

Trong tương lai xa, tôi nhìn thấy nhiều lĩnh vực mở ngỏ cho những nghiên cứu quan trọng hơn nhiều. Tâm lý học sẽ được xây dựng trên một nền tảng mới: đó là việc mỗi năng lực và khả năng tinh thần đều được hình thành dần dần qua từng nấc tiến hóa. Ánh sáng sẽ được chiếu rọi vào nguồn gốc của con người và lịch sử loài người.

—Charles Darwin, 1859

Mục lục

Giải phẫu cơ bản não người	xiii
Dòng dõi tiến hóa của chúng ta	xiv
Giới thiệu	1
1: Thế giới trước khi bộ não xuất hiện	15
ĐỘT PHÁ SỐ 1: Điều khiển hướng và những động vật đối xứng hai bên đầu tiên	
2: Tốt và xấu ra đời	39
3: Nguồn gốc của cảm xúc	55
4: Liên tưởng, đoán trước và buổi đầu của học tập	71
ĐỘT PHÁ SỐ 2: Củng cố và những động vật có xương sống đầu tiên	
5: Bùng nổ ở kỉ Cambria	89
6: Tiến hóa của việc học chênh lệch theo thời gian	99
7: Các vấn đề về nhận biết mẫu hình	117
8: Vì sao sự sống tò mò?	137
9: Mô hình đầu tiên về thế giới	141
ĐỘT PHÁ SỐ 3: Mô phỏng và những loài thú đầu tiên	
10: Thời kì tăm tối của hệ thần kinh	151
11: Các mô hình sinh dữ liệu và bí ẩn của vỏ não mới	161
12: Lũ chuột trong Phòng Tưởng tượng	181
13: Học củng cố dựa trên mô hình	195
14: Bí mật của robot rửa bát đĩa	215

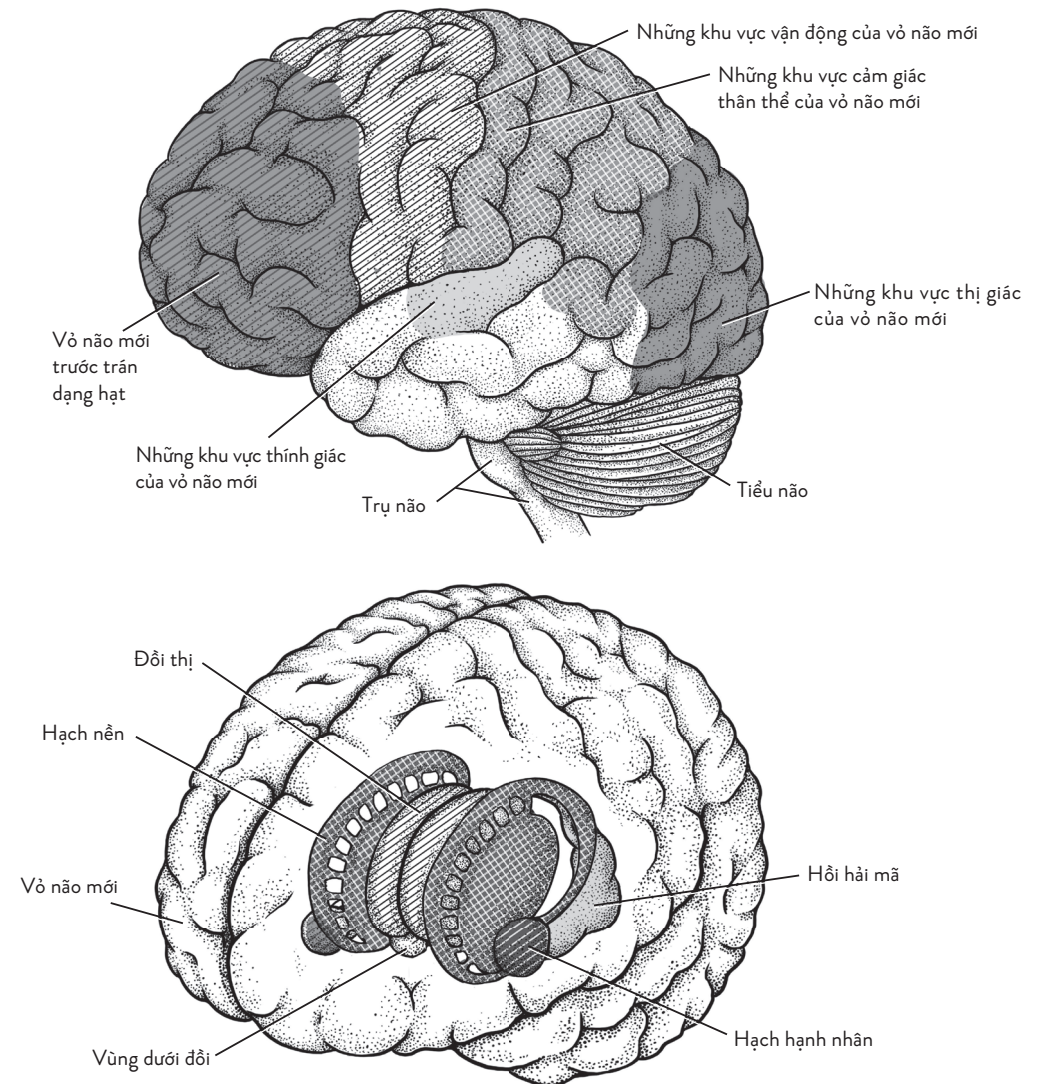
ĐỘT PHÁ SỐ 4: Đọc vị tâm trí và những động vật linh trưởng đầu tiên

15: Cuộc chạy đua vũ trang giành sự thành thạo chính trị	231
16: Lập mô hình tâm trí của kẻ khác như thế nào?	247
17: Khí dùng búa và xe ô tô tự lái	261
18: Tại sao chuột không thể đi mua thực phẩm	275

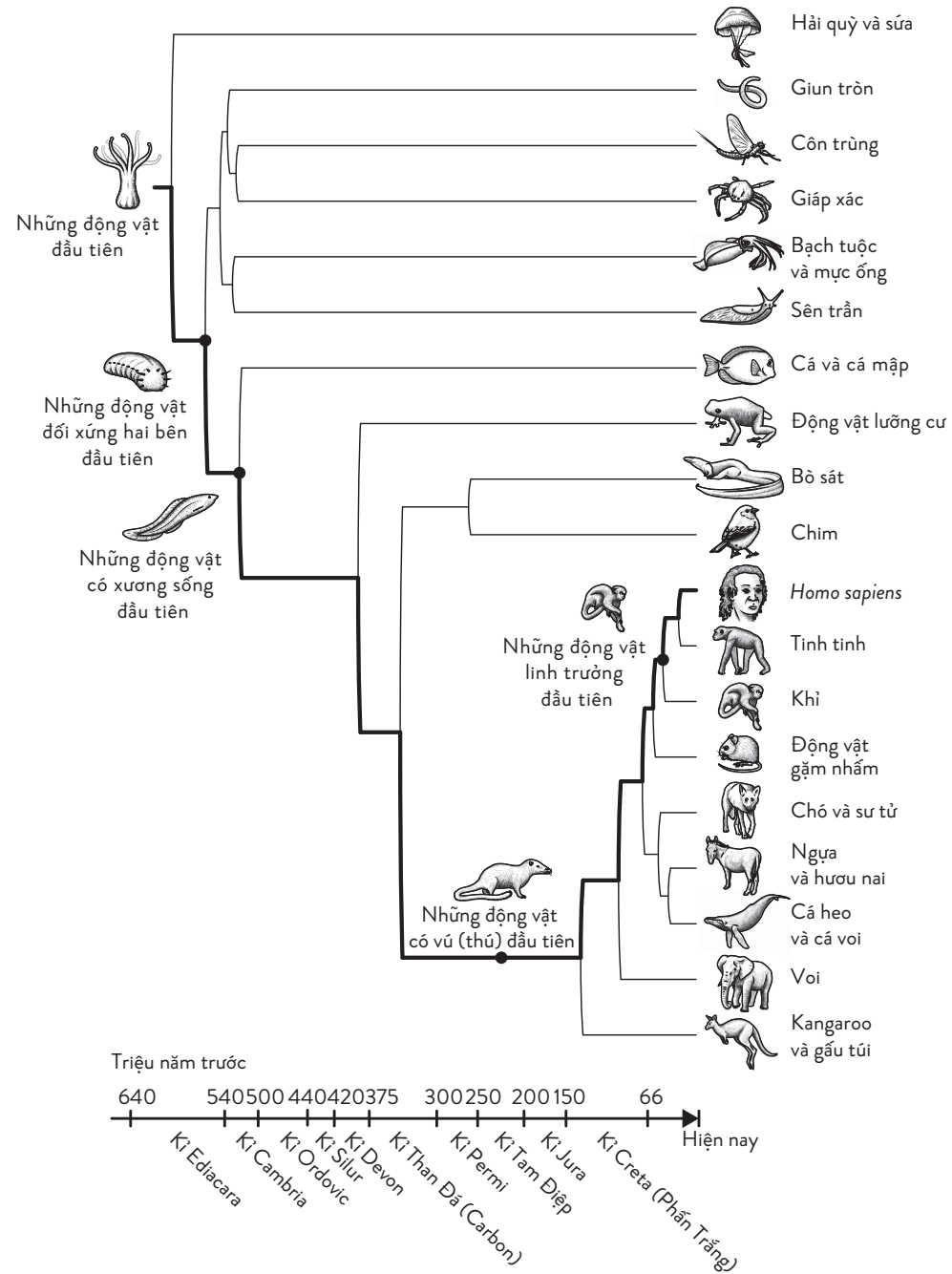
ĐỘT PHÁ SỐ 5: Nói và những con người đầu tiên

19: Đi tìm vị thế độc nhất vô nhị của con người	287
20: Ngôn ngữ trong não	303
21: Con bão hoàn hảo	315
22: ChatGPT và cửa sổ dẫn vào tâm trí	335
Hồi kết: Đột phá thứ sáu	349
Lời cảm ơn	355
Từ vựng	359
Ghi chú	363
Tài liệu tham khảo	399
Nguồn hình ảnh, ảnh chụp và hình minh họa	401
Chỉ mục	405

Giải phẫu cơ bản não người



Dòng dõi tiến hóa của chúng ta



Xin gửi lời cảm ơn đặc biệt đến Rebecca Gelernter vì đã tạo nên những tác phẩm nghệ thuật gốc tuyệt vời trong cuốn sách này; Rebecca là người thực hiện các hình minh họa mở đầu cho mỗi phần Đột phá và thiết kế phần lớn các sơ đồ minh họa. Cũng xin gửi lời cảm ơn đặc biệt đến Mesa Schumacher vì những hình vẽ giải phẫu đầy ấn tượng về bộ não người, cá mút đá (lamprey), khỉ và chuột dành cho cuốn sách này.

Giới thiệu

VÀO THÁNG 9 NĂM 1962, giữa bối cảnh xáo động toàn cầu của cuộc chạy đua vũ trụ, cuộc khủng hoảng tên lửa Cuba và vắc-xin bại liệt mới được nâng cấp trước đó không lâu, có một cột mốc khác ít được chú ý hơn – nhưng có lẽ cũng quan trọng không kém – trong lịch sử nhân loại: Đó là vào mùa thu năm 1962, khi chúng ta dự đoán tương lai.

Xuất hiện trên những màn hình màu mới mẻ của truyền hình Mĩ là *Gia đình Jetson* (*The Jetsons*), một bộ phim hoạt hình về một gia đình sống trong tương lai, cách thời điểm lúc đó một trăm năm. Dưới hình thức một chương trình hài kịch gia đình, bộ phim thực chất là một lời tiên đoán về cách con người trong tương lai sẽ sống, về những công nghệ sẽ nằm trong túi quần hay trang trí ngôi nhà của họ.

Gia đình Jetson đã dự đoán chính xác sự ra đời của các cuộc gọi video, ti vi màn hình phẳng, điện thoại di động, công nghệ in 3D và đồng hồ thông minh – tất cả đều là những công nghệ không tưởng vào năm 1962, nhưng lại rất phổ biến vào năm 2022. Tuy nhiên, có một công nghệ mà chúng ta hoàn toàn chưa tạo ra được, một thành tựu tương lai vẫn chưa thành hiện thực: đó là robot tự động có tên Rosey.

Rosey là người chăm sóc cho gia đình Jetson, trông nom tụi nhỏ và quán xuyến công việc nhà. Khi Elroy – lúc đó mới sáu tuổi – gặp khó khăn ở trường, chính Rosey đã giúp cậu làm bài tập. Khi Judy, cô con gái mười lăm tuổi cần học lái xe, Rosey là người dạy cô. Rosey nấu ăn, bày bàn ăn và rửa bát đĩa. Cô trung thành, nhạy cảm và luôn nhanh trí pha trò. Cô nhận ra những mâu thuẫn và hiểu lầm đang nhen nhóm trong gia đình, rồi can thiệp để giúp các thành viên hiểu được quan điểm của nhau. Có lúc, cô đã xúc động đến rơi nước mắt vì một bài thơ mà Elroy viết tặng mẹ. Thậm chí, trong một tập phim, Rosey còn biết yêu.

Nói cách khác, Rosey có trí thông minh như con người. Không chỉ là khả năng lập luận, tư duy theo lẽ thường và kĩ năng vận động cần thiết để thực hiện các nhiệm vụ phức tạp trong thế giới vật chất, mà còn là sự đồng cảm, khả năng đặt mình vào vị trí người khác, và sự tinh tế trong giao tiếp xã hội cần có để thích nghi thành công

trong thế giới xã hội của con người. Theo lời Jane Jetson, Rosey hết như “một thành viên trong gia đình”.

Dù bộ phim đã dự đoán đúng về điện thoại di động và đồng hồ thông minh, chúng ta vẫn chưa có thứ gì giống như Rosey. Tính đến thời điểm cuốn sách này được in ra, ngay cả những hành vi cơ bản nhất của Rosey vẫn nằm ngoài tầm với. Ai cũng biết rằng công ty đầu tiên chế tạo được một con robot chỉ cần biết *xếp bát đĩa vào máy rửa bát* thì sẽ ngay lập tức có một sản phẩm bán chạy nhất. Nhưng mọi nỗ lực làm điều đó đều thất bại. Vấn đề không nằm ở khía cạnh *cơ khí*; nó là vấn đề *trí khôn* – khả năng nhận diện đồ vật trong bồn rửa, cảm chúng lên một cách phù hợp, và sắp xếp chúng mà không làm vỡ cái nào hóa ra lại khó hơn nhiều so với tưởng tượng ban đầu.

Dĩ nhiên, dù chưa có Rosey, tiến bộ trong lĩnh vực trí tuệ nhân tạo (artificial intelligent – AI) từ năm 1962 đến nay là rất đáng kinh ngạc. AI giờ đây có thể đánh bại người giỏi nhất trên thế giới trong nhiều trò chơi đòi hỏi kỹ năng, bao gồm cờ vua và cờ vây. AI cũng có thể nhận diện khối u trên hình ảnh X quang không thua kém các bác sĩ X quang thật. Hơn thế nữa, AI còn đang ở ngưỡng biết tự động lái xe. Và trong vài năm gần đây, những tiến bộ trong các mô hình ngôn ngữ lớn đã tạo ra các sản phẩm như ChatGPT, ra mắt vào mùa thu năm 2022, có khả năng sáng tác thơ, dịch ngôn ngữ theo yêu cầu và thậm chí viết mã (code). Điều làm đầu đầu các giáo viên trung học trên toàn thế giới là ChatGPT có thể ngay lập tức viết một bài luận cực kỳ hay và độc đáo về hầu hết mọi chủ đề mà một học sinh táo bạo yêu cầu. ChatGPT thậm chí có thể vượt qua kì thi luật sư, đạt điểm cao hơn 90% các luật sư thực tế.

Qua một dãy dài những thành tựu của AI này, điều khó nhất vẫn luôn là xác định chúng còn cách trí tuệ ngang tầm con người bao xa. Sau những thành công ban đầu của các thuật toán giải quyết vấn đề vào những năm 1960, nhà tiên phong về AI Marvin Minsky từng có tuyên bố nổi đình đám rằng “chỉ từ ba đến tám năm nữa, chúng ta sẽ có một cỗ máy với trí thông minh tổng quát của một con người trung bình”. Điều đó đã không xảy ra. Sau những thành công của các hệ thống chuyên gia vào những năm 1980, tạp chí *BusinessWeek* tuyên bố rằng “AI: nó đã ở đây.” Sau đó ít lâu, các tiến bộ chững lại. Và giờ đây, với những tiến bộ của các mô hình ngôn ngữ lớn, nhiều nhà nghiên cứu lại tuyên bố rằng “cuộc chơi đã kết thúc” vì chúng ta “sắp đạt được AI cấp độ con người”. Vậy đâu mới là sự thật: chúng ta đang ở ngưỡng cửa tạo ra trí thông minh nhân tạo giống con người như Rosey, hay các mô hình ngôn ngữ lớn như ChatGPT chỉ là một thành tựu gần đây nhất trên chặng đường lâu dài sẽ tiếp tục trong hàng thập kỉ tới?

Trên hành trình này, khi AI ngày càng thông minh hơn, việc đo lường mức độ tiến gần đến mục tiêu ấy cũng trở nên ngày càng khó khăn. Nếu một hệ thống AI

vượt trội hơn con người trong một nhiệm vụ, liệu điều đó có nghĩa là hệ thống ấy đã nắm bắt được cách con người giải quyết nhiệm vụ đó? Liệu một chiếc máy tính cầm tay – có thể thực hiện các phép tính nhanh hơn con người – có thực sự “hiểu” toán học? Liệu ChatGPT – đạt điểm cao hơn hầu hết các luật sư trong kì thi luật – có thực sự hiểu luật? Làm thế nào để chúng ta phân biệt được sự khác biệt này, và trong hoàn cảnh nào, nếu có, sự khác biệt đó mới thực sự quan trọng?

Năm 2021, hơn một năm trước khi ChatGPT – chatbot (trợ lí ảo trò chuyện) hiện đang lan nhanh đến mọi ngóc ngách của xã hội – ra mắt, tôi đã sử dụng tiền thân của nó, một mô hình ngôn ngữ lớn có tên GPT-3. GPT-3 được huấn luyện trên một lượng lớn văn bản (rất lớn, đến mức bao gồm gần như *toàn bộ Internet*), sau đó sử dụng kho dữ liệu này để cố gắng tìm ra mẫu phản ứng phù hợp nhất cho một câu hỏi. Khi được hỏi: “Hai lí do khiến một con chó cáu bẳn là gì?”, nó đã trả lời: “Hai lí do khiến một con chó cáu bẳn là nó đói hoặc nó bị nóng.” Có điều gì đó trong kiến trúc mới của các hệ thống này đã giúp chúng trả lời các câu hỏi với mức độ thông minh mà có vẻ như ít nhất cũng rất đáng kinh ngạc. Các mô hình này có thể khái quát hóa các sự thật chúng đã đọc (như các trang Wikipedia về chó và các trang khác về nguyên nhân gây cáu bẳn ở chó) để trả lời những câu hỏi mới mà chúng chưa từng gặp trước đây. Năm 2021, tôi đã khám phá các ứng dụng tiềm năng của các mô hình ngôn ngữ mới này – liệu chúng có thể được sử dụng để cung cấp các hệ thống hỗ trợ sức khỏe tinh thần mới, mang lại dịch vụ khách hàng liền mạch hơn, hay khả năng tiếp cận thông tin y tế một cách bình đẳng hơn?

Càng tương tác với GPT-3, tôi càng bị cả những thành công lẫn sai lầm của nó mê hoặc. Ở một số khía cạnh, nó thật xuất sắc; ở những khía cạnh khác, nó lại ngờ ngẩn một cách kì lạ. Nếu để nghị GPT-3 viết một bài luận về việc trồng khoai tây ở thế kỉ 18 và mối liên hệ của việc đó với toàn cầu hóa, bạn sẽ nhận được một bài luận mạch lạc đến kinh ngạc. Nhưng nếu hỏi nó một câu hỏi thông thường rằng một người có thể nhìn thấy những gì trong tầng hầm thì nó trả lời rất vô lí.⁽¹⁾ Tại sao GPT-3 có thể trả lời đúng một số câu hỏi nhưng các câu khác thì không? Những đặc điểm nào của trí thông minh con người mà nó nắm bắt được, và đặc điểm nào còn thiếu? Và tại sao, khi sự phát triển của AI tiếp tục tăng tốc, một số câu hỏi khó

¹ Tôi đã yêu cầu GPT-3 hoàn thành câu sau: “Tôi đang ở trong tầng hầm không có cửa sổ, và tôi nhìn lên bầu trời, thế là tôi thấy . . .” GPT-3 trả lời: “một tia sáng, và tôi biết đó là một ngôi sao, và tôi cảm thấy hạnh phúc.” Thực tế, nếu nhìn lên phía trên trong tầng hầm, bạn sẽ không thấy sao mà thấy trần hầm. Các mô hình ngôn ngữ mới hơn như GPT-4, ra mắt năm 2023, có thể trả lời các câu hỏi dạng trí khôn thông thường như thế này chính xác hơn. Đọc tiếp chương 22. (TG). *Lưu ý: những chú thích có ghi TG là của tác giả, có ghi ND là của người dịch.*

trả lời vào một năm trước lại trở nên dễ dàng vào những năm sau đó? Thật vậy, tính đến thời điểm cuốn sách này chuẩn bị được in, phiên bản nâng cấp mới của GPT-3, gọi là GPT-4, ra mắt đầu năm 2023, đã có thể trả lời đúng nhiều câu hỏi từng làm khó GPT-3. Tuy nhiên, như chúng ta sẽ thấy trong cuốn sách này, GPT-4 vẫn chưa nắm bắt được những đặc điểm cốt lõi của trí tuệ con người – những điều đang thực sự diễn ra trong bộ não của chúng ta.

Quả thật, những khác biệt giữa trí tuệ nhân tạo và trí tuệ con người là rất khó hiểu. Tại sao AI có thể đánh bại bất kỳ con người nào trên Trái Đất trong một ván cờ vua, nhưng lại không thể xếp bát đĩa vào máy rửa bát giỏi hơn một đứa trẻ sáu tuổi?

Chúng ta chật vật khi trả lời những câu hỏi này vì vẫn chưa hiểu rõ điều mà ta đang cố gắng tái tạo. Tất cả những câu hỏi này, về bản chất, không phải là câu hỏi về AI, mà là về bản chất của trí thông minh con người – cách nó hoạt động, lí do nó hoạt động như vậy, và quan trọng nhất, như chúng ta sẽ sớm thấy, nó đã hình thành như thế nào.

Gợi ý từ tự nhiên

Khi muốn hiểu về cách bay, nhân loại lấy cảm hứng đầu tiên từ loài chim; khi George de Mestral phát minh ra khóa dán Velcro, ông đã lấy ý tưởng từ quả cây ngứa bàng; khi Benjamin Franklin khám phá điện, những ánh lóe hiểu biết đầu tiên của ông đến từ sấm chớp. Trong suốt lịch sử đổi mới của con người, tự nhiên luôn là chiếc kim chỉ nam kì diệu.

Tự nhiên cũng mang đến cho chúng ta những manh mối về cách trí tuệ hoạt động – một nguồn tham khảo rõ ràng nhất, dĩ nhiên, là bộ não con người. Nhưng ở khía cạnh này, AI không giống như các sáng tạo công nghệ khác; bộ não rõ ràng là khó nắm bắt và giải mã hơn nhiều so với cánh chim hay sấm chớp. Các nhà khoa học đã nghiên cứu cách bộ não hoạt động qua hàng thiên niên kỉ, và mặc dù chúng ta đã đạt được nhiều tiến bộ, những câu trả lời thỏa đáng vẫn chưa xuất hiện.

Vấn đề nằm ở sự phức tạp.

Bộ não con người chứa 86 tỉ nơron (tế bào thần kinh) và hơn 100 nghìn tỉ kết nối. Mỗi kết nối nhỏ đến mức chiều rộng chỉ chưa đầy 30 nanomet – ngay cả những kính hiển vi mạnh nhất cũng khó nhìn thấy rõ. Những kết nối này tập hợp lại trong một mớ nùi rối – chỉ trong một milimet khối (độ rộng của một *chữ cái* in trên đồng penny) đã có hơn *một tỉ* kết nối.

Tuy nhiên, số lượng kết nối khổng lồ chỉ là một khía cạnh của sự phức tạp ở não bộ; ngay cả khi chúng ta lập bản đồ toàn bộ “hệ thống dây dẫn” của từng nơron, điều đó vẫn còn cách rất xa so với việc hiểu được cách thức bộ não hoạt động. Khác với các

kết nối điện trong máy tính, nơi tất cả các dây dẫn liên lạc với nhau bằng cùng một tín hiệu là các hạt electron – giữa các kết nối thần kinh này, hàng trăm loại hóa chất khác nhau được truyền qua, mỗi loại có tác dụng hoàn toàn khác biệt. Việc hai nơron kết nối với nhau tự nó chẳng nói lên được gì nhiều về nội dung mà chúng truyền đạt cho nhau. Tồi tệ hơn, bản thân các kết nối này liên tục thay đổi, với một số nơron mọc nhánh và hình thành những kết nối mới, trong khi những nơron khác co lại và loại bỏ các kết nối cũ. Xét gộp lại, việc này khiến kĩ thuật đảo ngược (reverse engineering) nhằm sao chép cách bộ não vận hành trở thành một nhiệm vụ cực kì khó khăn.

Nghiên cứu bộ não vừa đầy cám dỗ vừa dễ nản chí. Cách vài centimet đằng sau đôi mắt của bạn là kì quan đáng kinh ngạc nhất của vũ trụ. Nó chứa đựng những bí mật về bản chất trí khôn, về việc xây dựng trí thông minh nhân tạo giống con người, về lí do tại sao con người lại suy nghĩ và hành xử như cách chúng ta vẫn làm. Nó ở ngay chỗ đó, được tái tạo hàng triệu lần hàng năm với mỗi đứa trẻ mới sinh ra. Chúng ta có thể chạm vào nó, cảm nó, mổ xẻ nó, và bản thân chúng ta *được cấu tạo từ nó*, nhưng các bí mật của nó vẫn nằm ngoài tầm với, ẩn giấu ngay trước mắt chúng ta.

Nếu muốn tái tạo cách bộ não hoạt động bằng kĩ thuật đảo ngược, nếu muốn tạo dựng Rosey, nếu muốn khám phá bản chất ẩn giấu của trí tuệ con người, thì có lẽ bộ não con người không phải là manh mối tốt nhất của tự nhiên. Mặc dù nơi đầu tiên mà trực giác mách bảo cần xem xét để tìm hiểu về bộ não con người, đương nhiên, là bên trong chính bộ não, nhưng nghịch lí thay, đây có thể là nơi *cuối cùng* nên xem xét. Điểm khởi đầu tốt nhất có thể nằm ở những hóa thạch bụi bặm sâu trong lớp vỏ Trái Đất, trong các gen hiển vi ẩn mình trong các tế bào của khắp giới động vật, và trong bộ não của nhiều loài động vật *khác* trên hành tinh chúng ta.

Nói cách khác, câu trả lời có lẽ không nằm ở hiện tại, mà ở những tàn tích ẩn giấu từ một quá khứ đã xa.

Bảo tàng còn thiếu về bộ não

Tôi luôn tin rằng cách duy nhất để làm cho trí tuệ nhân tạo vận hành hiệu quả là thực hiện tính toán theo cách giống như bộ não con người.

— GEOFFREY HINTON (GIÁO SƯ TẠI ĐẠI HỌC TORONTO,
ĐƯỢC COI LÀ MỘT TRONG NHỮNG “CHA ĐÈ” CỦA AI)

Con người phóng tàu vũ trụ, chia tách nguyên tử và chỉnh sửa gen. Không một loài động vật nào khác từng sáng chế ra bất cứ thứ gì, cho dù là bánh xe.

Với bảng thành tích phát minh vượt trội của nhân loại, bạn có thể nghĩ rằng chúng ta chẳng còn gì để học từ bộ não của các loài động vật khác. Bạn có thể nghĩ rằng bộ não con người hoàn toàn là độc nhất vô nhị và khác hẳn bộ não của các loài động vật khác, rằng một cấu trúc não đặc biệt nào đó là bí mật cho sự thông minh của chúng ta. Nhưng điều đó không đúng với những gì chúng ta quan sát được.

Điều ngạc nhiên nhất khi xem xét bộ não của các loài động vật khác là chúng vô cùng *giống* bộ não của chúng ta. Hầu như chẳng có gì khác biệt giữa bộ não của người và bộ não của một con tinh tinh, ngoại trừ kích thước. Sự khác biệt giữa bộ não của chúng ta và của một con chuột chỉ là một vài tiểu tiết. Bộ não của một con cá gần như có cùng cấu tạo với bộ não người.

Những điểm tương đồng trong bộ não ở khắp giới động vật chứa đựng một điều rất quan trọng. Chúng là những manh mối. Những manh mối về bản chất của trí khôn, về chính chúng ta và về quá khứ của ta.

Mặc dù ngày nay bộ não rất phức tạp, nhưng không phải lúc nào nó cũng như vậy. Bộ não xuất hiện từ quá trình tiến hóa hỗn loạn, không có suy tính; những biến đổi ngẫu nhiên nhỏ bé trong các đặc tính được chọn lọc hoặc loại bỏ, tùy thuộc vào việc chúng có giúp ích cho sự sinh sản của loài hay không.

Trong tiến hóa, các hệ thống ban đầu đều đơn giản, và sự phức tạp chỉ xuất hiện theo thời gian⁽¹⁾. Bộ não đầu tiên – tập hợp các nơron đầu tiên trong đầu của một loài động vật – xuất hiện cách đây 600 triệu năm ở một con giun chỉ to bằng hạt gạo. Loài giun này là tổ tiên của tất cả các loài động vật hiện đại được phú cho bộ não. Qua hàng trăm triệu năm tiến hóa, thông qua hàng nghìn tỉ thay đổi nhỏ trong cách kết nối, bộ não đơn giản của nó đã biến đổi thành danh mục đa dạng của các bộ não hiện đại. Một nhánh trong dòng giống hậu duệ của loài giun cổ đại này đã dẫn đến bộ não trong đầu chúng ta ngày nay.

Giá như chúng ta có thể quay ngược thời gian và nghiên cứu bộ não đầu tiên này để hiểu nó vận hành ra sao và đã tạo ra những cơ chế tinh vi nào. Giá mà ta có thể lần theo quá trình phức tạp hóa ấy trong chuỗi tiến hóa dẫn đến bộ não con người, quan sát từng biến đổi về mặt vật lý và những năng lực trí tuệ mà mỗi thay đổi đó mang lại. Nếu làm được điều đó, chúng ta có thể hiểu được sự phức tạp đã dần xuất hiện như thế nào. Thật vậy, nhà sinh học Theodosius Dobzhansky từng có câu nói nổi tiếng: “Không có gì trong sinh học có ý nghĩa trừ khi được soi chiếu dưới ánh sáng của tiến hóa.”

¹ Mặc dù các hệ thống không *nhất thiết* phải trở nên phức tạp hơn, nhưng khả năng trở nên phức tạp tăng lên theo thời gian (TG).

Ngay cả Darwin cũng từng mơ mộng về việc tái dựng câu chuyện này. Ông kết thúc cuốn *Nguồn gốc các loài* bằng việc tưởng tượng về một tương lai khi “tâm lý học sẽ được xây dựng trên một nền tảng mới: đó là việc mỗi năng lực và khả năng tinh thần đều được hình thành dần dần qua từng nấc tiến hóa.” Một trăm năm mươi năm sau Darwin, điều này cuối cùng có thể trở thành hiện thực.

Mặc dù không có cỗ máy thời gian, về nguyên tắc chúng ta có thể thực hiện “du hành trong thời gian”. Chỉ trong thập kỉ vừa qua, các nhà khoa học thần kinh⁽¹⁾ tiến hóa đã đạt được tiến bộ khó tin trong việc tái tạo bộ não của tổ tiên chúng ta. Một cách họ thực hiện điều này là thông qua các hóa thạch – các nhà khoa học có thể sử dụng hộp sọ hóa thạch của các sinh vật cổ đại để tái dựng cấu trúc bộ não của chúng bằng kĩ thuật đảo ngược. Một cách khác để tái dựng bộ não của tổ tiên là nghiên cứu bộ não của các loài động vật khác trong giới động vật.

Lí do bộ não ở khắp giới động vật lại giống nhau là vì chúng đều bắt nguồn từ tổ tiên chung. Mỗi bộ não trong giới động vật là một manh mối nho nhỏ cho thấy bộ não của tổ tiên chúng ta trông như thế nào; mỗi bộ não không chỉ là một cỗ máy mà còn là một cái kén thời gian chứa đầy những gợi ý về hàng nghìn tỉ khối óc đã tồn tại trước đó. Và bằng cách nghiên cứu những năng lực trí khôn mà các loài động vật này có chung hoặc không có, chúng ta không chỉ có thể tái dựng bộ não của tổ tiên mình mà còn xác định được những năng lực trí khôn mà những bộ não cổ xưa ấy đã trao cho họ. Từ đó, ta có thể bắt đầu lần theo quá trình hình thành từng năng lực tinh thần qua từng nấc tiến hóa.

Tất nhiên, quá trình nghiên cứu vẫn đang tiếp diễn, nhưng câu chuyện đang dần trở nên rõ ràng một cách hấp dẫn.

Huyền thoại về các lớp não

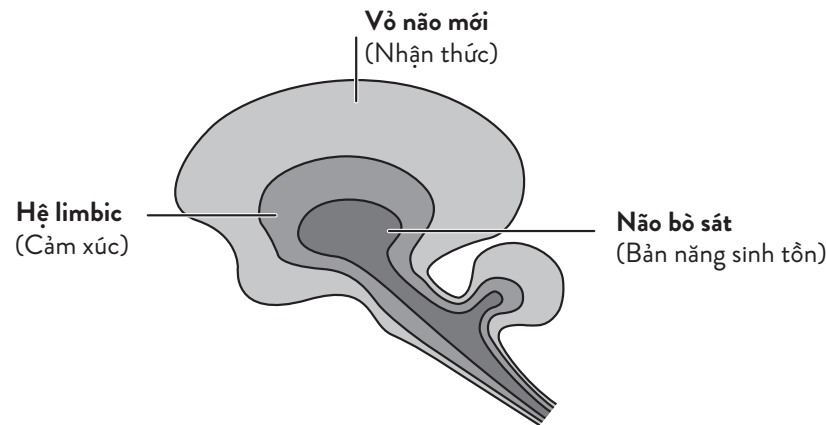
Tôi không phải là người đầu tiên đề xuất một khuôn khổ tiến hóa để hiểu về bộ não con người. Có một truyền thống lâu đời về các khuôn khổ như vậy. Nổi tiếng nhất là lí thuyết được nhà khoa học thần kinh Paul MacLean đưa ra vào những năm 1960. MacLean nêu giả thuyết rằng bộ não con người được cấu thành từ ba lớp (do đó được gọi là *một thể ba lớp*), mỗi lớp xây dựng trên lớp có trước: *vỏ não mới* (neocortex)

¹ Cần phân biệt khoa học thần kinh (neuroscience) với thần kinh học (neurology). Khoa học thần kinh là ngành nghiên cứu cấu tạo và chức năng của hệ thần kinh (chủ yếu là não), trước đây được coi là một chuyên ngành của sinh học, nên từng gọi là sinh học thần kinh (neurobiology), nhưng bây giờ được xem là khoa học liên ngành. Còn thần kinh học hay khoa thần kinh là một chuyên ngành của y học, nghiên cứu chức năng, rối loạn hay bệnh tật của hệ thần kinh nhằm chữa trị chúng (ND).

tiến hóa gần đây nhất nằm trên *hệ limbic* (hệ viền) tiến hóa sớm hơn, và hệ này lại ở trên *não bò sát*, là lớp tiến hóa đầu tiên.

MacLean cho rằng não bò sát là trung tâm của các bản năng sinh tồn cơ bản của chúng ta, chẳng hạn như tính hung hăng và tính sở hữu lãnh thổ. Hệ limbic được cho là trung tâm của cảm xúc, chẳng hạn như sợ hãi, sự gắn bó với cha mẹ, ham muốn tình dục và cảm giác đói. Trong khi đó, vỏ não mới được cho là trung tâm của nhận thức, mang lại cho chúng ta ngôn ngữ, khả năng trừu tượng hóa, lập kế hoạch và nhận thức. Theo khuôn khổ của MacLean, loài bò sát *chỉ* có não bò sát, các loài động vật có vú (thú) như chuột và thỏ có cả não bò sát *lẫn* hệ limbic, còn con người có cả ba hệ. Thật vậy, theo ông, “ba hình thái tiến hóa này có thể được hình dung như ba máy tính sinh học kết nối với nhau, mỗi cái có trí thông minh đặc trưng, có chủ thể riêng, cảm giác thời gian và không gian riêng, cùng bộ nhớ, chức năng vận động và các chức năng khác.”

Vấn đề là giả thuyết não một thể ba lớp (triune brain) của MacLean đã bị bác bỏ phần lớn – không phải vì nó không chính xác (tất cả các khuôn khổ đều có phần không chính xác), mà vì nó dẫn đến những kết luận sai lầm về cách bộ não tiến hóa và cách nó hoạt động. Cấu trúc giải phẫu não được ngụ ý ở đây là sai lệch; não của các loài bò sát không chỉ bao gồm những cấu trúc mà MacLean gọi là “não bò sát”, mà cũng có phiên bản hệ limbic của chúng.



Hình 1: Não một thể ba lớp của MacLean

Các phân chia chức năng cũng không chính xác; *bản năng sinh tồn, cảm xúc* và *nhận thức* không được phân chia ranh giới rõ ràng – chúng thực chất xuất phát từ các mạng lưới hệ thống đa dạng trải rộng khắp cả ba lớp được cho là riêng biệt đó. Và câu chuyện tiến hóa được ngụ ý phía sau giả thuyết này hóa ra cũng sai. Bạn không có não bò sát trong đầu; tiến hóa không hoạt động bằng cách đơn giản là xếp một hệ thống lên trên một hệ thống khác, mà không có bất kì sự thay đổi nào đối với các hệ thống hiện có.

Nhưng ngay cả khi giả thuyết não một thể ba lớp của MacLean có gần đúng với sự thật chẳng nữa, vấn đề lớn nhất của nó là việc phân chia chức năng như vậy không thực sự hữu ích cho mục đích của chúng ta. Nếu mục tiêu là áp dụng kỹ thuật đảo ngược vào bộ não người để hiểu bản chất của trí khôn, thì ba hệ thống của MacLean quá rộng và các chức năng được gán cho chúng quá mơ hồ, không thể cung cấp cho chúng ta một điểm xuất phát.

Chúng ta cần đặt nền tảng cho việc hiểu cách bộ não vận hành và tiến hóa dựa trên hiểu biết về cách trí tuệ vận hành – và điều này buộc chúng ta phải nghiên cứu lĩnh vực trí tuệ nhân tạo. Mối quan hệ giữa AI và bộ não là hai chiều; trong khi bộ não chắc chắn có thể dạy chúng ta nhiều điều về cách tạo ra trí thông minh giống con người, AI cũng có thể dạy chúng ta về bộ não. Nếu ta cho rằng một phần nào đó của bộ não sử dụng một thuật toán cụ thể, nhưng khi áp dụng thuật toán ấy vào máy móc lại không hiệu quả, thì điều đó chính là bằng chứng cho thấy bộ não có thể không vận hành theo cách đó. Ngược lại, nếu ta phát hiện một thuật toán hoạt động hiệu quả trong các hệ thống AI và nhận thấy sự tương đồng giữa đặc điểm của thuật toán đó với các đặc điểm trong bộ não động vật, thì điều đó phần nào cho thấy bộ não con người có thể thực sự vận hành theo cách đó.

Nhà vật lý Richard Feynman đã để lại dòng chữ sau trên bảng đen ngay trước khi qua đời: “Cái gì tôi không thể tạo ra, thì tôi không hiểu.” Bộ não là nguồn cảm hứng dẫn đường cho chúng ta trong việc xây dựng AI, và AI là phép thử để kiểm tra mức độ hiểu biết của chúng ta về bộ não.

Chúng ta cần một câu chuyện tiến hóa mới về bộ não – một câu chuyện không chỉ dựa trên hiểu biết hiện đại về sự thay đổi trong giải phẫu não qua thời gian, mà còn phải đặt trên nền tảng của nhận thức hiện đại về chính khái niệm trí tuệ.

Năm đột phá

Hãy bắt đầu với trí tuệ nhân tạo mức độ chuột (Artificial Rat-level Intelligence, ARI), sau đó tiến đến trí tuệ nhân tạo mức độ mèo (Artificial Cat-level Intelligence, ACI), và tiếp tục như vậy cho đến trí tuệ nhân tạo mức độ con người (Artificial Human-level Intelligence, AHI).

—YANN LECUN, LÃNH ĐẠO AI TẠI CÔNG TY META

Chúng ta phải đi qua một hành trình tiến hóa dài đến bốn tỉ năm. Thay vì ghi chép lại từng thay đổi nhỏ, chúng ta sẽ tập trung vào những bước đột phá lớn trong quá trình tiến hóa. Trên thực tế, như một phác thảo ban đầu – một khuôn mẫu đầu tiên

cho câu chuyện này – toàn bộ tiến trình tiến hóa của bộ não con người có thể được tóm gọn hợp lý thành *năm* bước đột phá chính, bắt đầu từ những bộ não đầu tiên cho đến bộ não của loài người ngày nay.

Năm bước đột phá này chính là bản đồ định hướng cho cuốn sách, đồng thời cũng là lộ trình cho chuyến du hành ngược dòng thời gian của chúng ta. Mỗi bước đột phá xuất hiện cùng với những thay đổi mới trong cấu trúc não bộ, mang lại cho loài vật một tập hợp các năng lực trí tuệ hoàn toàn mới. Cuốn sách này được chia thành năm phần, mỗi phần tương ứng với một bước đột phá. Trong mỗi phần, tôi sẽ mô tả tại sao những khả năng này tiến hóa, chúng hoạt động như thế nào và chúng vẫn biểu hiện trong bộ não con người ngày nay ra sao.

Mỗi bước đột phá tiếp theo được xây dựng trên nền tảng của những đột phá trước đó, đồng thời tạo tiền đề cho những đột phá về sau. Những đổi mới trong quá khứ đã mở đường cho các đổi mới trong tương lai. Chính thông qua tập hợp những biến đổi có trật tự này mà câu chuyện tiến hóa của bộ não cho phép chúng ta lí giải sự phức tạp đã dần dần xuất hiện về sau.

Tuy nhiên, câu chuyện này không thể được kể lại một cách xác thực nếu chỉ xem xét yếu tố sinh học của bộ não tổ tiên chúng ta. Những đột phá này luôn xuất hiện trong những thời kì mà tổ tiên của chúng ta đối mặt với các tình huống khắc nghiệt hoặc rơi vào những vòng lặp phản hồi mạnh mẽ. Chính những áp lực này đã dẫn đến sự tái cấu trúc nhanh chóng của bộ não. Chúng ta không thể hiểu được những đột phá trong sự tiến hóa của não nếu không hiểu cả những thử thách và chiến thắng vang dội của tổ tiên chúng ta: những kẻ săn mồi mà họ đã vượt mặt, những thảm họa môi trường mà họ sống sót qua, và những ổ sinh thái tuyệt vọng mà họ phải dựa vào để sinh tồn.

Và điều cốt yếu là chúng ta sẽ đặt nền móng cho các bước đột phá dựa trên những hiểu biết hiện tại trong lĩnh vực trí tuệ nhân tạo, bởi nhiều đột phá trong trí tuệ sinh học có những điểm tương đồng rõ rệt với các phát hiện trong lĩnh vực trí tuệ nhân tạo. Một số đột phá này đại diện cho các thủ thuật trí khôn mà chúng ta hiểu rõ trong AI, trong khi những thủ thuật khác vẫn nằm ngoài tầm hiểu biết của chúng ta. Và theo cách này, có lẽ câu chuyện tiến hóa của bộ não có thể làm sáng tỏ những đột phá mà chúng ta còn bỏ sót trong việc phát triển trí tuệ nhân tạo giống con người. Biết đâu nó sẽ tiết lộ một số manh mối ẩn giấu của tự nhiên.

Về phần tôi

Ước gì tôi có thể nói rằng tôi viết cuốn sách này vì đã dành cả đời suy ngẫm về sự tiến hóa của bộ não và cố gắng chế tạo những robot thông minh. Nhưng tôi

không phải là một nhà khoa học thần kinh hay một nhà chế tạo robot, hay thậm chí là một nhà khoa học. Tôi viết cuốn sách này vì tôi muốn đọc nó.

Tôi nhận ra sự khác biệt gây bối rối giữa trí thông minh của con người và trí tuệ nhân tạo khi cố gắng áp dụng các hệ thống AI vào các vấn đề thực tiễn. Tôi đã dành phần lớn sự nghiệp của mình tại một công ty mà tôi đồng sáng lập mang tên Bluecore; chúng tôi xây dựng phần mềm và hệ thống AI để giúp một số thương hiệu lớn nhất thế giới cá nhân hóa hoạt động tiếp thị của họ. Phần mềm của chúng tôi giúp dự đoán những gì người tiêu dùng sẽ mua trước khi họ biết bản thân muốn gì. Chúng tôi chỉ là một phần rất nhỏ trong một biển vô số các công ty đang bắt đầu sử dụng những tiến bộ mới của các hệ thống AI. Nhưng tất cả các dự án này, dù lớn hay nhỏ, đều được định hình thông qua cùng một bộ câu hỏi gây bối rối.

Khi thương mại hóa các hệ thống AI, rất cuộc sẽ có một loạt các cuộc họp giữa các nhóm kinh doanh và nhóm về học máy. Các nhóm kinh doanh tìm kiếm những ứng dụng của hệ thống AI mới có thể *mang lại giá trị*, trong khi chỉ các nhóm về học máy mới hiểu những ứng dụng nào *khả thi*. Những cuộc gặp gỡ như vậy thường phơi bày những trực giác sai lầm của chúng ta về mức độ hiểu biết thực sự đối với trí thông minh. Những người làm kinh doanh tìm kiếm các ứng dụng của hệ thống AI mà họ cho là đơn giản. Nhưng thường thì những nhiệm vụ này có vẻ đơn giản chỉ vì chúng đơn giản đối với *bộ não của chúng ta*. Những người làm học máy sau đó kiên nhẫn giải thích cho nhóm kinh doanh tại sao ý tưởng có vẻ đơn giản như thế thực ra lại vô cùng khó khăn. Và những cuộc tranh luận này cứ lặp đi lặp lại với mỗi dự án mới. Chính từ những cuộc khám phá xem AI hiện đại có thể vươn xa đến đâu – và đặc biệt là từ những giới hạn bất ngờ mà nó vẫn chưa vượt qua được – mà tôi hình thành sự tò mò ban đầu của mình đối với bộ não con người.

Tất nhiên, tôi cũng là một con người và, giống như bạn, tôi có một bộ não người. Vì vậy, tôi dễ dàng bị cơ quan định hình phần lớn trải nghiệm của loài người cuốn hút. Bộ não không chỉ cung cấp những câu trả lời về bản chất của trí thông minh, mà còn về lí do tại sao chúng ta hành xử như cách ta vẫn hành xử. Tại sao chúng ta thường đưa ra những lựa chọn phi lí trí và tự chuốc lấy thất bại? Tại sao loài người lại có lịch sử lâu dài lặp đi lặp lại về cả sự vị tha truyền cảm hứng lẫn sự tàn nhẫn không lường được?

Dự án cá nhân của tôi mới đầu chỉ đơn thuần là cố gắng đọc sách để trả lời các câu hỏi của chính mình. Điều này cuối cùng mở rộng đến những phiên trao đổi qua email dài dòng với các nhà khoa học thần kinh, những người đủ rộng lượng để đáp ứng sự tò mò của một người “ngoại đạo” như tôi. Những nghiên cứu và trao đổi học thuật ấy cuối cùng đã dẫn tôi đến việc công bố một loạt bài báo khoa học, và tất cả dồn lại thành bước ngoặt: tôi quyết định tạm gác lại công việc để biến những ý tưởng đang nhen nhóm này thành một cuốn sách.

Trong suốt quá trình này, càng đi sâu, tôi càng tin chắc rằng có một sự tổng hợp xứng đáng để đóng góp – một cơ chế có thể đem lại một cách tiếp cận để hiểu về cách bộ não hoạt động, tại sao nó hoạt động như vậy, và nó giao thoa cũng như khác biệt như thế nào với các hệ thống AI hiện đại; một cách tiếp cận có thể tập hợp các ý tưởng khác nhau trong lĩnh vực khoa học thần kinh và trí tuệ nhân tạo dưới mái nhà chung của một câu chuyện duy nhất.

Lược sử trí khôn là một sự tổng hợp từ những công trình của nhiều người khác. Về cốt lõi, đó chỉ là một nỗ lực để ghép lại những mảnh ghép vốn đã có sẵn. Tôi đã cố gắng hết sức để ghi nhận đầy đủ công lao trong suốt cuốn sách này, luôn hướng đến việc tôn vinh những nhà khoa học đã thực hiện các nghiên cứu thực tế. Nếu ở đâu đó tôi chưa làm được điều này một cách trọn vẹn thì hoàn toàn là do sơ suất, không hề có chủ ý. Thành thật mà nói, tôi không thể cưỡng lại việc đưa vào một vài suy đoán cá nhân, nhưng sẽ cố gắng làm rõ khi bước vào những địa hạt đó.

Có lẽ thật phù hợp khi sự hình thành cuốn sách này, giống như sự hình thành của bản thân bộ não, không xuất phát từ kế hoạch có trước, mà từ một quá trình hỗn độn với những khởi đầu sai lầm, những ngã rẽ không đúng, những cơ hội ngẫu nhiên, những lần thử đi thử lại, và những hoàn cảnh may mắn bất ngờ.

Điểm cuối cùng (về thang bậc và chủ nghĩa Sô-vanh)

Tôi có một điểm cuối cùng cần làm rõ trước khi chúng ta bắt đầu hành trình quay ngược thời gian. Có một sự hiểu lầm tiềm tàng sẽ lẫn khuất một cách đầy nguy hiểm giữa các dòng của toàn bộ câu chuyện này.

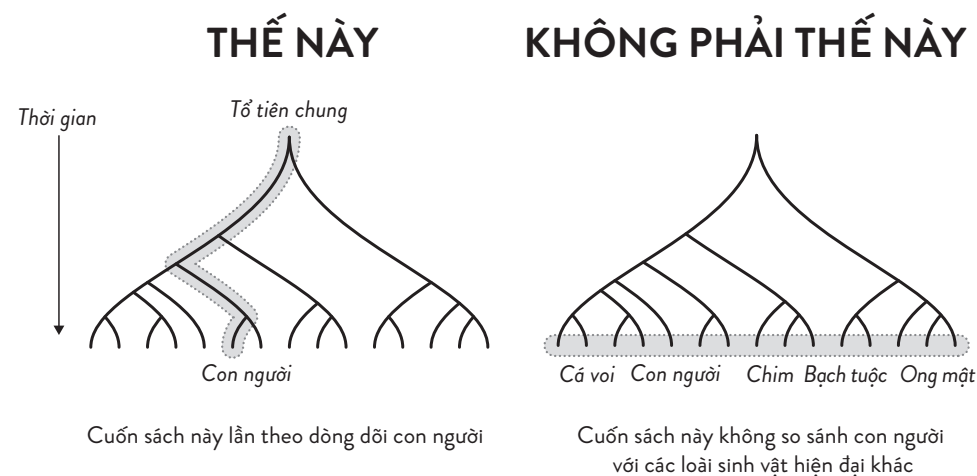
Cuốn sách này sẽ thực hiện nhiều so sánh giữa khả năng của con người và của các loài động vật khác còn tồn tại ngày nay, nhưng điều này luôn được thực hiện bằng cách chọn lọc những loài được cho là giống với tổ tiên của chúng ta nhất. Toàn bộ cuốn sách này – bao gồm khuôn khổ năm đột phá – chỉ là câu chuyện về dòng dõi *con người*, câu chuyện về cách bộ não của chúng ta hình thành; một người khác cũng có thể dễ dàng dựng lên một câu chuyện về cách bộ não của bạch tuộc hoặc ong mật hình thành, và câu chuyện đó sẽ có những khúc quanh và đột phá riêng của nó.

Chỉ vì bộ não của chúng ta có nhiều khả năng trí khôn hơn so với tổ tiên không có nghĩa là bộ não con người hiện đại vượt trội hoàn toàn về mặt trí tuệ so với các loài động vật hiện đại khác.

Tiến hóa thường xuyên hội tụ độc lập về các giải pháp chung. Cánh đã tiến hóa một cách độc lập ở côn trùng, dơi và chim; tổ tiên chung của các sinh vật này không hề có cánh. Người ta cũng tin rằng mắt đã tiến hóa độc lập nhiều lần. Vì vậy, khi tôi

lập luận rằng một khả năng trí tuệ, chẳng hạn như trí nhớ tình tiết, đã tiến hóa ở các loài thú thời kì đầu, điều đó *không* có nghĩa là ngày nay *chỉ* động vật có vú mới có trí nhớ tình tiết. Giống như cánh và mắt, các nhánh khác của sự sống có thể đã tiến hóa độc lập khả năng ghi nhớ tình tiết. Thực tế, nhiều năng lực trí tuệ mà cuốn sách này đề cập không phải là duy nhất chỉ có ở dòng dõi chúng ta, mà đã nảy sinh độc lập trên nhiều nhánh tiến hóa khác nhau.

Từ thời Aristotle, các nhà khoa học và triết gia đã xây dựng cái mà các nhà sinh học hiện đại gọi là “thang bậc tự nhiên” (hoặc, vì các nhà khoa học thích dùng thuật ngữ Latinh, *scala naturae*). Aristotle đã tạo ra một hệ thống thứ bậc của các dạng sinh vật, trong đó con người vượt trội hơn các loài thú khác, các loài thú vượt trội hơn bò sát và cá, bò sát và cá vượt trội hơn côn trùng, và côn trùng vượt trội hơn thực vật.



Hình 2

Ngay cả sau khi khám phá ra sự tiến hóa, ý tưởng về thang bậc tự nhiên vẫn tiếp tục tồn tại dai dẳng. Ý tưởng cho rằng có một hệ thống thứ bậc của các loài là hoàn toàn sai lầm. Tất cả các loài còn sống ngày nay đều *còn sống*; tổ tiên của chúng đã sống sót qua 3,5 tỉ năm tiến hóa. Và do đó, theo nghĩa đó – nghĩa duy nhất mà tiến hóa quan tâm – tất cả các dạng sự sống còn sống ngày nay đều ngang hàng với nhau ở vị trí đầu tiên.

Các loài rơi vào các ổ sinh thái (niche) khác nhau, mỗi ổ tối ưu hóa cho những yếu tố khác nhau. Nhiều ổ sinh thái – trên thực tế là *hầu hết* – phù hợp với những bộ não *nhỏ hơn* và *đơn giản hơn* (hoặc không hề tồn tại). Những con vượn não lớn là kết quả của một chiến lược sinh tồn khác với giun, vi khuẩn hoặc bướm. Nhưng không có

loài nào “tốt hơn”. Trong con mắt của tiến hóa, tôn ti chỉ có hai bậc: một là những loài sống sót, và bậc còn lại là những loài không còn sống sót.

Có lẽ thay vào đó, người ta muốn xác định khái niệm *tốt hơn* bằng đặc điểm cụ thể nào đó của trí tuệ. Nhưng ở đây, thứ hạng vẫn phụ thuộc hoàn toàn vào kỹ năng trí tuệ cụ thể mà chúng ta đang đo lường. Bạch tuộc có một bộ não độc lập trong mỗi xúc tu và có khả năng làm nhiều việc cùng một lúc tốt hơn hẳn con người. Bồ câu, sóc chuột, cá ngừ và thậm chí cả *cự đà* có thể xử lý thông tin thị giác nhanh hơn con người. Cá có khả năng xử lý theo thời gian thực cực kì chính xác; bạn đã bao giờ thấy một con cá lướt qua những khe đá ngoắt ngoéo nhanh như thế nào khi bạn cố tóm lấy nó chưa? Một con người chắc chắn sẽ va chạm nếu cố gắng di chuyển quá nhanh qua một chướng ngại vật.

Lời kêu gọi của tôi: Khi theo dõi câu chuyện của mình, chúng ta phải tránh suy nghĩ rằng sự phức tạp hóa từ quá khứ đến tương lai cho thấy con người hiện đại chắc chắn vượt trội hơn động vật hiện đại. Chúng ta phải tránh việc vô tình xây dựng một *scala naturae*. Tất cả các loài động vật còn sống ngày nay đều trải qua quá trình tiến hóa trong cùng một khoảng thời gian.

Nhưng tất nhiên, có những điều làm cho con người chúng ta trở nên độc nhất vô nhị, và vì *chúng ta là con người*, nên chúng ta đặc biệt quan tâm đến việc hiểu bản thân mình, và cố gắng tạo ra trí tuệ nhân tạo *giống con người* là điều hợp lí. Vì vậy, tôi hi vọng chúng ta có thể tham gia vào một câu chuyện xoay quanh con người mà không sa vào chủ nghĩa Sô-vanh của con người. Mỗi loài động vật – từ ong mật, vẹt cho đến bạch tuộc, những loài cùng chia sẻ hành tinh với chúng ta – đều có một câu chuyện riêng đáng để kể. Nhưng cuốn sách này sẽ không kể những câu chuyện đó. Nó chỉ kể về *một* loại trí tuệ duy nhất: câu chuyện về chính chúng ta.

1

Thế giới trước khi bộ não xuất hiện

SỰ SỐNG TỒN TẠI TRÊN Trái Đất trong một khoảng thời gian rất dài – và tôi muốn nói là *rất dài*, hơn ba tỉ năm – trước khi bộ não đầu tiên xuất hiện. Trước khi những bộ não đầu tiên tiến hóa, sự sống đã kiên trì vượt qua vô số chu kì thách thức và thay đổi trong quá trình tiến hóa. Trong chặng đường vĩ đại của sự sống trên Trái Đất, câu chuyện về bộ não không nằm trong các chương chính mà ở phần kết – bộ não chỉ xuất hiện trong 15% cuối cùng của câu chuyện sự sống. Trí tuệ cũng đã tồn tại từ lâu trước khi bộ não xuất hiện; như chúng ta sẽ thấy, sự sống bắt đầu thể hiện hành vi thông minh từ rất sớm. Chúng ta sẽ không thể hiểu tại sao và làm thế nào bộ não tiến hóa nếu không xem xét sự tiến hóa của trí khôn trước tiên.

Khoảng bốn tỉ năm trước, trong những đại dương núi lửa của một Trái Đất chưa có sự sống, chỉ có các phân tử va chạm trong những góc ngách và khe hẹp của một miệng phun thủy nhiệt không có gì nổi bật. Khi nước sôi phun lên từ đáy biển, nó kết hợp các nucleotide tự nhiên thành các chuỗi phân tử dài giống với DNA⁽¹⁾ ngày nay. Những phân tử giống DNA sơ khai này có tuổi thọ ngắn; chính nguồn động năng núi lửa đã tạo ra chúng lại phá vỡ chúng. Đây là hệ quả của định luật thứ hai của nhiệt động lực học, một định luật vật lí không thể phá vỡ, khẳng định rằng entropy – tức mức độ hỗn loạn trong một hệ thống – luôn luôn và không thể tránh khỏi gia tăng; vũ trụ chắc chắn sẽ hướng tới sự phân hủy. Sau vô số chuỗi nucleotide ngẫu nhiên được tạo ra và bị phá hủy, một chuỗi may mắn xuất hiện để đánh dấu, ít nhất là trên Trái Đất, cuộc nổi dậy đầu tiên chống lại sự công kích dường như không thể ngăn cản của entropy. Phân tử giống DNA mới này tự nó không thực sự “sống”, nhưng đã thực hiện được quá trình cơ bản nhất để sự sống xuất hiện về sau: nó tự sao chép chính nó.

¹ Viết tắt theo từ tiếng Anh axit deoxyribonucleic. Trước đây thường dùng tên viết tắt tiếng Pháp là ADN (ND).

Mặc dù những phân tử giống DNA tự sao chép này cũng không tránh khỏi tác động tàn phá của entropy, chúng không cần phải sinh tồn *một cách riêng lẻ* để sinh tồn *như một tập thể* – chỉ cần chúng tồn tại đủ lâu để tạo ra bản sao của chính mình, thì về bản chất, chúng vẫn tiếp tục tồn tại. Đây chính là cái tài tình của việc tự sao chép. Với những phân tử tự sao chép đầu tiên này, một phiên bản sơ khai của quá trình tiến hóa đã bắt đầu; bất kì hoàn cảnh may mắn mới nào giúp quá trình sao chép diễn ra hiệu quả hơn đương nhiên sẽ dẫn đến nhiều bản sao hơn.

Hai bước chuyển biến tiến hóa sau đó đã dẫn đến sự sống. Bước đầu tiên là khi các bong bóng lipid bảo vệ bao bọc các phân tử DNA này, bằng chính cơ chế mà xà phòng (cũng được tạo từ lipid) tạo bong bóng khi bạn rửa tay. Những bong bóng lipid siêu nhỏ chứa DNA này là phiên bản đầu tiên của tế bào, đơn vị cơ bản của sự sống.

Bước chuyển tiến hóa thứ hai xảy ra khi một bộ gồm các phân tử dựa trên nucleotide – các ribosome – bắt đầu dịch các trình tự cụ thể của DNA thành các trình tự cụ thể của axit amin, sau đó được gấp lại thành các cấu trúc ba chiều cụ thể mà chúng ta gọi là *protein*. Một khi được tạo ra, các protein này trôi nổi bên trong tế bào hoặc được nhúng vào vách tế bào để thực hiện các chức năng khác nhau. Bạn có lẽ đã từng nghe nói, ít nhất là tình cờ, rằng DNA của bạn bao gồm các gen. Thực chất, một gen chỉ đơn giản là một đoạn DNA mã hóa cho việc tạo ra một loại protein cụ thể. Đó chính là sự ra đời của quá trình tổng hợp protein, và chính tại thời điểm này, những tia sáng lóe đầu tiên của trí thông minh xuất hiện.

DNA tương đối trơ, hiệu quả trong việc tự sao chép nhưng hạn chế trong khả năng tác động đến thế giới hiển vi xung quanh. Tuy nhiên, protein lại linh hoạt và mạnh mẽ hơn nhiều. Ở nhiều khía cạnh, protein giống một cỗ máy hơn là một phân tử. Protein có thể được tạo dựng và gấp lại thành nhiều hình dạng – với các đường hầm, chốt khóa, và các bộ phận di chuyển giống như robot – để thực hiện vô số chức năng trong tế bào, bao gồm cả chức năng “trí thông minh”.

Ngay cả những sinh vật đơn bào đơn giản nhất – chẳng hạn như vi khuẩn – cũng có protein được thiết kế cho sự chuyển động, các “động cơ” chuyển đổi năng lượng tế bào thành lực đẩy, làm quay các “cánh quạt”⁽¹⁾ với cơ chế không kém phần phức tạp so với động cơ của một chiếc thuyền máy hiện đại. Vi khuẩn cũng có protein được thiết kế cho *sự cảm nhận* – các thụ thể thay đổi hình dạng khi chúng phát hiện ra các đặc tính nào đó của môi trường bên ngoài, chẳng hạn như nhiệt độ, ánh sáng, hoặc sự tiếp xúc.

¹ Lông roi hay tiên mao (flagellum) của vi sinh vật có thể quay tròn được tác giả gọi là cánh quạt (propeller) như của động cơ (ND).

Được trang bị các protein phục vụ chuyển động và cảm nhận, sự sống thời kì đầu có thể theo dõi và phản ứng với thế giới bên ngoài. Vi khuẩn có thể bơi ra khỏi những môi trường làm giảm khả năng sao chép thành công, ví dụ như môi trường có nhiệt độ quá nóng hoặc quá lạnh, chứa các hóa chất phá hủy DNA hoặc màng tế bào. Vi khuẩn cũng có thể bơi đến các môi trường thuận lợi hơn cho sự sinh sản.

Theo cách này, những tế bào cổ xưa thực sự có một phiên bản sơ khai của trí thông minh, được thực hiện không phải qua các nơron thần kinh mà qua mạng lưới phức tạp của các chuỗi chất hóa học và protein.

Sự phát triển của quá trình tổng hợp protein không chỉ mang lại những mầm mống đầu tiên của trí tuệ, mà còn biến DNA từ *vật chất* thuần túy trở thành một phương tiện lưu trữ *thông tin*. Thay vì chỉ là vật chất tự sao chép là nền tảng của sự sống, DNA đã chuyển hóa thành nền tảng thông tin mà từ đó sự sống được xây dựng nên. DNA chính thức trở thành bản thiết kế của sự sống, ribosome là nhà máy, và protein là sản phẩm.

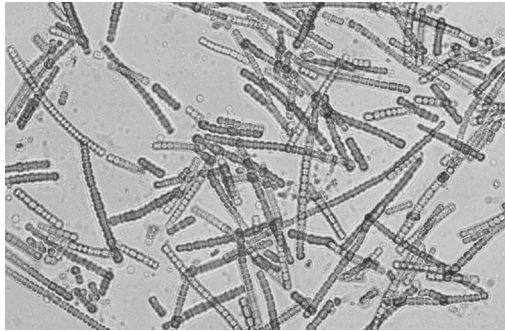
Với những nền tảng này, quá trình tiến hóa bắt đầu vận hành hết công suất: những biến đổi trong DNA dẫn đến những biến đổi trong protein, từ đó dẫn tới sự khám phá mang tính chất tiến hóa các cơ chế tế bào mới. Thông qua chọn lọc tự nhiên, những biến đổi này được tinh chỉnh và giữ lại nếu chúng hỗ trợ sự sinh tồn. Tại thời điểm này trong câu chuyện của sự sống, chúng ta vừa kết thúc quá trình dài, chưa từng được sao chép và đầy bí ẩn mà các nhà khoa học gọi là phát sinh tự nhiên hay phát sinh vô cơ (abiogenesis): quá trình trong đó vật chất vô sinh (*abio*) được chuyển hóa thành sự sống (*genesis*).

“Trái Đất hóa” Trái Đất

Ít lâu sau đó, các tế bào này tiến hóa thành thực thể mà các nhà khoa học gọi là “tổ tiên chung phổ quát cuối cùng”, tức LUCA (last universal common ancestor). LUCA là “tổ tiên” không giới tính của toàn bộ sự sống; mọi loại nấm, thực vật, vi khuẩn và động vật sống ngày nay, bao gồm cả chúng ta, đều là hậu duệ của LUCA. Vì vậy, không có gì ngạc nhiên khi toàn bộ sự sống đều chia sẻ những đặc điểm cốt lõi của LUCA: DNA, tổng hợp protein, lipid và carbohydrate.

LUCA, sống cách đây khoảng 3,5 tỉ năm, có lẽ giống một phiên bản đơn giản hơn của vi khuẩn hiện đại. Và quả thật, trong một thời gian dài sau đó, toàn bộ sự sống đều là vi khuẩn. Hơn một tỉ năm tiếp theo – qua hàng nghìn tỉ lần lặp lại của tiến hóa – đại dương của Trái Đất tràn ngập nhiều loài vi sinh vật đa dạng này, mỗi loài có một danh mục DNA và protein riêng. Một trong những điểm khác biệt giữa các vi sinh vật thời kì đầu này là hệ thống sản xuất năng lượng của chúng. Câu chuyện về sự sống, ở cốt lõi của nó, không chỉ là về entropy mà còn về năng lượng.

Duy trì một tế bào sống là rất tốn kém. DNA cần được sửa chữa liên tục; protein cần được bổ sung liên tục; và sự sao chép tế bào đòi hỏi tái cấu trúc nhiều kết cấu bên trong. Hydrogen, một nguyên tố dồi dào gần các miệng phun thủy nhiệt, có lẽ là nguồn năng lượng đầu tiên được sử dụng để cung cấp cho các quá trình này. Nhưng hệ thống năng lượng dựa trên hydrogen này không hiệu quả, khiến sự sống phải vật lộn để có đủ năng lượng tồn tại. Sau hơn một tỉ năm, tình trạng nghèo năng lượng này kết thúc khi một loài vi khuẩn duy nhất là vi khuẩn lam (cyanobacteria), còn gọi là tảo lục lam (blue-green algae), tìm ra một cơ chế hiệu quả hơn nhiều để khai thác và lưu trữ năng lượng: quang hợp.



Hình 1.1: Vi khuẩn lam

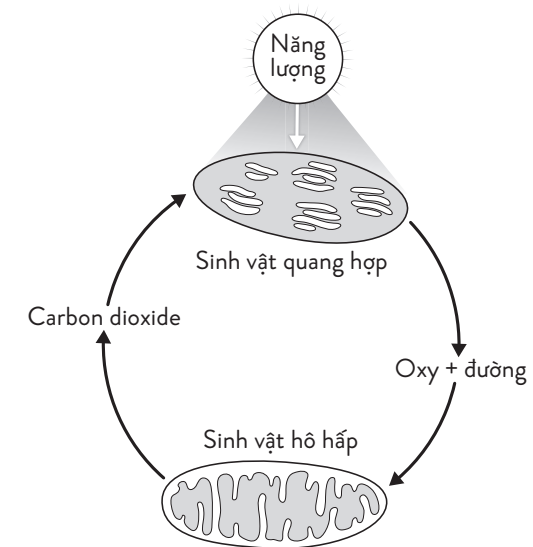
Hệ sinh học ấn tượng nhất ở những loài vi khuẩn lam thời kì đầu này không phải là các nhà máy sản xuất protein hay các sản phẩm của chúng, mà là các nhà máy quang hợp – những cấu trúc chuyển đổi ánh sáng mặt trời và carbon dioxide thành đường, và đường lại có thể được lưu trữ và chuyển hóa thành năng lượng tế bào. Quá trình quang hợp hiệu quả hơn các hệ thống tế bào trước đó trong việc khai thác và lưu trữ năng lượng. Nó cung cấp cho vi khuẩn lam một nguồn nhiên liệu dồi dào để sử dụng cho việc sao chép. Các khu vực rộng lớn của đại dương nhanh chóng bị những lớp thảm vi sinh vật nhờn màu xanh bao phủ – những cụm gồm hàng tỉ vi khuẩn lam phơi mình dưới nắng, hút carbon dioxide và sinh sản không ngừng.

Giống như hầu hết các quá trình sản xuất năng lượng, từ việc đốt nhiên liệu hóa thạch đến việc khai thác nhiên liệu hạt nhân, quá trình quang hợp cũng tạo ra khí thải ô nhiễm. Tuy nhiên, thay vì carbon dioxide hay chất thải hạt nhân, khí thải từ quang hợp lại là oxy. Trước thời kì này, Trái Đất chưa có tầng ozon. Chính vi khuẩn lam, với quá trình quang hợp mới mẻ của chúng, đã xây dựng nên bầu khí quyển giàu oxy của Trái Đất, và bắt đầu “Trái Đất hóa” hành tinh này từ một khối đá núi lửa màu xám thành một ốc đảo mà chúng ta biết đến hôm nay. Sự kiện này xảy ra vào khoảng 2,4 tỉ

năm trước, và nó diễn ra nhanh chóng, ít nhất là xét theo các thang địa chất, đến mức được gọi là Sự kiện Đại oxy hóa. Trong vòng một trăm triệu năm, mức độ oxy tăng vọt. Thật không may, đây không phải là một điểm lành cho tất cả sự sống. Các nhà khoa học gọi sự kiện này bằng một cái tên ít khoan dung hơn: cuộc Đại Thảm sát bằng oxy.

Oxy là một nguyên tố có tính phản ứng cực mạnh, điều này làm cho nó trở nên nguy hiểm trong các phản ứng hóa học được điều phối một cách cẩn thận trong tế bào. Nếu không có các biện pháp bảo vệ đặc biệt bên trong tế bào, các hợp chất oxy sẽ can thiệp vào các quá trình tế bào, trong đó có việc duy trì DNA. Đó là lí do tại sao các chất chống oxy hóa – những hợp chất loại bỏ các phân tử oxy có tính phản ứng mạnh khỏi máu của bạn – được cho là giúp bảo vệ cơ thể khỏi ung thư. Những dạng sinh vật quang hợp trở thành nạn nhân của chính sự thành công của mình, chúng từ từ bị ngạt trong đám mây khí thải của chính chúng. Sự gia tăng oxy đã kéo theo một trong những sự kiện tuyệt chủng chết chóc nhất trong lịch sử Trái Đất.

Như với nhiều chất nguy hiểm (uranium, xăng, than đá), oxy cũng có thể hữu ích. Nguyên tố mới xuất hiện này đã mở ra một cơ hội về năng lượng, và việc sự sống tìm ra cách khai thác nó chỉ là vấn đề thời gian. Một dạng vi khuẩn mới xuất hiện, sản xuất năng lượng không từ quang hợp mà từ hô hấp tế bào – quá trình mà oxy và đường được chuyển hóa thành năng lượng, giải phóng carbon dioxide dưới dạng khí thải. Các vi khuẩn hô hấp bắt đầu hấp thụ lượng oxy dư thừa trong đại dương để bổ sung cho lượng carbon dioxide đã bị cạn kiệt. Thứ ban đầu là một chất ô nhiễm đối với một dạng sự sống đã trở thành nhiên liệu cho dạng sự sống khác.



Hình 1.2: Mối quan hệ cộng sinh giữa sinh vật quang hợp và sinh vật hô hấp

Sự sống trên Trái Đất đã bước vào một mối cộng sinh vĩ đại bậc nhất từng được biết đến giữa hai hệ thống sống vừa cạnh tranh vừa bổ sung cho nhau, và mối quan hệ đó vẫn còn tồn tại đến ngày nay. Một nhóm có khả năng quang hợp, chuyển đổi nước và carbon dioxide thành đường và oxy. Nhóm còn lại có khả năng hô hấp, chuyển đổi đường và oxy trở lại thành carbon dioxide. Vào thời điểm đó, hai dạng sự sống này khá giống nhau, đều là vi khuẩn đơn bào. Ngày nay, mối quan hệ cộng sinh này bao gồm những dạng sống rất khác nhau. Cây cối, cỏ và các loài thực vật khác là một số “nhà máy quang hợp” hiện đại của chúng ta, trong khi nấm và động vật là một số “nhà máy hô hấp” hiện đại.

Hô hấp tế bào cần đường để sản xuất năng lượng, và nhu cầu cơ bản này đã cung cấp nền tảng năng lượng cho sự bùng nổ trí năng về sau – một bước nhảy vọt chỉ xảy ra trong thế hệ con cháu của các sinh vật hô hấp. Trong khi hầu hết, nếu không muốn nói là tất cả, các vi khuẩn vào thời điểm đó đều thể hiện mức độ trí năng nguyên thủy, thì chỉ với các sinh vật hô hấp, trí năng mới được phát triển và mở rộng về sau. Các vi khuẩn hô hấp khác biệt ở một điểm quan trọng so với họ hàng quang hợp của chúng: chúng cần sẵn môi. Và sẵn môi đòi hỏi một mức độ thông minh hoàn toàn mới.

Ba mức độ

Hệ sinh thái cách đây hai tỉ năm không phải là một thế giới bị chiến tranh đặc biệt tàn phá.⁽¹⁾ Một nền hòa bình tạm thời, được duy trì bởi nhu cầu năng lượng, đã trở thành nền tảng cho vô vàn mối tương tác trong thế giới sống. Mặc dù một số vi khuẩn có thể đã nuốt chửng hài cốt của những kẻ “hàng xóm” đã chết, nhưng việc chủ động giết hại sinh vật khác hiếm khi đáng để chúng bỏ công. Phương pháp tiếp cận không dựa trên oxy để chuyển đổi đường thành năng lượng (hô hấp *kị khí*) kém hiệu quả hơn mười lăm lần so với phương pháp tiếp cận dựa trên oxy (hô hấp *hiếu khí*). Do đó, trước khi oxy vào cuộc, sẵn môi không phải là một chiến lược sinh tồn thiết thực. Tốt hơn hết là tìm một chỗ có vẻ ổn, ngồi yên và tắm nắng. Sự cạnh tranh khốc liệt nhất giữa các sinh vật thời kì đầu có lẽ cũng giống như những người đổ xô vào Walmart để mua hàng giảm giá trong ngày Thứ Sáu Đen⁽²⁾, chen lấn để giành những món hời hiếm hoi gần đó, nhưng không trực tiếp tấn công lẫn nhau. Ngay cả

¹ Ngoại trừ trận chiến giữa vi khuẩn và vi-rút, nhưng đó là một câu chuyện hoàn toàn khác (TG).

² Ngày thứ Sáu cuối tháng 11 hàng năm, ngay sau ngày Lễ Tạ Ơn, là ngày mua sắm nhộn nhịp và nhiều cửa hàng hạ giá bán (ND).

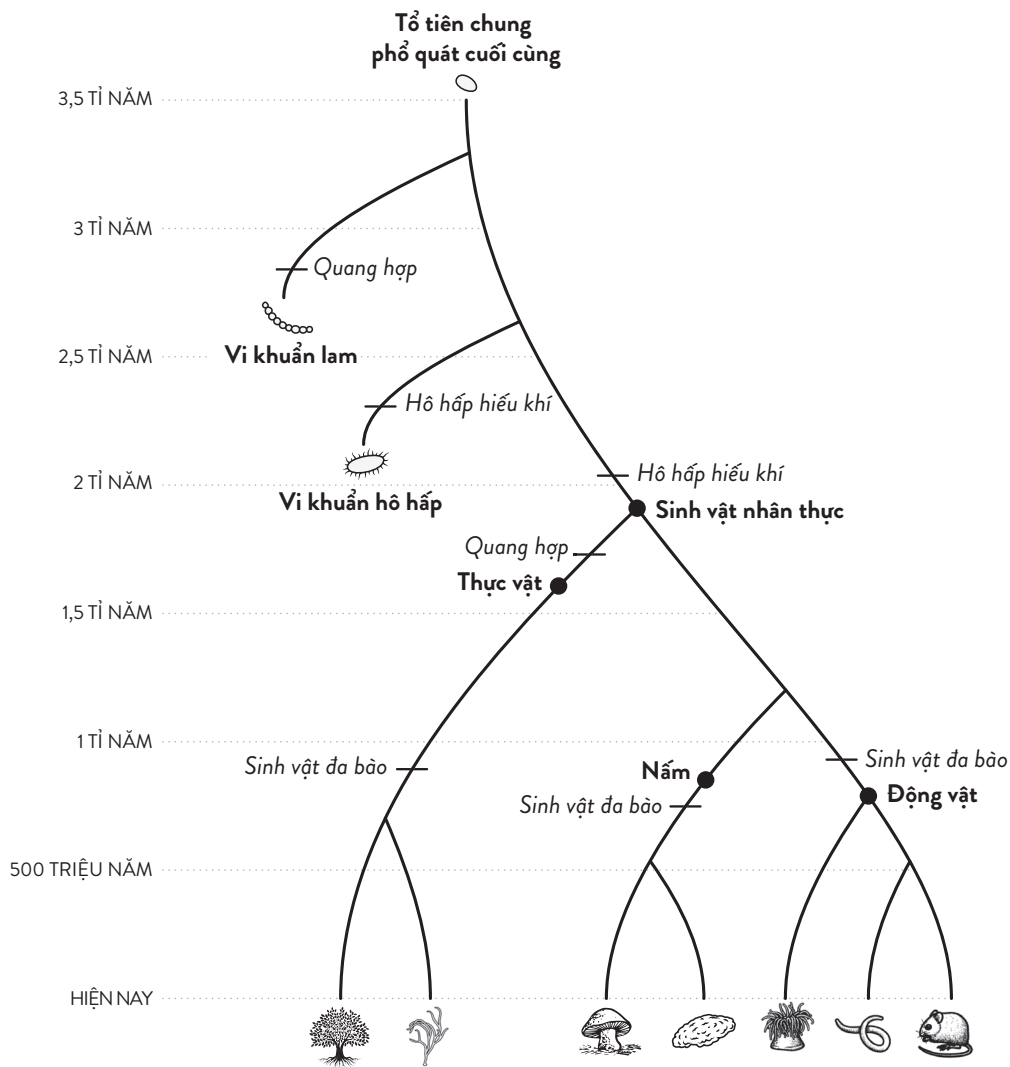
việc chen lấn như vậy chắc cũng không phổ biến; ánh sáng mặt trời và hydrogen rất dồi dào, và có quá đủ cho mọi vật.

Tuy nhiên, khác với những tế bào xuất hiện trước đó, sinh vật hô hấp chỉ có thể tồn tại bằng cách đánh cắp giải thưởng năng lượng – phần ruợng ngọt – của sinh vật quang hợp. Do đó, nền hòa bình không tưởng của thế giới đã kết thúc khá đột ngột với sự xuất hiện của hô hấp hiếu khí. Chính tại đây, vi khuẩn bắt đầu tích cực ăn các vi khuẩn khác. Điều này như đổ thêm nhiên liệu vào động cơ tiến hóa; với mỗi cải tiến phòng thủ của con mồi để tránh bị giết, thì động vật săn mồi lại phát triển một cải tiến tấn công để vượt qua chính sự phòng thủ đó. Sự sống bị cuốn vào một cuộc chạy đua vũ trang, một vòng lặp phản hồi liên tục: những cải tiến tấn công dẫn đến những cải tiến phòng thủ, do đó đòi hỏi những cải tiến tấn công hiệu quả hơn.

Từ cơn lốc xoáy này, một sự đa dạng hóa rộng lớn của sự sống đã bùng nổ. Một số loài vẫn là những vi khuẩn đơn bào nhỏ. Các loài khác tiến hóa thành các sinh vật nhân thực (hay nhân chuẩn) đầu tiên – các tế bào lớn hơn gấp hàng trăm lần, sản xuất nhiều năng lượng hơn gấp hàng nghìn lần và có độ phức tạp bên trong cao hơn nhiều. Các sinh vật nhân thực này là những cỗ máy giết chóc vi sinh tiên tiến nhất từng xuất hiện. Các sinh vật nhân thực là những sinh vật đầu tiên phát triển hình thức *thực dưỡng* hay dinh dưỡng bằng chất rắn (*phagotrophi*) – chiến lược sẵn môi trong đó chúng thực sự nuốt chửng các tế bào khác, rồi phân giải “nạn nhân” ngay bên trong thành tế bào của mình. Các sinh vật nhân thực này, nhiều năng lượng và cũng phức tạp hơn, đã đa dạng hóa hơn nữa thành các loài thực vật đầu tiên, nấm đầu tiên và tiền thân của các loài động vật đầu tiên. Nấm và các loài động vật hậu duệ của sinh vật nhân thực vẫn giữ được nhu cầu *sẵn môi* của chúng (chúng là các nhà máy hô hấp), trong khi dòng dõi thực vật quay trở lại lối sống quang hợp.

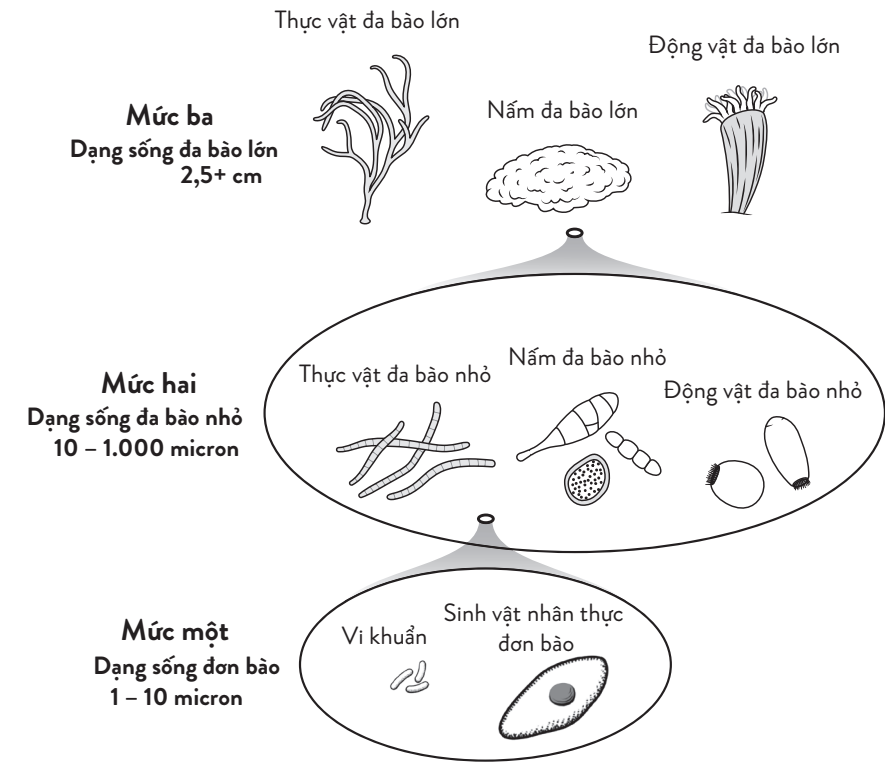
Điểm chung giữa các dòng dõi sinh vật nhân thực này là cả ba nhóm – thực vật, nấm, và động vật – đều phát triển tính đa bào một cách độc lập. Hầu hết những gì bạn nhìn thấy và nhận định là “sự sống” – con người, cây cối, nấm – chủ yếu là các sinh vật *đa bào*, những tổ hợp phức tạp gồm hàng tỉ tế bào riêng lẻ cùng hoạt động để tạo thành một sinh vật thống nhất. Con người được tạo thành từ chính những tế bào chuyên biệt đa dạng như vậy: tế bào da, tế bào cơ, tế bào gan, tế bào xương, tế bào miễn dịch, tế bào máu. Thực vật cũng có các tế bào chuyên biệt. Các tế bào này thực hiện *những chức năng* khác nhau nhưng vẫn phục vụ một *mục tiêu* chung: hỗ trợ sự sống còn của toàn bộ sinh vật.

Như vậy, các loài thực vật dưới nước hình thù giống tảo bắt đầu mọc lên, các loài



Hình 1.3: Cây phả hệ sự sống

nấm giống như nấm mũ bắt đầu phát triển, và các loài động vật nguyên thủy bắt đầu bơi chậm chạp khắp nơi. Vào khoảng 800 triệu năm trước, sự sống đã được phân thành ba mức độ phức tạp lớn. Ở mức một là dạng sống đơn bào, bao gồm vi khuẩn và các sinh vật nhân thực đơn bào cực nhỏ. Ở mức hai là dạng sống đa bào nhỏ, đủ lớn để nuốt chửng các sinh vật đơn bào nhưng vẫn đủ nhỏ để di chuyển bằng cách sử dụng các cánh quạt cơ bản của tế bào. Ở mức ba có dạng sống đa bào lớn; quá lớn nên không thể di chuyển bằng cánh quạt của tế bào, và do đó hình thành các cấu trúc cố định.



Hình 1.4: Ba mức độ phức tạp của sự sống ở biển cổ xưa, trước khi não bộ xuất hiện

Những động vật thời kì đầu này có lẽ không giống với những gì bạn nghĩ khi nhắc đến từ “động vật”. Nhưng chúng có một thứ khiến chúng khác biệt với mọi dạng sống khác vào thời điểm đó: nơron.

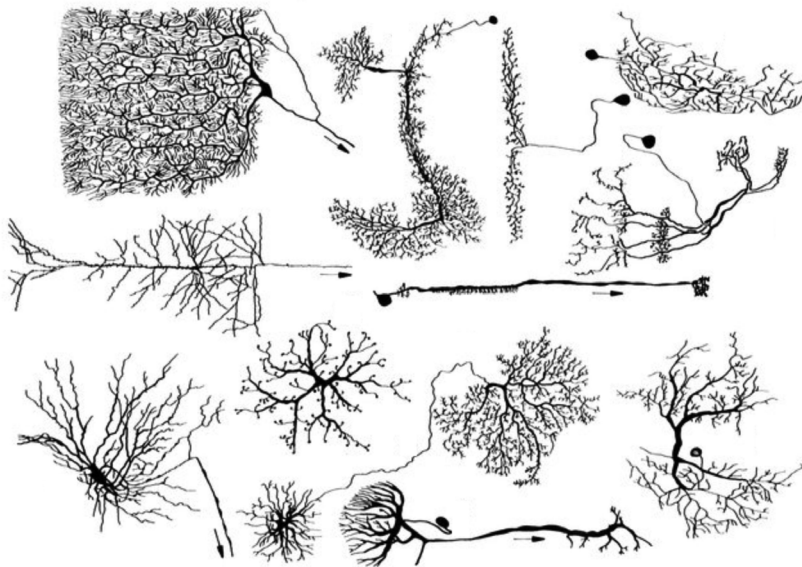
Nơron

Đáp án cho câu hỏi “Nơron là gì và chức năng của nó là gì” phụ thuộc vào người mà bạn hỏi. Nếu bạn hỏi một nhà sinh học, nơron là các tế bào chính yếu cấu thành hệ thần kinh. Nếu bạn hỏi một nhà nghiên cứu học máy, nơron là các đơn vị cơ bản trong mạng nơron, một bộ tích lũy nhỏ thực hiện nhiệm vụ cơ bản là cộng có trọng số⁽¹⁾ các đầu vào. Nếu bạn hỏi một nhà tâm-sinh lí học cảm giác, nơron là các cảm biến đo lường các đặc điểm của thế giới bên ngoài. Nếu bạn hỏi một nhà khoa học

¹ Trọng số: hệ số gán cho mỗi yếu tố thành phần thể hiện mức độ ảnh hưởng của nó trong tương quan với các yếu tố khác (ND).

thần kinh chuyên về điều khiển vận động, nơron là các cơ quan tác động, kiểm soát cơ bắp và chuyển động. Nếu hỏi những người khác nữa, bạn sẽ nhận được nhiều câu trả lời đa dạng, từ “Nơron là những sợi dây điện nhỏ trong đầu bạn” đến “Nơron là vật chất của ý thức.” Tất cả các câu trả lời này đều đúng, mang một phần sự thật, nhưng mỗi câu trả lời đều không đầy đủ.

Hệ thần kinh của tất cả các loài động vật – từ giun đến gấu túi – được cấu tạo từ những tế bào có hình dây kì lạ gọi là nơron. Dù có sự đa dạng đáng kinh ngạc về hình dạng và kích thước, tất cả các nơron đều hoạt động theo cùng một cách. Đây là quan sát đáng kinh ngạc nhất khi so sánh nơron giữa các loài – về căn bản, chúng hầu hết đều giống nhau. Các nơron trong não người hoạt động giống y như các nơron trong một con sứa. Điều làm bạn khác biệt với giun đất không phải là nơron – đơn vị trí tuệ cơ bản, mà là cách các đơn vị này được kết nối với nhau.



Hình 1.5: Nơron

Các loài động vật có nơron có cùng một tổ tiên chung, một sinh vật mà trong đó các nơron đầu tiên hình thành và mọi nơron về sau đều bắt nguồn từ đó. Đường như bên trong “bà tổ” cổ đại của các loài động vật này, nơron đã đạt được hình dạng hiện đại của chúng; từ thời điểm này trở đi, tiến hóa đã thay đổi kết nối của các nơron nhưng không tạo ra sự điều chỉnh đáng kể nào đối với đơn vị cơ bản này. Đây là một ví dụ nổi bật về cách các đổi mới có trước áp đặt những hạn chế lên các đổi mới về sau, thường là giữ nguyên các cấu trúc ban đầu – các khối xây dựng cơ bản của não bộ gần như không thay đổi trong hơn 600 triệu năm.

Tại sao nấm không có nơron, nhưng động vật thì có?

Bạn không khác nấm mốc là bao. Mặc dù vẻ ngoài của nấm có vẻ khác biệt, chúng có nhiều điểm chung với động vật hơn là với thực vật. Trong khi thực vật sống nhờ quang hợp, động vật và nấm đều sống nhờ hô hấp. Cả động vật và nấm đều hít thở oxy và tiêu thụ đường; cả hai đều tiêu hóa thức ăn, phá vỡ các tế bào bằng enzym và hấp thụ các chất dinh dưỡng bên trong. Trên thực tế, chúng có chung một tổ tiên gần đây hơn nhiều so với tổ tiên chung với thực vật, vốn đã tách nhánh từ rất sớm trong tiến trình tiến hóa. Ở buổi bình minh của tính đa bào, nấm và động vật có lẽ rất giống nhau. Nhưng rồi một nhánh (động vật) tiếp tục tiến hóa để có nơron và não, còn nhánh kia (nấm) thì không. Tại sao lại như vậy?

Chỉ có sinh vật sống mới tạo ra được đường, vì vậy chỉ có hai cách để các sinh vật hô hấp đa bào lớn kiếm ăn. Một là chờ đợi một sinh vật chết đi, và cách khác là săn bắt và giết chết một sinh vật sống. Ở giai đoạn đầu trong quá trình chia tách giữa nấm và động vật, mỗi nhánh đã chọn một chiến lược kiếm ăn đối lập nhau. Nấm chọn chiến lược chờ đợi, trong khi động vật chọn chiến lược giết mổ.⁽¹⁾ Nấm ăn bằng cách tiêu hóa *bên ngoài* (tiết enzym để phá vỡ thức ăn bên ngoài cơ thể), còn động vật ăn bằng cách tiêu hóa *bên trong* (giữ thức ăn bên trong cơ thể rồi tiết enzym). Chiến lược của nấm, theo một số thước đo, thành công hơn so với động vật – về sinh khối, nấm trên Trái Đất nhiều gấp khoảng sáu lần động vật. Nhưng như chúng ta sẽ thấy, thường thì chiến lược kém hơn, khó khăn hơn lại là nguồn gốc của sự đổi mới.

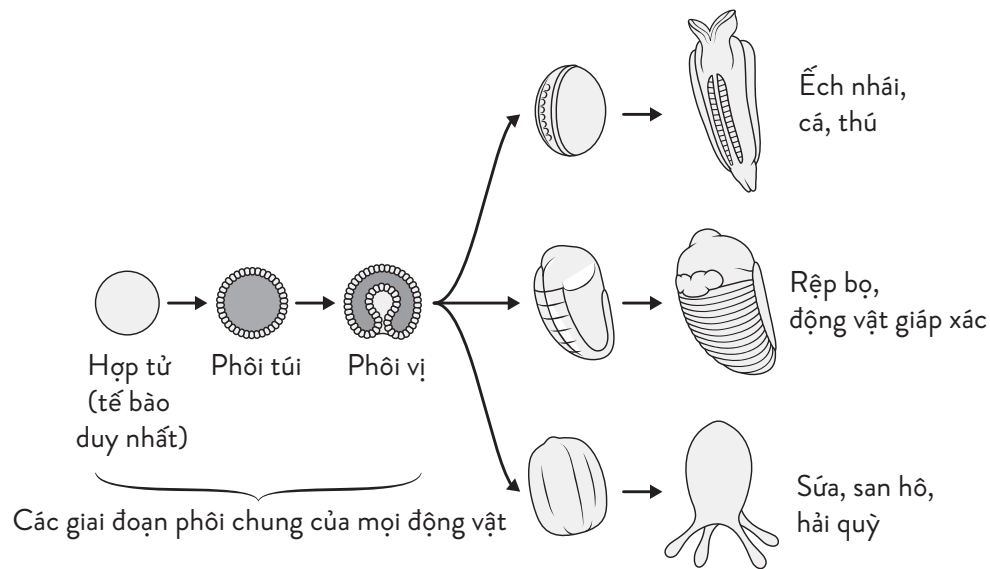
Nấm sản sinh hàng nghìn tỉ bào tử đơn bào trôi nổi trong trạng thái ngủ. Nếu một bào tử nào đó tình cờ rơi vào gần một sinh vật đang hấp hối, nó sẽ nở bung thành một cấu trúc nấm lớn, mọc các sợi tơ vào mô đang phân hủy, tiết các enzym và hấp thụ các chất dinh dưỡng được giải phóng ra. Đây là lí do tại sao nấm mốc luôn xuất hiện trên thực phẩm cũ. Các bào tử nấm ở khắp mọi nơi, kiên nhẫn chờ đợi một thứ gì đó chết đi. Hiện nay, và có lẽ từ trước tới nay, nấm chính là những “người thu gom rác” của Trái Đất.

Tuy nhiên, các động vật thời kì đầu đã chọn chiến lược chủ động bắt và nuốt chửng các con mồi đa bào mức hai (xem hình 1.4). Tất nhiên, giết mổ chủ động không phải là điều mới mẻ; các sinh vật nhân thực đầu tiên đã nghĩ ra chiến lược thực dưỡng để kiếm mồi. Nhưng điều này chỉ hiệu quả với các sinh vật mức một

¹ Tuy nhiên, như mọi yếu tố trong tiến hóa, luôn có những sắc thái khác nhau. Có một sự lựa chọn thứ ba, ở giữa mà một số loài cả động vật lẫn nấm đã áp dụng: *chiến lược kí sinh*. Thay vì chủ động bắt mồi để giết, kí sinh trùng xâm nhập vào con mồi và ăn cắp đường hoặc giết chúng từ bên trong (TG).

(sinh vật đơn bào); các khối đa bào mức hai quá lớn, không thể nuốt chửng để biến thành một tế bào duy nhất. Vì vậy, các động vật thời kì đầu đã phát triển hệ thống tiêu hóa bên trong như một chiến lược để có thể ăn những sinh vật mức hai. Động vật là sinh vật duy nhất phát triển các dạ dày (khoang tiêu hóa) nhỏ, nơi chúng nuốt con mồi và tiết enzym để tiêu hóa.

Trên thực tế, việc hình thành một khoang tiêu hóa bên trong có thể đã là đặc điểm mang tính quyết định giúp phân biệt các động vật thời kì đầu này. Gần như mọi động vật sống ngày nay đều phát triển theo ba bước ban đầu giống nhau. Từ một tế bào trứng được thụ tinh, một quả cầu rỗng (phôi túi – blastula) hình thành; sau đó nó gấp vào trong để tạo thành một khoang, một “dạ dày” nhỏ (phôi vị – gastrula). Cả phôi người và phôi sứa đều trải qua một quá trình như vậy. Dù tất cả các loài động vật đều phát triển theo cách này, không có giới sinh vật nào khác làm như vậy.⁽¹⁾ Đây là một gợi ý rất rõ ràng về khuôn mẫu tiến hóa chung của mọi loài động vật: chúng ta hình thành dạ dày để tiêu thụ thức ăn. Tất cả động vật thực hiện quá trình phôi vị hóa đều có nơron và cơ, và dường như đều bắt nguồn từ một tổ tiên động vật chung có nơron. Phôi vị hóa, nơron và cơ là ba đặc điểm không thể tách rời kết nối tất cả động vật, và phân biệt động vật với các giới sinh vật khác.

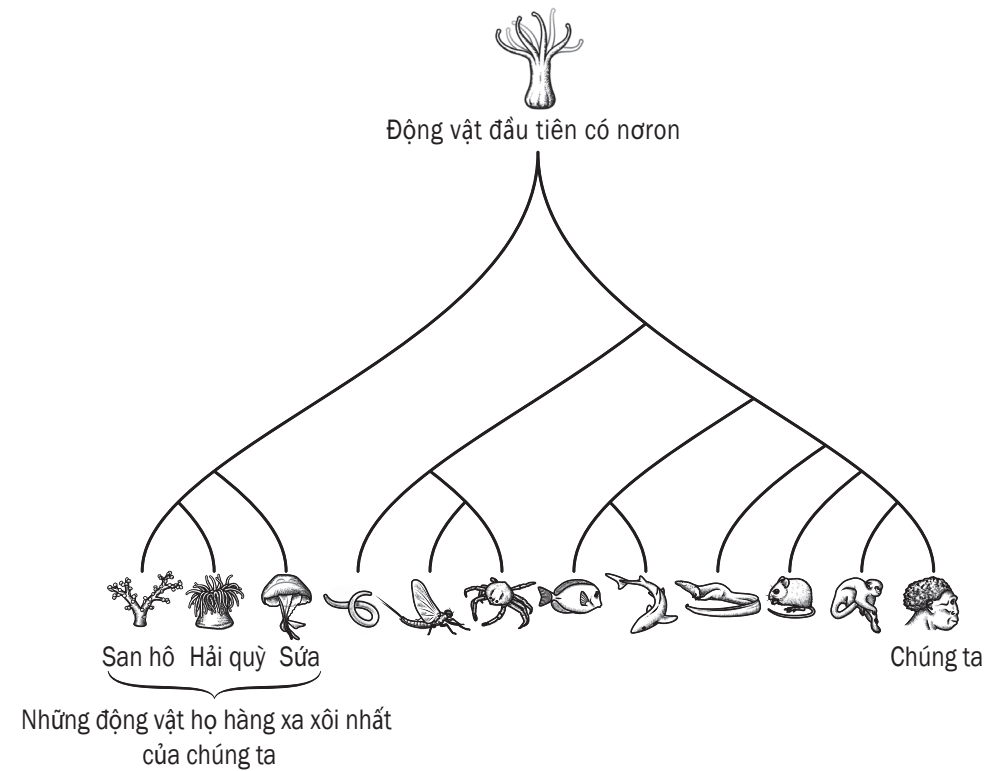


Hình 1.6: Những giai đoạn phát triển chung đối với mọi động vật

¹ Sinh vật nhân thực hiện nay thường được chia làm ba giới: giới thực vật, giới nấm và giới động vật (ND).

Một số nhà khoa học còn đi xa đến mức lập luận rằng bà tổ của động vật thực sự là một sinh vật nhỏ bé có hình dạng như phôi vị có nơron. Nhưng đây là một địa hạt khoa học đầy tranh cãi – chỉ vì tất cả động vật phát triển theo cách này không có nghĩa là chúng từng thực sự sống dưới dạng này.

Một cách lí giải khác, được hỗ trợ bởi hóa thạch, cho rằng các động vật đầu tiên có thể giống như san hô ngày nay. Nhìn bằng mắt thường, san hô đơn giản đến mức trông không khác mấy so với nấm hay thực vật (hình 1.8). Chỉ khi xem xét kĩ sinh học của nó, bạn mới thấy sự tồn tại của mẫu hình động vật: một dạ dày, cơ và nơron. San hô thực chất là một tập đoàn các sinh vật độc lập được gọi là polyp san hô. Một polyp san hô, theo một nghĩa nào đó, thực sự chỉ là một dạ dày có nơron và cơ. Chúng có các xúc tu nhỏ lơ lửng trong nước, chờ đợi các sinh vật nhỏ bơi về phía mình. Khi thức ăn chạm vào đầu một trong các xúc tu này, xúc tu co lại nhanh chóng, kéo con mồi vào khoang dạ dày để tiêu hóa. Các nơron ở đầu các xúc tu phát hiện thức ăn và kích hoạt một loạt tín hiệu qua mạng lưới các nơron khác, tạo ra sự co và duỗi có phối hợp của các cơ khác nhau.



Hình 1.7: Cây phả hệ của các động vật có nơron