu về thuyết tương đối, đã hoàn toàn tin rằng đồng hồ vận tốc trong ô tô của mình rung theo cách phi tuyến của một nhân hút lạ. Và khi Shaw phải xây dựng một dự án nghiên cứu khiến anh sẽ phải tất bật với nó trong nhiều năm tới, anh đã chọn hệ bình thường nhất trong các hệ động lực mà bất cứ một nhà vật lý nào cũng có thể tưởng tượng được: một vòi nước chảy nhỏ giọt. Phần lớn mọi người đều hình dung cái vòi nước cổ điển này chảy nhỏ giọt một cách tuyệt đối tuần hoàn; chỉ cần vài giây thí nghiệm là có thể thấy rằng thực tế hoàn toàn không phải thế. “Đó là một ví dụ cơ bản về một hệ chuyển từ một hành trạng tiên đoán được sang một hành trạng không thể tiên đoán được”, Shaw nói. “Nếu bạn mở nhỏ vòi nước, bạn có thể quan sát thấy một dòng chảy tí tách nhỏ giọt không đều. Hóa ra là, sau một thời gian ngắn, nó trở thành một hình mẫu không thể tiên đoán được. Như vậy, ngay cả một cái gì đó đơn giản như một vòi nước cũng có thể sinh ra một hình mẫu liên tục sáng tạo”.

Với tư cách là cỗ máy sinh ra sự tổ chức, thì loại vòi nước này mang lại rất ít lợi ích. Nó chỉ sinh ra các giọt, và mỗi giọt lại gần như đồng nhất với giọt trước đó. Nhưng đối với một nhà khoa học mới bắt đầu nghiên cứu hỗn độn thì nó có một số ưu điểm. Tất cả mọi người đều đã có sẵn trong đầu một hình ảnh về nó. Dòng dữ liệu cũng chỉ là một chiều: tiếng rơi đều đều của những điểm rơi rạc được đo theo thời gian. Trong các hệ mà nhóm Santa Cruz khám phá sau này đều không có bất kỳ tính chất nào trong số các tính chất này - hệ miễn dịch của con người, chẳng hạn, hay hiệu ứng khá rắc rối về các chùm đã làm giảm hiệu năng của các chùm hạt va chạm trong máy

gia tốc tuyến tính ở Stanford một cách không giải thích nổi. Để thu được một chuỗi các dữ liệu một chiều, các nhà thực nghiệm như Libchaber và Swinney đã phải đặt một máy dò ở một điểm bất kỳ trong một hệ phức tạp hơn một chút. Với vòi nước, chỉ có một dòng dữ liệu duy nhất. Ở đây thậm chí không có vận tốc hay nhiệt độ thăng giáng liên tục, mà chỉ có một danh sách các thời điểm ứng với sự rơi của các giọt.

Nếu được đề nghị tổ chức khảo sát một hệ như thế, thì một nhà vật lý truyền thống chắc hẳn sẽ bắt đầu bằng việc dựng một mô hình phức tạp nhất có thể. Các quá trình chi phối sự hình thành và bứt ra của các giọt nước đều có thể hiểu được, mặc dù cũng không hề đơn giản như mới thoạt nhìn. Một trong những biến số quan trọng ở đây là lưu lượng. (Nó phải là chậm so với lưu lượng của đa số các hệ thủy động lực học. Những hệ mà Shaw thường nghiên cứu khoảng từ 1 đến 10 giọt mỗi giây, tức khoảng 240 đến 2400 lít mỗi tháng). Các biến số khác là độ nhớt của chất lỏng và sức căng bề mặt. Trước khi bứt ra khỏi vòi, giọt nước treo lơ lửng ở vòi có hình dạng ba chiều phức tạp, và chỉ riêng việc xác định hình dạng này, theo cách nói của Shaw, cũng đã là “một kiệt tác tính toán trên máy tính”. Hơn nữa, hình dạng này hoàn toàn không phải là tĩnh. Một giọt đầy nước giống với một túi nhỏ đàn hồi có sức căng bề mặt, dao động ở đây đó, có khối lượng tăng dần và kéo giãn các thành của nó để cuối cùng đạt đến một điểm tới hạn mà nếu vượt qua thì nó sẽ bứt ra. Nếu là một nhà vật lý thì anh ta sẽ cố gắng mô hình hóa một cách đầy đủ chuyển động của giọt này - đầu tiên là viết ra hệ phương trình đạo hàm riêng phi tuyến liên kết, với các điều kiện biên thích hợp, rồi tìm cách giải hệ phương trình đó - và anh ta sẽ nhanh chóng bị

mất hút trong cánh rừng rậm các tính toán hết sức rối rắm.

Một cách tiếp cận khác là hãy quên đi vật lý và chỉ tập trung xem xét các dữ liệu, như thể chúng đi ra từ một hộp đen. Nhưng với một danh sách đã cho các con số biểu diễn những khoảng thời gian giữa các lần rơi của các giọt nước, thì liệu một chuyên gia về động lực học hỗn độn có thể tìm ra điều gì đó thú vị để nói hay không? Thực tế, người ta hoàn toàn có thể xây dựng được các phương pháp để xử lý những dữ liệu như vậy và sau đó sẽ quay lại vấn đề vật lý. Các phương pháp này tỏ ra thiết yếu đối với khả năng áp dụng hỗn độn cho các vấn đề của thế giới thực.

Trên thực tế, Shaw đã bắt đầu ở giữa hai thái cực đó, bằng cách tạo ra một kiểu biếm họa của một mô hình vật lý đầy đủ. Không cần đếm xỉa đến hình dạng của các giọt, cũng như chuyển động phức tạp ba chiều của chúng, anh đã đơn giản hóa một cách thô bạo hiện tượng rơi của các giọt nước. Anh tưởng tượng một vật nặng treo trên lò xo và vật nặng này có khối lượng tăng dần theo thời gian. Vật càng nặng thì lò xo càng giãn dài ra và vật càng hạ xuống thấp hơn. Khi đạt đến một điểm nào đó, một phần của vật nặng này sẽ bị bứt ra. Shaw giả định một cách vô đoán rằng lượng vật chất bứt ra phụ thuộc mạnh vào vận tốc mà vật thu được ở thời điểm đó.

Và, tất nhiên, phần vật còn lại nảy lên, như lò xo, rồi dao động như các nghiên cứu sinh vẫn thường học cách mô hình hóa các dao động đó khi dùng các phương trình cổ điển. Đặc điểm thú vị của mô hình này - và cũng là đặc điểm thú vị *duy nhất*, đồng thời cũng là sự nhiễu động phi tuyến làm cho hành trạng hỗn độn trở nên khả dĩ - đó là sự rơi tiếp sau phụ thuộc vào tương tác như thế nào giữa độ cứng của lò xo với sự gia

tăng đều đặn của trọng lượng. Một chuyển động đi xuống phía dưới sẽ cho phép đạt tới điểm rơi nhanh hơn, trong khi một chuyển động đi lên phía trên sẽ làm chậm quá trình đó lại. Với một vòi nước thật, tất cả các giọt nước không hoàn toàn có cùng kích thước. Kích thước của giọt phụ thuộc đồng thời vào lưu lượng và hướng của chuyển động. Nếu một giọt bắt đầu hình thành và chuyển động đi xuống thì nó sẽ tách ra nhanh hơn. Còn nếu khi đó nó lại chuyển động đi lên, thì trọng lượng của nó có thể tăng lên nhiều hơn trước khi rơi. Mô hình của Shaw là vừa đủ đơn sơ để quy giản thành ba phương trình vi phân, một số lượng phương trình tối thiểu cần thiết để sinh ra hỗn độn như Poincaré và Lorenz đã chứng tỏ. Nhưng liệu nó có sinh ra nhiều phức tạp như một vòi nước thật không? Và các phức tạp này liệu có cùng loại với nhau không?

Chính vì thế mà Shaw đã ngồi lì ở phòng thí nghiệm của tòa nhà vật lý, với một chậu nhựa to đầy nước ở phía trên đầu và một ống dẫn xuống tới một vòi bằng đồng hảo hạng. Mỗi khi giọt nước rơi, nó đi cắt ngang qua một chùm sáng, và trong phòng bên cạnh, một máy vi tính nhỏ ghi lại thời điểm cắt ngang đó. Trong thời gian đó, Shaw đưa ba phương trình giản lược của mình vào và cho chạy trên chiếc máy tính tương tự, kết quả là anh nhận được một chuỗi các dữ liệu ảo. Một hôm, anh làm một bài thuyết trình nhỏ trước Khoa - một dạng “tựa - xêmina”, như Crutchfield nói, vì các nghiên cứu sinh không được phép tổ chức các xêmina chính thức. Shaw đã cho chiếu một băng video về một vòi nước chảy từng giọt xuống một tấm thiếc. Rồi anh cho chạy máy tính, tạo ra những tiếng tí tách không đều, tạo nên một hình mẫu âm thanh đối với tai người nghe. Shaw đã giải quyết được vấn đề đồng thời cả từ

mặt trước lẫn mặt sau, và các thính giả của anh có thể nhận ra một cấu trúc sâu xa trong cái hệ mà dường như là phi trật tự này. Nhưng để đi xa hơn, nhóm của anh phải tìm ra một cách, từ các dữ liệu thô rút ra từ thí nghiệm để lần ngược trở lại các phương trình và các nhân hút lạ đặc trưng cho hỗn độn.

Với một hệ phức tạp hơn, người ta có thể hình dung biểu diễn một biến theo một biến khác, liên hệ những thay đổi của nhiệt độ hay vận tốc theo thời gian. Nhưng vòi nước nhỏ giọt chỉ cung cấp một chuỗi các thời điểm. Vì thế Shaw đã thử một kỹ thuật mà người ta coi là một đóng góp tài tình nhất và lâu bền nhất của nhóm Santa Cruz cho nghiên cứu về hỗn độn. Đó là phương pháp tái dựng không gian pha của một nhân hút không nhìn thấy, và phương pháp này có thể áp dụng được cho bất kỳ chuỗi dữ liệu nào. Đối với vòi nước, Shaw đã vẽ một đồ thị hai chiều trong đó trục x biểu diễn khoảng thời gian giữa hai giọt và trục y biểu diễn khoảng thời gian tiếp theo. Nếu 150 miligiây là khoảng thời gian ngăn cách giọt 1 với giọt 2 và giọt 2 với giọt 3, thì Shaw vẽ một điểm có tọa độ (150; 150).

Tất cả chỉ có vậy. Nếu sự rơi của các giọt nước là đều, mà điều này sẽ xảy ra khi nước chảy chậm và hệ nằm trong “chế độ đồng hồ nước”, thì đồ thị nhận được sẽ vô cùng tẻ nhạt. Nó chỉ là một điểm duy nhất. Hay gần như vậy. Trên thực tế, sự khác biệt đầu tiên giữa vòi nước trên máy tính và vòi nước thật là vòi nước thật chịu những nhiễu loạn và cực kỳ nhạy cảm. “Hóa ra nó là một địa chấn kế tuyệt vời”, Shaw hài hước nói, “rất hiệu quả để thu hút nhiễu từ các thang nhỏ tới các thang lớn”. Vì vậy, Shaw phải làm việc chủ yếu vào ban đêm, khi mà những bước chân trong hành lang của khoa vật lý chỉ còn rất thưa vắng. Nhiễu tạp này có nghĩa là thay vì một điểm

duy nhất được lý thuyết tiên đoán, ông đã nhìn thấy một vết hơi nhoè.

Khi lưu lượng tăng, hệ sẽ trải qua một sự phân nhánh nhân đôi chu kỳ. Các giọt rơi theo cặp. Chẳng hạn, một khoảng là 150 mili giây, và khoảng tiếp sau là 80 mili giây. Đồ thị khi đó cho hai vết, một vết có tâm tại điểm có tọa độ (150; 80), và một vết có tâm tại điểm (80; 150). Sự kiểm tra thực sự phương pháp của Shaw là khi quá trình trở nên hỗn độn. Nếu nó thực sự là ngẫu nhiên, thì các điểm sẽ phân tán trên mặt phẳng tọa độ. Sẽ không tìm được bất kỳ mối quan hệ nào giữa khoảng thời gian trước và khoảng thời gian tiếp sau. Nhưng ví thử có một nhân hút lạ ẩn giấu bên trong các dữ liệu, thì nó sẽ tự bộc lộ mình bằng sự hợp dính các vết nhoè mờ này thành các cấu trúc có thể nhận thấy được.

Thường cần tới ba chiều để nhìn thấy cấu trúc này, nhưng điều đó không thành vấn đề. Kỹ thuật này có thể dễ dàng được tổng quát hóa để dựng các đồ thị nhiều chiều hơn. Thay vì biểu diễn khoảng thời gian n theo khoảng thời gian $n+1$, người ta biểu diễn khoảng thời gian n theo khoảng thời gian $n+1$ và khoảng thời gian $n+2$. Đó là một mẹo rất khôn khéo. Thông thường, một đồ thị ba chiều đòi hỏi phải biết ba biến độc lập của hệ. Nhưng mẹo nói trên cho ba biến này với giá chỉ của một. Nó phản ánh niềm tin của các nhà khoa học này theo đó trật tự bất rã quá sâu trong sự phi trật tự biểu kiến tới mức nó luôn tìm được cách bộc lộ mình ra ngay cả với các nhà thực nghiệm, những người không hề biết các biến vật lý phải đo hoặc không thể đo chúng một cách trực tiếp. Theo Farmer: “Khi bạn nghĩ về một biến nào đó thì diễn tiến của nó đều chịu ảnh hưởng của tất cả các biến tương tác với nó. Giá trị của chúng phải bằng cách nào đó được

chứa đựng trong lịch sử của biến của bạn. Bằng cách nào đó, dấu mốc của chúng phải có mặt ở đó”. Các hình mà Shaw thu được đối với vòi nước nhỏ giọt đã minh họa cho điểm này. Đặc biệt là ở ba chiều, chúng giống các đám khói cuộn vào nhau mà một máy bay quảng cáo điền rồ nhả ra. Shaw đã làm khớp đồ thị vẽ từ các dữ liệu thực nghiệm này với đồ thị bắt nguồn từ các dữ liệu do chiếc máy tính tương tự của ông cung cấp, sự khác biệt cơ bản là các dữ liệu thí nghiệm luôn luôn mờ nhòe hơn do bị nhiễu. Nhưng bất chấp điều đó, người ta không thể không nhận ra cấu trúc. Nhóm Santa Cruz đã bắt đầu hợp tác với các nhà thực nghiệm lão luyện như Harry Swinney người đã chuyển đến Đại học Texas ở Austin, và họ đã tìm cách truy xuất các nhân hút lạ từ tất cả các loại hệ. Đó là vấn đề nhúng các dữ liệu vào trong một không gian pha với một số đủ các chiều. Chẳng bao lâu sau, Floris Takens, người đã phát minh ra các nhân hút lạ cùng với David Ruelle, đã độc lập đưa ra các cơ sở toán học của kỹ thuật rất mạnh này, kỹ thuật tái dựng không gian pha của một nhân hút từ các dữ liệu thực. Như rất nhiều các nhà nghiên cứu đã nhanh chóng phát hiện ra, kỹ thuật này phân biệt được nhiều tạp đơn thuần và hỗn độn theo một ý nghĩa mới: hỗn độn là sự phi trật tự một cách có trật tự được phát sinh bởi các quá trình sơ cấp. Các dữ liệu thực sự ngẫu nhiên vẫn bị vung vãi trong một mớ lộn xộn không xác định, trong khi hỗn độn - tất định và có cấu trúc - lại tập trung các dữ liệu thành các hình dạng nhìn thấy được. Tự nhiên chỉ ưa thích một số ít trong số tất cả các con đường dẫn đến hỗn độn.

SỰ CHUYỂN TIẾP TỪ KẼ NỔ LOẠN sang nhà vật lý diễn ra một cách chậm chạp. Thỉnh thoảng, ngồi trong một quán cafe hay làm việc trong phòng thí nghiệm, một ai đó trong

nhóm nghiên cứu sinh này không thể nào tin được rằng trí tưởng tượng khoa học bay bổng của họ vẫn chưa kết thúc. *Lay Chúa, chúng tôi vẫn đang làm điều đó và nó cũng vẫn còn có ý nghĩa*, Crutchfield nói. *Chúng tôi vẫn luôn ở đây. Nhưng rồi không hiểu sẽ đi được bao xa?*

Ở khoa, những người ủng hộ chính cho họ là Ralph Abraham ở khoa toán, người được Smale bảo trợ, và Bill Burke ở khoa vật lý, người đã từng tuyên bố mình là “Sa hoàng của máy tính tương tự”, để chỉ ít là bảo vệ yêu sách của nhóm về chiếc máy này. Phần còn lại của khoa có quan điểm tế nhị hơn. Vài năm sau, một số giáo sư đã kịch liệt phủ nhận chuyện tập thể này đã buộc phải đương đầu với sự thờ ơ, thậm chí đối lập của khoa. Những người trong nhóm cũng đã phản ứng kịch liệt không kém đối với cái mà nhóm coi là chủ nghĩa xét lại lịch sử từ phía những người ngả sang hỗn độn một cách muợn màng. “Chúng tôi không có bất kỳ một giáo sư hướng dẫn nào, không một ai chỉ cho chúng tôi biết phải làm gì”, Shaw nói. “Trong suốt nhiều năm, người ta đã coi chúng tôi là đối thủ; và điều này vẫn còn tiếp tục cho đến ngày hôm nay. Chúng tôi chưa bao giờ nhận được kinh phí của Santa Cruz. Tất cả chúng tôi đều làm việc trong thời gian dài mà không được trả lương, luôn phải thất lưng buộc bụng, và không nhận được bất kỳ sự hướng dẫn trí tuệ hay hướng dẫn nào khác”.

Tuy nhiên, theo khả năng của mình, khoa vật lý cũng đã dung thứ và thậm chí còn khuyến khích trong một thời gian dài một nghiên cứu có vẻ không được chính thống lắm. Mặc dù sau khi Shaw đã từ bỏ vật lý nhiệt độ thấp, nhưng người hướng dẫn luận án của ông về siêu dẫn vẫn duy trì trợ cấp cho ông trong khoảng một năm. Không một ai ra lệnh ngừng nghiên cứu về hỗn độn. Cùng lắm thì khoa chỉ có ý định, với thiện chí, làm

chợ họ nản lòng. Thỉnh thoảng, mỗi thành viên của nhóm lại được mời đến nói chuyện một cách cởi mở. Họ được cảnh báo rằng ngay cả khi tìm được cách biện minh luận án tiến sỹ của họ đi nữa, thì cũng không một ai có thể giúp họ tìm được việc làm trong một chuyên ngành chưa từng tồn tại này. Rất có thể hỗn độn chỉ là thời thượng thôi, khoa nói, và sau đó, các anh sẽ đi đâu? Tuy nhiên, ở bên ngoài những tán cây trên các ngọn đồi ở Santa Cruz, hỗn độn đã xác lập được địa vị khoa học riêng của nó; và Tập thể nghiên cứu các hệ động lực này không có một lối thoát nào khác là phải nhập vào đó.

Một năm, Mitchell Feigenbaum đã tới Santa Cruz trong khuôn khổ của chuyến lưu giảng nhằm giải thích đột phát của ông về tính phổ quát. Như thường lệ, các bài thuyết trình của ông đều rất trù tượng về toán học: lý thuyết nhóm tái chuẩn hóa là một công cụ bí hiểm của vật lý các môi trường đông đặc mà các nghiên cứu sinh ở đây còn chưa được học. Ngoài ra, tập thể nghiên cứu các hệ động lực ở đây quan tâm tới các hệ thực nhiều hơn là các ánh xạ tinh tế một chiều. Cùng thời gian này, Doyne Farmer cũng nghe nói rằng một nhà toán học ở Berkeley tên là Oscar E. Lanford III cũng nghiên cứu hỗn độn và ông đã tìm gặp Lanford để nói chuyện. Lanford đã lắng nghe một cách lịch sự, rồi sau đó nhìn Farmer và nói rằng họ chẳng có gì chung với nhau cả. Ông ta đang tìm cách hiểu được Feigenbaum.

Thật đáng buồn! Một cách nhìn hẹp hòi làm sao! Farmer nghĩ. “Trong khi ông ta ngồi nhìn các quỹ đạo nhỏ bé này, thì chúng tôi, nằm trong sâu thẳm của lý thuyết thông tin, đã tháo tung hỗn độn ra, tìm kiếm cái đã làm cho nó vận hành, và cố gắng tìm cách liên hệ entropy và các số mũ Lyapunov với nhiều các phép đo thống kê hơn”.

Trong cuộc nói chuyện với Farmer, Lanford không nhấn mạnh đến tính phổ quát, và chỉ sau này Farmer mới nhận ra rằng mình đã không để ý đến điều này. “Đó là một sự ngây thơ của tôi, Farmer nói. Khái niệm về tính phổ quát không phải chỉ là một kết quả lớn. Nó còn là một kỹ thuật cung cấp công ăn việc làm cho cả một đội ngũ các nhà nghiên cứu các hiện tượng tới hạn đang ăn không ngồi rồi”.

“Cho tới lúc đó, có vẻ như các hệ phi tuyến được xem xét theo từng trường hợp một. Chúng tôi đã rất cố gắng tìm ra một ngôn ngữ để định lượng và mô tả chúng, nhưng xem ra tất cả vẫn phải được xử lý theo từng trường hợp. Chúng tôi không có bất kỳ phương tiện nào để phân loại các hệ và viết ra các nghiệm đúng cho cả một lớp, như đối với các hệ tuyến tính. Tính phổ quát có nghĩa là cần phải phát hiện ra các tính chất chính xác như nhau trên các phương diện định lượng được đối với mọi thành phần của một lớp. Đó là các tính chất *tiền đoán được*. Chính vì lẽ đó mà điều này thực sự quan trọng”.

“Cũng có cả một yếu tố xã hội học đã bơm thêm nhiên liệu. Mitchell đã trình bày các kết quả của ông theo ngôn ngữ của sự tái chuẩn hóa. Ông đã sử dụng lại toàn bộ kho kỹ thuật mà những người nghiên cứu các hiện tượng tới hạn đã sử dụng hết sức thông minh. Những người này đang trải qua một giai đoạn khó khăn, bởi vì dường như không còn vấn đề thú vị nào để họ làm nữa. Họ tìm kiếm khắp nơi một hiện tượng nào đó để họ có thể áp dụng cả một túi những xảo thuật của họ. Thế rồi đột nhiên Feigenbaum xuất hiện với một ứng dụng cực kỳ quan trọng của cái túi xảo thuật này. Điều đó đã cho ra đời một phân ngành hoàn toàn mới”.

Tuy nhiên, nhóm nghiên cứu sinh của Santa Cruz đã bắt đầu gây được ấn tượng riêng của họ một cách hoàn toàn độc

lập. Họ bắt đầu trở nên nổi tiếng trong khoa sau sự xuất hiện bất ngờ tại một hội thảo về vật lý các môi trường đông đặc vào giữa mùa đông năm 1978, do Bernardo Huberman của Trung tâm nghiên cứu Xerox Alto và của Đại học Stanford tổ chức tại Laguna Beach. Tập thể Santa Cruz không được mời. Nhưng mặc kệ, họ vẫn đã tới, lên chạt trong chiếc Ford của Shaw, một chiếc xe thô kệch năm 1959 mang tên Giấc mơ Ngọt ngào. Họ mang theo cả một số thiết bị, trong đó có chiếc tivi công kênhh và một băng video. Một diễn giả được mời báo cáo đã từ chối vào phút cuối, nên Huberman đã đề nghị Shaw thế chỗ anh ta. Đó quả là một thời điểm lý tưởng. Vào thời đó, đúng là “hỗn độn” đã có được một địa vị chính thức, nhưng vẫn rất ít nhà vật lý tham dự hội thảo biết hỗn độn là gì. Vì thế Shaw đã bắt đầu bằng việc giải thích các nhân hút trong không gian pha: đầu tiên là các điểm bất động (nơi mà mọi thứ dừng lại); rồi tới các chu trình giới hạn (nơi mà tất cả dao động); và sau đó đến các nhân hút lạ (tất cả các thứ còn lại). Rồi ông đã giới thiệu các đồ thị vẽ trên máy tính được ghi trên băng video. (“Âm thanh hình ảnh đã mang lại cho chúng tôi một lợi thế, anh nói. Các chớp sáng của chúng tôi đã thôi miên họ”). Anh đã chiếu sáng nhân hút của Lorenz và vòi nước nhỏ giọt. Anh đã giải thích hình học - các hình dạng được kéo dãn và gấp lại như thế nào, và điều đó có ý nghĩa gì trên cơ sở của lý thuyết thông tin. Và để gây thêm ấn tượng, trước khi kết thúc, anh đã nói vài lời về sự thay đổi các hình mẫu. Bài thuyết trình của anh là một thắng lợi vang dội và nhiều thành viên của khoa Santa Cruz có mặt trong phòng đã lần đầu tiên thấy hỗn độn qua cái nhìn của các đồng nghiệp của họ.

NĂM 1979, CẢ NHÓM CÙNG THAM GIA, nhưng lần này với tư cách là những người tham gia chính thức, hội thảo thứ hai về hỗn độn do Viện Hàn lâm Khoa học New York tổ chức. Vào thời kỳ đó, chuyên ngành này có thể nói là đang bùng nổ. Nếu năm 1977 là năm hội thảo của Lorenz, với vài chục người tham gia, thì năm 1979 là năm của Feigenbaum, với hàng trăm nhà khoa học tham dự. Trong khi hai năm trước Rob Shaw còn dụt dè thử tìm một chiếc máy chữ để đánh máy một bài báo và tuần nó qua cửa của mọi người, thì Tập thể nghiên cứu các hệ động lực bây giờ đã gần như biến thành một xưởng in, thường xuyên công bố các bài báo, và luôn luôn là đồng tác giả.

Nhưng tập thể này không thể kéo dài mãi mãi. Càng cọ xát với thế giới thực của khoa học, thì họ càng xích gần đến sự rạn vỡ. Một hôm, Bernardo Huberman gọi điện. Ông muốn nói chuyện với Rob Shaw, nhưng lại gặp Crutchfield. Huberman cần một người cộng tác để viết một bài báo đơn giản nhưng chính xác về hỗn độn. Crutchfield, người trẻ nhất của nhóm, đã luôn bắn khoăn tới chuyện mình bị coi chỉ là gã “hacker” của nhóm, đã bắt đầu ý thức được rằng Santa Cruz không bao giờ nhằm lẫn ở một điểm: rồi một ngày nào đó, mỗi nghiên cứu sinh này sẽ được đánh giá như một cá nhân. Hơn thế nữa, Huberman là người có kinh nghiệm về mọi sự lắt léo của nghề vật lý mà các nghiên cứu sinh không có, đặc biệt ông biết bằng cách nào có được lời lãi nhất từ một công trình khoa học. Sau khi nhìn phòng thí nghiệm của họ, ông đã nảy sinh nghi ngờ - “Tất cả rất lộn xộn, bạn biết đấy, những chiếc ghế sofa và những chiếc túi đựng táo, cứ như thể người ta bước vào một cỗ máy thời gian, trở lại thời hoa niên và những năm sáu mươi vậy”. Nhưng ông ta cần chiếc máy tính tương tự, mà Crutchfield thì đang định cho chạy chương trình nghiên cứu của mình trong nhiều giờ. Tuy nhiên, tập thể này

đang có một bài toán. “Tất cả mọi người đều muốn tham gia nghiên cứu”, Crutchfield nói với Huberman. Nhưng ông ta đã từ chối thẳng thừng. “Đây không phải là một câu chuyện đơn thuần về quan hệ đồng nghiệp, mà là vấn đề trách nhiệm. Hãy giả định rằng bài báo là sai - khi đó bạn đổ trách nhiệm lên một tập thể ư? Tôi không thuộc vào một *tập thể*.” Ông chỉ muốn một cộng sự để thực hiện một nghiên cứu nghiêm túc.

Kết quả đúng như Huberman trù tính: bài báo đầu tiên về hỗn độn phải được công bố trên tạp chí nổi tiếng nhất của Mỹ dành để đăng những đột phá trong vật lý, đó là tạp chí *Physical Review Letters*. Xét trên góc độ chiến lược khoa học, đó không phải là một chiến công tầm thường. “Đối với chúng tôi, đó là một nghiên cứu tương đối hiển nhiên, Crutchfield nói, nhưng Bernardo đã hiểu rằng nó có một tác động rất to lớn”. Đây cũng là khởi đầu của sự tan hòa của nhóm vào thế giới thực. Farmer đã nổi khùng trước sự rời bỏ nhóm của Crutchfield, anh thấy việc đó có ảnh hưởng đến tinh thần của tập thể.

Nhưng Crutchfield không phải là người duy nhất tách ra khỏi tập thể. Chính Packard và cả Farmer nữa cũng đã sớm cộng tác với các nhà vật lý và toán học nổi tiếng: Huberman, Swinney, Yorke. Các ý tưởng được hun đúc trong lò luyện Santa Cruz đã trở thành một bộ phận vững chắc của hướng nghiên cứu hiện đại về các hệ động lực. Các định nghĩa và các kỹ thuật được sử dụng bởi một nhà vật lý muốn xác định số chiều hay entropy của một khối các dữ liệu thường là các định nghĩa và kỹ thuật đã được sáng tạo trong những năm người ta vật lộn với chiếc máy tính tương tự Systron-Donner và chăm chú nhìn màn hình của máy hiện sóng. Các nhà khí tượng học tự hồi liệu khí quyển và các đại dương trên Trái Đất có số chiều vô hạn như

các nhà động lực học cổ điển giả định hay không, hay vì một lý do này hay khác, liệu nó có tuân theo một nhân hút lạ thấp chiều hay không. Các nhà kinh tế học phân tích các dữ liệu chứng khoán để cố gắng tìm ra các nhân hút có các chiều là 3,7 hoặc 5,3. Chiều càng thấp, thì hệ càng đơn giản. Nhiều đặc điểm toán học còn cần phải phân loại và tìm hiểu: ví như chiều fractal, chiều Hausdorff, chiều Lyapunov, chiều của thông tin - và chính Farmer và Yorke đã giải thích rõ nhất bằng cách nào để đo được những thứ rất tinh tế này. Chiều của một nhân hút là “cấp độ đầu tiên của tri thức cần thiết để mô tả các đặc tính của nó”. Đó là đặc điểm tạo ra “lượng thông tin cần thiết để xác định vị trí của một điểm trên nhân hút với một độ chính xác nhất định”. Những phương pháp của nhóm nghiên cứu sinh ở Santa Cruz và các cộng sự cũ của họ đã kết nối các ý tưởng này với các phép đo quan trọng khác về các hệ: tỉ lệ giảm khả năng tiên đoán được, lưu lượng thông tin, xu hướng tạo ra *sự trộn*. Đôi khi các nhà khoa học sử dụng các phương pháp này để dựng đồ thị từ các dữ liệu, vẽ các hộp nhỏ và đếm số các điểm dữ liệu trong mỗi hộp. Và mặc dù nhìn bề ngoài có vẻ như khá thô sơ, nhưng các kỹ thuật này đã cho phép lần đầu tiên đưa các hệ hỗn độn vào tầm của hiểu biết khoa học.

Vào thời gian này, trong khi tìm kiếm các nhân hút lạ trong các lá cờ bay phần phật trước gió hay các đồng hồ đo tốc độ rung loạn xạ, các nhà khoa học đã khám phá ra những dấu hiệu của hỗn độn tất định trong toàn bộ các tài liệu hiện có về vật lý. Một thứ nhiều không thể giải thích, các thăng giáng bất ngờ, sự hòa trộn mang tính quy luật và phi quy luật - những hiệu ứng đó đều được rút ra từ các bài báo của các nhà thực nghiệm trong đủ loại lĩnh vực, từ các máy gia tốc hạt cho đến các laser và các chuyển tiếp Josephson. Các chuyên gia về hỗn độn chộp lấy các dấu hiệu

này và nói với những người “không chịu cải đạo” rằng những vấn đề của các bạn cũng chính là các vấn đề của chúng tôi. Chẳng hạn, đã có một bài báo bắt đầu bằng: “Nhiều thí nghiệm về các dao động tử chuyển tiếp Josephson đã phát lộ một hiện tượng đáng ngạc nhiên về sự gia tăng nhiều một cách không thể giải thích được bằng các thăng giáng nhiệt”.

Vào thời điểm nhóm tan rã, một số thành viên của khoa Santa Cruz cũng đã hướng đến hỗn độn. Tuy nhiên, sau đó một số nhà vật lý khác đã nghĩ rằng Santa Cruz đã bỏ lỡ một cơ hội trở thành một trung tâm quốc gia đầu tiên về động lực học phi tuyến, mà sau này đã nở rộ ở các trường đại học khác. Đầu những năm 1980, các thành viên của tập thể đều đã đỗ tiến sĩ và đã giải tán. Shaw hoàn thành luận án năm 1980, Farmer năm 1981, Packard năm 1982. Luận án của Crutchfield hoàn thành năm 1983 - một mớ lộn xộn các bản in tipô xếp lẫn với các trang đánh máy với không dưới mười một bài báo đã được công bố trên các tạp chí vật lý và toán học. Ông đã đến làm việc tại đại học California, ở Berkeley. Farmer đến Ban lý thuyết của Phòng thí nghiệm Los Alamos. Packard và Shaw đến Viện Nghiên cứu Cao cấp ở Princeton. Crutchfield nghiên cứu các vòng hồi tiếp video. Farmer nghiên cứu về các “hình fractal mập” và mô hình hóa động lực học phức tạp của hệ miễn dịch ở người. Packard nghiên cứu hỗn độn không gian và sự hình thành các bông tuyết. Chỉ mình Shaw có vẻ là chưa thật mặn mà hòa nhập vào dòng chủ lưu. Di sản có ảnh hưởng nhất của anh chỉ là hai bài báo, một mang lại cho anh chuyến đi đến Paris và một bài báo khác về vôi nước nhỏ giọt, tổng kết toàn bộ nghiên cứu của anh ở Santa Cruz. Anh nhiều lần đã suýt từ bỏ hẳn khoa học. Như một trong số những người bạn của anh nói, anh vẫn còn đang lưỡng lự.

CÁC NHỊP NỘI TẠI

Khoa học không tìm cách giải thích; thậm chí nó cũng không tìm cách diễn giải; khoa học chủ yếu là dựng các mô hình. Mô hình được hiểu là một cấu trúc toán học, cộng với một số diễn giải bằng lời, có khả năng mô tả được các hiện tượng được quan sát. Sự biện minh cho một cấu trúc toán học như thế chỉ là, và chính xác là, nó được chờ đợi là sẽ vận hành được.

—JOHN VON NEUMANN

BERNARDO HUBERMAN ĐÃ NHÌN BAO QUÁT cử tọa của mình, một cử tọa với đủ loại thành phần: các nhà sinh học lý thuyết và thực nghiệm, các nhà toán học thuần túy, các bác sĩ và các nhà tâm thần học; và ông đã nhận ra rằng sự truyền đạt cho một cử tọa như thế là cả một vấn đề. Và rồi ông cũng kết thúc bài thuyết trình, một bài thuyết trình khác thường cho một hội thảo khác thường, đó là hội thảo lớn đầu tiên về hỗn độn trong sinh học và y học, được tổ chức năm 1986 dưới sự bảo trợ của Viện Hàn lâm Khoa học New York, Viện Quốc gia về Sức khỏe Tâm thần và Cơ quan Nghiên cứu Hải quân. Trong hội trường lớn Masur của Các Viện Quốc gia về Sức khỏe, nằm ở ngoại ô Washington, Huberman thấy rất nhiều khuôn mặt quen, các chuyên gia về hỗn độn có thâm niên, nhưng cũng cả rất nhiều các khuôn mặt lạ. Một diễn giả có kinh nghiệm chắc hẳn hiểu được ngay sự sốt ruột của thính giả: đó là ngày cuối cùng của hội thảo, hơn nữa lúc này lại đang tiến gần một cách nguy hiểm đến giờ ăn trưa.

Huberman, một người California hoạt bát tóc đen từ Acentina di cư đến, quan tâm đến hồn độn từ khi ông hợp tác với các thành viên của nhóm Santa Cruz. Ông là cán bộ nghiên cứu thuộc Trung tâm Nghiên cứu của công ty Xerox, ở Palo Alto. Tuy vậy, đôi khi ông cũng quan tâm tới những dự án không thuộc nhiệm vụ của công ty, chẳng hạn như vấn đề mà ông vừa mô tả xong tại cuộc hội thảo về sinh học này: một mô hình về chuyển động thất thường của mắt ở những người mắc chứng tâm thần phân lập.

Nhiều thế hệ các nhà tâm thần học đã cố gắng định nghĩa chứng tâm thần phân lập và phân loại những người mắc chứng này, nhưng việc mô tả căn bệnh này cũng khó gần như là chữa nó vậy. Phần lớn các triệu chứng của nó biểu lộ ở cấp độ tinh thần và trong hành vi ứng xử. Tuy nhiên, từ năm 1908, các nhà khoa học đã biết một biểu hiện vật lý của căn bệnh này có tác động đường như không chỉ đối với người bệnh mà cả với gia đình của họ. Khi một bệnh nhân cố gắng nhìn một quả lắc dao động chậm chạp, thì mắt anh ta không thể theo sát được chuyển động liên tục đó. Thông thường, mắt là một dụng cụ rất công hiệu: hai mắt của người bình thường bám theo một mục tiêu chuyển động mà không cần phải một chút cố gắng có ý thức nào; các hình ảnh chuyển động luôn cố định trên võng mạc. Nhưng mắt của người bị tâm thần phân lập cử động thất thường, với những bước nhảy nhỏ, khi thì ngắm mục tiêu quá xa khi lại ngắm quá gần, tạo ra một đám mù mịt các chuyển động kỳ lạ. Không một ai biết tại sao.

Theo thời gian, các nhà sinh lý học đã tích lũy được một lượng khổng lồ các dữ liệu, họ đã lập ra các bảng và vẽ các biểu đồ để cho thấy các hình mẫu về chuyển động thất thường của mắt

người bệnh. Họ thường cho rằng các thăng giáng này bắt nguồn từ các thăng giáng trong tín hiệu tới từ hệ thần kinh trung ương kiểm soát các cơ mắt. Một nhiễu loạn ở đầu vào kéo theo một nhiễu loạn ở đầu ra, và có lẽ một vài rối loạn ngẫu nhiên tác động lên não của những người bị tâm thần phân lập đã được biểu hiện ra ở mắt. Nhưng Huberman, một nhà vật lý, lại nghĩ khác và ông đã xây dựng một mô hình khá đơn giản.

Ông đã suy nghĩ một cách thô sơ nhất có thể về cơ chế của mắt và đưa ra một phương trình, trong đó có chứa một số hạng cho biên độ dao động của con lắc và một số hạng khác cho tần số của nó. Cũng có cả một số hạng cho quán tính của mắt, một số hạng tắt dần hay ma sát và một số hạng cho sự hiệu chỉnh để mắt có thể bám sát mục tiêu.

Như Huberman đã giải thích cho cử tọa, hóa ra phương trình tổng hợp này cũng mô tả một hệ cơ học tương tự: một viên bi lăn theo một máng cong trong khi máng lại dao động từ phía này sang phía kia. Sự dao động này tương ứng với chuyển động của con lắc và các thành của máng tương ứng với số hạng hiệu chỉnh vốn có xu hướng đẩy viên bi vào giữa. Theo phong cách chuẩn mực lúc bấy giờ trong việc khảo cứu các phương trình loại như vậy, Huberman cho chạy mô hình của mình trên máy tính nhiều giờ, với các thông số khác nhau và vẽ các đồ thị biểu diễn những hành trạng tạo thành. Và ông đã thấy cả trật tự lẫn hỗn độn. Trong một số chế độ, mắt dễ dàng theo sát mục tiêu; nhưng rồi, khi mức độ phi tuyến tăng lên, hệ chuyển sang một chuỗi nhanh các nhân đôi chu kỳ và sinh ra một dạng bất trật tự không thể phân biệt được với sự hỗn loạn đã được nhắc đến trong các tài liệu y học.

Trong mô hình này, hành trạng thất thường không có liên quan gì với một tín hiệu bên ngoài nào. Nó là một hậu quả tất yếu của tính phi tuyến quá lớn trong hệ. Theo một số thánh giả là bác sỹ, mô hình của Huberman có vẻ phù hợp với một mô hình di truyền có thể chấp nhận được về chứng tâm thần phân lập. Một tính phi tuyến có thể làm ổn định hoặc làm rối loạn một hệ tùy theo cường độ của nó yếu hay mạnh, và tính phi tuyến này có thể ứng với một tính chất di truyền đặc biệt nào đó. Một nhà tâm thần học đã so sánh khái niệm này với di truyền của bệnh gút trong đó tỉ lệ axit uric quá cao sẽ sinh ra các triệu chứng bệnh lý. Một số thánh giả khác, quen thuộc với các tài liệu lâm sàng hơn so với Huberman, đã nhấn mạnh rằng không chỉ ở những người bị tâm thần phân lập, mà toàn bộ phạm vi các vấn đề chuyển động của mắt cũng đã được phát hiện thấy ở các loại bệnh nhân thần kinh khác nhau. Bất kể ai đã làm quen và biết áp dụng các công cụ của hỗn độn đều phát hiện thấy các dao động tuần hoàn, các dao động phi tuần hoàn, cũng như tất cả các loại hành vi động lực học trong những dữ liệu y học đó.

Nhưng đối với các nhà khoa học có mặt trong hội thảo hầu hết đều đã nhìn thấy các hướng nghiên cứu mới đang mở ra, thì lại có một số người khác tỏ vẻ nghi ngờ mô hình của Huberman là đã đơn giản hóa quá mức. Và tới lúc đặt câu hỏi, thì nổi băn khoăn và thất vọng của họ mới được thốt ra. “Điều mà tôi không hiểu, đó là cái gì đã dẫn ông đến việc xây dựng mô hình này?” - một trong số họ hỏi. “Tại sao lại đi tìm kiếm các yếu tố đặc biệt đó của động lực học phi tuyến, ý tôi muốn nói là các phân nhánh và các nghiệm hỗn độn này?”

Huberman ngừng một chút. “Ồ, đúng vậy, đúng là tôi chưa nêu rõ được mục đích của điều đó. Đây là một mô hình đơn

giản. Có ai đó tới gặp tôi và nói, chúng tôi thấy điều này, ông nghĩ gì về nó? Tôi bèn trả lời anh ta: Ông có cách giải thích nào khả dĩ chăng? Anh ta nói: Điều duy nhất mà chúng tôi nghĩ được, đó là một cái gì đó thẳng giáng trong một thời gian rất ngắn trong *đầu ta*". Tôi bèn nói: Được, chúng ta hãy nhìn cái đó, tôi là một người nghiên cứu hỗn độn và tôi biết rằng mô hình phi tuyến đơn giản nhất, xin nhắc lại là *đơn giản nhất*, về sự bám theo mục tiêu của mắt đều có các đặc điểm chung này, bất kể các khác biệt về chi tiết. Tôi xây dựng nó và mọi người nói: Ô, thú vị thật, thế mà chúng tôi chưa bao giờ nghĩ rằng đó lại là hỗn độn nội tại ở trong hệ đó.

"Mô hình này không dựa trên các dữ liệu sinh lý học thần kinh nào mà tôi có thể bảo vệ. Tất cả những gì tôi nói, đó là sự bám theo mục tiêu của mắt một cách *đơn giản nhất* có xu hướng gây ra sai số và quay trở lại điểm trung hòa. Mắt chúng ta cử động theo cách đó, radar theo dõi máy bay cũng theo cách đó. Bạn có thể áp dụng mô hình này cho bất cứ cái gì".

Một nhà sinh học khác, vẫn còn đầy thất vọng với mô hình quá ư đơn giản của Huberman, đứng bật dậy và cầm lấy micrô. Trong các con mắt thực, ông ta nói, có bốn hệ cơ điều khiển hoạt động đồng thời. Rồi ông bắt đầu mô tả một cách hết sức kỹ thuật về cái mà ông ta cho là lập mô hình thực, giải thích, chẳng hạn, số hạng khối lượng bị bỏ đi như thế nào vì mắt tắt dần rất nhanh. "Và còn có thêm một phức tạp nữa: đó là lượng khối lượng hiện diện lại phụ thuộc vào vận tốc quay bởi vì một phần của khối lượng này bị tụt lại phía sau trong khi mắt tăng tốc rất nhanh. Dịch thủy tinh trong mắt cũng bị tụt lại trong khi vỏ bọc bên ngoài quay rất nhanh."

Im lặng. Huberman đã cảm thấy bí. Cuối cùng, một trong số những người tổ chức hội thảo, Arnold Mandell, một nhà tâm thần học từ lâu quan tâm đến hỗn độ, đã giành lấy micro.

“Với tư cách là một bác sĩ tâm thần, tôi muốn đề xuất với các bạn một cách giải thích. Điều mà các bạn vừa thấy là điều xảy ra khi một nhà nghiên cứu động lực học phi tuyến làm việc với các hệ toàn cục có số chiều thấp nói với một nhà sinh học đã quen sử dụng các công cụ toán học. Tất cả chúng ta đều rất khó chấp nhận ý tưởng cho rằng thực tế có các tính chất phổ quát của các hệ được tạo dựng thành các biểu diễn *đơn giản nhất*. Do đó mà có loại câu hỏi “Loại thấp hơn của chúng tâm thần phân lập là gì”, “Có bốn hệ vận động của mắt” và “Cái gì là mô hình trên quan điểm của cấu trúc vật lý thực”. Và các câu hỏi này bắt đầu mất đi ý nghĩa của chúng.

“Thực tế là, với tư cách là các bác sỹ hay nhà khoa học, những người đã biết cả thấy 50.000 bộ phận của vạn vật, nên chúng ta thường cảm thấy bối bối trước khả năng có trên thực tế các yếu tố phổ quát của chuyển động phổ quát. Bernardo đưa ra cho chúng ta một trong số các yếu tố đó và chúng ta hãy nhìn xem điều gì sẽ xảy ra.”

Huberman nói thêm: “Điều đó đã xảy ra trong vật lý cách đây 5 năm, nhưng giờ thì họ đã tin”.

SỰ LỰA CHỌN THÌ LÚC NÀO CŨNG THẾ. Hoặc là bạn làm cho mô hình của bạn phức tạp hơn và trung thành với hiện thực hơn, hoặc là bạn làm cho nó đơn giản hơn và dễ xử lý hơn. Chỉ có nhà khoa học rất ngây thơ mới có thể nghĩ rằng mô hình hoàn hảo là mô hình tái hiện một cách hoàn

hảo hiện thực. Một mô hình như thế cũng sẽ có những nhược điểm chẳng khác gì một tấm bản đồ to và chi tiết đúng như thành phố mà nó biểu diễn, một bản đồ vẽ từng công viên, từng con phố, từng tòa nhà, từng gốc cây, từng cột điện, từng người dân. Nếu một bản đồ như vậy là khả dĩ, thì sự chính xác của nó sẽ đi ngược lại với mục đích ban đầu của nó: khái quát hóa và tóm tắt. Những người vẽ bản đồ chỉ cần làm nổi rõ những đặc điểm mà khách hàng của họ thường lựa chọn. Dù mục đích của chúng có thể nào đi nữa thì các tấm bản đồ và các mô hình đều phải đơn giản hóa thế giới nhiều như chúng mô phỏng nó.

Đối với Ralph Abraham, nhà toán học ở Santa Cruz, một mô hình tốt là “thế giới-hoa cúc tây” của James E. Lovelock và Lynn Margulis, những người đã đề xướng giả thuyết Gaia, theo đó các điều kiện cần thiết cho sự sống được tạo ra và được duy trì bởi chính sự sống trong một quá trình hồi tiếp động lực tự duy trì. Thế giới-hoa cúc có lẽ là phiên bản đơn giản nhất có thể tưởng tượng được của giả thuyết Gaia, nó đơn giản đến mức có cảm giác như là ngớ ngẩn. “Có ba thứ”, Abraham nói, “hoa cúc trắng, hoa cúc đen và sa mạc khô cằn. Có ba màu: trắng, đen và đỏ. Nhưng làm thế nào điều đó có thể dạy cho chúng ta biết một cái gì đấy về hành tinh chúng ta? Nó dạy cho chúng ta biết sự điều chỉnh nhiệt độ đã xuất hiện như thế nào. Và chính vì thế mà hành tinh này mới có một nhiệt độ phù hợp để sự sống có thể tồn tại. Thế giới-hoa cúc là một mô hình tồi tệ, nhưng nó lại dạy cho chúng ta biết sự nội cân bằng sinh học đã xuất hiện trên Trái Đất như thế nào”.

Hoa cúc trắng phản xạ ánh sáng và làm cho Trái Đất lạnh đi. Hoa cúc đen hấp thụ ánh sáng, làm giảm *albedo*, tức là giảm

độ phản xạ, và do đó làm cho Trái Đất ấm lên. Nhưng hoa cúc trắng lại “muốn” một khí hậu ấm áp: chúng sẽ mọc tốt nhất khi nhiệt độ tăng. Nhưng hoa cúc đen thì lại muốn một khí hậu lạnh hơn. Người ta có thể mô tả các tính chất khác nhau này bằng một tập hợp các phương trình vi phân và cho thế giới-hoa cúc này vận hành trên máy tính. Một phạm vi rộng lớn các điều kiện ban đầu sẽ dẫn đến một nhân hút cân bằng - và không nhất thiết phải là một cân bằng tĩnh.

“Đó chỉ là mô hình toán học của một mô hình khái niệm, và đó cũng là điều người ta muốn - người ta không *muốn* các mô hình có độ trung thực cao đối với các hệ sinh học hay xã hội”, Abraham nói. Bạn đặt vào các *albedo*, trồng ban đầu vài cây hoa cúc, rồi quan sát sự tiến hóa của chúng trong hàng tỉ năm. Rồi bạn dạy các con của bạn để chúng trở thành các thành viên giỏi của hội đồng các nhà quản lý hành tinh”.

Mẫu mực của một hệ động lực phức tạp và do đó, đối với nhiều nhà khoa học, hòn đá thử vàng của mọi phương pháp tiếp cận tính phức tạp, đó là cơ thể con người. Đối với các nhà vật lý, không tồn tại một vật có sẵn nào có thể cung cấp một mớ lộn xộn các chuyển động hỗn loạn trên các thang từ vi mô đến vĩ mô như cơ thể con người: chuyển động của cơ bắp, của các dịch, các dòng điện, các sợi, các tế bào. Không một hệ vật lý nào lại phục vụ cho quy giản luận một cách đầy ám ảnh đến như thế: mỗi cơ quan trong cơ thể đều có cấu trúc vi mô riêng và hóa học riêng, và các sinh viên chuyên khoa sinh lý học phải dành nhiều năm đơn giản chỉ để học tên các bộ phận của nó. Tuy nhiên, các bộ phận này mới khó nắm bắt làm sao! Dưới các khía cạnh sờ mó được nhất của nó, thì một bộ phận của cơ thể con người có thể là một cơ quan

mà bề ngoài có vẻ rất xác định, như gan, chẳng hạn. Hay nó cũng có thể là một mạng lưới đầy thách thức về không gian của các chất lỏng và chất rắn, như hệ mạch máu chẳng hạn. Hay nó cũng có thể là một tập hợp vô hình, một thứ thực sự trừu tượng như “giao thông” hay một “nền dân chủ”, giống như hệ miễn dịch với các bạch huyết bào và các thể truyền tin (*messenger*) T4, một bộ máy mật mã nhỏ xíu để mã hóa và giải mã các dữ liệu về các cơ thể lạ xâm nhập. Sẽ là uổng công nếu nghiên cứu các hệ như thế mà lại không có một hiểu biết chi tiết về giải phẫu học và hóa học của chúng. Đó là lý do vì sao các chuyên gia về tim quan tâm đến sự vận chuyển của các ion qua các mô của cơ tim, cũng như các chuyên gia về não nghiên cứu các tính chất điện của sự bật mở *noron* và các chuyên gia mắt học tên, vị trí và chức năng của mỗi cơ mắt. Trong những năm 1980, hỗn độn đã cho ra đời một môn sinh lý học mới được xây dựng dựa trên ý tưởng cho rằng các công cụ toán học có thể giúp các nhà khoa học hiểu được các hệ phức tạp tổng thể độc lập với các chi tiết cục bộ. Các nhà nghiên cứu đã ngày càng nhận ra cơ thể con người như một nơi tập trung các chuyển động và dao động - và họ đã phát triển các phương pháp để lắng nghe tiếng đập luôn luôn thay đổi của nó. Họ đã phát hiện ra các nhịp mà ta không nhìn thấy trên các tiêu bản băng giá qua kính hiển vi hay trong các mẫu máu hàng ngày. Họ đã nghiên cứu hỗn độn trong các rối loạn hô hấp. Họ đã nghiên cứu các cơ chế hồi tiếp trong sự kiểm soát các bạch cầu và hồng cầu của máu. Các chuyên gia chuyên khoa ung thư tư biện về tính tuần hoàn và phi tuần hoàn trong chu trình tăng trưởng của tế bào. Các nhà tâm thần học nghiên cứu một phương pháp tiếp cận đa chiều về

điều trị các bệnh nhân trầm cảm. Nhưng quyết định sự phát triển của môn sinh lý học mới này lại là các phát hiện bất ngờ liên quan đến một cơ quan, đó là tim, mà các nhịp hoạt động của nó ổn định hay không ổn định, khỏe mạnh hay bệnh lý, là thước đo sự khác biệt giữa sự sống và cái chết.

NGAY CẢ DAVID RUELLE cũng đã rời bỏ hình thức luận toán học để bàn về hỗn độn ở trong tim - “một hệ động lực có tầm quan trọng sống còn đối với mỗi chúng ta”, ông viết.

“Chế độ làm việc bình thường của tim là có tính tuần hoàn, nhưng cũng tồn tại rất nhiều bệnh lý không tuần hoàn (như chứng rung sợi cơ tim) dẫn đến trạng thái dừng là cái chết. Đường như người ta có thể rút ra được những lợi ích y học to lớn từ những nghiên cứu trên máy tính về các mô hình toán học hiện thực có thể tái tạo các chế độ động lực khác nhau của tim”.

Nhiều nhóm nghiên cứu ở Mỹ và Canada đã chấp nhận đương đầu với thách thức này. Từ lâu người ta đã phát hiện, nghiên cứu, cô lập và phân loại các bất thường của nhịp tim. Một cái tai được luyện tập có thể phân biệt được tới vài chục loại. Đối với một con mắt được luyện tập thì từ dạng hình răng cưa của các điện tâm đồ có thể suy ra các manh mối về nguồn gốc và mức độ nghiêm trọng của một nhịp tim không đều. Người bình thường chỉ cần nghe một lô những cái tên dành để gọi các loại loạn nhịp tim khác nhau là cũng đánh giá được sự phong phú của vấn đề. Chẳng hạn, có những cái tên như sự đập lệch (*ectopic beats*), các chập điện (*electrical alternans*) và các xoắn đỉnh (*torsades de pointes*). Rồi có cả phụ tâm thu (*parasystole*) (tâm nhĩ hoặc tâm thất, thuần túy hay điều biến).

Lại còn có các nhịp Lucciani-Wenckebach (đơn hay phức) và chúng nhịp nhanh. Gây ra nhiều tổn thất nhất đối với các cơ hội sống sót chính là bệnh rung sợi tim. Việc đặt tên cho các loại nhịp này, tương tự như người ta đã làm đối với các bộ phận trong cơ thể, làm cho các bác sỹ yên tâm. Điều đó cho phép họ xác lập các chẩn đoán một cách chính xác đối với các trái tim bị bệnh và đề cập vấn đề một cách thông minh. Nhưng các nhà nghiên cứu sử dụng các công cụ của hỗn độn đã bắt đầu phát hiện ra rằng bệnh học tim truyền thống đang làm những tổng quát hóa sai lầm liên quan đến các nhịp đập không đều của tim, nó đã vô ý sử dụng các phân loại hơi hợt mà không nhận thấy các nguyên nhân sâu xa.

Họ đã phát hiện ra trái tim động lực. Quá trình đào tạo của các nhà nghiên cứu này gần như đều xuất phát từ những ngành học thông thường. Được đào tạo về vật lý và hóa học ở Đại học McGill, ở Montréal (Canada), ở đây Leon Glass cũng rất đam mê các con số và tính bất thường, ông hoàn tất luận án tiến sĩ về chuyển động của các nguyên tử trong chất lỏng trước khi chuyển sang vấn đề về các bất thường của nhịp tim. Theo ông, thường thì các chuyên gia chỉ cần nhìn một dải diện tâm đồ là có thể chẩn đoán được nhiều loại loạn nhịp khác nhau. “Các bác sỹ coi đó như một bài toán về nhận dạng các hình mẫu, một vấn đề mà họ đã gặp trong thực tiễn cũng như trong sách vở. Họ không thực sự tiến hành phân tích chi tiết về động lực học của các nhịp này. Động lực học đó phong phú hơn rất nhiều tất cả những gì mà người ta có thể tưởng tượng được sau khi đọc sách”.

Ở Trường Y khoa thuộc Harvard, Ary L. Goldberger, đồng giám đốc của Phòng thí nghiệm về nghiên cứu loạn nhịp tim

của bệnh viện Beth Israel ở Boston, tin rằng ngành tim học đánh dấu bước khởi đầu của sự hợp tác giữa các nhà sinh lý học, toán học và vật lý học. “Chúng tôi đã đạt đến một đường biên mới mà bên ngoài nó là cả một lớp những hiện tượng mới”, ông nói. “Chúng tôi đã nhìn thấy các phân nhánh, những biến đổi hành trạng một cách đột ngột mà không một mô hình cổ điển tuyến tính nào có thể giải thích được. Hiển nhiên là chúng tôi cần một lớp các mô hình mới, và dường như vật lý sẽ mang lại cho chúng tôi điều đó”. Goldberger và các nhà khoa học khác đã vượt qua được những rào cản về ngôn ngữ khoa học và sự tách biệt giữa các cơ quan khoa học. Cái trở ngại đáng kể theo ông là sự chán ghét toán học của các nhà sinh lý học. “Vào năm 1986, bạn không thể tìm thấy dù chỉ một cuốn sách sinh lý học nào có chứa từ *“fractal”*, ông nói. Và tôi nghĩ, đến năm 1996 bạn vẫn có thể tìm được ít nhất một cuốn sách sinh lý học không nhắc đến cái từ này”.

Một bác sỹ khi lắng nghe tim đập sẽ nhận thấy sự trượt và sự va đập của một chất lỏng vào một chất lỏng, một chất lỏng với một chất rắn và một chất rắn với một chất rắn. Máu chảy từ một tâm thất sang một tâm thất khác, được đẩy bởi sự co của các cơ tim, sau đó kéo giãn các thành ở phía trước. Các van sợi đóng lại tạo ra một tiếng đập để ngăn sự chảy ngược trở lại. Bản thân sự co của các cơ tim cũng phụ thuộc vào một sóng điện ba chiều phức tạp. Việc mô phỏng bằng máy tính chỉ một khía cạnh trong hành trạng tim thôi cũng đã là một thử thách những khả năng của một siêu máy tính; còn mô phỏng cả một chu trình, trong toàn bộ sự đan bện phức tạp của nó, có lẽ là điều không thể. Sự mô phỏng bằng máy tính này, vốn là chuyện rất tự nhiên đối với một nhà thủy động lực

học nghiên cứu chế tạo cánh máy bay cho hãng Boeing hay một máy bay phản lực cho NASA, nhưng nó lại là một công việc hoàn toàn xa lạ đối với các nhà công nghệ y học.

Chính vì thế mà việc nghiên cứu chế tạo các van tim nhân tạo, các thiết bị bằng kim loại và chất dẻo, mà ngày nay đã góp phần kéo dài sự sống cho những người bị hỏng van tim, đã được thực hiện chủ yếu thông qua phương pháp thử và sai. Trong lịch sử kỹ thuật, van tim do tự nhiên chế tạo phải được dành cho một vị trí đặc biệt, đó là sự kết hợp của nhẹ, mềm dẻo và trong mờ của ba chỏm nhỏ có dạng như chiếc dù. Nó tự cuộn lại một cách khéo léo để mở đường cho máu đi vào buồng bơm của tim. Rồi, để ngăn máu chảy ngược trở lại khi tim bơm máu về phía trước, van này phải tự phồng ra và đóng nhanh lại dưới áp suất, và hơn thế nữa, quá trình này đã diễn ra mà không có rò rỉ và không bị rách trong hai đến ba tỉ lần. Các kỹ sư không thể làm được tốt đến thế. Các van nhân tạo, phần lớn, được vay mượn từ hệ thống ống dẫn: đó là các thiết kế kinh điển loại “hộp bi”, được thử nghiệm rất tốn kém trên động vật. Vượt qua các vấn đề hiển nhiên về rò rỉ và áp lực đã là một việc rất khó khăn rồi. Nhưng ít ai có thể dự báo được để loại bỏ một vấn đề khác còn khó khăn tới mức nào: đó là do làm thay đổi hình mẫu của dòng chảy của máu trong tim, các van tim nhân tạo sinh ra các vùng chảy rối và tắc nghẽn; và một khi bị nghẽn, máu sẽ tạo thành các cục. Khi các cục này bị vỡ ra và di chuyển lên não, chúng sẽ gây ra tai biến mạch máu não. Sự đóng cục này là một cản trở lớn đối với việc chế tạo van tim nhân tạo. Chỉ vào giữa những năm 1980, khi các nhà toán học của Viện Courant thuộc Đại học New York áp dụng cho vấn đề này các kỹ thuật mô phỏng tin học mới, thì việc thiết kế các van tim mới bắt đầu

tận dụng được hết những lợi ích của công nghệ hiện có. Máy tính của họ đã tạo ra những hình ảnh động của trái tim đang đập, hai chiều thôi nhưng hoàn toàn có thể nhận dạng được. Hàng trăm điểm biểu thị các hạt máu chảy qua van, làm giãn nở các vách đàn hồi của tim và tạo ra các xoáy quay cuồng. Các nhà toán học này đã phát hiện ra rằng tim còn thêm cả một cấp độ phức tạp mới vào bài toán các dòng chảy cổ điển, bởi vì bất kỳ một mô hình hiện thực nào cũng phải tính đến sự co giãn các vách của tim. Thay vì chảy trên một bề mặt cứng, như không khí trên cánh máy bay, máu làm thay đổi bề mặt của tim một cách động lực và phi tuyến.

Vấn đề loạn nhịp tim thậm chí còn tinh tế hơn và nguy hiểm hơn. Chỉ tính riêng ở Mỹ, mỗi năm bệnh rung sợi cơ tim gây ra hàng trăm nghìn ca đột tử. Trong rất nhiều trường hợp, bệnh rung sợi cơ tim có một nguyên nhân cụ thể và đã được biết rất rõ: đó là sự tắc nghẽn động mạch, làm cho cơ bơm bị chết. Sử dụng cocaine, căng thẳng thần kinh, sự hạ thân nhiệt cũng có xu hướng dẫn tới chứng rung sợi cơ tim. Nhưng trong nhiều trường hợp, sự khởi phát của chứng rung sợi cơ tim vẫn còn là điều bí ẩn. Trước một bệnh nhân sống sót sau khi bị rung sợi cơ tim, một bác sỹ thích xem các tổn thất - những bằng chứng của một nguyên nhân. Tuy nhiên, một bệnh nhân có trái tim dường như khỏe mạnh vẫn rất có thể sẽ phải chịu một đợt tấn công mới.

Có một ẩn dụ cổ điển thường được dùng để minh họa chứng rung sợi cơ tim: đó là một túi các con sâu. Thay vì co lại và duỗi ra, co lại và duỗi ra một cách tuần hoàn, lặp đi lặp lại, các mô cơ tim lại xoắn một cách vô tổ chức, và do đó không thể bơm máu được. Trong một trái tim đập bình thường, tín

hiệu điện có dạng một sóng truyền đi một cách nhịp nhàng qua cấu trúc ba chiều của tim. Khi tín hiệu này đến, mỗi tế bào co lại. Sau đó nó lại giãn ra theo một chu kỳ giới hạn chặt chẽ sao cho tế bào không thể co lại sớm hơn được. Trong một tim bị rung sợi cơ, sóng này bị phá vỡ. Tim không bao giờ co lại hoàn toàn hay giãn ra hoàn toàn.

Một trong những đặc trưng rất lạ của chứng rung sợi cơ tim là rất nhiều bộ phận riêng rẽ của tim vẫn có thể hoạt động bình thường. Thường thường, các nút điều hòa nhịp tim (nút xoang nhĩ) tiếp tục gửi đi các xung điện đều đặn và các tế bào cơ riêng rẽ đáp lại tín hiệu đó một cách thích hợp: nó nhận xung kích thích, co lại, để cho xung kích thích truyền tới tế bào bên cạnh, rồi giãn ra và chờ nhận xung kích thích tiếp theo. Sự mổ tử thi có thể không phát hiện ra bất kỳ tổn thất nào của mô cơ tim cả. Đó là một trong những lý do giải thích vì sao các chuyên gia về hỗn độn tin vào sự cần thiết phải có một cách tiếp cận mới và tổng thể: các bộ phận của tim bị rung sợi cơ dường như vẫn hoạt động, tuy nhiên về toàn bộ thì con tim lại hoạt động một cách sai lệch không thể cứu vãn nổi. Sự rung sợi cơ tim là một sự rối loạn trong một hệ phức tạp cũng như những rối loạn tinh thần - bất kể chúng có nguồn gốc hóa học hay không - cũng là sự mất trật tự trong một hệ phức tạp.

Chứng rung sợi cơ tim không tự thân biến mất. Dạng này của hỗn độn là ổn định. Chỉ một cú sốc điện của máy khử rung - mà đối với nhà động lực học đó là một nhiễu động lớn - mới có thể giúp tim trở lại trạng thái dừng của nó. Nói chung, các máy khử rung là hiệu quả. Nhưng việc chế tạo chúng, cũng như chế tạo các van tim nhân tạo, cũng đã phải trải qua rất nhiều mò mẫm. Arthur T. Winfree, một nhà sinh học lý thuyết

cho biết: “Sự xác định cường độ và dạng của cú sốc điện này là hoàn toàn dựa trên kinh nghiệm. Chưa có một lý thuyết nào về vấn này. Ngày nay dường như một số giả thiết là sai lầm. Do đó, các máy khử rung có thể được thiết kế lại một cách triệt để để nâng cao hiệu quả của chúng và như vậy cũng sẽ nâng cao cơ hội thành công”. Đối với các nhịp tim không bình thường khác, nhiều liệu pháp sử dụng thuốc đã được thử nghiệm, và chủ yếu cũng dựa trên phương pháp thử và sai - hay còn được Winfree gọi là “nghệ thuật đen”. Tuy nhiên, không có một sự hiểu biết lý thuyết chắc chắn về động lực học của tim sẽ rất khó tiên đoán các hiệu quả của một loại thuốc được kê. “Một nghiên cứu tuyệt vời đã được thực hiện trong hai mươi năm trở lại đây là nghiên cứu những chi tiết cơ bản của sinh lý học của màng, toàn bộ sự hoạt động chính xác và chi tiết có độ phức tạp rất lớn của tất cả các bộ phận của tim. Phần cơ bản của nghiên cứu này là đi đúng hướng. Nhưng người ta đã xem nhẹ một khía cạnh khác, đó là cố gắng đạt được một cái nhìn tổng thể đối với sự hoạt động của tim”.

WINFREE XUẤT THÂN TỪ MỘT GIA ĐÌNH không có ai học đại học. Ông đã khởi đầu, như ông thường nói, là không được học hành đến nơi đến chốn. Cha ông, từ một nhân viên bình thường, đã trở thành phó chủ tịch của một tập đoàn bảo hiểm nhân thọ, gần như năm nào cũng chuyển nhà từ nơi này sang nơi khác ở vùng bờ biển phía Đông nước Mỹ, và Winfree đã phải học ở hơn một chục trường mới hoàn thành chương trình phổ thông. Ở ông đã dần dần hình thành cảm giác rằng mọi thứ thú vị trên thế gian này đều có liên quan đến sinh học và toán học, và một cảm giác kèm theo đó là thực tế lại không có

sự kết hợp chính thống nào của hai lĩnh vực đó để đánh giá hết những cái đã làm ông thích thú. Vì thế ông đã quyết định không đi theo cách tiếp cận truyền thống. Ông đã theo học một khoá 5 năm về vật lý kỹ thuật ở Đại học Cornell, học toán ứng dụng và cả một hành trang đầy đủ về các kỹ thuật thực nghiệm. Và để chuẩn bị cho sự tuyển dụng vào các tổ hợp công nghiệp quân sự, ông đã hoàn thành luận án tiến sỹ về sinh học, và cố gắng kết hợp thực nghiệm với lý thuyết theo những cách mới. Ông đã bắt đầu ở Đại học Johns Hopkins, rồi phải rời bỏ nó do mâu thuẫn với khoa, sau đó tiếp tục ở Princeton, nhưng rồi cũng lại phải từ bỏ nó do xung đột với khoa, và cuối cùng ông đã nhận được bằng tiến sỹ của Princeton theo khóa học từ xa trong khi ông đã giảng dạy ở Đại học Chicago.

Winfrey thuộc loại nhà tư tưởng hiếm hoi trong sinh học sử dụng rộng rãi hình học trong những nghiên cứu của mình về sinh lý học. Ông bắt đầu tiến hành khám phá động lực học sinh học vào đầu những năm 1970 bằng những nghiên cứu về đồng hồ sinh học - các nhịp ngày đêm. Theo truyền thống, cách tiếp cận lĩnh vực này chủ yếu là theo cách của nhà tự nhiên học: một nhịp như thế sẽ ứng với một động vật như thế, và cứ tiếp tục theo cách như vậy. Theo Winfrey, vấn đề các nhịp ngày đêm là rất thích ứng với phong cách tư duy toán học. “Tôi có đầy đủ hiểu biết về động lực học phi tuyến và tôi đã nhận ra rằng vấn đề này có thể, và phải được tư duy bằng ngôn ngữ định tính đó. Không một ai có ý niệm gì về những cơ chế của các đồng hồ sinh học cả. Như vậy bạn có hai sự lựa chọn. Hoặc là bạn chờ đợi cho tới khi các nhà sinh hóa học hình dung ra cơ chế của các đồng hồ sinh học rồi mới tìm cách rút ra từ đó một hành trạng nào đó từ các cơ chế đã biết, hoặc là bạn bắt đầu nghiên cứu sự hoạt động của các đồng hồ này nhờ lý

thuyết các hệ phức tạp và động lực học tô pô và phi tuyến. Và lựa chọn thứ hai này chính là điều tôi đã làm”.

Một thời, ông đã có một phòng thí nghiệm nhốt đầy muỗi trong lồng. Tất cả những người đã từng đi cắm trại đều biết rõ, muỗi thức dậy mỗi ngày vào chạng vạng tối. Nhưng khi được nhốt trong phòng thí nghiệm, dưới một nhiệt độ và ánh sáng ổn định để cho chúng không phân biệt được ngày và đêm nữa, thì hóa ra chu kỳ nội tại của muỗi không phải là hai mươi bốn giờ mà là hai mươi ba giờ. Cứ mỗi hai mươi ba giờ, chúng lại bắt đầu kêu vo ve với một cường độ đặc biệt. Ở bên ngoài, nhịp của chúng được giữ nhờ sự thay đổi đột ngột của ánh sáng mà chúng nhận được mỗi ngày: chính sự thay đổi này đã chỉnh lại đồng hồ của muỗi.

Winfrey đã chiếu các con muỗi của ông bằng ánh sáng nhân tạo với liều lượng được điều chỉnh một cách cẩn thận. Tác nhân kích thích này hoặc là làm sớm hoặc là làm chậm lại chu kỳ tiếp sau; sau đó ông dựng một đồ thị về tác dụng này theo thời điểm chiếu sáng. Rồi, thay vì cố gắng phỏng đoán các quá trình sinh hóa có liên quan, ông đã xem xét vấn đề trên phương diện tô pô - tức là ông xem xét hình dạng định tính của dữ liệu thay vì các chi tiết định lượng. Ông đã đi đến một kết luận thật kinh ngạc: có một điểm *kỳ dị* trong hình học, một điểm khác hẳn với tất cả các điểm khác. Xem xét điểm kỳ dị này, ông đã tiên đoán rằng một chớp sáng đặc biệt, ở những thời điểm chính xác, có thể phá hủy hoàn toàn đồng hồ sinh học của muỗi hay bất cứ đồng hồ sinh học nào khác.

Mặc dù rất bất ngờ, nhưng tiên đoán này đã được Winfrey khẳng định bằng thực nghiệm. “Hãy đến gần một con muỗi vào lúc nửa đêm và chiếu tới nó một ít photon. Chớp sáng

được định thời đặc biệt này sẽ làm tắt đồng hồ của muỗi. Sau đó, muỗi trở nên mất ngủ - hay chính xác hơn là nó thiếp đi một lúc, lại vo ve một lúc, theo một cách hoàn toàn ngẫu nhiên, và cứ tiếp tục như vậy chừng nào bạn muốn hay cho tới khi bạn đến với một chớp sáng khác. Nghĩa là bạn đã làm cho nó bị mất đồng bộ một cách vĩnh viễn". Đầu những năm 1970, phương pháp tiếp cận toán học của Winfree đối với các nhịp sinh học này chưa thu hút được nhiều người quan tâm, hơn nữa lại rất khó sử dụng kỹ thuật thực nghiệm này cho các loài không chịu ngồi yên nhiều tháng liền trong các lồng nhỏ.

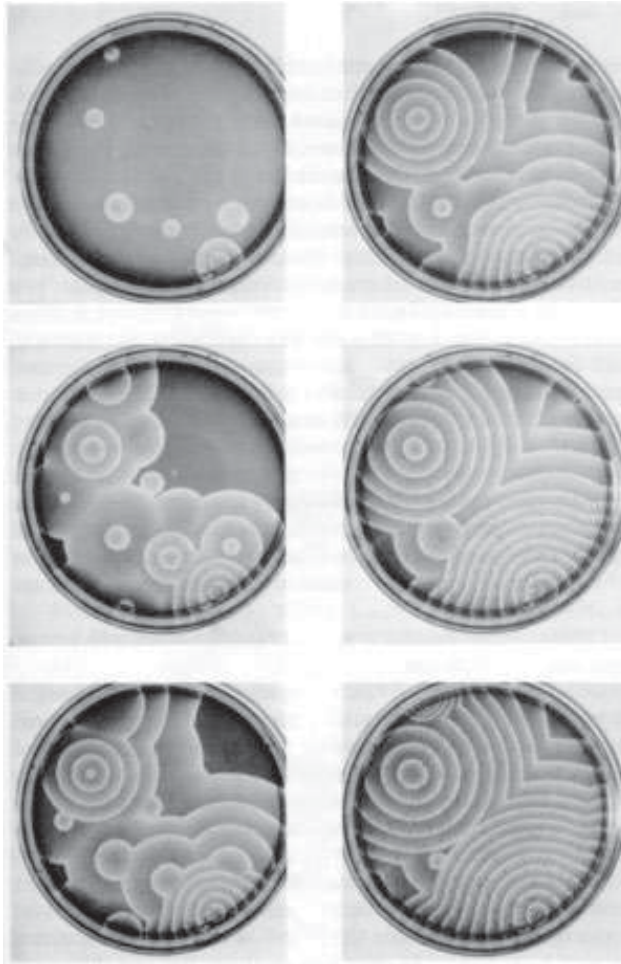
Sự mất đồng bộ của đồng hồ sinh học và chứng mất ngủ của con người hiện vẫn còn nằm trong danh sách các vấn đề sinh học chưa được giải quyết. Hai vấn đề này đã làm nảy sinh các trò bịp bợm tai hại nhất - đó các viên thuốc vô dụng và những thứ thuốc thần giả hiệu. Các nhà nghiên cứu đã thu thập dữ liệu từ những người tình nguyện làm đối tượng nghiên cứu, thông thường là sinh viên, người nghỉ hưu, hay các kịch tác gia với các vở viết còn đang dang dở, những người muốn nhận được vài trăm đôla mỗi tuần để phải sống "cô lập về thời gian": không ánh sáng tự nhiên, không có sự thay đổi nhiệt độ, không đồng hồ và không điện thoại. Con người có một chu kỳ thức-ngủ và một chu kỳ thân nhiệt, cả hai đều là các dao động tử phi tuyến có thể tự hồi phục sau những nhiễu động nhỏ. Khi bị cách li, không có một tác nhân kích thích nào điều chỉnh lại hằng ngày, thì chu kỳ thân nhiệt dường như là vào khoảng hai mươi lăm giờ, với nhiệt độ thấp nhất xảy ra trong giấc ngủ. Nhưng nhiều thí nghiệm do các nhà nghiên cứu người Đức thực hiện đã phát hiện ra rằng, sau vài tuần, chu kỳ thức-ngủ sẽ tự tách ra khỏi chu kỳ thân nhiệt và trở nên thất thường.

Người ta thức liền trong khoảng hai mươi hoặc ba mươi giờ, rồi ngủ trong mười hoặc hai mươi giờ. Những người tham gia thí nghiệm không chỉ không ý thức được ngày của họ bị kéo dài ra, mà còn không chịu tin khi người ta nói với họ về điều đó. Phải chờ đến giữa những năm 1980 thì các nhà nghiên cứu mới bắt đầu áp dụng phương pháp tiếp cận có hệ thống của Winfree cho con người, bắt đầu với một phụ nữ khá cao tuổi mỗi tối đều khâu vá trước một đèn đèn rực sáng. Chu kỳ của bà đã thay đổi một cách rõ rệt; bà đã khẳng định cảm thấy rất ổn, cứ như thể bà lái một chiếc xe mui trần vậy. Còn Winfree, ông đã chuyển sang một đề tài khác: các nhịp tim.

Thực ra, ông không nên nói là “chuyển sang”. Vì đối với Winfree, đó vẫn là đề tài ấy - chỉ có hóa học là khác, còn thì vận động lực học ấy. Ông đã quan tâm đến tim sau khi đã bắt lực chứng kiến hai người bị đột tử, một người thân trong dịp nghỉ hè, và một người đàn ông đang cùng bơi với ông ở bể bơi. Tại sao một nhịp được giữ trong suốt cả cuộc đời, với khoảng hai tỉ chu kỳ không ngừng nghỉ, qua các co giãn, tăng tốc và giảm tốc, bỗng đột ngột bị phá vỡ để biến thành một chuyển động hỗn loạn không kiểm soát được và nguy hiểm chết người?

WINFREE CÓ KỂ LẠI CÂU CHUYỆN về George Mines, một trong những nhà nghiên cứu tiên phong trong lĩnh vực này. Năm 1914, Mines hai mươi tám tuổi. Trong phòng thí nghiệm của ông ở Đại học McGill, Montreal, ông đã chế tạo một thiết bị nhỏ có khả năng truyền vào trong tim các xung điện nhỏ được điều chỉnh một cách chính xác.

“Khi Mines quyết định rằng đã đến lúc phải nghiên cứu trên cơ thể con người, ông lấy một đối tượng nghiên cứu đã ở



HỖN ĐỘN HÓA HỌC. Các sóng truyền hướng ra ngoài, dưới dạng các vòng tròn đồng tâm và thậm chí cả các sóng xoắn ốc đều là dấu hiệu của hỗn độn trong một phản ứng hóa học đã được nghiên cứu một cách rộng rãi: đó là phản ứng Beluzov- Zhabotinsky. Các hình mẫu tương tự cũng đã được quan sát thấy trong những cái đĩa gồm hàng triệu amip. Arthur Winfree đã đưa ra lý thuyết cho rằng những sóng như vậy tương tự với các sóng điện chạy qua các cơ tim một cách đều đặn hoặc thất thường.

trạng thái sẵn sàng nhất: đó là chính bản thân ông”, Winfree viết. “Hôm đó, vào khoảng sáu giờ tối, người gác cổng, thấy trong phòng thí nghiệm yên tĩnh một cách khác thường, nên đã đi vào phòng. Mines đang nằm trên nệm rom, bao quanh ông là chằng chịt các dây điện. Một chiếc máy được gắn với ngực ông, ngay bên trên tim, đã bị vỡ và bên cạnh ông là một thiết bị vẫn còn đang ghi các nhịp đập đang yếu dần của tim ông. Ông không tỉnh lại được nữa và đã chết”.

Người ta có thể phỏng đoán rằng một cú sốc điện nhỏ được tính toán cẩn thận về thời gian có thể làm cho tim bị rung sợi cơ, và thực tế chính Mines cũng đã đoán ra điều đó không lâu trước khi chết. Các cú sốc khác có thể làm nhanh hoặc chậm nhịp đập tiếp theo của tim, như đã xảy ra đối với các nhịp sinh học. Nhưng giữa tim và các đồng hồ sinh học có một điểm khác biệt mà người ta không thể xem nhẹ ngay cả trong một mô hình đơn giản hóa: đó là tim có một hình dạng trong không gian. Bạn có thể cầm nó trong tay. Bạn có thể theo dõi một sóng điện trong ba chiều.

Nhưng để làm được điều đó đòi hỏi sự khéo léo. Năm 1983, Raymond E. Ideker, thuộc Trung tâm Y học thuộc Đại học Duke, đã đọc một bài báo của Winfree đăng trên tờ *Scientific American* và đã đánh dấu ở đó bốn tiên đoán cụ thể về sự khởi phát và sự chấm dứt của chứng rung sợi cơ tim, dựa trên động lực học phi tuyến và tôpô học. Và Ideker đã không thực sự tin các tiên đoán đó. Chúng có vẻ quá tư biện và, trên quan điểm của một chuyên gia nghiên cứu tim, thì chúng quá trù tượng. Ba năm sau, tất cả bốn tiên đoán đó đều đã được kiểm tra và khẳng định, và chính Ideker đã phụ trách một chương trình tiên tiến để thu thập các dữ liệu chi tiết hơn, cần thiết cho sự

phát triển một phương pháp tiếp cận động lực học đối với tim. Và theo cách nói của Winfree, đó là “một máy xyclotron trong lĩnh vực nghiên cứu tim”.

Một bức điện tâm đồ cổ điển chỉ là sự ghi chép thô một chiều. Trong phẫu thuật tim, bác sỹ có thể dùng một điện cực, di chuyển nó đến các vị trí khác nhau trên tim, lấy mẫu ở năm hoặc hoặc sáu mươi vị trí trong mười phút và do đó thu được một loại hình ảnh tổng hợp. Đối với bệnh rung sợi cơ tim, thì kỹ thuật này tỏ ra vô ích: tim tự thay đổi và rung quá nhanh. Trong khi đó, kỹ thuật của Ideker, một kỹ thuật phụ thuộc rất mạnh vào việc xử lý trên máy tính trong thời gian thực, đó là cấy 128 điện cực trong một mạng mà ông trùm lên tim như một chiếc tất bao bọc lấy chân. Các điện cực này ghi điện áp mỗi khi một sóng đi qua cơ và máy tính cho ra một bản đồ về tim.

Ý định ban đầu của Ideker là ngoài việc kiểm tra các ý tưởng lý thuyết của Winfree ra, ông còn cải tiến các thiết bị điện được sử dụng để chặn đứng chứng rung sợi cơ tim. Hiện nay, các nhóm cấp cứu y học đều mang theo các phiên bản chuẩn của các máy khử rung sợi cơ tim có khả năng cung cấp tại hiện trường một xung điện một chiều mạnh qua lồng ngực của bệnh nhân bị rung tim. Về mặt thí nghiệm, các chuyên gia nghiên cứu tim đã chế tạo được một thiết bị nhỏ được khâu vào bên trong lồng ngực của các bệnh nhân được coi là đặc biệt có nguy cơ, dù rằng việc nhận dạng ra những bệnh nhân như vậy quả là một thách thức. Máy khử rung có thể cấy vào lồng ngực này, chỉ to hơn một bộ điều hòa nhịp tim một chút, nó nằm đó và chờ đợi, lắng nghe nhịp đập đều đặn của tim và phóng điện khi thấy cần thiết. Ideker đã bắt đầu tập hợp

được những hiểu biết vật lý cần thiết để chế tạo các máy khử rung rẻ hơn, ít rủi ro hơn, và khoa học hơn.

VÌ LÝ DO GÌ MÀ CÁC ĐỊNH LUẬT của hỗn độn lại có thể áp dụng được cho tim, một cơ quan với cấu trúc mô đặc biệt - các tế bào tạo nên các sợi phân nhánh kết nối chằng chịt với nhau, vận chuyển các ion canxi, kali và natri? Đó là vấn đề đã kích thích trí tò mò của các nhà khoa học của Đại học McGill và của Viện Công nghệ Massachussetts (M.I.T).

Leon Glass và các đồng nghiệp của ông là Michale Guevara và Alvin Schrier ở McGill đã thực hiện một trong những đường hướng nghiên cứu được nói đến nhiều nhất trong toàn bộ lịch sử còn ngán ngùi của động lực học phi tuyến. Họ đã sử dụng những kết tập nhỏ các tế bào tim lấy trên các phôi gà một tuần tuổi. Các kết tập này, có đường kính 1/80 cm, được đặt trên đĩa và lắc đều, đã bắt đầu đập một cách tự phát với nhịp độ cỡ một lần mỗi giây mà hoàn toàn không cần sự can thiệp của một máy điều hòa nhịp tim từ bên ngoài. Sự đập này hoàn toàn có thể nhìn thấy được qua kính hiển vi. Bước tiếp sau là áp đặt một nhịp từ bên ngoài. Để làm điều này, các nhà khoa học của McGill đã sử dụng một điện cực rất nhỏ, một ống thủy tinh mỏng được vuốt thành một mũi rất mảnh, rồi cắm vào một trong các tế bào. Một điện thế được truyền qua ống, kích thích các tế bào với một cường độ và tần số có thể điều chỉnh được theo ý muốn.

Năm 1981, họ đã cho đăng tóm tắt các phát hiện của mình trên tờ *Science*: “Hành vi động lực học xa lạ đã từng được thấy trước kia trong các nghiên cứu toán học và các thực nghiệm vật lý, thì nay nói chung có thể hiện diện, khi các dao động

tử sinh học được làm nhiều động một cách tuần hoàn”. Họ đã nhìn thấy sự nhân đôi chu kỳ - các hình mẫu đập nhịp bị phân nhánh, rồi lại bị phân nhánh tiếp khi kích thích thay đổi. Họ đã làm các ánh xạ Poincaré và ánh xạ vòng tròn. Glass cho biết: “Rất nhiều nhịp khác nhau có thể được xác lập giữa kích thích và một mẫu nhỏ tim gà. Dùng toán học phi tuyến, chúng tôi đã hiểu khá rõ các nhịp khác nhau này và trật tự xuất hiện của chúng. Hiện nay, chương trình đào tạo các chuyên gia nghiên cứu tim gần như không có toán học, nhưng rồi một ngày nào đó họ sẽ buộc phải nhìn nhận những vấn đề đó theo cách nhìn nhận của chúng tôi hiện nay”.

Vào thời gian này, trong chương trình nghiên cứu chung về công nghệ và khoa học sức khỏe của Đại học Harvard và M.I.T, Richard J. Cohen, một chuyên gia về tim và đồng thời cũng là nhà vật lý, đã phát hiện ra một chuỗi các nhân đôi chu kỳ trong các thí nghiệm trên chó. Dùng các mô hình trên máy tính, ông đã thử một kịch bản chấp nhận được, trong đó mặt sóng điện bị phá vỡ trên các đảo nhỏ của mô. “Đó là một ví dụ rõ ràng về hiện tượng Feigenbaum”, ông nói, “một hiện tượng bình thường, nhưng trong một số hoàn cảnh, nó trở nên hỗn loạn, và hóa ra là hoạt động điện trong tim có rất nhiều sự tương đồng với các hệ khác có nảy sinh hành trạng hỗn loạn”.

Các nhà nghiên cứu của Đại học McGill cũng đã tìm trở lại các dữ liệu cũ đã được tích lũy về các loại nhịp tim không bình thường khác nhau. Trong một triệu chứng đã biết rất rõ, họ nhận thấy rằng các nhịp đập khác thường, lạc vị (ngoại tâm thu) xen lẫn với các nhịp đập hình sin, bình thường. Glass và các đồng nghiệp của ông đã khảo sát rất kỹ các hình mẫu này, họ đếm số các nhịp đập theo hình sin nằm xen giữa các nhịp đập lạc vị. Ở một số bệnh nhân các con số này thay đổi,

nhưng vì một lý do gì đó chưa biết, chúng luôn là số lẻ: 3 hoặc 5 hoặc 7. Ở một số bệnh nhân khác, thì số các nhịp đập bình thường luôn là một phần thuộc dãy: 2, 5, 8, 11...

“Nhiều người đã quan sát thấy các dãy số kỳ cục này, nhưng các cơ chế thì không dễ dàng hiểu được”, Glass nói. “Các số này thường chứa một quy luật nào đó, nhưng chúng cũng thường chứa một bất quy tắc lớn. Một trong các khẩu hiệu của những nghiên cứu này là: trật tự trong hỗn độn”.

Về truyền thống mà nói thì các tư tưởng về bệnh rung sợi cơ tim có hai dạng. Dạng tư tưởng thứ nhất cổ điển thì cho rằng các tín hiệu tạo nhịp thứ cấp tới từ các trung tâm không bình thường nằm ngay bên trong cơ tim và xung đột với tín hiệu chính. Các trung tâm lạc vị nhỏ bé này phát ra các sóng tại các khoảng không đều, và người ta nghĩ rằng sự tương tác và chồng chập của chúng đã phá vỡ sóng điều phối của sự co. Những nghiên cứu do các nhà khoa học của McGill thực hiện đã phần nào khẳng định ý tưởng này bằng cách chứng tỏ rằng cả một vùng hành trạng không bình thường có thể nảy sinh từ sự tương tác giữa một xung bên ngoài và nhịp cố hữu của chính mô tim. Nhưng tại sao các trung tâm tạo nhịp thứ cấp này lại bắt đầu xuất hiện là điều còn rất khó giải thích”.

Dạng tư tưởng thứ hai tập trung không phải vào sự khởi phát của các sóng điện, mà là vào phương thức lan truyền của chúng bên trong tim. Và các nhà nghiên cứu của chương trình Harvard-M.I.T vẫn gần với truyền thống này hơn. Họ đã phát hiện ra rằng một số bất thường trong sóng - như sự quay theo các vòng tròn nhỏ - có thể làm cho, tại một số vùng của tim, nhịp đập tiếp sau xảy ra quá sớm, do đó ngăn cản sự dừng của tim trong khoảng lặng cần thiết để duy trì sự bơm máu nhịp nhàng.

Bằng cách sử dụng tối đa các phương pháp của động lực học phi tuyến, cả hai nhóm các nhà nghiên cứu đều tận dụng nhận thức rằng một biến thiên nhỏ của một tham số - chẳng hạn một sự thay đổi về sự định thời hoặc độ dẫn điện - có thể sẽ đẩy một hệ thống, vốn bền vững, vượt qua điểm phân nhánh, để đi vào một hành trạng khác hẳn về chất. Họ cũng đã bắt đầu phát hiện ra một nền tảng chung cho sự nghiên cứu các vấn đề về tìm một cách tổng thể, thiết lập các mối liên kết giữa các bất trật tự mà trước kia được coi là không có quan hệ gì với nhau. Hơn nữa, Winfree tin rằng, bất chấp các hướng tập trung nghiên cứu khác nhau của họ, cả hai trường phái trên đều có lý cả. Cách tiếp cận tô pô của ông gợi ý rằng cả hai ý tưởng này có thể chỉ là một mà thôi.

“Các đối tượng động lực học thường trái với trực giác, và tìm không phải là một ngoại lệ”, Winfree nói. Các chuyên gia về tim hy vọng rằng nghiên cứu này sẽ cho phép tìm ra một phương pháp khoa học để nhận ra người có nguy cơ bị mắc chứng rung sợi cơ tim, để chế tạo các máy khử rung, và kê các loại thuốc thích hợp. Winfree còn hy vọng rằng một quan điểm toán học tổng thể về các vấn đề này sẽ làm màu mỡ thêm một chuyên ngành vừa mới ra đời ở Mỹ, ngành sinh học lý thuyết.

NGÀY NAY, MỘT SỐ NHÀ SINH LÝ HỌC đã nói đến các bệnh động lực học: sự rối loạn của các hệ thống, sự mất phối hợp hoặc mất điều khiển. Chẳng hạn như “Các hệ bình thường dao động, lại dừng dao động hoặc bắt đầu dao động theo một cách mới và bất ngờ, và các hệ bình thường không dao động, lại bắt đầu dao động”. Các triệu chứng này bao gồm cả những rối loạn về hô hấp: thở hỗn hển, thở dài, hô hấp kiểu Cheyne-

Stokes và sự ngừng thở ở trẻ nhỏ gắn liền với triệu chứng đột tử của chúng. Cũng có cả những rối loạn mang tính động lực học của máu, kể cả dạng máu trắng, trong đó những xáo động làm thay đổi sự cân bằng giữa bạch cầu và hồng cầu, các tiểu cầu và các bạch huyết bào. Nhiều nhà khoa học tin rằng bản thân chúng tâm thần phân lập cũng như một số dạng trầm cảm cũng có thể thuộc loại bệnh này.

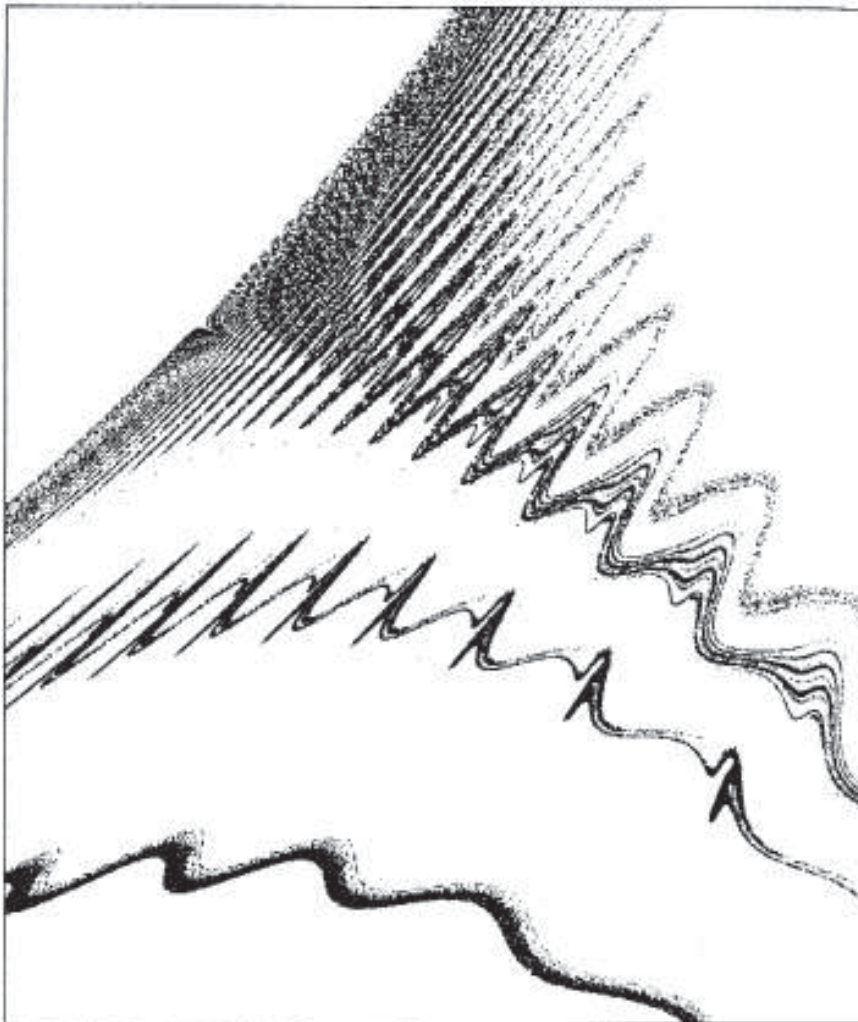
Nhưng các nhà sinh lý học cũng đã bắt đầu coi hỗn độn như một hành trạng lành mạnh. Từ lâu người ta đã biết rằng tính phi tuyến trong các quá trình hồi tiếp có chức năng điều chỉnh và kiểm soát. Nói một cách đơn giản, một quá trình tuyến tính chịu một nhiễu động nhỏ có xu hướng chỉ thay đổi nhẹ sự tiến triển của nó. Một quá trình phi tuyến, cũng chịu cùng nhiễu động ấy, có xu hướng trở lại điểm xuất phát của nó. Christian Huygens, nhà vật lý Hà Lan ở thế kỷ XVII, phát minh ra đồng hồ quả lắc và động lực học cổ điển, đã bắt gặp một trong những ví dụ nổi tiếng nhất về dạng điều chỉnh này - chỉ ít là theo chính sử. Một hôm ông chợt nhận thấy rằng tập hợp các đồng hồ quả lắc treo trên tường dao động đồng bộ với nhau một cách hoàn hảo. Ông biết chắc chắn rằng các đồng hồ không thể chính xác đến mức như thế. Những mô tả toán học về con lắc mà người ta đã có vào thời đó không thể giải thích nổi sự lan truyền trật tự đầy bí ẩn từ con lắc này sang con lắc khác. Huygens đã giả định đúng đắn rằng chuyển động của các đồng hồ này được phối hợp với nhau nhờ những rung động truyền qua gỗ. Hiện tượng, trong đó một chu kỳ đều đặn được khoá vào một chu kỳ khác, ngày nay được gọi là sự kéo theo hay sự khoá tần số. Chính sự khoá tần số này giải thích tại sao Mặt Trăng luôn hướng một phía của nó về phía Trái

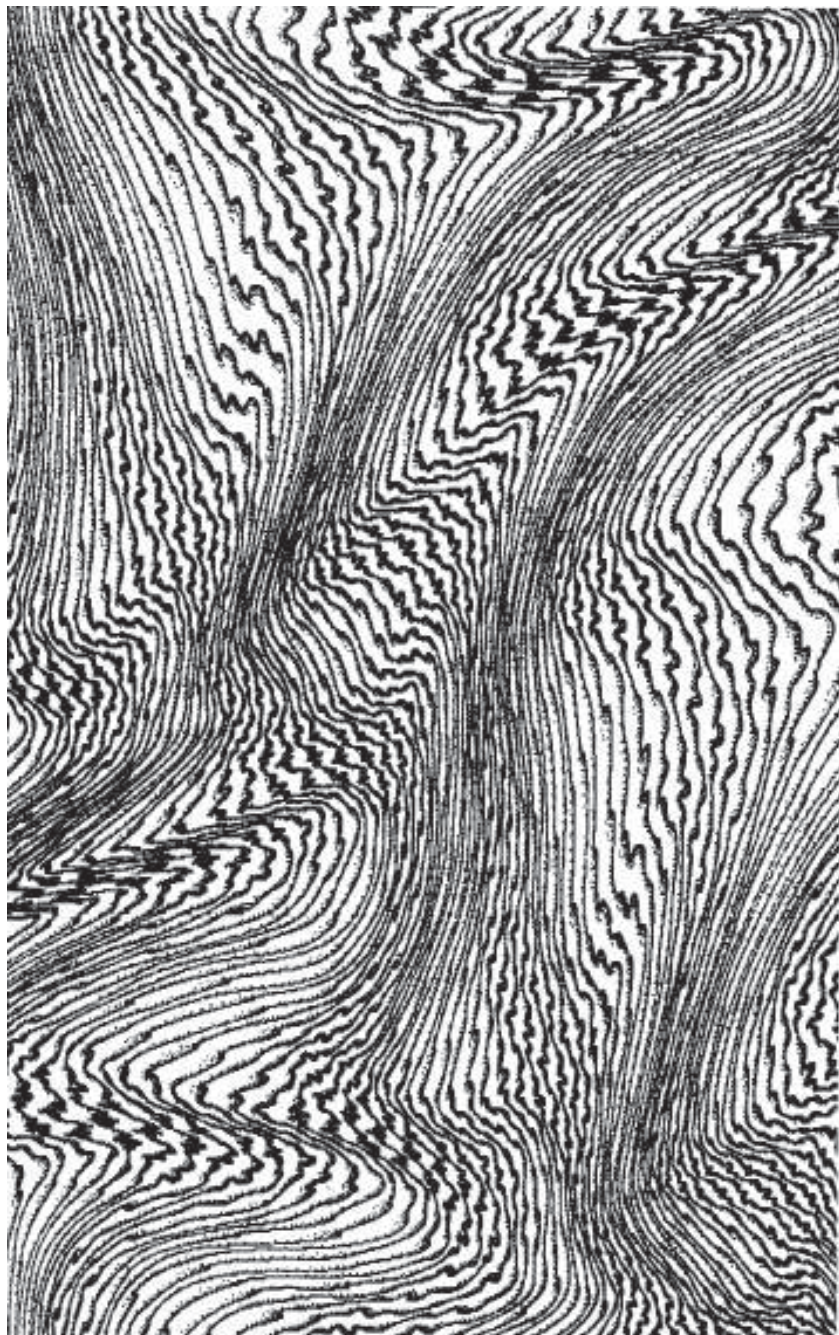
Đất, hay tổng quát hơn, tại sao tỷ số giữa chu kỳ quay quanh trục của các hành tinh và chu kỳ quay trên quỹ đạo của nó quanh Mặt Trời đều có xu hướng là tỷ số của các số nguyên: 1 trên 1, hay 2 trên 1, hay 3 trên 2. Khi tỉ số này gần với một số nguyên, thì tính phi tuyến của lực hút thủy triều có xu hướng khoá nó lại ở đó. Sự khoá tần số này thường xuyên bắt gặp trong điện tử học; chính nó, chẳng hạn, cho phép một máy thu thanh giữ vững tín hiệu ngay cả khi có những thăng giáng nhỏ về tần số. Sự khoá tần số cũng cho phép giải thích được khả năng hoạt động đồng bộ của một nhóm các dao động tử, kể cả các dao động tử sinh học - như các tế bào tim hay các tế bào thần kinh. Một ví dụ ngoạn mục trong tự nhiên là loài đom đóm ở vùng Nam Á. Trong mùa giao phối, chúng tụ tập với nhau hàng nghìn con trong các tán lá cây và nhấp nháy một cách đồng bộ tuyệt vời và ma quái.

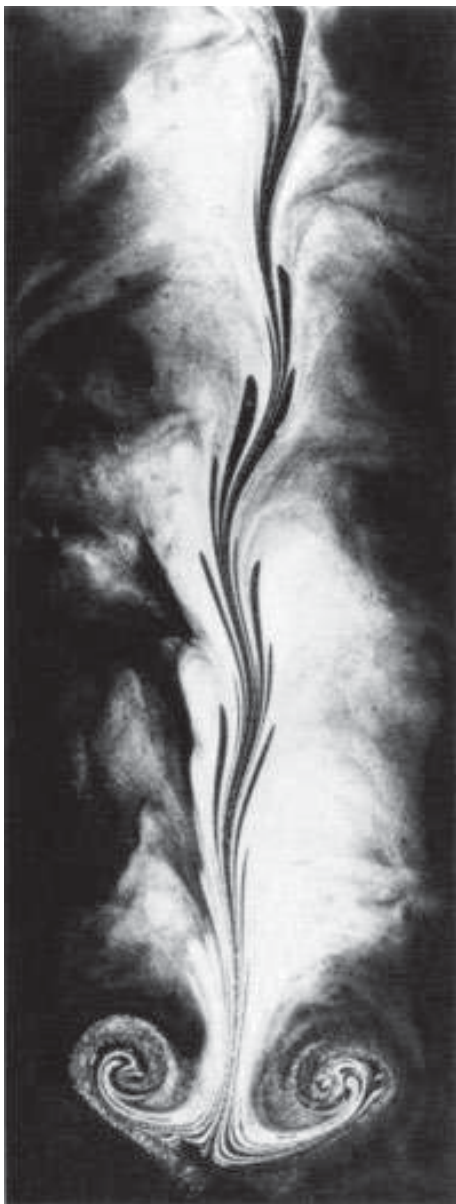
Một trong những vấn đề mấu chốt đối với tất cả các hiện tượng điều khiển này là tính bền vững, dẻo dai: một hệ có thể chịu được các cú sốc nhỏ tới mức nào? Một vấn đề cũng quan trọng không kém đối với các hệ sinh học là tính mềm dẻo: một hệ có thể hoạt động tốt như thế nào trong một *vùng* tần số? Sự khoá vào một tần số có thể là quá cứng nhắc, nó không cho phép hệ thích nghi với sự thay đổi. Các sinh vật phải phản ứng với hoàn cảnh vốn thay đổi rất nhanh và không thể tiên đoán được; không một nhịp tim hay nhịp thở nào có thể được khoá vào những chu kỳ nghiêm ngặt của các mô hình vật lý đơn giản nhất, và điều đó cũng đúng đối với các nhịp tinh tế hơn của phần còn lại của cơ thể. Một số nhà nghiên cứu, trong đó có Ary Goldberger của trường Y khoa thuộc Đại học Harvard, đã đưa ra giả thiết rằng động lực học

CÁC HÀI HÒA HỖN ĐỘN. Sự tác động qua lại giữa các nhịp khác nhau, như các tần sóng radio hay các quỹ đạo hành tinh, tạo ra một phiên bản đặc biệt của hỗn độn. Dưới đây và ở trang bên là những hình ảnh được tạo trên máy tính của một số “nhân hút” có thể xuất hiện khi có sự gặp gỡ của ba tần số.

James A. Yorke







CÁC DÒNG CHẢY HỖN ĐỘN. Một thanh được kéo qua một chất lỏng nhớt sinh ra một hình dạng lượn sóng, đơn giản. Nếu thanh này được kéo nhiều lần thì có thể làm xuất hiện các hình dạng phức tạp hơn.



Theodor Schwenk

của cơ thể được đặc trưng bởi các cấu trúc vật lý có các bản chất *fractal* - giống như mạng lưới phân nhánh các phế quản trong phổi và các sợi dẫn trong tim - cho phép có một phạm vi rộng lớn các nhịp. Suy nghĩ về các lập luận của Robert Shaw, Goldeberger đã nhận thấy: “Các quá trình *fractal* gắn với các phổ dải rộng là “rất giàu thông tin”. Ngược lại, các trạng thái tuần hoàn phản ánh các phổ dải hẹp và được xác định bởi các chuỗi lặp đi lặp lại một cách đơn điệu, là rất nghèo hàm lượng thông tin”. Ông và các nhà sinh lý học khác gợi ý rằng việc điều trị các rối loạn như vậy có thể phụ thuộc vào sự mở rộng trữ lượng phổ của hệ, mở rộng khả năng của nó trên một dải nhiều tần số khác nhau chứ không giới hạn trong một chế độ tuần hoàn bị khoá chặt nào.

Arnold Mandell, nhà tâm thần học và động lực học ở San Diego, người đã từng bảo vệ Bernardo Huberman trong khi ông này thuyết trình về chuyển động của mắt ở những người bị tâm thần phân lập, thậm chí còn đi xa hơn nữa về vai trò của hỗn độn trong sinh lý học. “Liệu bệnh lý học mang tính toán học, nghĩa là hỗn độn, có thể là sức khỏe được không? Và sức khỏe mang tính toán học, nghĩa là khả năng tiên đoán được và biệt hóa được loại cấu trúc này, liệu có phải là bệnh tật?” Mandell bắt đầu nghiên cứu hỗn độn ngay từ năm 1977, khi ông phát hiện ra một “hành trạng đặc biệt” ở một số enzym của não. Hành trạng này chỉ có thể giải thích được bằng các phương pháp mới của toán học phi tuyến. Ông đã khuyến khích nghiên cứu sự vướng víu ba chiều dao động của các phân tử protein; thay vì vẽ các cấu trúc tĩnh, ông khẳng định, các nhà sinh học phải coi các phân tử này như các hệ động lực, có khả năng chuyển pha. Ông vốn là, như ông từng tự nhận,

một người cuồng tín, và mối quan tâm chính của ông vẫn là cơ quan hỗn độn nhất. “Khi bạn đạt đến trạng thái cân bằng về sinh học, bạn sẽ chết”, ông nói. “Nếu tôi hỏi bạn rằng não của bạn có phải là một hệ cân bằng không, thì tất cả những gì tôi phải làm là yêu cầu bạn không nghĩ đến những chú voi trong vài phút và bạn *biết* ngay lập tức rằng não của bạn không phải là một hệ cân bằng”.

Theo Mandell, các phát hiện về hỗn độn bắt buộc phải thay đổi các phương pháp lâm sàng để điều trị các rối loạn tâm thần. Hoàn toàn khách quan, có thể nói rằng cách chữa trị hiện đại của “được học tâm thần” - tức là sử dụng thuốc để chữa trị tất cả những gì từ lo âu, mất ngủ cho tới cả tâm thần phân lập - phải được coi là một thất bại. Rất ít bệnh nhân được chữa khỏi, nếu quả thực là có. Nếu người ta có thể kiểm soát được các biểu hiện dữ dội nhất của các bệnh tâm thần, thì không một ai biết các hậu quả về lâu về dài của nó. Mandell đã đưa cho các đồng nghiệp của mình xem một danh sách đáng sợ các loại thuốc hay được sử dụng nhất. Phenothiazine, được kê cho bệnh nhân tâm thần phân lập, lại làm cho sự rối loạn cơ bản trở nên trầm trọng thêm. Một số thuốc chống trầm cảm lại có tác dụng “làm tăng tốc độ quay vòng tâm trạng, và về lâu dài sẽ dẫn đến sự gia tăng số lần tái phát”. Vân vân và vân vân. Chỉ có mỗi liti là mang lại thành công thực sự, Mandell nói, mà cũng chỉ đối với một số loại rối loạn mà thôi.

Như ông nhìn nhận, vấn đề này thuộc cấp độ khái niệm. Các phương pháp truyền thống điều trị “cái cỗ máy vô hạn chiều, động và bất ổn định nhất này” đều là tuyến tính và quy giản luận. “Hình mẫu nền tảng vẫn là: một gen → một peptit → một enzym → một chất dẫn truyền thần kinh → một thụ thể

→ một hành vi động vật → một triệu chứng lâm sàng → một loại thuốc → một thang đánh giá lâm sàng. Hình mẫu này đã thống trị gần như toàn bộ nghiên cứu và điều trị trong dược học tâm thần. Hơn 50 chất truyền dẫn, hàng nghìn loại tế bào, hiện tượng học điện từ phức tạp, và một bất ổn định liên tục dựa trên hoạt động tự lập ở tất cả các cấp độ, từ các protein cho tới các điện não đồ - tuy vậy, người ta vẫn luôn coi não là một bảng các kết nối hóa học". Đối với ai đã từng tiếp xúc với thế giới động lực học phi tuyến, phản ứng duy nhất chỉ có thể là: quan niệm như thế thật là ngây thơ. Chính vì thế mà Mandell đã hối thúc các đồng nghiệp của mình hãy tìm hiểu các hình học linh hoạt, thứ hình học duy trì các hệ phức tạp như bộ óc của chúng ta.

Nhiều nhà khoa học khác đã bắt đầu áp dụng hình thức luận toán học của hỗn độn cho những nghiên cứu về trí tuệ nhân tạo. Động lực học của các hệ lang thang giữa các lưu vực hút, chẳng hạn, đã hấp dẫn những người tìm cách mô hình hóa các biểu tượng và các ký ức. Một nhà vật lý nghĩ về các ý tưởng như là các vùng có các đường biên mờ, tách rời nhưng vẫn xen phủ nhau, hút như nam châm nhưng vẫn để cho đi qua, lẽ tự nhiên sẽ quay về hình ảnh của một không gian pha với các "lưu vực hút". Những mô hình này dường như có một số đặc điểm đúng: các điểm ổn định xen lẫn với bất ổn định, và các vùng có các đường biên thay đổi. Cấu trúc *fractal* của chúng đã cung cấp loại tính chất tự quy chiếu một cách vô hạn, một phẩm chất dường như là thiết yếu đối với khả năng của bộ não sinh ra vô vàn các ý tưởng, các quyết định, các xúc cảm và tất cả các sản phẩm khác của ý thức. Dù có hay không có hỗn độn, các nhà khoa học nghiêm túc về nhận thức cũng không thể mô hình hóa bộ não như một cấu trúc tĩnh.

Họ nhận thức được ở đó có cả một hệ thống thứ bậc của các thang, từ các noron trở lên, và điều đó đã tạo cơ hội cho sự tác động qua lại giữa thang vi mô và thang vĩ mô vốn là một đặc trưng cho sự chảy rối của chất lưu và nhiều quá trình động lực học phức tạp khác.

Hình mẫu được sinh ra bên trong cái không có hình dạng: đó là vẻ đẹp cơ bản của sinh học, và cũng là sự bí mật cơ bản của nó. Sự sống hút lấy trật tự từ một đại dương bất trật tự. Cách đây bốn mươi năm, Erwin Schrödinger, một nhà lý thuyết lượng tử tiên phong và là một trong số vài ba nhà vật lý đã nhảy vào những tư biện sinh học với tư cách không phải là chuyên gia, đã diễn đạt quan điểm này như sau: một cơ thể sống có “thiên chất đáng kinh ngạc là biết tập trung vào mình một “dòng trật tự” và nhờ đó mà thoát khỏi sự tan rã thành một mớ hỗn độn các nguyên tử”. Đối với Schrödinger, với tư cách là nhà vật lý, hiển nhiên là cấu trúc của vật chất sống khác với loại vật chất mà các đồng nghiệp của ông nghiên cứu. Viên gạch tạo nên sự sống - mà lúc đó người ta còn chưa gọi là ADN - là một *tinh thể phi tuần hoàn*. “Trong vật lý học, cho tới nay, chúng tôi mới chỉ nghiên cứu các *tinh thể tuần hoàn*. Đối với đầu óc của một nhà vật lý học khiêm nhường, đó là các đối tượng rất thú vị và rất phức tạp; chúng là một trong những cấu trúc vật chất mê hoặc nhất và phức tạp nhất mà qua đó tự nhiên vô sinh đưa ra các câu đố của mình. Tuy nhiên, so với tinh thể không tuần hoàn, chúng thật là quá đơn điệu và tẻ nhạt”. Sự khác biệt ở đây giống như sự khác biệt tồn tại giữa giấy dán tường và tấm thảm, giữa sự lặp lại đều đặn của cùng một mô típ và những biến tấu phong phú và hài hòa của sáng tạo nghệ thuật. Các nhà vật lý mới chỉ học để hiểu được các

tấm giấy dán tường mà thôi. Vì thế không có gì ngạc nhiên khi họ đóng góp còn quá ít ỏi cho sinh học.

Quan điểm của Schrödinger thật là khác thường. Sự sống vừa trật tự vừa phức tạp là một điều đương nhiên; nhưng nhìn ra tính không tuần hoàn là nguồn gốc của những phẩm chất đặc biệt của nó gần như là một điều bí ẩn. Vào thời của Schrödinger, cả toán học lẫn vật lý học đều không thực sự ủng hộ quan điểm này. Không có bất kỳ công cụ nào để phân tích tính bất thường như là một yếu tố cơ bản của sự sống. Nhưng ngày nay, thì những công cụ đó đã tồn tại.

HỒN ĐỘN VÀ SAU ĐÓ

“Điều mà chúng ta thử làm ở đây không là gì khác ngoài việc phân loại các bộ phận cấu thành của một hỗn độn”

—HERMAN MELVILLE, *Moby Dick*

CÁCH ĐÂY KHOẢNG HAI CHỤC NĂM, Edward Lorenz suy nghĩ về khí quyển, Michel Hénnon nghĩ về các sao, Robert May về sự cân bằng của tự nhiên. Benoit Mandelbrot còn là một nhà toán học vô danh thuộc hãng IBM, Mitchell Feigenbaum mới là nghiên cứu sinh ở trường City College, New York, Doyné Farmer là một chàng trai đang lớn ở bang New Mexico. Phần lớn các nhà khoa học đang hành nghề đều chia sẻ một tập hợp các niềm tin về sự phức tạp. Họ gấn bó thiết tha với những niềm tin ấy tới mức họ không cần nói ra lời. Chỉ mãi về sau họ mới nói được ra những niềm tin ấy là gì và đưa chúng ra phân tích.

Các hệ đơn giản có hành trạng đơn giản. Một dụng cụ cơ học thô sơ như con lắc, một mạch điện nhỏ, một quần thể lý tưởng hóa của cá trong hồ - chừng nào những hệ này có thể được quy giản về một vài quy luật hoàn toàn hiểu được, hoàn toàn là tất định, thì hành trạng trong một thời gian dài của chúng còn là ổn định và dự báo được.

Một hành trạng phức tạp hàm chứa các nguyên nhân phức tạp. Một thiết bị cơ học, một mạch điện, một quần thể động

vật, sự chảy của một chất lưu, một cơ quan sinh học, một chùm các hạt, một cơn giông, một nền kinh tế quốc dân - một hệ rõ ràng là không ổn định, không dự báo được hay không kiểm soát được hoặc phải được chi phối bởi một vô số các thành phần độc lập, hoặc chịu các ảnh hưởng ngẫu nhiên từ bên ngoài.

Các hệ khác nhau có các hành trạng khác nhau. Một nhà sinh học thần kinh dành cả sự nghiệp của mình để nghiên cứu hóa học của các noron mà không biết gì về trí nhớ hay tri giác, một kỹ sư hàng không sử dụng các máy quạt gió để giải quyết các vấn đề khí động lực học mà không hiểu gì về toán học của sự chảy rối, một nhà kinh tế học phân tích tâm lý của các quyết định mua bán mà không có khả năng dự báo các xu hướng dài hạn - những nhà khoa học như họ biết rằng các thành phần cấu thành nên chuyên ngành của họ là khác nhau, và do đó họ nghĩ một cách chắc chắn rằng các hệ phức tạp được cấu thành từ hàng tỉ các thành phần này cũng phải khác nhau.

Hiện nay, tất cả những điều đó đều đã thay đổi. Trong hai mươi năm trở lại đây, các nhà vật lý, các nhà toán học, các nhà sinh học và các nhà thiên văn đã tạo ra một tập hợp các ý tưởng mới thay thế cho tập hợp cũ. Các hệ đơn giản cũng có thể sinh ra hành trạng phức tạp. Các hệ phức tạp lại có thể sinh ra một hành trạng đơn giản. Và điều quan trọng hơn, đó là các quy luật về sự phức tạp có tính phổ quát, chúng chẳng mấy may bận tâm đến các chi tiết về các nguyên tử cấu thành lên một hệ.

Đối với đám đông các nhà khoa học đang hành nghề - các nhà vật lý hạt, các nhà thần kinh học, hay thậm chí cả các nhà toán học -, sự thay đổi này không phải là chuyện tức thì. Họ vẫn tiếp tục những nghiên cứu trong chuyên ngành riêng của

họ. Nhưng họ đều ý thức được một cái gì đó gọi là hỗn độn. Họ biết rằng một số hiện tượng phức tạp đã được giải thích, và họ cũng biết rằng các hiện tượng khác đột nhiên dường như cần phải có một cách giải thích mới. Một nhà khoa học nghiên cứu các phản ứng hóa học trong phòng thí nghiệm, hoặc theo dõi trong vòng ba năm sự tiến triển của một quần thể sâu, hoặc mô phỏng những thăng giáng nhiệt độ của các đại dương, khi không thể trả lời được, theo cách truyền thống, sự hiện diện của những thăng giáng hay các dao động bất ngờ - họ bèn bỏ qua chúng. Đối với một số người, điều đó có nghĩa là một trở ngại. Mặt khác, về phương diện thực dụng mà nói, họ biết rằng sẽ có tiền của ngân sách chính phủ liên bang và các tổ chức hợp tác nghiên cứu tư cho loại khoa học ít toán học này. Ngày càng nhiều người trong số họ nhận ra rằng hỗn độn đã cung cấp cho họ các phương pháp mới để xử lý các dữ liệu cũ bị lãng quên trong ngăn kéo bởi vì chúng tỏ ra quá thất thường. Cũng ngày càng nhiều người trong số họ cảm nhận được rằng sự ngăn cách giữa các khoa học là một rào cản đối với công việc của họ. Ngày càng nhiều người trong số họ cũng nhận thấy sự nghiên cứu các bộ phận tách rời với tổng thể sẽ là không có hiệu quả. Đối với họ, hỗn độn là sự cáo chung của sơ đồ qui giản luận trong khoa học.

Không hiểu; phản đối; tức giận; chấp nhận. Những người đi tiên phong của hỗn độn đều đã phải trải qua tất cả những tâm trạng đó. Joseph Ford, làm việc tại Viện Công nghệ Georgia, đã nhớ lại rằng, trong những năm 70, khi giảng cho một nhóm các nhà nhiệt động học, ông đã nhắc nhở rằng có hành trạng hỗn độn trong phương trình Duffing, một mô hình dao động từ đơn giản có ma sát, vốn là một ví dụ nổi tiếng trong các cuốn

sách giáo khoa. Theo Ford, sự hiện diện của hỗn độn trong phương trình này là một sự kiện đáng tò mò, nhưng đó mới chỉ là một trong những thứ mà ông biết là đúng, mặc dù phải mất vài năm sau nó mới được công bố trong tạp chí *Physical Review Letters*. Nhưng ông cũng đã có thể nói với một cử tọa gồm các nhà cổ sinh học rằng khủng long có lông. Mà họ thì phải biết rõ điều đó hơn ông.

“Khi tôi nói điều đó, ôi Chúa ơi! họ bắt đầu nhảy dựng lên khỏi ghế. Người ta phản ứng: ‘Bố tôi đã chơi với phương trình Duffing, ông tôi cũng đã chơi với phương trình Duffing, và không một ai bắt gặp cái gì giống như cái anh vừa nói cả’. Ý tưởng cho rằng tự nhiên là phức tạp đã vấp phải một sự kháng cự thực sự. Điều mà tôi không hiểu, đó là sự thù nghịch”.

Mặt trời mùa đông đã khuất bóng. Ngồi thoải mái trong phòng làm việc ở Atlanta, Ford nhắm nháp soda đựng trong một cái cốc vai trên đó có viết chữ HỖN ĐỘN bằng những màu sắc rực rỡ. Ronald Fox, một đồng nghiệp trẻ của ông, đang tâm sự về sự thay đổi của chính mình, ít lâu sau khi mua chiếc máy tính Apple II cho con trai, chiếc máy mà ở thời đó không một nhà vật lý tự trọng nào lại mua về để làm việc. Fox đã nghe nói rằng Mitchell Feigenbaum đã phát hiện ra các quy luật phổ quát điều chỉnh hành trạng của các hàm hồi tiếp, nên anh đã quyết định viết một chương trình nhỏ để quan sát hành trạng này trên màn hình của chiếc Apple. Anh đã nhìn thấy nó, có màu sắc hắc hoi, trên toàn bộ màn hình - các phân nhánh, các đường cong ổn định tự tách thành hai, rồi thành bốn, rồi thành tám; rồi sự xuất hiện của chính hỗn độn và, bên trong hỗn độn, là tính quy luật hình học kỳ lạ. “Trong hai ngày, có thể làm lại tất cả những gì Feigenbaum đã từng làm”, Fox nói.

Sự tự học trên máy tính này đã thuyết phục được anh và rất nhiều người khác, những người đã từng nghi ngờ các lập luận viết ra trên giấy.

Một số nhà khoa học thỉnh thoảng cũng chơi với loại các chương trình này một thời gian, rồi bỏ. Một số khác không còn cách nào khác là phải thay đổi. Fox là một trong số những người vẫn ý thức được những giới hạn của khoa học tuyến tính cổ điển. Anh biết rằng mình gạt bỏ những vấn đề phi tuyến hóc búa sang một bên, thì đó chẳng qua là do thói quen mà thôi. Trong thực tiễn, một nhà vật lý khi buông xuôi, bao giờ cũng nói: *Đối với vấn đề này, tôi phải tra cứu một cuốn cẩm nang về các hàm đặc biệt, điều mà vạn bất đắc dĩ tôi mới phải làm, và sẽ chẳng đời nào tôi chịu giải nó trên máy tính, vì nó quá ư phức tạp đối với tôi.*

“Bức tranh chung về tính phi tuyến thu hút sự chú ý của rất nhiều người - ban đầu thì chậm chạp thôi, nhưng rồi sau đó nhanh hơn”, Fox nói. “Tất cả những ai đã từng xem xét nó đều rút ra được ích lợi từ đó. Bây giờ hãy nhìn lại bất kỳ vấn đề nào mà bạn từng xem xét trước kia, bất kể chuyên ngành của bạn là gì đi nữa. Có những chỗ mà bạn đã vứt bỏ đi bởi vì chúng trở nên phi tuyến. Nhưng bây giờ thì bạn biết xử lý chúng như thế nào, bạn sẽ lấy chúng trở lại”.

Ford nói thêm: “Nếu một chuyên ngành bắt đầu phát triển, thì đó là bởi vì có một nhóm những người nghĩ rằng nó có thể mang lại *cho họ* một cái gì đó, rằng nếu họ thay đổi nghiên cứu của mình, thì phần thưởng sẽ rất lớn. Đối với tôi, hỗn độn giống như một giấc mơ. Nó sẽ mở ra cho bạn cơ hội: nếu bạn chuyển sang tham gia chơi trò chơi này, bạn có thể sẽ đào được mỏ vàng lớn”.

Tuy nhiên, không một ai hoàn toàn nhất trí với cái tên (*chaos*) này.

Philip Holmes, một nhà toán học kiêm thi sĩ râu bạc, giảng dạy ở Đại học Cornell, thì gọi nó là *Các quỹ đạo hút, phức tạp, không tuần hoàn của một số hệ động lực (thường là thấp chiều)*.

Hao Bai-Lin, một nhà vật lý Trung Quốc, người đã tập hợp rất nhiều bài báo lịch sử về hỗn độn trong một tuyển tập thì gọi: *Một loại trật tự không tuần hoàn*. Và: *Một lĩnh vực nghiên cứu đang phát triển rất nhanh trong đó các nhà toán học, các nhà vật lý, các nhà thủy động lực học, các nhà sinh thái học và rất nhiều các nhà nghiên cứu khác tất cả đều có những đóng góp quan trọng*. Và: *Một lớp các hiện tượng tự nhiên mới được xác định và hiện diện khắp nơi*.

H. Bruce Stewart, nhà nghiên cứu toán học ứng dụng thuộc Phòng Thí nghiệm quốc gia Brookhaven, ở Long Island: *Hành trạng tuần hoàn và có vẻ bề ngoài là ngẫu nhiên trong một hệ tất định đơn giản (như bộ máy đồng hồ)*.

Roderick V. Jensen, làm việc tại Đại học Yale, nhà vật lý lý thuyết nghiên cứu về khả năng hỗn độn lượng tử: *Hành trạng bất thường, không thể dự báo của các hệ động lực tất định và phi tuyến*.

James Crutchfield, thành viên nhóm nghiên cứu động lực học ở Santa Cruz: *Động lực học với entropy metric dương nhưng hữu hạn. Dịch ra ngôn ngữ thông thường có nghĩa là: hành trạng sinh ra thông tin (khuếch đại các bất định nhỏ), nhưng không phải hoàn toàn là không dự báo được*.

Và Ford, người tự tuyên bố là nhà truyền bá hỗn độn: *Động lực học cuối cùng đã được giải thoát khỏi xích xiềng của trật*

tự và của tính có thể tiên đoán được... Các hệ được giải phóng để khám phá một cách ngẫu nhiên mọi khả năng động lực học của chúng... Sự đa dạng đầy phấn thích, sự phong phú các lựa chọn, và sự dồi dào các cơ hội.

John Hubbard, nhà nghiên cứu các hàm lặp và tính hoang dã *fractal* đến vô hạn của tập hợp Mandelbrot, cho rằng “hỗn độn” là một từ không phù hợp để chỉ các nghiên cứu của ông, vì chúng ngụ ý cả tính ngẫu nhiên nữa. Theo ông, thông điệp quan trọng hơn cả là các quá trình cơ bản trong tự nhiên có thể tạo ra các công trình tráng lệ của sự phức tạp mà *không* có ngẫu nhiên. Trong tính phi tuyến và hồi tiếp đã chứa đựng các công cụ cần thiết để mã hóa, rồi để triển khai các cấu trúc cũng phong phú như bộ não con người vậy.

Đối với các nhà khoa học khác, những người như Arthur Winfree, nghiên cứu tô pô toàn cục của các hệ sinh học, thì “hỗn độn” là một từ quá hẹp. Nó ngụ ý các hệ đơn giản, các ánh xạ một chiều của Feigenbaum hay các nhân hút lạ hai hoặc ba chiều (hoặc một số chiều phân số) của Ruelle. Theo Winfree, hỗn độn thấp chiều là một trường hợp đặc biệt. Điều mà ông quan tâm, đó là các quy luật của tính phức tạp nhiều chiều - và ông tin rằng có tồn tại các định luật như thế. Có quá nhiều các hiện tượng trong Vũ trụ dường như thoát ra khỏi tầm với của các hỗn độn thấp chiều.

Tạp chí *Nature* đã thuật lại một cuộc tranh luận về vấn đề này: khí hậu Trái Đất liệu có phụ thuộc vào một nhân hút lạ? Các nhà kinh tế học cố gắng tìm kiếm các nhân hút lạ có thể nhận dạng được trong các xu hướng của thị trường chứng khoán, nhưng cho tới nay, họ vẫn chưa tìm thấy. Các nhà động lực học hy vọng sử dụng các công cụ của hỗn độn để

giải thích sự chảy rối ở trạng thái đã phát triển đầy đủ của nó. Albert Libchaber, giờ ở Đại học Chicago, đã sử dụng các kỹ thuật thực nghiệm hết sức tinh xảo của mình để nghiên cứu sự chảy rối, ông đã chế tạo khoang hêli lỏng lớn hơn cái khoang tí xíu của ông năm 1977 hàng nghìn lần. Những thí nghiệm giải phóng vào không gian và thời gian sự bất trật tự như thế của các chất lỏng liệu có phát hiện ra các nhân hút đơn giản hay không, hiện nay chưa ai biết. Như nhà vật lý Bernardo Huberman có lần đã nói: “Nếu bạn có một dòng suối chảy rối, và đặt xuống đó một máy dò và nói: ‘Hãy nhìn kìa, đó là một nhân hút lạ thấp chiều’, thì có lẽ tất cả chúng ta đều sẽ phải ngả mũ bái phục nhìn”.

Hỗn độn là một tập hợp những ý tưởng thuyết phục các nhà khoa học này rằng tất cả họ đều là thành viên của một công cuộc chung. Các nhà vật lý, sinh học, hay toán học đều xác tín rằng các hệ đơn giản và tất định cũng có thể tạo ra tính phức tạp; rằng các hệ quá ư phức tạp đối với toán học truyền thống vẫn có thể tuân theo các quy luật đơn giản; và rằng bất kể chuyên ngành của họ là gì đi nữa, thì nhiệm vụ của họ vẫn là tìm hiểu chính tính phức tạp đó.

“CHÚNG TA HÃY THỬ NHÌN LẠI các định luật của nhiệt động lực học”, James E. Lovelock, tác giả của giả thiết Gaia, nói. “Đúng là thoát nhìn chúng giống như câu viết ở lối vào Địa Ngục của Dante...”. Nhưng tuy nhiên...

Nguyên lý thứ hai của nhiệt động lực học là một thông tin khoa học không mấy tốt lành đã được xác lập một cách vững chắc trong văn hóa phi khoa học. Vạn vật đều có xu hướng

tiến đến bất trật tự. Mọi quá trình chuyển hóa năng lượng từ dạng này sang dạng khác đều phải mất mát một phần năng lượng dưới dạng nhiệt. Hiệu suất hoàn hảo là điều không thể. Vũ trụ là một đường phố một chiều. *Entropy phải luôn luôn tăng trong Vũ trụ cũng như trong mọi hệ cô lập giả thuyết bất kỳ chứa trong đó.* Dù được phát biểu dưới dạng nào đi nữa thì Nguyên lý thứ hai này cũng là một quy tắc không thể chối bỏ được. Nguyên lý này đúng trong nhiệt động lực học, nhưng nó cũng có đời sống riêng của nó trong các lĩnh vực rất xa với khoa học: nó được coi là nguyên nhân của sự xuống cấp của các xã hội, của sự suy sụp kinh tế, của sự băng hoại phong tục tập quán, và rất nhiều các loại suy đồi khác. Nhưng những thể hiện thứ cấp và mang tính ẩn dụ này của Nguyên lý thứ hai ngày nay dường như tỏ ra là đặc biệt sai lệch. Tính phức tạp sinh sôi nảy nở trong thế giới ngày nay của chúng ta, và những người tìm đến khoa học để có một sự hiểu biết tổng quát về các thói quen của tự nhiên chắc sẽ rút ra được những lợi ích tốt hơn từ các quy luật của hỗn độn.

Xét cho cùng, khi Vũ trụ suy thoái tiến tới trạng thái cân bằng của nó trong một bồn nhiệt phẳng lặng với entropy cực đại, thì bằng cách nào đó nó vẫn tạo ra được các cấu trúc thú vị. Các nhà vật lý ưa suy tư quan tâm tới những hậu quả của nhiệt động lực học đã nhận thấy một vấn đề rất bức xúc, đó là câu hỏi, như người ta thường nói, là “bằng cách nào mà dòng năng lượng chảy không mục đích lại có thể làm nảy nở sự sống và ý thức trong thế giới?”. Ngoài ra, khó khăn này lại càng tăng lên do sự tồn tại của entropy, một khái niệm khó nắm bắt, nó đã được định nghĩa rõ ràng một cách hợp lý - thông qua nhiệt và nhiệt độ - vì các nhu cầu của bản thân nhiệt động lực học,

nhưng lại vô cùng khó trói chặt nó với vai trò là thước đo của sự *bất trật tự*. Các nhà vật lý đã gặp khá nhiều khó khăn khi đo mức độ trật tự trong nước - chẳng hạn, trong quá trình hóa rắn, khi xuất hiện các cấu trúc tinh thể trong quá trình nước chuyển pha thành băng và luôn luôn có sự giải phóng năng lượng đi kèm. Nhưng entropy nhiệt động lực học lại thất bại thảm hại với tư cách là thước đo mức độ thay đổi giữa có hình dạng và không có hình dạng trong quá trình sáng tạo ra các axit amin, các vi sinh vật, các thực vật và động vật tự sinh sản, các hệ thống tin phức tạp, như bộ não, chẳng hạn. Chắc chắn là các đảo nhỏ trật tự liên tục tiến hóa này cũng phải tuân theo Nguyên lý thứ hai của nhiệt động lực học. Nhưng còn có các định luật quan trọng, các định luật sáng tạo đang nằm ở đâu đó khác.

Tự nhiên tạo nên các hình mẫu. Một số là trật tự trong không gian nhưng lại là bất trật tự trong thời gian, một số khác lại trật tự trong thời gian nhưng lại là bất trật tự trong không gian. Một số thuộc loại *fractal*, với các cấu trúc bất biến thang, một số khác lại tạo ra các trạng thái ổn định hay các trạng thái dao động. Nghiên cứu sự hình thành các hình mẫu đã trở thành một chuyên ngành của vật lý và của các khoa học về vật liệu, nó cho phép các nhà vật lý mô phỏng sự kết tập của các hạt thành đám, sự phóng điện theo các con đường zíc zắc, và sự tăng trưởng của các tinh thể nước đá hay các hợp kim. Mặc dù động lực học này có vẻ là cơ bản - các hình dạng thay đổi trong không gian và thời gian -, nhưng chỉ đến ngày nay người ta mới có các công cụ cần thiết để hiểu được nó. Và cũng chỉ ngày nay người ta mới dám hỏi nhà vật lý câu hỏi: “Tại sao tất cả các bông tuyết đều khác nhau?”.

Các tinh thể băng tạo thành trong sự chảy rối của không khí với sự kết hợp tuyệt vời giữa may rủi và đối xứng, một vẻ đẹp đặc biệt với tính bất định bậc sáu. Khi nước đóng băng, các tinh thể mọc ra các kim nhỏ; các kim này dài ra, đường biên của chúng trở nên không ổn định, rồi các kim mới lại được mọc ra từ bề mặt của chúng. Các bông tuyết tuân theo các định luật toán học tinh tế đến ngạc nhiên, và người ta không thể tiên đoán một cách chính xác tốc độ mọc của một kim, đường kính và số các phân nhánh của nó. Nhiều thế hệ các nhà khoa học đã vẽ và lập catalogue các hình mẫu khác nhau: các tấm nhỏ và các cột, các tinh thể và các đa tinh thể, các kim và các phân nhánh. Do thiếu một phương pháp tiếp cận tốt hơn, nên các sách chuyên luận đều coi việc nghiên cứu sự hình thành của tinh thể như là một việc phân loại.

Sự tăng trưởng của các kim, của các phân nhánh giờ đây được biết là bài toán biên tự do, không ổn định và rất phi tuyến, nghĩa là các mô hình phải theo sát một biên ngoằn ngoèo, phức tạp, khi nó thay đổi một cách động lực. Khi sự hóa rắn diễn ra từ ngoài vào trong, như trong một thùng nước đá to, đường biên này nhìn chung là ổn định và nhẵn, và vận tốc hóa rắn phụ thuộc vào khả năng thoát nhiệt của các thành. Nhưng khi một tinh thể hóa rắn ra phía ngoài từ một mầm ban đầu - như bông tuyết bắt các phân tử nước trong quá trình nó rơi trong không khí bão hòa hơi nước -, thì quá trình này lại trở nên bất ổn định. Một phần của biên nhô ra so với các phần bên cạnh của nó sẽ có ưu thế bắt được nhiều phân tử nước hơn và do đó sẽ to lên nhanh hơn - đó là “hiệu ứng cột thu lôi”. Rồi những nhánh mới được tạo thành, tiếp đến là các nhánh con.



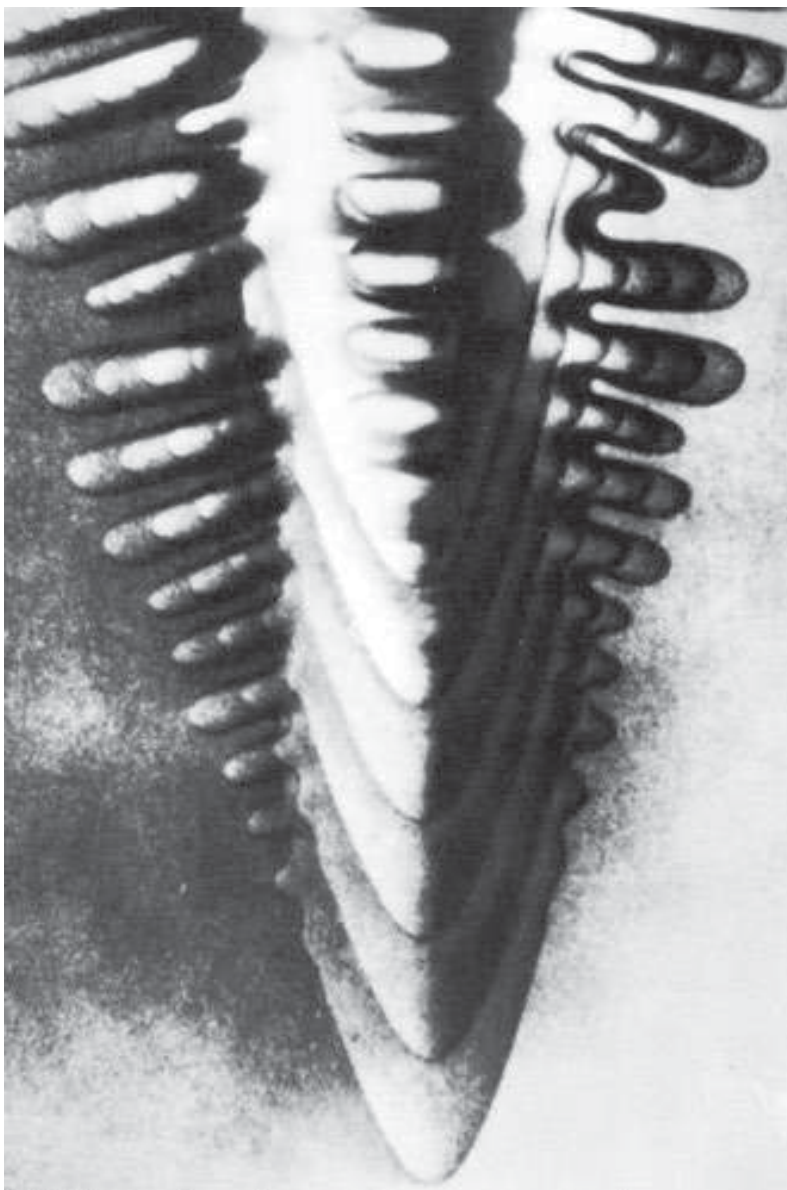
Oscar Kapp, hình nhỏ: Shoudon Liang

PHÂN NHÁNH VÀ HỢP DÍNH. Nghiên cứu sự hình thành các hình mẫu, được kích lệ bởi toán học *fractal*, đã thiết lập một sự xích gần giữa một số hình mẫu tự nhiên như đường đi ngoằn ngoèo giống như các tia chớp của sự phóng điện và sự kết tập, được mô phỏng trên máy tính, của các hạt chuyển động ngẫu nhiên (*hình nhỏ trong hình lớn*).

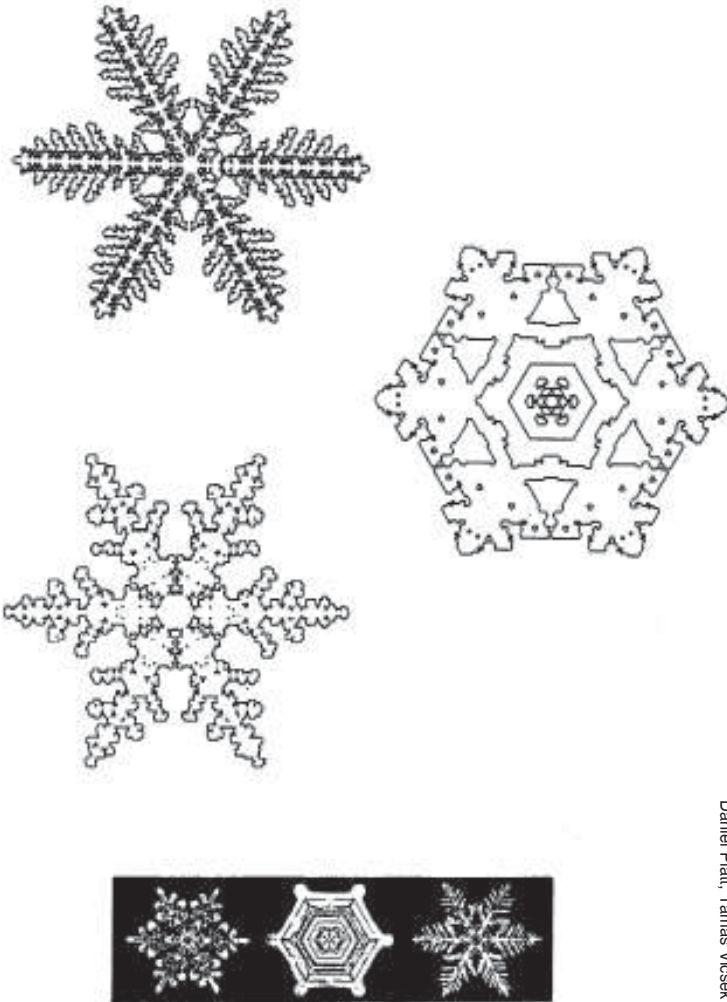
Một khó khăn là phải xác định được, trong số rất nhiều hiện tượng vật lý tham gia, những hiện tượng nào là thiết yếu và những hiện tượng nào mà ta có thể yên tâm bỏ qua. Hiện tượng quan trọng nhất, mà các nhà vật lý đã nhận ra từ lâu, đó là sự khuếch tán nhiệt được giải phóng trong quá trình đông băng. Nhưng chỉ riêng vật lý về sự khuếch tán nhiệt thôi thì không thể giải thích được đầy đủ những hình mẫu mà các nhà khoa học quan sát được khi họ nhìn các bông tuyết qua kính hiển vi hoặc khi họ nuôi chúng trong phòng thí nghiệm. Mới đây, các nhà khoa học đã tìm ra cách kết hợp thêm một quá trình khác: đó là sức căng bề mặt. Trái tim của mô hình mới về bông tuyết là cốt lõi của hỗn độ: một sự cân bằng tinh tế giữa các lực ổn định và các lực không ổn định; một sự tương tác mạnh mẽ giữa các lực ở thang nguyên tử và các lực ở các thang thông thường hàng ngày.

Ở những chỗ mà sự khuếch tán nhiệt có xu hướng tạo ra bất ổn định, thì sức căng bề mặt lại sinh ra ổn định. Tác dụng của sức căng bề mặt thường có xu hướng làm cho một chất thường có các biên trơn nhẵn như thành của một bong bóng xà phòng. Các bề mặt sần sùi đòi hỏi nhiều năng lượng hơn. Sự cân bằng giữa hai xu hướng này phụ thuộc vào kích thước của tinh thể. Trong khi sự khuếch tán nhiệt về cơ bản là một quá trình vĩ mô, ở thang lớn, thì sức căng bề mặt lại mạnh nhất ở các thang vi mô.

Thông thường, do tác dụng của sức căng bề mặt là nhỏ, nên các nhà nghiên cứu cho rằng, đối với các mục đích thực tiễn, họ có thể bỏ qua chúng. Nhưng thực tế lại không phải như vậy. Các thang nhỏ nhất lại tỏ ra rất quan trọng: các hiệu ứng bề mặt ở đó tỏ ra vô cùng nhạy cảm với cấu trúc phân tử của chất hóa



Martin Glicksman / Fereydoon Family



Daniel Platt, Tamás Vicsek

SỰ CÂN BẰNG GIỮA ỔN ĐỊNH VÀ BẤT ỔN ĐỊNH. Khi một chất lỏng kết tinh, nó tạo thành các kim lớn dần lên (như được thấy trên bức ảnh được lộ sáng nhiều lần) với đường biên không ổn định và có nhiều nhánh ngang mọc ra (*hình trái*). Sự mô phỏng trên máy tính các quá trình nhiệt động lực học tinh thể bất chước các bông tuyết thật (*hình trên*).

rắn. Trong trường hợp băng hay nước đá, chính đối xứng phân tử tự nhiên đã tạo sự ưu tiên cho sáu hướng tăng trưởng. Các nhà khoa học đã vô cùng ngạc nhiên khi phát hiện ra rằng sự hòa trộn của ổn định và bất ổn định đã dẫn tới khuếch đại sự ưu tiên ở cấp độ vi mô này, tạo ra hình dạng của dải băng ten, gần như hình *fractal*, làm nên các bông tuyết. Sự mô tả toán học này không phải là việc của các nhà khí tượng học, mà là của các nhà vật lý lý thuyết cùng với các nhà luyện kim, những người đã thấy ở đó mối quan tâm riêng của mình. Trong các kim loại, đối xứng phân tử là khác nhau và do đó các tinh thể đặc trưng cũng là khác nhau, điều này cho phép xác định độ bền của một hợp kim. Nhưng toán học ở đây lại là như nhau: những định luật về sự hình thành các hình mẫu là phổ quát.

Sự phụ thuộc nhạy cảm vào các điều kiện ban đầu không dùng để phá hủy mà để sáng tạo. Khi một bông tuyết đang hình thành rơi xuống đất nó thường trôi nổi trong gió khoảng một giờ, những lựa chọn của các kim phân nhánh, ở mọi thời điểm, phụ thuộc rõ rệt vào các yếu tố như nhiệt độ, độ ẩm, và sự hiện diện của các tạp chất trong khí quyển. Sáu kim của một bông tuyết, phân bố trong một không gian cỡ milimét, cảm nhận cùng một nhiệt độ và, bởi vì các định luật tăng trưởng là thuần túy tất định, nên chúng duy trì một đối xứng gần như hoàn hảo. Nhưng bản chất chảy rối của không khí đã làm cho hai bông tuyết bất kỳ nào đó sẽ phải đi theo các con đường rất khác nhau. Và khi rơi tới đất, bông tuyết đã ghi lại lịch sử của toàn bộ các yếu tố thời tiết luôn luôn thay đổi mà nó đã phải trải qua, mà tổ hợp của các yếu tố đó lại gần như là vô hạn.

Các bông tuyết là hiện tượng không cân bằng, các nhà vật lý thích nói như vậy. Chúng là sản phẩm của sự mất cân bằng

trong dòng năng lượng chảy từ mẫu này đến mẫu khác của tự nhiên. Dòng này đã biến một biên thành một kim, và một kim thành một mảng các nhánh, và mảng này thành một cấu trúc phức tạp chưa hề được thấy trước đó. Sau khi phát hiện ra rằng sự bất ổn định này tuân theo các định luật phổ quát của hỗn độn, các nhà khoa học đã áp dụng thành công các phương pháp chung cho một loạt các vấn đề vật lý và hóa học, và điều không tránh khỏi là họ đã ngờ rằng tiếp sau đó sẽ là sinh học. Khi nhìn các mô phỏng trên máy tính sự phát triển của các hình dạng ten, họ đã nghĩ trong đầu về tảo, về các thành tế bào, về các sinh vật đâm chồi và tự phân chia.

Ngày nay, rất nhiều hướng nghiên cứu đang được mở ra, từ các hạt vi mô cho tới sự phức tạp của cuộc sống hàng ngày. Trong vật lý toán, lý thuyết về sự phân nhánh của Feigenbaum và các đồng nghiệp của ông đã rất phát triển ở Mỹ và ở Châu Âu. Trong các lĩnh vực trừu tượng của vật lý lý thuyết, các nhà khoa học cũng đã khám phá ra nhiều vấn đề mới, chẳng hạn như vấn đề còn chưa ngã ngũ của hỗn độn lượng tử: cơ học lượng tử liệu có chấp nhận các hiện tượng hỗn độn của cơ học cổ điển hay không? Trong thủy động lực học, Libchaber đã chế tạo được cái khoang khổng lồ chứa heli lỏng, trong khi Pierre Hohenberg và Günter Ahlers nghiên cứu các sóng truyền có hình dạng kỳ lạ trong hiện tượng đối lưu. Trong thiên văn học, các chuyên gia về hỗn độn đã sử dụng các bất ổn định không ngờ về hấp dẫn để giải thích nguồn gốc của các thiên thạch - sự phóng đến tới tập đường như không sao giải thích nổi của các tiểu hành tinh từ rất xa bên ngoài Hệ Mặt trời. Các nhà khoa học đã sử dụng vật lý của các hệ động lực để nghiên cứu hệ miễn dịch của con người, với hàng tỉ các

hợp phần và các khả năng học, nhớ, và nhận dạng các hình mẫu của nó; đồng thời, họ cũng nghiên cứu sự tiến hóa, với hy vọng phát hiện ra những cơ chế phổ quát của sự thích nghi. Những người dựng nên các mô hình như thế đã nhanh chóng bắt gặp các cấu trúc tự sinh sản, cạnh tranh và tiến hóa theo chọn lọc tự nhiên.

“Tiến hóa là hỗn độn với hồi tiếp”, Joseph Ford nói. Vũ trụ là ngẫu nhiên cộng với sự tiêu tán, đúng thế. Nhưng ngẫu nhiên được định hướng có thể sinh ra sự phức tạp bất ngờ. Và, như Lorenz đã phát hiện ra từ lâu, sự tiêu tán là một tác nhân của trật tự.

“Chúa có chơi trò súc sắc với Vũ trụ”, đó là câu trả lời của Ford đối với câu hỏi nổi tiếng của Einstein. “Nhưng đó là con súc sắc gian lận. Và mục đích chính của vật lý ngày nay là phải phát hiện ra các con súc sắc này gian lận theo các quy luật nào và làm thế nào chúng ta có thể sử dụng chúng cho các mục đích riêng của chúng ta”.

CÁC Ý TƯỞNG NHƯ THẾ đã giúp cho sự nghiệp tập thể của khoa học tiến lên. Tuy nhiên, không một triết lý nào, không một bằng chứng nào, không một thí nghiệm nào là đủ để tác động đến từng nhà nghiên cứu riêng rẽ, những người mà đối với họ khoa học trước hết và luôn luôn phải cung cấp được một phương pháp làm việc. Trong một số phòng thí nghiệm, người ta đã được chứng kiến sự suy tàn của các phương pháp truyền thống. Khoa học bình thường, nói theo cách của Kuhn, đang trong cơn nguy kịch; một thiết bị không cho ra cái mà người ta kỳ vọng; “một nghề không còn có thể lẩn tránh được các dị thường nữa”. Nhưng đối với bất kỳ nhà khoa học nào,

các ý tưởng về hỗn độn chưa thể thắng thế chừng nào mà các phương pháp của nó còn chưa trở thành một tất yếu.

Mỗi lĩnh vực chuyên môn đều có những tấm gương riêng của nó. Trong sinh thái học, có William M. Schaffer, nghiên cứu sinh cuối cùng của Robert MacArthur, người đứng đầu chuyên ngành này trong những năm 1950 và 1960. MacArthur đã xây dựng một quan niệm về tự nhiên là nền móng vững chắc cho ý tưởng về *sự cân bằng tự nhiên*. Các mô hình của ông giả định rằng có tồn tại các trạng thái cân bằng và các quần thể thực vật và động vật ít khi rời xa trạng thái cân bằng đó. Theo MacArthur, sự cân bằng của tự nhiên có một tính chất mà ta có thể gọi là một phẩm chất đạo đức - những trạng thái cân bằng trong các mô hình của ông luôn kéo theo sự sử dụng các nguồn thức ăn một cách hiệu quả nhất với sự lãng phí là tối thiểu. Tự nhiên cứ để mặc nó sẽ là tốt.

Khoảng hai chục năm sau, người nghiên cứu sinh cuối cùng của MacArthur đã nhận ra rằng sinh thái học dựa trên khái niệm cân bằng sẽ dẫn đến thất bại. Các mô hình truyền thống bị phản bội bởi chính thiên hướng tuyến tính của chúng. Tự nhiên phức tạp hơn nhiều. Thay vì, Schaffer đã nhìn thấy hỗn độn, nó “vừa tạo phấn khích vừa hơi đe dọa”. Hỗn độn có thể làm nổ tung các giả thiết vững chắc nhất của sinh thái học, ông nói với các đồng nghiệp như vậy. “Trong sinh thái học, những cái xảy ra với các khái niệm cơ bản giống như màn sương mù trước cơn bão mà trong trường hợp ta đang nói tới là cơn bão phi tuyến”.

Schaffer đã sử dụng các nhân hút lạ để khám phá dịch tễ học của các loại bệnh ở trẻ nhỏ như sởi và thủy đậu. Ông đã tập trung các dữ liệu, ban đầu ở New York và Baltimore, rồi ở Aberdeen, Ailen, và trên toàn bộ nước Anh và Xứ Wales. Ông

đã xây dựng một mô hình động lực học giống như mô hình của một con lắc vừa tắt dần vừa được duy trì. Các căn bệnh này được duy trì mỗi năm bởi sự lây nhiễm giữa các học sinh khi trở lại trường, và bị tắt dần bởi sức đề kháng tự nhiên của trẻ. Mô hình của Schaffer đã tiên đoán được hành trạng khác nhau một cách lạ lùng giữa hai căn bệnh đó. Bệnh thủy đậu biến thiên một cách tuần hoàn. Trong khi đó, bệnh sởi lại biến thiên một cách hỗn độn. Và thực tế, dữ liệu đã cho thấy chính xác điều mà Schaffer tiên đoán. Đối với một nhà dịch tễ học truyền thống, sự biến thiên hằng năm của bệnh sởi có vẻ không giải thích được - vừa ngẫu nhiên vừa nhiều tạp. Nhờ các kỹ thuật tái dựng không gian pha, Schaffer đã chứng tỏ rằng bệnh sởi diễn ra theo một nhân hút lạ, có chiều *fractal* bằng khoảng 2,5.

Schaffer đã tính toán các số mũ Lyapunov và thực hiện các ánh xạ Pointcaré. “Chính xác hơn, Schaffer nói, nếu bạn nhìn các hình ảnh này, nó đập ngay vào mắt bạn khiến bạn phải thốt lên: ‘Trời ơi, đúng là nó đây rồi’”. Mặc dù nhân hút lạ là hỗn độn, nhưng do bản chất tắt định, mô hình vẫn có được một khả năng tiên đoán nhất định. Một sự lây nhiễm mạnh bệnh sởi ở một năm nào đó thì năm sau căn bệnh này sẽ suy giảm hẳn. Sau một năm lây nhiễm trung bình, thì mức độ sẽ chỉ thay đổi nhẹ. Còn một năm lây nhiễm thấp sẽ làm cho ta cực kỳ khó dự báo. Mô hình của Schaffer cũng tiên đoán được những hậu quả của sự làm tắt dần động lực học bởi các chiến dịch tiêm chủng rộng khắp - các hậu quả mà dịch tễ học cổ điển không thể dự đoán được.

Ở thang tập thể và thang cá nhân, các ý tưởng về hỗn độn phát triển theo cách khác nhau và vì những lý do khác nhau. Đối với Schaffer, cũng như đối với nhiều nhà nghiên cứu khác,

sự quá độ từ khoa học truyền thống sang hỗn độn đã diễn ra một cách thật bất ngờ. Ông chính là cái đích hoàn hảo đối với lời cầu xin Chúa cứu thế của Robert May vào năm 1975, mặc dù ông đã đọc bài báo của May nhưng đã vứt đi. Ông nghĩ rằng các ý tưởng toán học trong bài báo là phi hiện thực đối với các loại hệ mà một nhà sinh thái học thực hành muốn nghiên cứu. Trớ trêu là, ông đã biết quá nhiều về sinh thái học nên đã không đánh giá hết ý tưởng của May. Đây là các ánh xạ một chiều, vậy thì chúng có mối quan hệ gì với các hệ liên tục thay đổi, ông nghĩ. Một đồng nghiệp khi đó đã nói với ông: “Hãy đọc Lorenz đi”. Ông đã ghi lại tài liệu tham khảo đó trên một mẩu giấy và chẳng bao giờ tìm kiếm nó.

Nhiều năm sau, Schaffer sống trên một sa mạc bao quanh Tucson, bang Arizona, và đã sống nhiều mùa hè trên núi Santa Catalina, ở ngay phía Bắc, những ốc đảo cây lá kim nhiệt độ không quá nóng khi mà dưới sa mạc nóng như nung. Ở đó, vào tháng sáu và tháng bảy, trong các bụi cây, sau thời kỳ nở hoa mùa xuân và trước các trận mưa mùa hè, Schaffer và các sinh viên của mình quan sát ong và các loài hoa khác nhau. Mặc dù có những biến thiên hàng năm, hệ sinh thái này vẫn dễ nghiên cứu. Schaffer đếm số ong trên mỗi cuống hoa, đo lượng phấn bằng cách hút phấn từ trong hoa bằng ống hút, và phân tích các dữ liệu bằng toán học. Có một sự cạnh tranh giữa ong gấu và ong mật, giữa ong mật và ong thợ. Schaffer đã xây dựng được một mô hình có sức thuyết phục để giải thích sự thăng giáng về số lượng của quần thể này.

Năm 1980, ông đã phát hiện ra rằng một cái gì đó không ổn. Mô hình của ông không đúng nữa. Hóa ra ông đã quên một nhân vật then chốt: đó là loài kiến. Một vài đồng nghiệp

của ông thì ngờ là do các điều kiện khí hậu khác thường trong mùa đông năm trước; một số khác lại ngờ cho các điều kiện khí hậu khác thường trong mùa hè. Schaffer đã tính đến chuyện phức tạp hóa thêm mô hình bằng cách bổ sung các biến mới. Nhưng ông đã hết sức thất vọng. Rồi đám nghiên cứu sinh xì xào rằng sống cả mùa hè ở độ cao 1500 mét với Schaffer thật quá là vất vả. Nhưng rồi sau đó tất cả đã thay đổi.

Schaffer tình cờ đọc được bản trước khi in của một bài báo về hỗn độn hóa học trong một thí nghiệm khá phức tạp, và ông cảm thấy rằng các tác giả của bài báo cũng đã trải qua đúng vấn đề của ông: đó là sự không thể kiểm soát hàng chục sản phẩm thăng giáng của phản ứng trong ống nghiệm ăn khớp với sự không thể kiểm soát của hàng chục loài trong vùng núi của bang Arizona. Tuy nhiên, các nhà hóa học này đã thành công ở chính chỗ mà ông đã thất bại. Ông đã đọc những bài báo viết về sự tái dựng không gian pha. Và cuối cùng ông đã đọc Lorenz, Yorke và các tác giả khác. Trường Đại học Arizona đã tài trợ cho một loạt các bài giảng về chủ đề “Trật tự trong hỗn độn”. Harry Swinney đã tới và làm một bài thuyết trình về các thí nghiệm. Khi giải thích về hỗn độn hóa học, ông cho chiếu lên hình một nhân hút lẹ và nói “Đây là các dữ liệu thực”, và Schaffer đã cảm thấy lạnh ở sống lưng.

“Đột nhiên, tôi chợt nhận ra rằng đó chính là số phận của tôi”, ông nói. Ông sắp có một năm nghỉ dạy để nghiên cứu. Ông đã rút lại đơn xin tài trợ của Quỹ Khoa học Quốc gia để xin học bổng của Quỹ Guggenheim. Ông biết rằng, ở trên núi kia, các quần thể kiến biến thiên theo mùa. Những con ong đập diu bên các bông hoa và xông tới trong những tiếng vo ve động lực. Các đám mây vẫn lướt nhẹ trên bầu trời. Và ông biết rằng mình không thể làm việc theo cung cách cũ được nữa. ■

TỪ HIỆU ỨNG CON BUỐM ĐẾN LÝ THUYẾT HỖN ĐỘN

JAMES GLEICK

Phạm Văn Thiều - Ngô Vũ dịch

Chịu trách nhiệm xuất bản: NGUYỄN MINH NHỰT

Biên tập: HẢI VÂN

Bìa: BÙI NAM

Sửa bản in: THANH VIỆT

Trình bày: VŨ PHƯỢNG

NHÀ XUẤT BẢN TRẺ

Địa chỉ: 161B Lý Chính Thắng, Phường 7,

Quận 3, Thành phố Hồ Chí Minh

Điện thoại: (08) 39316289 - 39316211 - 39317849 - 38465596

Fax: (08) 38437450

E-mail: nxbtre@hcm.vnn.vn

Website: www.nxbtre.com.vn

CHI NHÁNH NHÀ XUẤT BẢN TRẺ TẠI HÀ NỘI

Địa chỉ: Phòng 602, số 209 Giảng Võ, Phường Cát Linh,

Quận Đống Đa, Thành phố Hà Nội

Điện thoại: (04) 37734544

Fax: (04) 35123395

E-mail: chinhanh@nxbtre.com.vn



JAMES GLEICK là nhà văn khoa học hàng đầu của Mỹ. Ông sinh năm 1954 tại New York. Năm 1976 ông tốt nghiệp Đại học Harvard và đảm nhiệm nhiều cương vị khác nhau ở báo New York Times cho tới khi ông nghỉ việc để viết cuốn sách mà bạn đang cầm trên tay, *Từ hiệu ứng con bướm đến lý thuyết hỗn độn* (1987) – thường gọi tắt là *Hỗn độn*. Cuốn sách ra đời ngay lập tức đã nổi tiếng, và được coi là đã làm thay đổi nhận thức của nhân loại, trở thành cuốn sách best-seller trên khắp thế giới, và đã được dịch ra 25 thứ tiếng. Nhờ cuốn

sách này, Gleick được ghi công là người đã phổ biến thuật ngữ “hiệu ứng con bướm” trong văn hóa đại chúng. Hỗn độn đã được vào vòng chung khảo của **Giải thưởng sách quốc gia**.

Sau khi trở lại làm việc cho tờ *Times*, với vai trò là phóng viên khoa học, ông đã tập trung trong hai năm để viết về những lĩnh vực kỳ bí của toán học và vật lý. Sau cái chết của nhà vật lý thiên tài Richard Feynman, ông lại rời báo *Times* một lần nữa để viết cuốn tiểu sử: *Thiên tài: cuộc sống và sự nghiệp khoa học của Richard Feynman* (1992). Năm 2003 Gleick còn cho ra đời một cuốn tiểu sử khác cũng rất có tiếng vang, đó là cuốn *Isaac Newton*. Cả cuốn *Thiên tài* và *Isaac Newton* đều đã được đưa vào danh sách xét **Giải Pulitzer**. Gleick sắp cho ra đời cuốn sách đang rất được mong đợi, đó là cuốn *Thông tin* viết về lịch sử công nghệ thông tin.