

LƯỚI TƯƠNG GIAO
Hồng Dương

---o0o---

Nguồn

<http://thuvienhoasen.org>

Chuyển sang ebook 9-8-2009

Người thực hiện : Nam Thiên – namthien@gmail.com

[Link Audio Tại Website http://www.phatphaponline.org](http://www.phatphaponline.org)

Mục Lục

- (I) - Mạng lưới ngẫu duyên.
- (II) - Sự xuất hiện mạng lưới sống
- (III) - Mạng Toàn Cầu
- (IV) - Pháp giới tính: chồng chập, giao thoa, và vướng mắc

---o0o---

(I) - Mạng lưới ngẫu duyên.

Chắc ai cũng có lần chứng kiến một em bé ngồi khóc vì đã lỡ tháo đồ chơi ra từng bộ phận rồi sau đó không thể lắp lại nguyên vẹn như cũ. Hiện giờ, các nhà khoa học cũng ở trong tình trạng giống hệt. Với trí sai biệt, suốt ba thế kỷ qua, tốn hao vô kể tiền tài và công sức, họ tiếp tay nhau phân xẻ vũ trụ thành mảnh, cuối cùng đến nay lâm vào ngõ cụt, không thấy manh mối làm thế nào để tiến phát, ngoại trừ tiếp tục “đém lên”, phân tán nhỏ thêm các mảnh.

Lực dẫn khởi mọi công trình nghiên cứu khoa học trong thế kỷ 20 là nguyên lý quy giảm (Principle of reductionism). Theo nguyên lý này, muốn thông hiểu thiên nhiên thời phải khai phá các thành phần của thiên nhiên. Một khi thấu đạt thành phần, thời nắm bắt toàn thể sẽ không gặp khó khăn. Bởi thế nhiều thập niên qua quan điểm chung là muốn hiểu vũ trụ thời phải hiểu nguyên tử và các siêu sợi (superstring); muốn hiểu sự sống thời phải hiểu các phân tử; muốn hiểu tập tính con người thời phải hiểu các gen cá nhân. Các hệ thống phương trình vi phân tuyến tính của vật lý học cổ điển rất thích hợp với phép phân tích và tổng hợp như vậy. Có thể phân chúng ra từng phần, mỗi phần đem giải riêng biệt, cuối cùng hợp các lời giải riêng

biệt thời có lời giải chung. Do đó, một hệ tuyến tính hoàn toàn bằng tổng các phần của nó.a

Kinh nghiệm cho thấy càng đếm lên, càng sai biệt, thời mức phức hợp (complexity) càng gia tăng. Theo nghĩa toán học, phức hợp chẳng những có nghĩa là phi tuyến tính mà còn có nghĩa bao gồm vô lượng phần tử biến chuyển với nhiều số độ tự do (number of degrees of freedom). Nghĩa là, không thể sử dụng hệ tuyến tính mà phải dùng hệ thống phương trình vi phân phi tuyến tính (còn gọi là hệ động lực; dynamical systems) để mô tả sự tương tác giữa vô lượng phần tử của một hệ phức hợp. Toán học tánh phức hợp là toán hình học về các mẫu hình được phân tích trong khung tôpô do Poincaré khởi xướng, như quỹ đạo hấp dẫn kỳ dị (strange attractors), hình thể biến lập (fractals), chân dung pha (phase portraits), ... Ngoài ra, phải áp dụng cơ học thống kê (statistical mechanics) để tính phân bố xác suất trong chuyển động của vô lượng phần tử vì không thể mô tả đầy đủ chi tiết sự vận chuyển của từng cá thể phần tử. Cơ học thống kê cho phép thành lập những lý thuyết thâm sâu về trật tự thế giới vĩ mô, khám phá sự hiện hữu những tính chất thiết yếu của các hệ thống phức hợp mà không cần tìm hiểu chi tiết chính xác của những chuyển động ngẫu nhiên phức tạp và bất quy tắc ở mức vi mô.

Càng ngày càng đông khoa học gia công nhận không có hiện tượng hay biến cố nào hiện khởi độc lập riêng biệt. Họ khám phá nguồn gốc phát sinh tánh phức hợp chính là mạng lưới gồm các giao liên nối kết và quan hệ nhân quả giữa tất cả mọi sự mọi vật trong vũ trụ. Do đó họ tin rằng mạng lưới phức hợp có một cấu trúc rất chính xác và tề chỉnh cần được nghiên cứu tường tận vì liên quan mật thiết và ảnh hưởng sâu xa đời sống con người. Con người cùng với mọi sự mọi vật là những mắt lưới vừa là thành quả tác dụng của hết thảy các mắt lưới khác, vừa là nhân hữu lực dự phần cấu tạo, bồi dưỡng, phát triển, và vận chuyển toàn thể mạng lưới.

Trong những năm gần đây, nhờ sử dụng toán học biểu tượng những mạng lưới trừu xuất từ pháp giới trùng trùng duyên khởi, nhiều định luật toán học và nhiều mẫu hình có ý nghĩa được khám phá trong thế giới hiện tượng và trong các sinh hoạt xã hội. Do toán học, các nhà xã hội học, vật lý học, sinh học, và nhiều khoa học gia khác tìm thấy nhiều quan hệ bất ngờ giữa những sinh hoạt xã hội và tác dụng của nhiều hiện tượng tưởng như không liên can nhau: từ tế bào sống và hệ sinh thái toàn cầu (global ecosystems) đến Internet và não bộ người. Sự nhận biết những quan hệ này thuần túy phát

xuất từ toán học mạng lưới, soi sáng một số vấn đề bấy lâu chưa được giải quyết trong nhiều ngành khoa học kể cả tâm lý học và xã hội học.

Toán gia Leonhard Euler được xem như là người khởi xướng toán học mạng lưới vào năm 1736, khi ông chứng minh không thể có một con đường chạy qua bảy chiếc cầu, mỗi cầu chỉ một lần, trên sông Pregel, thành phố Königsberg. Một biểu đồ ông phác họa kèm theo phần luận chứng đã làm phát khởi cả một ngành toán học rộng lớn và rất quan trọng. Đó là thuyết biểu đồ (graph theory), cốt lõi của thuyết mạng lưới hiện nay.

Luận chứng của Euler tuy đơn giản và ưu mỹ, rất dễ hiểu ngay đối với người không chuyên toán, nhưng chính cái lối nhìn của ông mới thực sự làm nên lịch sử. Đối với ông, vùng bảy chiếc cầu ở Königsberg hiện ra như một biểu đồ (graph), nghĩa là một tập hợp gồm nút (nodes) nối lại với nhau bởi những đường dây nối nút (links).

Các nút biểu diễn bốn vùng đất bị sông chia cách, đặt tên là A, B, C, và D. Các đường dây nối nút là những chiếc cầu nối kết các vùng ấy với nhau. Lý do không có đường nào đi qua tất cả bảy chiếc cầu mỗi cầu chỉ một lần là vì nút nào có một số lẻ đường dây nối thì nút đó phải là điểm khởi đầu hay điểm cuối cùng của hành trình. Một con đường liên tục đi qua hết bảy chiếc cầu chỉ có thể có một điểm khởi đầu và một điểm cuối cùng. Như thế, con đường này không thể hiện hữu trong một biểu đồ có nhiều hơn hai nút với một số lẻ đường dây nối. Vì biểu đồ Königsberg có bốn nút với một số lẻ đường dây nối cho nên không thể tìm ra con đường nói trên.

Nên lưu ý sự hiện hữu của con đường nói trên không tùy thuộc trí thông minh suy lý của con người mà thật ra là một tính chất của biểu đồ. Với cách bố trí các chiếc cầu như ở Königsberg hồi đó, dẫu tài giỏi đến đâu ta cũng không tìm ra được con đường nói trên. Dân chúng thành phố Königsberg đồng ý với Euler không còn thắc mắc về sự hiện hữu của một con đường như vậy nữa và đến năm 1875 xây thêm một cầu mới nối liền B và C, gia tăng số đường dây nối ở B và C lên thành bốn. Do đó chỉ còn lại hai nút, A và D, với một số lẻ đường dây nối, trở thành điểm khởi đầu và điểm kết thúc một hành trình qua tám chiếc cầu, mỗi cầu chỉ đi qua một lần mà thôi.

Tóm lại, câu chuyện trên chỉ cho thấy trong cấu trúc của các biểu đồ hay mạng lưới ẩn khuất những tính chất mà tác dụng có thể hạn chế hay tăng gia khả năng giao liên tác động của chúng ta với chúng. Cấu trúc luôn luôn ảnh hưởng trên tác dụng, chẳng hạn địa hình các mạng lưới xã hội ảnh hưởng sự

loan truyền tin tức hay lan tràn các bệnh truyền nhiễm. Một trường hợp địa hình mạng lưới các trạm phát điện ảnh hưởng đến tính bền vững của sự truyền dẫn điện: Ngày 10 tháng tám, 1996, một lỗi làm trên hai đường dẫn điện ở Oregon, Hoa kỳ, làm phát khởi một dây hỏng máy điện qua các trạm phát như dòng thác đổ, tắt điện trong 11 tiểu bang ở Hoa kỳ và 2 tỉnh ở Gia nã đại, hơn 7 triệu nhà không điện suốt 16 tiếng đồng hồ. Một thí dụ khác về ảnh hưởng của cấu trúc mạng lưới trên tác dụng: Ngày 4 tháng năm, 2000, con sâu Love Bug, một chương trình phá hoại máy tính tồi tệ nhất chưa từng thấy, bò lan khắp thế giới qua Internet gây thiệt hại hàng tỉ Mỹ kim.

Bởi thế nghiên cứu sự hình thành cấu trúc của mạng lưới là then chốt để thông hiểu thế giới phức hợp quanh ta. Chỉ cần một vài thay đổi nhỏ trên các nút hay đường dây nối nút cũng đủ phát khởi nhiều khả năng mới từ sau những cánh cửa ẩn kín. Hiện nay hết thảy mọi ngành khoa học nghiên cứu hệ thống phức hợp đã bắt đầu quan tâm khảo sát sự hình thành và biến chuyển cấu trúc và động lực của các mạng lưới tương giao.

Ban đầu, các nhà toán học chỉ chú tâm khám phá và sắp hạng các loại mạng lưới. Thí dụ: các mạng do nguyên tử tạo thành trong một tinh thể hay các mạng lục giác do ong thiết lập làm tổ là những mạng lưới có sắp đặt (ordered graphs). Nhưng về sau, vấn đề đặt ra là các mạng hiện khởi như thế nào? Những định luật nào qui định địa hình, tương dạng, và cấu trúc của chúng? Phải đợi đến thập niên giữa thế kỷ 20, các vấn đề ấy mới được giải quyết lần đầu tiên do bởi công trình xây dựng thuyết mạng lưới ngẫu duyên (random networks) của hai nhà toán học Hungary, Paul Erdos và Alfréd Rényi.

Hãy tưởng tượng tổ chức một buổi tiệc gồm khoảng một trăm thực khách. Họ được chọn và mời là vì họ không quen biết bất kỳ ai trong danh sách những người được mời dự tiệc. Khi rượu thịt dọn ra thời bầu không khí xa lạ giữa họ đôi hẳn. Họ bắt đầu trò chuyện, làm quen với nhau. Không bao lâu, có chừng từ ba mươi đến bốn mươi nhóm họp thành, mỗi nhóm gồm độ hai hay ba người. Bây giờ đến kê tai một thực khách nói cho người này hay rằng rượu chất đồ đựng trong những chai màu lục đậm không dán nhãn hiệu là thứ rượu rất quý và trăm lần ngon hơn rượu đựng trong những chai có dán nhãn hiệu màu đỏ. Và yêu cầu vị thực khách đó truyền tin này đến chỉ những người mà vị ấy mới làm quen mà thôi. Chớ vội nghĩ rằng làm như thế thời chỉ có thêm hai hay ba người nữa biết tin rượu quý cất ở đâu. Thực ra, khách thường chán nói chuyện với một người và hay di chuyển nhập vào nhóm khác. Có những nối kết xã hội giữa hai thực khách vừa gặp nhau trước đó

nay ở trong hai nhóm khác nhau. Kết quả là nhiều đường dây rất tinh tế bắt đầu nối kết những người đang còn xa lạ. Chẳng hạn, Át chưa bao giờ gặp Giáp tuy cả Giáp và Át đều quen Bính, như vậy tức có đường dây nối kết Át và Giáp qua Bính. Nếu Át biết cái tin về rượu quý thời bây giờ Giáp cũng có cơ may biết đến, vì do Bính nghe Át nói rồi thuật lại. Với thời gian trôi qua, các thực khách càng lúc càng vướng mắc nhau qua những nối kết không thể xúc mạc tạo thành một mạng lưới quen biết tinh vi bao gồm một số khá lớn thực khách. Giả thiết mỗi thực khách chuyên tin rượu quý cho tất cả những người mình mới quen, thử hỏi trước khi tan tiệc tin ấy có lan truyền khắp đủ mọi người dự tiệc hay không? Theo Erdos và Rényi, chỉ cần ba mươi phút là đủ thời giờ để hình thành một mạng lưới nối kết xã hội vô hình bao gồm hết thảy thực khách của buổi tiệc. Nghĩa là, nếu mỗi thực khách làm quen với ít nhất một người, thời trong thoáng chốc tất cả đều biết tin và tìm đến cạn hết những chai rượu quý.

Thực khách trong buổi tiệc là nút và mỗi gặp gỡ giữa hai thực khách là một đường dây nối nút xã hội. Xuất hiện với một số nút kết nhau qua những đường dây nối nút, mạng lưới quen biết là một biểu đồ. Để tìm hiểu bí ẩn của những mạng lưới lẫn xen vào cuộc sống hàng ngày của chúng ta, các khoa học gia tìm cách triển khai thuyết biểu đồ, thường gọi là thuyết mạng lưới (network theory), đặt trọng tâm nghiên cứu vào những mẫu hình tương giao tác dụng giữa những cá thể. Máy tính kết nhau qua dây điện thoại, phân tử trong cơ thể kết nhau qua tác dụng sinh hóa, công ty và người tiêu thụ kết nhau qua giao dịch, tế bào thần kinh kết nhau qua sợi trục (axon), máy phát điện kết nhau qua đường dây cao thế, đảo kết nhau qua chiếc cầu, tất cả là những thí dụ biểu đồ. Một nhà chuyên khảo mạng lưới khi nhìn vào bất cứ hệ thống thành phần kết liên nào sẽ hình dung nó như là một mẫu hình trừu tượng, một biểu đồ, gồm nút kết nhau qua những đường dây nối nút. Họ không quan tâm đến góc tích và thể tích cá biệt của các nút mà chỉ chú trọng đến mẫu hình và cấu trúc của mạng lưới các quan hệ, nhằm tìm cách khám phá tánh đồng nhất của một số nhiều mạng lưới. Nói theo Phật giáo, những mẫu hình và cấu trúc họ quán sát là những mạng trừu xuất từ mạng lưới bao la pháp giới trùng trùng duyên khởi.

Vấn đề đơn giản hóa các mạng lưới thành những biểu đồ gặp nhiều khó khăn thách đố. Tuy xã hội, Internet, tế bào, hay não bộ tất cả đều có thể tượng hình bằng biểu đồ, nhưng biểu đồ của chúng đâu có giống nhau! Khó mà tưởng tượng một sự dung hợp giữa một bên là xã hội con người, trong đó sự làm quen và tìm bạn là do phối hợp những cuộc gặp gỡ ngẫu nhiên với những quyết định có ý thức, và một bên là tế bào, trong đó các định luật nhân quả tất yếu hóa học và vật lý học chi phối hết thảy mọi tương tác phản

ứng giữa các phân tử. Chắc chắn có sự sai biệt giữa các qui luật cai quản cách phối trí các đường dây nối nút trong những mạng lưới khác nhau. Vì mục đích của mọi khảo sát khoa học là phát hiện cách giải thích đơn giản nhất để cắt nghĩa những hiện tượng vô cùng phức tạp, cho nên các khoa học gia nỗ lực phát minh một mô hình chung để miêu tả tất cả những mạng lưới phức hợp khác nhau.

Một lời giải toán học ưu mỹ miêu tả tất cả mọi biểu đồ phức hợp cùng trong một khung ý niệm đã được Erdos và Rényi đề nghị. Nhận thấy các hệ thống khác nhau tùy thuận những luật tắc dị biệt qui định sự hình thành cấu trúc của chúng, Erdos và Rényi quyết định gạt bỏ mọi bất đồng và chọn một giả thiết hết sức đơn giản là các nút nối kết nhau một cách ngẫu nhiên. Như vậy dưới mắt của hai nhà toán học Hungary, biểu đồ và thế giới biểu tượng đều có bản tính ngẫu nhiên, hoàn toàn ngược lại với quan điểm của Albert Einstein (bạn thân của Erdos) cho rằng “Thượng đế không chơi súc sắc với vũ trụ (God does not play dice with the universe).” Nói cách khác, mọi mạng lưới trừu xuất từ pháp giới duyên khởi không hình thành do ngẫu duyên, mà thường do một số định luật cơ bản xác định và điều khiển.

Hãy trở lại câu chuyện buổi tiệc và tìm hiểu đặc tính của mạng lưới ngẫu duyên. Ban đầu, biểu đồ gồm một số lớn nút cô lập. Sau đó các nút được nối kết bởi những đường dây ngẫu duyên phỏng theo sự gặp gỡ tình cờ giữa các thực khách. Khi một số đường dây nối kết được kẻ thêm, các nút sẽ kết thành nhiều cặp. Tiếp tục thêm nữa thời không làm sao tránh khỏi nối kết các cặp nút ấy lại với nhau tạo thành những quần tụ (cluster) tập trung nhiều nút. Nếu kẻ thêm đến chừng mỗi nút có trung bình một đường dây nối, thời đột nhiên hiện khởi một quần tụ khổng lồ duy nhất. Nghĩa là, hầu hết mọi nút trở nên thành phần của một quần tụ đơn nhất, từ bất kỳ nút nào làm khởi điểm ta có thể di chuyển đến một nút khác thông qua những đường dây nối nút. Đó là lúc tin đồn về rượu quý có thể lọt đến tai của bất cứ thực khách nào trong buổi tiệc. Hiện tượng đó là sự xuất khởi (emergence) một bộ phận khổng lồ gồm đa số nút đối với các toán gia, là một sự ngấm lọc (percolation) dẫn khởi một chuyển tiếp pha (phase transition) đối với các nhà vật lý học, là sự hình thành một cộng đồng đối với các nhà xã hội học. Mặc dầu ngành khác nhau đặt tên khác nhau, nhưng tất cả đồng ý rằng khi chọn ngẫu nhiên nút trong một mạng lưới để nối kết thành cặp thời một biến chuyển lớn đột khởi khi số đường dây nối kết đạt trị tới hạn. Trước đó, các nút nối kết hợp thành quần tụ nhỏ cô lập, thực khách gặp gỡ quen biết trong vòng nhóm nhỏ rời rạc. Sau đó, xuất hiện một quần tụ khổng lồ với sự tham dự của hầu hết thực khách.

Mỗi người trên quả đất là thành phần của một mạng lưới rộng lớn, mạng lưới xã hội thế giới hay mạng lưới nhân loại. Không một ai bị gạt bỏ ra ngoài. Giữa hai người bất cứ ở đâu trên quả đất đều không quen biết nhau vẫn có một đường dây nối kết họ lại với nhau. Cũng vậy, có một đường dây nối kết bất cứ hai neuron (tế bào thần kinh) nào trong não bộ, bất cứ hai công ty nào trên thế giới, bất cứ hai hóa chất nào trong thân thể con người. Paul Erdos và Alfréd Rényi giải thích điều kiện nối kết với bất cứ nút nào khác trong mạng là mỗi và mọi nút chỉ cần có một đường dây nối. Cá nhân làm quen ít nhất một người, neuron có ít nhất một đường dây nối với một neuron khác, hóa chất có khả năng tham gia ít nhất một phản ứng trong thân thể con người, công ty giao dịch với ít nhất một công ty khác. Một là ngưỡng (threshold) nối kết. Toàn mạng sẽ phân tán thành nhiều quần tụ nhỏ rời nhau nếu các nút có trung bình ít hơn một đường dây nối; nếu có trung bình nhiều hơn một đường dây nối thì cơ nguy mạng lưới phân tán có thể tránh được.

Trong thực tế, các nút thường có nhiều hơn một đường dây nối. Các nhà xã hội học ước lượng mỗi chúng ta quen biết tên họ độ chừng từ 200 đến 5 000 người. Trung bình một neuron nối kết với hàng tá, có khi với cả ngàn neuron khác. Mỗi công ty nối kết với hàng trăm hãng cung cấp và khách hàng, nhiều công ty lớn nối kết với hàng triệu. Trong thân thể con người, hầu hết các phân tử tham gia một số rất nhiều phản ứng, như nước chẳng hạn, tham gia đến hàng trăm phản ứng. Theo thuyết mạng lưới ngẫu nhiên khi số trung bình đường dây nối của mỗi nút tăng quá trị tới hạn, số nút bị gạt bỏ ra ngoài quần tụ khổng lồ sẽ giảm bớt theo hàm số mũ. Nghĩa là, thêm càng nhiều đường dây nối thì càng khó tìm ra những nút cô lập. Như thế các mạng lưới quanh ta rất dày đặc, không nút nào thoát khỏi, trong đó mỗi nút nối kết với mọi nút.

Trước Erdos và Rényi, tiêu điểm của thuyết biểu đồ không phải là các buổi tiệc, các mạng xã hội, hay các mạng lưới ngẫu nhiên, mà hoàn toàn là các biểu đồ tuần quy (regular graphs; ordered graphs; biểu đồ có sắp đặt) có cấu trúc xác định. Đặc tính của biểu đồ tuần quy là nút nào cũng có một số đường dây nối kết giống nhau. Thí dụ trong một mạng lưới phẳng ô vuông do các đường trục giao tạo thành, nút nào cũng có bốn đường dây nối. Hoặc trong mạng lưới lục giác tổ ong, nút nào cũng có ba đường dây nối. Tánh tuần quy đó không tìm thấy trong những mạng phức hợp hiện hữu như Internet hay tế bào.

Erdos và Rényi là những người đầu tiên khám phá, từ những mạng lưới xã hội đến những mạng dây điện thoại, hầu hết những biểu đồ trong thực tế đều không có tính tuần quy và vô cùng phức tạp. Đứng trước bức tường phức hợp khó vượt qua, hai ông thấy chỉ có cách duy nhất là giả thiết mạng lưới hình thành ngẫu nhiên. Hai ông mở rộng cửa toán học cho thấy một thế giới mới, một thế giới bình đẳng. Vì các đường dây được thiết lập hoàn toàn ngẫu nhiên, nên mọi nút có cơ hội đồng đều tiếp nhận một đường nối. Tuy nhiên, chớ tưởng lầm do ngẫu duyên mà có nút tiếp nhận rất nhiều đường dây nối và có nút quá rủi ro không tiếp nhận được đường nối nào cả. Cái thế giới ngẫu duyên hai ông đề xướng tưởng như có tính cách vừa bất công vừa độ lượng. Thật ra không phải vậy. Nếu là một mạng lưới rộng lớn thì mặc dầu các đường dây nối thiết lập ngẫu nhiên, nút nào cũng tiếp nhận một số xấp xỉ như nhau.

Để thấy được điều đó, hãy phỏng vấn các thực khách sau buổi tiệc, hỏi mỗi thực khách làm quen được bao nhiêu người tất cả. Rồi vẽ một tuyến đồ (histogram) biểu diễn bao nhiêu thực khách làm quen k ($k=1, 2, \dots$) người trong suốt buổi tiệc.

Mô dạng của tuyến đồ được chứng minh là một phân bố Poisson [do Béla Bollobás, một môn sinh của Erdos, giáo sư tại Đại học Trinity College, Anh quốc, 1982]. Nghĩa là có một chóp đỉnh nổi bật chỉ cho thấy đa số nút đều tiếp nhận một số đường nối gần bằng số đường nối của nút trung bình. Hai bên chóp đỉnh, sự phân bố giảm xuống rất nhanh, cho thấy không có nhiều nút lệch xa nút trung bình.

Nếu áp dụng phân bố Poisson vào một xã hội 6 tỉ người thì kết quả là số bạn bè quen thuộc của mỗi người trong đa số chúng ta xấp xỉ bằng nhau. Như vậy, nếu ghép ngẫu nhiên những đường dây nối kết xã hội, thuyết mạng lưới ngẫu duyên dự đoán tiến tới một xã hội “dân chủ” trong đó tất cả chúng ta ai cũng là trung bình và rất ít kẻ lệch xa chuẩn (norm) để trở thành quá xã giao hay vô cùng cô lảnh. Mạng lưới ngẫu duyên, một mạng lưới tương đồng với trung bình là chuẩn, quả là một mạng tương giao lý tưởng.

Mãi đến gần đây để mô tả vũ trụ các tương giao, hầu hết toán gia không tìm thấy cách gì khác hơn là đồng ý với Erdos và Rényi giả thiết các mạng phức hợp hình thành trên cơ sở ngẫu duyên: các mạng phức hợp là những mạng lưới ngẫu duyên. Thuyết mạng lưới ngẫu duyên được xem như phát minh vào năm 1959 khi Paul Erdos đề nghị lời giải bài toán rất nổi tiếng của

thuyết biểu đồ, bài toán tìm số đường dây nối bé nhất nối kết các nút của một biểu đồ để bất kỳ hai nút nào cũng được nối nhau.

Tương cần nhắc lại đây một số định nghĩa và kết quả quan trọng của toán mạng lưới. Toán mạng lưới sử dụng tỉ số m/N để tiêu biểu một mạng lưới gồm N nút và m đường dây nối, mỗi đường nối hai nút. Số đường dây nối dính vào một nút gọi là độ của nút ấy. Để tính mỗi nút trung bình có bao nhiêu đường dây nối, hãy cộng độ của tất cả nút, rồi đem chia cho tổng số nút kể cả những nút không có đường dây nối. Gọi k là số trung bình đường dây nối tại mỗi nút, ta có $k = 2m/N$; k gọi là độ trung bình. Erdos và Rényi chứng minh một định lý nổi tiếng nay được gọi là định lý Erdos-Rényi: “Xác suất xuất hiện của một bộ phận không lồ đơn nhất gồm hầu hết mọi nút của mạng nhảy vọt từ 0 đến 1 khi tăng tỉ số tiêu biểu m/N quá trị tới hạn 0.5.” Tại điểm này, $k = 1$. Theo Erdos và Rényi, $k = 1$ là ngưỡng nối kết, nghĩa là mỗi và mọi nút chỉ cần có 1 đường dây nối thời sẽ nối với bất kỳ nút nào khác trong mạng. Một dạng khác của định lý Erdos-Rényi: “Khi số đường dây nối ngẫu nhiên m lớn hơn hay bằng $(N/2)\ln(N)$ với $\ln(N)$ là logarit tự nhiên của N , hay $k \geq \ln(N)$, thời “hầu hết mọi” mạng lưới ngẫu nhiên đều hoàn toàn nối kết.”

Giả thiết biểu đồ có 50 nút, mỗi nút là một thành phố chẳng hạn. Nếu không tính toán, nhắm mắt nối mỗi thành phố với 49 thành phố kia thời phải xây 1 225 đường. Nhưng theo Erdos, nếu nối một cách ngẫu nhiên thời chỉ cần xây độ chừng 98 đường, nghĩa là 8 phần trăm số 1 225 đường, là đủ để nối kết hầu hết các thành phố với nhau. Erdos khám phá số nút đầu lớn bao nhiêu, chỉ cần một tỷ lệ phần trăm nhỏ các đường dây nối ngẫu nhiên cũng đủ thắt nối kết hợp mạng lưới thành một toàn thể. Tỷ lệ phần trăm ấy giảm thiểu rất nhanh khi mạng lưới bành trướng rộng lớn thêm. [Công thức toán của tỷ lệ ấy là $\ln(N)/N$]. Thí dụ: với 300 nút, trong số gần 50 000 đường có thể nối chúng, chỉ cần 2 phần trăm là đủ. Với 1 000 nút, tỷ lệ ấy bé thua 1 phần trăm. Với 10 triệu nút, tỷ lệ là 0.0000016.

Trở lại với mạng lưới xã hội 6 tỉ người trên mặt đất, thử hỏi số bạn bè quen thuộc của mỗi người trung bình là bao nhiêu để hai người, bất kỳ là ai, bất cứ ở đâu, một làm nghề đánh cá ở Bắc cực, một làm thủ tướng ở Úc chẳng hạn, nối kết nhau? Theo Erdos và Rényi, tỷ lệ là 4 phần tỉ. Nghĩa là, trung bình mỗi người chỉ cần quen biết 24 người là đủ để bất kỳ hai người nào trên mặt đất nối kết nhau.

Sau đây là một thí nghiệm mô phỏng bài toán mạng lưới ngẫu nhiên của Erdos và Rényi. Tưởng tượng vung vãi một số nút áo trên nền nhà. Chọn một cách ngẫu nhiên hai nút và nối chúng bằng một sợi dây. Lại chọn ngẫu nhiên hai nút nữa và nối chúng bằng một sợi dây khác. Lúc đầu những nút được chọn không thuộc cặp nào đã nối trước đó. Nhưng về sau thế nào cũng chọn nhằm một nút đã kết cặp để nối vào một nút khác, tạo thành một quần tụ ba nút. Nếu tiếp tục nối các cặp nút ngẫu nhiên như thế, thời một lúc sau, các nút nối với nhau bắt đầu trở thành một quần tụ rộng lớn. Trong thời gian thí nghiệm, lâu lâu thử nhắc lên một nút bất kỳ và đếm xem có bao nhiêu nút khác cùng nhắc theo. Tất cả nút cùng nhắc theo đó tạo thành cái gọi là một bộ phận của mạng lưới ngẫu nhiên. Cuối cùng, có những nút không nối với nút nào, trong khi số lớn nối thành cặp, thành bộ ba, hay quần tụ lớn.

Khi tỉ số tiêu biểu vượt quá 0.5 thì một chuyển tiếp pha phát khởi, một quần tụ khổng lồ đột nhiên xuất hiện. Chẳng hạn, nếu số nút $n=10\ 000$, bộ phận khổng lồ sẽ đột khởi khi số đường dây nối đạt mức vào khoảng $m=5\ 000$. Lúc bộ phận khổng lồ phát hiện, hầu hết mọi nút hoặc trực tiếp hoặc gián tiếp nối lại với nhau. Nếu nhắc lên một nút, sẽ có cơ may nhắc theo một loạt độ chừng 8 000 trong số 10 000 nút. Số đường dây nối càng tăng thì số nút lẻ loi còn lại và số quần tụ riêng biệt càng giảm thiểu vì nối nhau sáp nhập và bành trướng bộ phận khổng lồ.

Trên đây là đường biểu diễn chuyển tiếp pha của một mạng lưới ngẫu nhiên có 400 nút. Đường có dạng chữ S. Số nút trong quần tụ lớn nhất lúc đầu tăng chậm, rồi tăng rất nhanh, rồi tăng chậm lại, tương ứng với sự tăng của tỉ số tiêu biểu m/n . Sự tăng rất nhanh là dấu chỉ của hiện tượng chuyển tiếp pha. Đường biểu diễn vọt cao lên với độ giốc gần thẳng đứng khi tỉ số tiêu biểu vượt qua trị 0.5. Độ giốc đứng tại trị tới hạn 0.5 tùy thuộc tổng số nút của mạng lưới. Khi số nút bé thì phần giốc đứng của đường biểu diễn “cạn”, nhưng khi số nút tăng, chẳng hạn từ 400 đến 100 triệu, thì phần giốc đứng dựng đứng thẳng hơn. Ví như số nút tăng đến vô cực, thì khi tỉ số tiêu biểu vượt qua trị tới hạn 0.5, độ lớn của bộ phận lớn nhất của mạng lưới nhảy vọt một cách gián đoạn từ bé tí đến khổng lồ. Hiện tượng đột khởi được xem như là một chuyển tiếp pha, giống trường hợp vô lượng phân tử nước đột nhiên đóng băng thành nước đá khi nhiệt độ vừa giảm thấp dưới 0 độ bách phân.

Định lý Erdos-Rényi hết sức lợi ích trong sự tìm hiểu và chế ngự các hiện tượng phức hợp như tánh bền vững của hệ sinh thái, động lực tính của thị trường, và tổ chức phản ứng của hệ miễn dịch. Kết quả quan trọng của định

lý là khi tỉ số tiêu biểu m/n vượt quá 0.5, rất nhiều nút bỗng nhiên được nối với nhau tạo thành một mạng rộng lớn trong hệ thống. Sự đột khởi một bộ phận không lồ như vậy không có gì là huyền bí mà chỉ là một tính chất tự nhiên và tất yếu của mạng lưới ngẫu nhiên. Theo Stuart Kauffman, nhà nghiên cứu nổi tiếng về nguồn gốc của sự sống, mẫu hình tổ chức của hết thảy mọi hệ thống sống (living systems) thường gọi là mạng lưới sống cũng đột khởi như vậy. Mạng lưới sống là một hiện tượng chuyển hóa tự xúc tác (autocatalytic metabolism), một mạng phản ứng tự duy trì, một xuất hiện tánh (emergent property), đồng thời câu khởi như một chuyển tiếp pha khi tánh phức hợp của mạng các hóa chất trước thời sinh vật và tương giao phản ứng giữa chúng đạt mức tới hạn. Mạng lưới sống xuất hiện phức hợp và hoàn chỉnh, tiếp tục y nhiên phức hợp và hoàn chỉnh.

---o0o---

(II) - Sự xuất hiện mạng lưới sống

Đã từ lâu các khoa học gia chuyên về sự sống nhận thấy mẫu hình tổ chức của các hệ thống sống luôn luôn là một mẫu hình mạng lưới. Tuy nhiên không phải mạng lưới nào cũng là hệ thống sống. Mạng lưới là một hệ thống phức hợp, được cấu thành bởi một số lớn thành phần (nút) giao hỗ tác dụng một cách không đơn giản. Các hệ phức hợp không những chỉ phức tạp mà thôi. Hoa tuyết phức tạp, nhưng chúng sinh xuất từ những luật tắc đơn giản. Hơn nữa, cấu trúc hoa tuyết không thay đổi, và kết tinh, từ khi hiện đến lúc tan không giống các hệ phức hợp thường xuyên biến đổi theo thời gian. Nhưng sự biến đổi của hệ phức hợp khác hẳn sự biến đổi hỗn độn của một dòng nước chảy cuộn cuộn trong một lòng sông chật hẹp đầy thác ghềnh. Trật tự của hệ phức hợp xuất hiện trong khoảng từ hoàn toàn trật tự của hoa tuyết kết tinh đến vô trật tự của dòng nước lưu chuyển hỗn độn. Đó là biên duyên của hỗn độn, ở xa vị trí cân bằng, thường gọi là “trên bờ hỗn độn” (at the edge of chaos).

Trong hệ thống phức hợp, toàn thể nhiều hơn tổng các thành phần. Ở đây không nói theo nghĩa siêu hình học mà nói theo nghĩa thực dụng, nghĩa là dù biết những tính chất của các thành phần và những luật tắc chi phối sự giao hỗ tác dụng giữa chúng thì cũng chẳng dễ gì suy diễn tìm ra những tính chất của toàn thể. Nhưng khi bảo toàn thể nhiều hơn tổng các thành phần, thử hỏi cái gì có thêm nhiều nơi toàn thể mà không có nơi các thành phần? Xuất hiện tánh (emergence) là câu trả lời. Thuyết hệ thống phức hợp tìm cách giải thích sự xuất hiện một số hiện tượng vĩ mô qua những giao hỗ tác

dụng phi tuyến tính giữa các phần tử vi mô trong hệ phức hợp mà không cần biết đến hết thấy mọi chi tiết của các tương giao tương tác. Cơ học thống kê được sử dụng để giải thích xuất hiện tách tức sự xuất hiện những hiện thành thống kê tuân qui tương ưng với sự xuất hiện các hiện tượng vĩ mô. Các luật thống kê phát biểu rằng trong những phạm vi rộng lớn các hiện thành thống kê tuân qui có thể xuất hiện ở mức vĩ mô, hầu như hoàn toàn không liên hệ với những chi tiết chính xác của những chuyển động ngẫu nhiên phức tạp và bất qui tắc đang vận hành ở mức vi mô.

Thuyết xuất hiện tách (emergence theory) giải thích nguồn gốc phát sinh những tính chất sinh học thiết yếu của các hệ thống sống không tùy thuộc các chi tiết giao hỗ tác dụng giữa các thành phần của hệ. Đến nay mọi chủ trương về nguồn gốc của sự sống không nương vào thuyết xuất hiện tách đều gặp nhiều khó khăn không giải quyết được. Thí dụ, trong một bài viết đăng tập san Scientific American trong năm 1954, George Wald, giải Nobel Sinh lý học 1967, đưa ra thắc mắc không hiểu làm thế nào có thể xảy ra hiện tượng một tập hợp phân tử tự hội đúng cách tạo thành một tế bào sống. Theo Wald, sau vô số lần thử tự hội theo cách này hay cách khác, cuối cùng với thời gian, các phân tử thành tựu hình thành một tế bào sống. Thời gian là yếu tố quyết định sự cải biến bất khả thành khả năng, khả năng thành hoặc hữu, hoặc hữu thành thực tế.

Để phản bác ý kiến yếu tố thời gian, Robert Shapiro trong tập sách Origins (Nguồn gốc) đã tìm cách trước hết tính trong lịch sử của trái đất có bao nhiêu lần thử để tạo sự sống một cách ngẫu nhiên và thấy rằng con số ấy vô cùng lớn: 25 nhân 10 lũy thừa 50 (25 đèo theo 50 zero). Sau đó cần phải tính mỗi lần thử có bao nhiêu cơ duyên thành tựu. Ông cho biết hai nhà thiên văn học, Fred Hoyle và N. C. Wickramasinghe, đã tính xác suất thành tựu của mỗi lần thử là 1 phần của 10 lũy thừa 40 000. Để thấy 10 lũy thừa 40 000 lớn như thế nào, hãy so sánh với số nguyên tử Hydro hiện có trong vũ trụ là 10 lũy thừa 40 mà thôi. Như thế với xác suất 1 phần của 10 lũy thừa 40 000, sự sống gần như không bao giờ có cơ duyên sinh khởi.

Một số khoa học gia khác bảo đó là một sự phát sinh tự nhiên (spontaneous generation). Nhưng nếu tính xác suất để một biến cố tự phát như vậy xảy ra thời có thể so sánh xác suất tính được với cơ duyên để một cơn lốc xoắn ốc thổi quét một bãi đồ phế thải góp nhặt các thứ vật liệu ở đó tạo thành một chiếc Boeing 747!

Theo Stuart Kauffman, sự sống là một xuất hiện táh, xuất hiện theo cách thức một chuyên tiếp pha từ những hệ thống hóa chất xa vị trí cân bằng bao gồm những chu kỳ xúc tác (catalytic cycles). Chất xúc tác thông thường là enzym, là bất kỳ phân tử nào thôi xúc tốc độ của một phản ứng hóa học mà không biến đổi hay bị tiêu thụ trong quá trình. Một sinh vật là một hệ thống hóa chất có khả năng xúc tác sự tự tái sản xuất.

Kauffmann mô phỏng sự xuất hiện một hệ thống tự xúc tác bằng cách thiết lập một biểu đồ phản ứng gồm nút là các polymer [hợp chất hóa học gồm nhiều chất đơn phân (monomer); thí dụ: protein, phân tử RNA] và đường dây nối là những phản ứng hóa học. Mỗi polymer có hai nghĩa: vừa là quả vì là cơ chất hay sản phẩm của một phản ứng hóa học, vừa là nhân vì là chất xúc tác trong một phản ứng khác. Trong thực tế hết thảy mọi phân tử hữu cơ đều có hai nghĩa như vậy. Trypsin chẳng hạn, là một enzym có chức năng phân cắt các protein ta ăn vào thành mảnh nhỏ (nhân của sự phân cắt) đồng thời tự phân cắt nó ra mảnh nhỏ (quả của sự phân cắt). Cũng thế, các protein và phân tử RNA là polymer cơ chất (substrate; chất trên đó enzym tác dụng) hay sản phẩm của các phản ứng, nhưng đồng thời tác dụng xúc tác các phản ứng khác.

Biểu đồ phản ứng được giả thiết gồm chỉ hai loại phản ứng, phản ứng buộc thắt (ligation; kết liên nhau) và phản ứng phân cắt (cleavage; chia phân ra). Thí dụ một polymer gồm bốn chất đơn phân abbb. Nếu xét trên phương diện phản ứng buộc thắt thời nó có thể là kết quả buộc thắt a với bbb, hay ab với bb, hay abb với b, như vậy nó hình thành ba cách khác nhau, do ba phản ứng khác nhau. Nếu tăng độ dài của polymer thêm một chất đơn phân, abbba, số phản ứng của polymer sẽ tăng: abbba có thể là kết quả buộc thắt a với bbba, hay ab với bba, hay abb với ba, hay abbb với a. Vì một polymer có độ dài L thường có L-1 liên kết cho nên nó có thể hình thành từ những polymer bé hơn theo L-1 cách khác nhau. Nếu xét trên phương diện phản ứng phân cắt, thời abbb có thể xem như kết quả phân cắt a ra khỏi phía bên phải của polymer abbba. Nói tổng quát, số phản ứng có khả năng sản xuất các polymer nhiều hơn số polymer.

Bây giờ giả thiết thêm rằng các phản ứng trong biểu đồ đều là phản ứng có xúc tác, nghĩa là không xảy ra tự nhiên mà có sự thôi xúc của các polymer trong hệ thống. Tựa trên phương pháp nối ngẫu nhiên các nút của Erdos và Rényi, Stuart Kauffman ghép ngẫu nhiên với mỗi polymer một số phản ứng mà polymer ấy có thể xúc tác. Tỷ số m/N (đường dây nối/nút) tức tỷ số (phản ứng có xúc tác/polymer) tăng theo với sự gia tăng mức phức hợp của

các polymer trong hệ thống. Khi tỷ số ấy vượt quá trị tới hạn thời một bộ phận không lồ gồm toàn phản ứng có xúc tác đột khởi theo cách thức một chuyển tiếp pha, tạo thành cái gọi là tập hợp phân tử tự xúc tác (autocatalytic set of molecules). Nghĩa là, mỗi phân tử của tập hợp là sản phẩm của ít nhất một phản ứng được xúc tác bởi ít nhất một phân tử khác của tập hợp. Do polymer này có thể xúc tác phản ứng phát sinh polymer kia, các tập hợp tự xúc tác sinh khởi, tiến hóa với thời gian, có khả năng xúc tác tập thể mạng lưới phản ứng hóa học và tạo nhiều loài phân tử phức hợp, hết thảy đều nối kết qua một chuỗi phản ứng. Bằng cách tiêu tán vật chất và năng lượng, hay nói vắn tắt là ăn và bài tiết, chúng tự tổ chức và duy trì cấu trúc phức hợp của chúng mặc dầu có một số bộ phận hiện đến và biến đi với thời gian. Ngoài ra, chúng còn tự tái sản xuất nữa. Các đức tính tự xúc tác, tự tổ chức, tự duy trì, và tự tái sản xuất là đặc tánh của sự sống.

Kết quả mô phỏng nói trên cho thấy sự xuất hiện của mạng lưới sống là một tính chất của biểu đồ phản ứng, một mạng lưới ngẫu nhiên. Khi mức phức hợp của hệ thống các hóa chất có trước thời sinh vật tăng gia vượt quá ngưỡng phức hợp thời toán học chứng minh sự đột khởi của sự sống. Trên quan điểm xuất hiện tánh, sự sống xuất hiện toàn thể, viên dung, hoàn chỉnh. Sự sống không ở trong các phần tử cấu thành mà ở trong những tính chất xuất hiện tập thể của cái toàn thể mà chúng tạo sinh. Không có gì huyền bí về xuất hiện tánh (emergence) và toàn thể tánh (holism) mặc dầu sự xuất hiện của sự sống có tính cách huyền diệu. Không một sinh lực hay chất liệu nào có mặt trong cái toàn thể đồng thời câu khởi và tự tái sản xuất. Tập thể hệ sống có một tính chất kỳ diệu mà các thành phần của nó không có. Đó là khả năng tự tái sản xuất và tiến hóa. Tập thể hệ sống linh hoạt, các thành phần chỉ là hóa chất.

Nhiều nhà sinh học cho rằng vì DNA và RNA cất giữ bền vững các thông tin di truyền nên rất cần thiết để có tiến hóa. Nhưng nếu tiến hóa cần khuôn DNA để tái bản và mã di truyền để sản xuất protein thời đây đúng là bài toán vòng vo gà - trứng cái nào đến trước. Bởi vì không thể có tiến hóa nếu không có những cơ chế tái bản hay sản xuất và những cơ chế này chỉ xuất hiện khi có tiến hóa. Như vậy cần đặt câu hỏi: Nếu khởi đầu sự sống là một tập thể tự xúc tác, thử hỏi làm thế nào sự sống có thể tiến hóa mà không cần đến những biến hóa phức tạp của một bộ gen?

Mạng lưới nhị phân.

Để giải đáp thắc mắc trên, Kauffman khai triển thuyết mạng lưới nhị phân (binary networks) để khảo sát sự phát triển và tiến hóa của hiện tượng chuyển hóa tức của toàn thể các tiến trình vật lý và hóa học trong một cơ thể (metabolism). Ta có thể hình dung mạng lưới nhị phân như một mạng dây điện nối kết nhiều bóng điện. Nút (bóng điện) có thể là các phân tử enzym, cơ chất, hay sản phẩm của các phản ứng hóa học. Giả thiết giao hồ tác dụng giữa các phân tử chỉ có hai cách: kìm hãm hay xúc tác phản ứng sản xuất. Do đó mỗi bóng điện ví như cái công tắc đóng-mở, không điện hay có điện. Như vậy, nút nào trong mạng lưới nhị phân cũng có hai khả năng, HỮU (ON) và KHÔNG (OFF). Các nút được nối kết một cách rất phức tạp không như trong một mạng có sắp đặt. Các mạng nhị phân còn gọi là mạng lưới Boole, theo tên của nhà toán học người Anh George Boole đã sử dụng các phép toán nhị phân (yes-no, có-không) vào giữa thế kỷ 19 để khai triển một logic ký hiệu thường gọi là đại số Boole.

Kết quả kỳ lạ của sự tương giao đóng mở các nút không phải là một trạng thái hoàn toàn hỗn độn mà ngược lại, là khả năng mạng lưới tự tổ chức thành những mẫu hình hoạt động bền vững. Làm thế nào những thao tác đóng-mở tuồng như ngẫu nhiên của mỗi nút cá biệt điều động được toàn thể mạng lưới tự phối trí thành một cấu trúc bền vững hữu hiệu? Nếu đây là mạng lưới gen của tế bào, thời thuyết Darwin không thể giải đáp thỏa mãn vì thuyết này chủ trương những kiểu cơ thể mới chỉ có thể sinh khởi do những đột biến ngẫu nhiên và sự chọn lọc tự nhiên mà thôi. Theo Kauffman, nguyên do là các hệ thống phức hợp có đặc tính tự động tổ chức thành những mẫu hình bền vững hữu hiệu. Ông bảo: “Darwin không biết gì về tánh tự tổ chức.”

Sau đây là thí dụ một mạng lưới nhị phân đơn giản gồm 6 nút, hai đen (ON; HỮU) và bốn trắng (OFF; KHÔNG).

Mỗi nút nối kết với ba nút kế cận. Mẫu hình HỮU-KHÔNG của mạng nhị phân biến đổi gián đoạn từng bước. Các nút được móc nối theo thể cách khả năng sắp đến của một nút do khả năng hiện tại của các nút kế cận xác định theo một qui luật đóng-mở (a switching rule). Thí dụ, với mạng nhị phân đơn giản trên, ta có thể tưởng tượng một qui luật đóng-mở như sau: “Trong bước sắp đến một nút sẽ HỮU nếu hiện tại có ít nhất hai nút kế cận HỮU, và sẽ KHÔNG trong những trường hợp khác.” Nhìn hình sau đây ta sẽ có một ý niệm về trình tự biến thái của mạng lưới đơn giản theo sự điều khiển của qui luật đóng mở.

Ba trình tự biến thái A, B, và C tùy thuộc trạng thái đầu và tuân theo qui luật đóng-mở. Trình tự A dẫn đến một trạng thái bền vững với tất cả nút đều HỮU sau hai bước biến đổi từ trạng thái A1 qua trạng thái A2, rồi qua trạng thái bền vững A3. Trình tự B bước từ trạng thái B1 qua B2, rồi dao động giữa hai trạng thái bổ sung B2 và B3. Trình tự C, với một trạng thái bền vững ngay từ lúc đầu, lặp đi lặp lại một trạng thái hay mẫu hình không thay đổi: nó tự tái sản xuất trong mọi bước.

Với hệ thống chuyển hóa tự xúc tác, tổng số đủ loại phân tử của mạng lưới nhị phân có thể lên đến 1 000. Mỗi phân tử có hai khả năng, HỮU (xúc tác) và KHÔNG (kìm hãm), do đó tổng số trạng thái khả hữu lên đến 2 lũy thừa 1 000. Mỗi mẫu hình (pattern) hay trạng thái (state) được xác định bởi 1 000 biến số nhị phân (HỮU-KHÔNG). Tập hợp hết thảy trạng thái khả hữu tạo thành cái gọi là không gian trạng thái (state space), trong đó mỗi điểm biểu tượng một trạng thái. Khi mạng lưới biến đổi từng bước kế tiếp từ trạng thái trước sang trạng thái sau, điểm trạng thái vẽ một quỹ đạo trong không gian trạng thái. Quỹ đạo của các trình tự biến thái được phân hạng theo loại vùng hấp dẫn (attractors). Có thể tưởng tượng một loại vùng hấp dẫn là một cái hồ và lưu vực vùng hấp dẫn là vùng nước chảy vào hồ. Giống như một vùng núi có nhiều hồ, một mạng lưới nhị phân có nhiều chu kỳ biến thái, mỗi chu kỳ lưu chuyển trong lưu vực vùng hấp dẫn của nó.

Trong thí dụ mạng nhị phân 6 nút nói trên, trình tự C chỉ có độc nhất một trạng thái bền vững không có lưu vực vùng hấp dẫn. Trạng thái này chỉ đạt được khi nào mạng lưới khởi đầu từ đó. Vì gồm độc nhất một trạng thái, nên chu kỳ biến thái có độ dài 1. Độ dài của một chu kỳ biến thái là tổng số trạng thái bao gồm trong chu trình. Trình tự B dao động nên liệt vào loại vùng hấp dẫn tuần hoàn (periodic attractor). Độ dài chu kỳ biến thái ở đây là 2 vì bao gồm chỉ hai trạng thái bổ sung B2 và B3. Trình tự A vì tiến đến một trạng thái bền vững nên liệt vào loại điểm hấp dẫn (point attractor).

Kauffman và nhóm cộng sự ở Viện Santa Fe, New Mexico, đã dùng mạng lưới nhị phân mô phỏng những hệ thống hóa chất và cơ thể vô cùng phức hợp mà phương trình vi phân không thể miêu tả được. Trình tự biến thái của những hệ thống phức hợp ấy được biểu diễn bởi những quỹ đạo trong không gian trạng thái. Vì tổng số trạng thái khả hữu của bất kỳ mạng lưới nhị phân nào cũng hữu hạn mặc dầu có thể vô cùng lớn, cho nên mạng lưới bắt buộc phải quay trở lại một trạng thái đã trải qua trước kia. Vào lúc đó, hệ thống tái diễn trình tự biến thái trước kia vì tập tính của hệ thống hoàn toàn quyết định. Do đó, hệ thống sẽ lặp lại mãi mãi vẫn một chu kỳ biến thái, mạng lưới nhị phân vẽ ra một quỹ đạo trong lưu vực vùng hấp dẫn tuần

hoàn. Bất kỳ mạng lưới nhị phân nào cũng có ít nhất một lưu vực vùng hấp dẫn tuần hoàn. Nếu để tự nhiên thời cuối cùng hệ thống sẽ vận hành mãi mãi trong một lưu vực vùng hấp dẫn tuần hoàn nào đó. Theo kết quả của nhiều công trình nghiên cứu, số lớn hệ thống sống như mạng gen, mạng miễn dịch, mạng tế bào não, hệ thống các cơ quan, và hệ sinh thái, đều có thể biểu tượng bởi những mạng lưới nhị phân với nhiều loại vùng hấp dẫn.

Trong một mạng nhị phân, độ dài của các chu kỳ biến thái có thể khác nhau nhiều. Có những chu kỳ với độ nhất một trạng thái bền vững, nhưng cũng có những chu kỳ với số trạng thái vô cùng lớn không tưởng tượng được. Trong nhiều mạng, độ dài chu kỳ tăng theo hàm số mũ khi số nút tăng. Kauffman đặt tên những vùng hấp dẫn có chu kỳ vô tận với tỉ tỉ trạng thái khác nhau là vùng hấp dẫn hỗn độn (chaotic attractor). Nếu chu kỳ biến thái bé, thời hệ thống vận hành có trật tự. Nhưng nếu chu kỳ quá lớn thời hệ thống vận hành hỗn độn, không lường trước được. Hỗn độn ở đây có nghĩa là trật tự bậc vô hạn, đối lại với hoàn toàn trật tự là trật tự bậc thấp nhất. [Xem bài Hữu thể và Thời gian]

Để tìm hiểu quan hệ giữa hoàn toàn trật tự và hỗn độn trong các mạng nhị phân, Kauffman khảo sát vô số mạng nhị phân phức hợp với nhiều qui luật đóng-mở khác nhau, kể cả những mạng trong đó tại các nút khác nhau, số (đường dây) tín hiệu vào khác nhau. Hai thông số, N , số nút, và k , số trung bình (đường dây) tín hiệu vào tại mỗi nút, được sử dụng để tóm lược sự vận hành của các mạng ấy. Sau 30 năm gia công tìm kiếm điều kiện thuận lợi để động lực trật tự xuất hiện từ mạng lưới nhị phân, ông trình bày những kết quả gặt hái được trong tập sách *At home in the universe* do ông viết vào năm 1995.

Hãy tưởng tượng một mạng lưới nhị phân gồm $N=80\ 000$ bóng điện, mỗi bóng (nút) trung bình nhận vào k tín hiệu (k đường dây nối) và được kết hợp ngẫu nhiên với một qui luật đóng-mở (một hàm số Boole khả hữu).

Khi $k=1$, mỗi bóng điện nhận một tín hiệu vào từ một bóng khác. Trình tự biến thái của mạng biến đổi rất nhanh chuyển thành nhiều quỹ đạo với chu kỳ rất ngắn, có chu kỳ gồm duy nhất một trạng thái. Trong mạng xuất hiện một bộ phận khổng lồ đóng băng gồm những bóng cố định trong khả năng HỮU hay KHÔNG và nhiều đảo nhỏ gồm những bóng nhấp nháy giữa HỮU và KHÔNG. Đây là một mạng hoàn toàn trật tự, lặp đi lặp lại một mẫu hình đông đặc không thay đổi, không vùng hấp dẫn.

Ở đầu kia thang, $k=N$, mỗi bóng điện nhận tín hiệu vào từ khắp tất cả bóng điện, kể cả chính nó. Trong trường hợp này, độ dài các chu kỳ biến thái tính ra là 2 lũy thừa 40 000, bằng căn số bậc hai của số trạng thái khả hữu 2 lũy thừa 80 000. Như thế quá dài, không thể quán sát hay đoán định bất kỳ chu kỳ biến thái nào. Tuy nhiên nếu tính số vùng hấp dẫn ($=N/e$, $e=2,71828\dots$ là cơ sở của logarit tự nhiên) thời mạng sẽ có độ 30 000 vùng hấp dẫn. So với tổng số 2 lũy thừa 80 000 trạng thái khả hữu thời số 30 000 quá bé. Bởi vậy có thể bảo đó là dấu hiệu của trật tự. Đáng tiếc là khi mạng lưới bị nhiễu loạn đôi chút, chẳng hạn đôi khả năng một bóng điện HỮU thành KHÔNG hay ngược lại, thời sự tiến hóa của mạng sẽ thay đổi đại quy mô không thể lường trước được. Những trạng thái đầu tương tự trở thành mỗi lúc mỗi dị biệt hơn, do đó lưu chuyển theo những quỹ đạo càng lúc càng tách ra xa. Nhạy cảm đối với điều kiện đầu mạng $k=N$ là một mạng lưới hỗn độn. Hầu hết các mạng nhị phân đều hỗn độn. Ngay những mạng trong đó k nhỏ hơn N nhiều, $k=4$ hay $k=5$, sự vận hành cũng hỗn độn, không thể dự đoán được.

Khi $k=2$, trật tự tức thời kết tinh. Không gian trạng thái gồm tất cả 2 lũy thừa 80 000 trạng thái khả hữu, tức vào khoảng 1 đèo theo 24 000 zero, dồn nén lại trong một số vùng hấp dẫn, trung bình là $\sqrt{N}=283$. Chu trình trong các lưu vực vùng hấp dẫn thường gồm một số nhỏ trạng thái, nhưng cũng có khi thu gọn thành một điểm bền vững. Chẳng khác nào mạng lưới rộng lớn bị ép vào trong một phần nhỏ xíu của không gian trạng thái. Như vậy trong mạng lưới nhị phân $k=2$, động lực trật tự tự phát đã thôi động dồn ép hệ thống vào một góc vô cùng bé của không gian trạng thái, và giữ mãi ở đó.

Trong những mạng nhị phân $k=2$ trật tự biểu hiện theo nhiều cách khác nhau. Những trạng thái đầu tương tự trở thành càng tương tự hơn, do đó lưu chuyển theo những quỹ đạo hội tụ gần nhau hơn, và tập trung hệ thống về cùng một vùng hấp dẫn. Những hệ thống như vậy không nhạy cảm đối với điều kiện đầu nên không hỗn độn. Hệ quả là mạng lưới một khi chuyển vào một lưu vực vùng hấp dẫn thời hầu như luôn luôn quay trở lại lưu vực ấy dầu bị nhiễu loạn. Đó gọi là tính nội cân bằng (homeostasis), điều kiện cần để hệ thống là một mạng lưới có trật tự. Mạng lưới có trật tự có thể trải qua một đột biến (mutation) như sửa đổi cách đặt đường dây nối hay qui luật đóng-mở mà không trở thành hỗn độn. Vùng hấp dẫn và lưu vực vùng hấp dẫn thay đổi rất ít và hệ thống tiến hóa đều đặn. Cuối cùng, tuy có trật tự nhưng không hoàn toàn trật tự đóng băng như các mạng $k=1$, mạng lưới $k=2$ đủ khả năng hành hoạt như một hệ phức hợp.

Bernard Derrida và Gerard Weisbuch, giáo sư vật lý trạng thái rắn tại École Normale Supérieure, Paris, cho biết trong trường hợp độ trung bình k lớn hơn 2, có thể dùng một thông số gọi là P để chuyển một mạng hỗn độn thành mạng có trật tự. Thông số thiên áp P (bias parameter) mô tả khuynh hướng nhiều khả năng HỮU hay nhiều khả năng KHÔNG trong hàm số Boole kết hợp với mỗi bóng điện (qui luật đóng-mở).

Tóm lại, chỉ cần hai thông số, k và P , là đủ để điều khiển mạng lưới nhị phân vận hành trật tự hay hỗn độn. Nếu bộ phận không lò đóng băng xuất hiện, thời mạng lưới ở trong chế độ trật tự. Nếu nó không xuất hiện thời mạng lưới ở trong chế độ hỗn độn. Ngay giữa hai chế độ trật tự và hỗn độn, ngay gần lúc chuyển tiếp pha, ngay trên bờ hỗn độn, có thể xuất hiện những mạng phức hợp nhất, có trật tự đủ để bảo đảm tánh bền vững, nhu nhuyễn, và luôn luôn đổi mới. Kauffman tin rằng chính luật tiến hóa là nguyên nhân hệ thống phức hợp hiện hữu trên, hay trong chế độ trật tự gần, bờ hỗn độn. Sự chọn lọc tự nhiên thiên vị và chi trì các hệ thống sống trên bờ hỗn độn, bởi vì chúng có ưu điểm là điều hợp bền vững với nhu nhuyễn, có khả năng thích nghi và tiến hóa.

Mô hình mạng lưới nhị phân được Kauffman áp dụng khảo cứu các hệ gen của sinh vật. Mỗi gen là một nút nhị phân, có thể HỮU hay KHÔNG. Khả năng HỮU hay KHÔNG của mỗi gen tùy thuộc hoạt động điều tiết của một số gen khác. Phản ứng của mỗi gen khi nhận tín hiệu vào được xác định bởi hàm số Boole, qui luật đóng-mở kết hợp ngẫu nhiên với nó. Như vậy, hệ gen là một mạng lưới nhị phân trên bờ hỗn độn.

Có hai cách nhiễu loạn mạng gen. Cách thứ nhất, nhiễu loạn tối thiểu là do một nút nhị phân tình cờ chuyển từ HỮU qua KHÔNG hay ngược lại. Do tánh nội cân bằng, đặc tính của mọi hệ sống, các chu kỳ biến thái của mạng không bị lay chuyển bởi nhiễu loạn tối thiểu. Cách thứ hai, nhiễu loạn thay đổi vĩnh viễn cấu trúc của hệ thống. Chẳng hạn, biến đổi mẫu hình nối kết các nút hay thay đổi qui luật đóng-mở. Nhiễu loạn như vậy xem như một đột biến trong hệ gen. Thường đột biến không mấy ảnh hưởng tập tính của mạng gen ở trên bờ hỗn độn. Tuy nhiên một số ít đột biến có thể xô đẩy quỹ đạo của mạng vào trong một lưu vực vùng hấp dẫn khác, tạo một chu kỳ biến thái mới và một mẫu hình tập tính mới. Do đó, Kauffman nghĩ rằng mạng gen, một mạng lưới nhị phân trên bờ hỗn độn, có thể dùng làm mô hình của sự thích nghi tiến hóa.

Mô hình mạng lưới nhị phân trên bờ hỗn độn giải thích hiện tượng tế bào biệt hóa (cell differentiation) trong quá trình phát triển cơ thể. Mặc dầu hình dáng và chức năng sai khác, tất cả kiểu tế bào (cell type) trong một cơ thể chứa những lệnh di truyền giống nhau. Vì vậy các nhà sinh học cho rằng kiểu tế bào khác nhau không phải vì chứa gen khác nhau, mà thật ra vì các gen trong tế bào có hoạt tính khác nhau. Nói cách khác, trong tất cả tế bào cấu trúc mạng lưới gen giống nhau, nhưng trạng thái (mẫu hình) hoạt động của gen khác nhau. Các trạng thái hoạt động của gen tương ứng với các chu kỳ biến thái khác nhau trong mạng nhị phân cho nên theo Kauffman các kiểu tế bào tương ứng với các chu kỳ biến thái khác nhau, và do đó, với các vùng hấp dẫn khác nhau. Kiểu tế bào trong cơ thể ví như vùng hấp dẫn trong mạng gen.

Quan điểm xem tế bào biệt hóa như những vùng hấp dẫn cho phép dự đoán nhiều kết quả khá chính xác. Mỗi tế bào trong thân thể con người chứa một mạng gen độ chùng 80 ngàn gen. Số trạng thái hoạt động khả hữu của gen vô cùng lớn: 2 lũy thừa 80 000. Tuy nhiên, số vùng hấp dẫn trong một mạng như vậy bằng $\sqrt{80\ 000} \approx 283$. Do đó, theo Kauffman, một mạng 80 000 gen biểu hiện 283 kiểu tế bào khác nhau. Số 283 ấy rất gần số 256 tế bào biệt hóa tìm thấy trong thân thể con người.

Một trong những vấn đề khó giải quyết nhất trong sinh học là giải thích chức năng của gen trong quá trình phát triển cá thể (ontogeny). Trong con người, quá trình ấy bắt đầu là một gen đơn nhất, trứng thụ tinh hay zygote. Zygote trải qua độ chùng 50 lần phân bào tạo ra vào khoảng 10 lũy thừa 15 (1 đèo theo 15 zero) tế bào cấu thành đứa trẻ sơ sinh. Cùng một lúc, zygote biệt hóa hình thành chừng 260 kiểu tế bào trong thân thể, như tế bào mô mềm của gan, tế bào thần kinh, tế bào hồng huyết cầu, tế bào bắp thịt, ... Những kiểu tế bào khác nhau của phôi và những quỹ đạo trong quá trình phát triển cá thể biểu thị tập tính của mạng gen phức hợp. Mạng gen trong mỗi tế bào của bất kỳ cơ thể nào tuy là thành quả của ít nhất một tỷ năm tiến hóa, nhưng trật tự xuất hiện (emergent order) trong quá trình phát triển cá thể không do luật tiến hóa phát khởi.

Thuyết mạng lưới nhị phân thuyết minh trật tự xuất hiện là trật tự tự phát, biểu hiện tánh tự tổ chức và tự điều chỉnh vô cùng phức hợp của mạng lưới. Các mẫu hình bền vững tự phát giống như những vùng hấp dẫn của một hệ động lực. Và chính do sự giao hỗ tác dụng giữa các vùng hấp dẫn bền vững và không bền vững, giữa các hoạt động hợp tác và cạnh tranh, mà các mẫu hình của sự biến đổi và các thời kỳ của trạng thái ngưng nhiên có thể dần

dần tiến hóa. Sự hình thành những mẫu hình bền vững, theo Kauffman, là điều không thể tránh được, dẫu mạng lưới lúc khởi đầu hỗn độn đến đâu. Sự giao hỗ tác dụng giữa các nút là động lực xô đẩy mạng lưới tự tổ chức thành một cấu trúc có khả năng tồn tại.

Mô hình toán học mạng lưới nhị phân là một công trình nghiên cứu lợi ích nhằm góp phần chứng minh chính do sự giao hỗ tác dụng phức tạp giữa sự vật với nhau và với toàn thể tất cả sự vật trong vũ trụ mà mọi sự vật xuất hiện luôn luôn mới toanh và không ngừng chuyển biến. Trên quan điểm Phật giáo, mạng lưới nhị phân đó chỉ là tượng trưng xuất từ một toàn thể cấu trúc duyên khởi tương do rộng lớn hơn: Pháp giới trùng trùng duyên khởi. Đây là Pháp giới duyên khởi của Nhất thừa tức sự sự vô ngại pháp giới hay Nhất chân pháp giới, “bao gồm vô biên thế giới, mười thứ huyền môn tổng nhiếp vô lượng pháp môn, tức sự tức lý, tức tánh tức tướng, tức tục tức chân, tức nhân tức quả, tức năng tức sở, tức thánh tức phàm, tức đa tức nhất, tức chánh báo tức y báo, như lưới báu của Đế Thích, trùng trùng biểu hiện, chẳng phải thần thông làm thành, vốn là pháp tánh như thế, kẻ mê gặp đâu đều chướng ngại, kẻ ngộ ngay đó toàn hiển bày.” (Hoa nghiêm nhất thừa giáo nghĩa chương. Tuệ Sỹ dịch)

Pháp Tạng dùng thí dụ Lưới báu của Đế Thích (Nhân đà la võng) để diễn hình cho cách thể hiện hữu của vạn pháp trong Pháp giới Hoa nghiêm. Hết thấy mọi pháp đều vừa Không vừa Hữu bởi vì theo nghĩa đồng thể thời làm nhân sinh khởi, theo nghĩa dị thể thời sinh khởi do tương y tương đối. Một sự vật duyên tất cả sự vật, tất cả sự vật duyên một sự vật, trong một có tất cả, trong tất cả có một, một tức tất cả, tất cả tức một. Ảnh hưởng giao tiếp của các loại pháp đối với mỗi pháp không giống nhau, cái thời trực tiếp, cái thời gián tiếp qua một hay nhiều lớp, do đó tác động cũng không giống nhau. Toàn thể các quan hệ phức hợp giữa các duyên được thí dụ bằng một tấm ảnh lưới của trời Indra, mỗi mắt lưới là một hạt ngọc. Hạt này hạt nọ phản chiếu nhau, chói sáng nhau, lớp lớp không cùng tận. Trong mỗi pháp có nhiều pháp khác, trong nhiều pháp khác lại trùng trùng điệp điệp vô số pháp khác nữa.

Cuộc giao thoa toàn diện của các luồng sáng biểu hiện những quan hệ hỗ tương cấu thành mạng lưới Pháp giới có thể ví với chuyển động thu nhiếp của ánh sáng laser dùng trong phép ghi ảnh toàn ký (holography). Hết thấy luồng sáng laser di chuyển từ mọi phần của vật thể ta muốn chụp ảnh đều thu nhiếp vào trong mỗi và mọi vùng nhỏ của tấm kính ảnh. Do đó dù nhìn ảnh toàn ký trên bất cứ mảnh phần nhỏ nào của tấm kính ảnh ta vẫn thấy

hình ảnh toàn bộ của vật thể giống như khi nhìn nó trên toàn cả tấm kính ảnh.

Giản đồ Feynman (Richard P. Feynman, giải Nobel Vật lý 1965 chung với hai vật lý gia khác về công trình khai triển lượng tử điện động lực học) có thể giúp ta có một ý niệm về trật tự thu nhiếp nằm trong chuyên động phức tạp của các điện từ trường dưới dạng sóng ánh sáng. Sóng ánh sáng chuyên động truyền dẫn khắp nơi và trên nguyên tắc, sự chuyên động truyền dẫn đó thu nhiếp toàn thể không thời gian của vũ trụ vào trong mỗi mỗi vùng. Khi ý niệm nhận biết khởi lên thời với một cặp mắt tốt hay một kính viễn vọng là có thể thấy mọi sự vật thu nhiếp phóng khai trở lại, tương dạng hiện ra như những tượng trừu xuất từ toàn thể hoàn chỉnh của vũ trụ.

Giản đồ Feynman là một cấu trúc gồm những đường thẳng biểu hiện chuyên động của các sóng. Trước hết một sóng nhỏ phát ra từ một điểm cố định P được vẽ ra như sau.

Các đường thẳng tuôn ra từ P cho thấy cách thức sóng truyền từ điểm ấy. Sau đó một điểm bất kỳ Q, nơi gặp sóng nhỏ từ P lan đến, trở thành nguồn phát khởi một sóng nhỏ khác, và cứ như vậy mà có sóng lan đến điểm R, điểm này trở thành nguồn phát khởi một sóng nhỏ khác, v..v...

Điều đáng lưu ý ở đây là mỗi mỗi điểm thu nhiếp mọi sóng truyền đến từ khắp hết thảy các điểm khác và đồng thời là nguồn phát khởi một sóng với cường độ lớn hay bé tùy theo cường độ của làn sóng lan đến.

Nếu nhìn quá trình truyền dẫn sóng như một toàn thể, thời tất cả sóng xuất phát từ một điểm A truyền dẫn đến một điểm B trải qua rất nhiều bước chuyển tiếp trung gian, tạo thành một sóng tổng hợp tại B bao gồm hết thảy các sóng truyền dẫn theo hết thảy mọi quỹ đạo khả hữu nối A với B. Mặt khác, khi nhìn hình các đường thẳng tuôn ra từ P diễn tả trật tự phóng khai từ mỗi một điểm lan ra khắp toàn thể, đồng thời ta nhận thấy các sóng từ toàn thể đổ dồn vào trong mỗi một điểm theo trật tự thu nhiếp, như hình sau đây.

Như vậy chuyên động sóng là tổng hợp hai biến chuyển đồng thời và nghịch chiều, thu nhiếp và phóng khai, cuốn lại và mở ra, co rút và giãn nở theo lý đồng nhất duyên khởi, không nhị nguyên tánh của Hoa nghiêm.

Pháp Tạng giải thích chuyên động ấy như sau. “Hạt bụi không có tự tánh. Khi bản chất lên trước và hoàn toàn thẩm thấu khắp mười phương, thời đó là giãn nở. Mười phương không có bản chất và hoàn toàn hiện thành trong hạt

bụi do duyên khởi, thời đó là co rút. Khi co rút, mọi vật đều hiện thành trong một hạt bụi. Khi giãn nở, một hạt bụi thấm thấu phổ cập khắp mọi vật. Giãn nở là luôn luôn co rút, vì một hạt bụi liên can mọi vật. Co rút là luôn luôn giãn nở, vì mọi vật liên can một hạt bụi. Đó là cắt nghĩa thế nào là giãn nở và co rút một cách tự tại.” (Hoa nghiêm nghĩa hải bách môn).

---o0o---

(III) - Mạng Toàn Cầu

“Giả thử hết thảy thông tin chứa đựng trong máy tính khắp nơi được nối kết ... Tất cả những thông tin giá trị nhất trong mọi máy tính của CERN (Trung tâm Âu châu Nghiên cứu Hạt nhân) và trên thế giới sẵn sàng để tôi và mọi người sử dụng. Thế là xuất hiện một không gian thông tin toàn cầu đơn nhất.” Đó là mộng ước của Tim Berners-Lee khi ông làm việc thảo chương tại CERN, Geneva, Thụy Sĩ. Chương trình điện toán ông lập vào năm 1980 để nối kết máy tính hầu chia sẻ thông tin không ngờ mười năm sau biến thành Mạng Toàn Cầu www (World Wide Web), mạng lưới nhân tạo rộng lớn nhất từ trước đến nay. Mạng Toàn Cầu là diện bộ của Internet, Internet là hình thù hóa thân của Mạng Toàn Cầu, là một mạng máy tính nối kết qua những đường truyền dẫn điện.

Hầu giúp tìm kiếm dễ dàng tài liệu cất giữ với một bộ máy suu cầu (search engine) đơn giản, nội dung các trang Mạng (Webpage) được sắp xếp theo thông liệu (information; tài liệu thông tin) chứ không theo vị trí (location). Ted Nelson, giáo sư Đại học Brown, Hoa kỳ, là người đầu tiên có ý kiến dùng máy tính thiết kế một hệ thống tổ chức thông liệu mới mà ông gọi là siêu bản (hypertext). Ông có nhu cầu viết một quyển sách về triết lý trên máy tính trong đó ông muốn trình bày toàn bộ tư tưởng của ông một cách có hệ thống. Theo ông siêu bản với những đường dây nối (links) đi khắp mọi hướng mới có thể truy dụng tức thời trên máy giám thị (monitor) những lời ông chú thích, kể cả bất kỳ bản văn nào khác mà ông dẫn chứng.

Trong bản sách chữ in, câu, đoạn, chương, và trang nối nhau theo một trật tự được quyết định không những bởi tác giả mà còn bởi cấu trúc vật lý và thứ tự theo chuỗi của chính cuốn sách. Tuy có thể ngẫu nhiên lật đến bất cứ trang nào và tình cờ đặt mắt nhìn vào bất kỳ đoạn nào, cuốn sách chữ in mãi mãi bị giữ chặt trong khuôn khổ cố định ba thứ nguyên. Không gian thông tin không bị hạn chế như vậy. Câu văn phô diễn một ý niệm hay một chuỗi tư tưởng thường dính theo một mạng dấu hiệu đa thứ nguyên chỉ nơi cất giữ

những chú giải đầy đủ hay những luận chứng biện minh để nếu cần thời móc ngay ra trên máy giám thị. Cấu trúc của bản văn có thể ví với một mô hình phân tử phức hợp trong một không gian nhiều thứ nguyên. Chữ và câu có thêm thứ nguyên thời giống như thủy tinh với vô số khắc diện. Chúng có thể hiện ra dưới nhiều góc độ khác nhau, đặt kề nhau hay chồng chập lên nhau.

Các mẫu thông liệu có thể sắp đặt lại theo thứ tự mới, câu văn có thể viết lại dài hơn, và danh từ được định nghĩa ngay tại chỗ. Những đường dây nối đó có thể do chính tác giả thêm vào khi “xuất bản” hay do độc giả ghép thêm sau này. Vì có khả năng truy dụng tức thời bất kỳ bản văn nào cho nên đường dây nối xem như hàm ý một bước nhảy. Với bước nhảy, tất cả mọi bản văn đều xem như đồng thời câu khởi và sẵn sàng ứng hiện trên máy giám thị nếu cần.

Song song với sự phát triển dung lượng các bộ nhớ chứa đựng thông liệu và với sự truyền dẫn dữ liệu qua các vệ tinh thông tin, nhóm Berners-Lee và đồng sự ở CERN khai triển siêu bản thành một môi trường thích ứng với ngôn ngữ thính thị, biến siêu bản thành đa môi trường (multimedia) [điện thị (video), thành âm (audio), và dữ liệu (data)], và tạo ra một khổ siêu bản đặt tên là HTML (hypertext markup language; ngữ pháp siêu bản) rất thích dụng. Ngữ pháp riêng của các máy tính có thể chỉnh hợp để thích nghi với khổ siêu bản của toàn Mạng. Ngoài ra, nhóm ấy còn thiết lập một thủ tục truyền chuyển siêu bản (hypertext transfer protocol) gọi tắt là HTTP với mục đích hướng dẫn sự truyền thông giữa những bộ máy tầm triển hồ sơ (browser) và các trạm cất giữ tài liệu trên mạng (web servers). Họ còn đặt ra một mẫu địa chỉ tiêu chuẩn gọi là URL (uniform resource locator; thiết bị định vị tài nguyên nhất luật), một loại đường dây nối phối hợp thông tin trên thủ tục truyền chuyển với thông tin trên địa chỉ của máy tính đang có yêu cầu truy dụng. Thí dụ trên Mạng sử dụng thủ tục truyền chuyển HTTP một đường dây nối URL có thể là:

<http://www.ietf.org/rfc/rfc2396.txt>

Đường dây nối URL này nêu rõ ba điều: (1) http tức ứng dụng thủ tục truyền chuyển HTTP, (2) www.ietf.org tức địa chỉ máy tính đang có yêu cầu truy dụng, và (3) rfc/rfc2396.txt tức con đường dẫn đến vị trí của bản văn rfc2396.txt trong máy tính ấy.

Tóm lại, Mạng Toàn Cầu là một mạng lưới ảo, nút là các trang nhà (Webpage) trưng bày hầu hết mọi thứ thông liệu như tin tức, hát bóng, quảng cáo, chuyện tầm phào, địa đồ, hình ảnh, tiểu sử, sách, v.v.... Bất cứ thứ gì có thể viết ra, vẽ hình, hay chụp ảnh đều có thể tìm thấy được trong

một nút của Mạng Toàn Cầu dưới một hình thức nào đó. Công năng của Mạng là do các thiết bị URL cho phép click trên con chuột là có thể di chuyển từ trang này sang trang khác. Nhờ các đường dây nối URL mà ta có thể lướt (surf), định vị và xâu nối thông tin lại với nhau. Do các đường dây nối này mà thu tập những tài liệu cá nhân biến chuyển và do những click trên con chuột mà một mạng lưới thông tin không lồ được bện thành. Nếu cắt bỏ các đường dây nối thì Mạng Toàn Cầu bị hủy diệt, vô số cơ sở dữ liệu hóa thành vô dụng.

Do siêu bản hủy bỏ giới hạn của trang chữ in, cuộc sống trên mạng trở nên độc lập đối với một vị trí nhất định vào một lúc xác định. Ngoài ra, vị trí còn có thể truyền chuyển nữa. Ngồi tại một nơi mà vẫn có thể chứng kiến trên Mạng cảnh hoạt động ồn ào náo nhiệt ở một nơi khác như tuồng đang đứng tại đó. Có những việc của sở có thể làm ngay tại nhà ngồi trước một máy tính cá nhân, không khác gì ngồi trong văn phòng tại sở. Ngay định nghĩa thế nào là địa chỉ cũng đã thay đổi vì hiện nay mang một ý nghĩa mới có tính cách như một số an sinh xã hội (Social security number) chứ không còn là tọa độ trên một con đường. Địa chỉ hóa thành ảo.

Hãy ví siêu bản với một tập hợp thông điệp co dãn, thun lại hay trương ra tùy theo tác động của người đọc. Ý tưởng có thể khai phát và phân tích ở nhiều mức độ chi tiết khác nhau. Ta có cảm giác hết thấy biểu tượng khắp mười phương và nơi chín thế đều hóa hợp trong cùng siêu bản, thứ tự thường xuyên thay đổi, và truyền đạt bất kỳ lúc nào, bất cứ ở đâu, tùy thuận quyền lợi của người gửi và tánh khí của người nhận. Nói cách khác, Mạng Toàn Cầu đã tạo ra một mô phỏng thực tại trên máy tính, một thực tại ảo (virtual reality). Thực tại ảo là thực tại của chúng ta vì chính cái khung ý niệm về các hệ thống biểu tượng phi không gian, phi thời gian ấy là nơi ta y cứ để tạo lập các phạm trù và hoán khởi các ảnh tượng, chính cái khung ý niệm ấy đã hình thành tập tính, nuôi dưỡng vọng tưởng, và gây phiền não.

Nếu sống trở lại thời đại thông tin hiện nay, nữ hoàng Vũ Tắc Thiên chắc chắn sẽ không cần đến thí dụ Sư tử vàng hay căn phòng đầy mặt kính với ở chính giữa một ngọn đèn đốt sáng đặt bên cạnh một tượng Phật của ngài Pháp Tạng. Vì lẽ cố nhiên nữ hoàng thừa thông minh để biết cách tận dụng Mạng Toàn Cầu, để nhận thấy Mạng có nhiều tính chất của lưới báu Đê Thích, và do đó thông đạt ý nghĩa viên dung của Hoa nghiêm tông. Nhưng thế nào là lưới báu của Đê Thích? Hầu giải thích ý nghĩa viên dung, Đỗ Thuận, khai tổ của Hoa nghiêm tông, đã miêu tả lưới báu của Đê Thích trong Hoa nghiêm ngũ giáo chỉ quán như sau, Tuệ Sỹ dịch:

“[T45n1867_p0513b09] Mạng lưới bằng các hạt châu của trời Đế Thích được gọi là lưới của Nhân-đà-la. Mạng lưới của Đế Thích này được làm thành bằng châu báu. Do ánh sáng của các hạt châu rơi suốt, lần lượt hiện ảnh lẫn nhau, lẫn vào trong nhau, trùng trùng vô tận. Trong một hạt châu mà đột nhiên đồng thời xuất hiện. Cứ mỗi hạt châu đều như vậy, hoàn toàn không có đến hay đi. Nay hãy nhắm về phía tây nam, lấy một hạt châu mà nghiệm. Ngay nơi một hạt châu mà đồng loạt hiện ảnh của tất cả hạt châu. Hạt châu này đã như vậy, mỗi một hạt châu khác cũng như vậy. Mỗi một hạt châu cùng một lúc đồng loạt hiện hết thấy hạt châu đã vậy, mỗi một hạt châu khác cũng vậy. Như vậy trùng trùng vô tận, không có biên tế. Có biên tế chính là bóng các hạt châu trùng trùng không biên tế, thấy đều hiện trong một hạt châu, rõ ràng xuất hiện trên cao. Những cái khác không phương hại đến cái này. Khi ngồi trong một hạt châu tức là ngồi trong hết thấy hạt châu, trùng trùng vô tận. Vì sao vậy? Trong một hạt châu có tất cả toàn bộ hạt châu. Khi trong tất cả toàn bộ hạt châu có một hạt châu, chính cái toàn bộ ấy cũng mang tất cả hạt châu. Chuẩn theo đây mà tư duy về toàn bộ (nhất thiết).

Tất cả toàn bộ hạt châu đã lẫn vào trong một hạt châu mà hoàn toàn không ra khỏi một hạt châu này. Một hạt châu lẫn vào trong tất cả hạt châu mà hoàn toàn không dậy lên một hạt châu này.

Hỏi: Đã nói tất cả toàn bộ hạt châu lẫn vào trong một hạt châu mà hoàn toàn không ra khỏi hạt châu này, làm sao lại có thể lẫn vào trong tất cả hạt châu?

Đáp: Chỉ do không ra khỏi hạt châu này nên mới có thể lẫn vào tất cả hạt châu. Nếu ra khỏi một hạt châu mà lẫn vào tất cả hạt châu, tức là không thể lẫn vào trong tất cả hạt châu vậy. Vì tách ra ngoài hạt châu này bên trong không có hạt châu nào khác nữa.

Hỏi: Nếu tách ra ngoài hạt châu này mà bên trong không có tất cả toàn bộ hạt châu, vậy thì mạng lưới này được làm thành chỉ do bởi một hạt châu; vậy sự kiện do nhiều hạt châu mà làm thành là thế nào?

Đáp: Chỉ do độc nhất một hạt châu mới bắt đầu từng hạt một để kết nhiều hạt thành mạng lưới. Vì sao vậy? Vì do một hạt châu này độc nhất làm thành mạng lưới. Nếu bỏ đi hạt châu này, toàn thể không có lưới.

Hỏi: Nếu duy độc nhất một hạt châu, làm sao có thể bắt đầu làm thành lưới?

Đáp: Sự kiện kết nhiều hạt châu làm thành lưới, đó chính là duy độc nhất một hạt châu. Vì sao vậy? Một chính là tổng tướng, có đủ sẵn cái nhiều để làm thành. Nếu không có cái một, tất cả toàn bộ cũng không. Cho nên, bằng một hạt châu mà làm thành mạng lưới vậy. Tất cả (nhất thiết) lẫn vào một, chuẩn theo đây mà biết.”

Trong đoạn văn trên, có câu: “Do ánh sáng của các hạt châu rọi suốt, lần lượt hiện ảnh lẫn nhau, lẫn vào trong nhau, trùng trùng vô tận. Trong một hạt châu mà đột nhiên đồng thời xuất hiện. Cứ mỗi hạt châu đều như vậy, hoàn toàn không có đến hay đi.” Trên Mạng Toàn Cầu cũng vậy. Khi lướt Mạng, tất cả những trang hiện trên máy giám thị (monitor) xuất khởi từ các trạm cất giữ tài liệu (servers) khắp nơi trên thế giới, có khi nào mắt ta rời khỏi trang nhà trên màn ảnh của máy giám thị, tức hạt châu mà ta chăm chú quan sát như một nhà chiêm bôc nhìn vào quả cầu thủy tinh? Mỗi lần bắt buộc phải lướt Mạng, có phải ta thật sự chẳng bao giờ đến hay đi?

Đặc biệt là Mạng Toàn cầu phản chiếu chẳng những tất cả hạt châu mà còn cấu trúc các đường dây nối giữa các hạt châu, một cấu trúc “nhất đa tương dung” hay “tương tức”. Các gói thông liệu tuy khác nhau nhưng không rời nhau, vì chúng hỗ tương nhiếp nhập trong một không gian phi không gian, trống rỗng và mỗi nút hay trang nhà phản chiếu toàn Mạng, đúng như lời của Đỗ Thuận: “Tất cả toàn bộ hạt châu đã lẫn vào trong một hạt châu mà hoàn toàn không ra khỏi một hạt châu này. Một hạt châu lẫn vào trong tất cả hạt châu mà hoàn toàn không dậy lên một hạt châu này.”

Đỗ Thuận còn nói: “Sự kiện kết nhiều hạt châu làm thành lưới, đó chính là duy độc nhất một hạt châu. Vì sao vậy? Một chính là tổng tướng, có đủ sẵn cái nhiều để làm thành. Nếu không có cái một, tất cả toàn bộ cũng không. Cho nên, bằng một hạt châu mà làm thành mạng lưới vậy.” Mỗi hạt châu là nhân của toàn thể mà đồng thời cũng là quả do toàn thể hạt châu khác làm nhân. Trong toàn thể, nhân quả đồng thời. Như vậy, khi lướt Mạng, bất cứ màn nào mọc ra trên máy giám thị không phải chỉ “ở trên” Mạng mà thật ra là toàn Mạng. Màn đó là hiện thân của tâm thẩm Mạng. Trong một mạng lưới không có trung tâm, bất cứ nút nào cũng là trung tâm.

Mạng hình thành là do sự tự do đóng góp xây dựng của nhiều tài năng khắp thế giới và do tương giao tác dụng rất tự do với hàng triệu người sử dụng nó. Vì phần mềm được phân phát rộng rãi và bất cứ ai cũng có thể tùy tiện ghép thêm nút vào Mạng rất dễ dàng chẳng tốn kém bao nhiêu cho nên những

người sử dụng đồng thời góp phần sản xuất kỹ thuật, uốn nắn Mạng thích nghi với những nhu cầu riêng biệt. Hơn nữa, thời gian cách biệt giữa tiến trình học hỏi bằng cách sử dụng và tiến trình sản xuất bằng cách sử dụng, đặc biệt thu ngắn rất nhiều. Nghĩa là có một sự hội tiếp cải tiến giữa sự truyền bá và sự hoàn chỉnh kỹ nghệ, nguyên nhân Mạng Toàn Cầu phát triển với một tốc độ khác thường. Số người sử dụng tăng vọt từ 20 triệu trong năm 1996 lên 300 triệu vào năm 2 000. Từ một số ít trang năm 1993 nhảy vọt lên hàng triệu trang năm 1998, và cứ sáu tháng độ lớn của Mạng gia tăng gấp đôi.

Sự tăng trưởng của Mạng với một tốc độ không ngừng gia tăng là do tân kỹ nghệ điện tử, máy tính, và viễn thông phát triển nhanh chóng, dẫn khởi những vòng hội tiếp khiến Mạng đã phức hợp càng phức hợp thêm. Khi thông liệu thay đổi, các đường dây nối và tần số thăm viếng một số dịch trạm (site) cũng thay đổi theo. Mạng biến thành một hệ sinh thái với số thông liệu nhiều đến nỗi không máy suu cầu tối tân ưu hạng nào có thể sắp hạng số trang không ngớt tăng gia trên Mạng.

Ngoài tác dụng thông tin, Mạng còn là nguồn sanh lợi và cạnh tranh đối với hết thảy mọi ngành thương mại. Mạng cho phép thiết lập những cơ sở giao dịch buôn bán trực tuyến (online) thường gọi chung là e-B, e tức electronic (điện tử) và B tức business (giao dịch thương mại). Các cơ sở này thực hiện những dịch vụ không thực thể, như giải trí, du lịch, thông tin, và ngân hàng, đồng thời buôn bán những hàng hóa nặng nề của kinh tế tập truyền như xe hơi và máy tính. Mạng đã biến đổi lề lối giao dịch thương mại trong quan hệ với người cung cấp và người tiêu thụ, trong phương pháp quản trị và điều hành, trong tiến trình sản xuất, trong sự hợp tác với những hãng khác, trong cách xuất vốn và lượng định giá cổ phần trong thị trường chứng khoán.

Mạng xuất hiện như là một hệ thống thông tin phức hợp có tác dụng giao liên truyền chuyên những kinh nghiệm nhận thức và hành động của con người, điều chỉnh và phối hợp hết thảy mọi thứ kiến thức bị chia chẻ và phân tán trong không gian và thời gian. Hiện Mạng chứa ước chừng hàng trăm triệu trang nhà đây ấp thông liệu nối kết nhau một cách rất hỗn tạp và tùy tiện cộng thêm rất nhiều cơ cấu truy nhập. Các trang thông liệu chuyên vận xoay vòng, trang thông liệu cung cấp trang thông liệu tạo thành những vòng tự phản thân (self reflexive loops). Nghĩa là, Mạng cung cấp những trang thông liệu, rồi đến phiên các trang thông liệu trở lại tái thiết Mạng, Mạng trở lại cung cấp những trang thông liệu, cứ xoay vần như vậy tương tự một hệ thống sống liên tục tự tạo tự sinh (autopoietic system). Các vòng tự phản

thân không khép kín mà trái lại mở đường cho những trang thông liệu giao liên vướng mắc với hệ thống khác, mạng lưới khác. Do tương tác và biến đổi, các trang nhà không ngừng tái xây dựng Mạng, nơi phát sinh chúng.

Tóm lại, Mạng Toàn Cầu là toàn thể hỗ tương giao thiệp đa thứ nguyên giữa các trang nhà với trang nhà và giữa các trang nhà với Mạng. Mạng và các trang nhà hỗ tương y tồn, hỗ tương nhiếp nhập. Mạng Toàn Cầu đáng được xem là một thí dụ cụ thể biểu dương ý nghĩa tương giao và nhất thể của Hoa nghiêm.

Bit: Không hay Bất không.

Sự phát triển Mạng Toàn Cầu bắt nguồn từ cuộc cách mạng phương pháp khảo sát thế giới hiện tượng, nguồn gốc phát sinh văn hóa mạng lưới (network culture). Thế giới không do những mối quan hệ tuyến tính cấu thành mà là một hệ thống gồm vô số mạng lưới phức hợp tương tức tương nhập. Thế giới không phải là một hệ thống máy móc mà là một mạng lưới rộng lớn bao gồm vô số hệ sinh thái (ecosystem) hỗ tương nhiếp nhập.

Sự xuất hiện văn hóa mạng lưới xảy ra đồng thời với cuộc cách mạng thông tin (information revolution) phát xuất từ quan niệm thông tin là bản chất của thực tại. Mở đầu bản tuyên ngôn (Manifesto) của cuộc hội thảo về “Tánh phức hợp, Entropy, và Vật lý Thông tin” (Complexity, Entropy, and the Physics of Information) do Viện Santa Fe, New Mexico, Hoa kỳ. bảo trợ vào Xuân 1989, khoa học gia Wojciech Zurek phỏng theo câu mở đầu Bản tuyên ngôn của Đảng Cộng sản (1848; A spectre is haunting Europe – the spectre of communism) viết về cuộc cách mạng thông tin như sau: “Quỷ thông tin đang quấy nhiễu các ngành khoa học.” (The specter of information is haunting the sciences) Sau đó, ông nhấn mạnh sự gia tăng tầm quan trọng của thông tin trong nhiều ngành khoa học: “Nhiệt động học, phần lớn căn bản của cơ học thống kê, thuyết lượng tử về đo lường, vật lý học về kế toán, và rất nhiều vấn đề về thuyết hệ động lực, phân tử sinh học, di truyền học, và khoa học máy tính, tất cả cùng chia xẻ một đề chung là thông tin.” Nhưng thử hỏi đối với các nhà vật lý học thế nào là thông tin? Muốn hiểu thế nào là thông tin, thời phải định nghĩa, nhưng muốn định nghĩa thời phải hiểu thế nào là thông tin. Vậy bắt đầu từ đâu?

Các nhà vật lý học thường thi thiết những khái niệm mới một cách rất thực tiễn. Vì toán là ngôn ngữ của vật lý học, và toán liên hệ số, cho nên một thành tố chủ yếu của mọi lý thuyết vật lý là đo lường, sự ghép lượng vào phẩm. Bởi thế các khái niệm mới đều được định nghĩa bằng cách mô tả cách thức đo lường chúng. Định nghĩa như vậy gọi là định nghĩa khả dụng

(operational definition), không bắt buộc phải biết rõ vật đem đo lường là cái gì. Thí dụ: Vào khoảng năm 1600 khái niệm nhiệt độ được định nghĩa là đại lượng đo bằng một nhiệt kế. Sau đó một phần tư thiên kỷ tức là vào giữa thế kỷ 19, nhờ sự hiểu biết thêm về nhiệt bằng thí nghiệm, nhiệt độ được định nghĩa là độ đo tốc độ trung bình của các phân tử.

Đơn vị đo lường thông tin trong thế giới hiện tượng là bit (binary digit; chữ số nhị phân). Bit không màu sắc, kích thước, hay trọng lượng, và có thể truyền dẫn với tốc độ ánh sáng. Bit là phân tử bé nhất của thông liệu. Bit là một trạng thái của hữu: mở hay tắt, đóng hay cắt, lên hay xuống, vào hay ra, đen hay trắng. Vì lý do thực dụng, ta xem bit biểu tượng sự lựa chọn giữa hai chữ số là 1 hay 0. Ý nghĩa của 1 hay 0 là một vấn đề khác. Mặc dầu bit là một khái niệm trừu tượng, nhưng vì không tránh khỏi dùng vật liệu như giấy mực, chip vi tính, hay tế bào não để mã hóa, cho nên một chuỗi bit là một tài nguyên vật lý. Có thể hình dung thế giới các bit như một thế giới vô tướng châu biến hàm dung trong thế giới hiện tượng gồm nguyên tử (hạt) và bức xạ (sóng).

Một tập hợp ký hiệu 0 và 1 có giá trị thông liệu chỉ khi nào tổ chức thành những mẫu hình đặc thù riêng biệt. Ký hiệu xây dựng hạ tầng cơ sở, thông liệu chuyên chở ý nghĩa. Trong buổi ban sơ của máy tính, một chuỗi bit thường biểu tượng một thông liệu số. Nhưng trong vòng ba chục năm nay, nhiều thứ thông liệu khác như thành âm (audio) và điện thị (video) cũng đã được mã hóa nhị phân, biểu tượng bằng bit.

Để có một ý niệm về cách thông liệu trong thiên nhiên truyền qua mắt dẫn đến não bộ, hãy nghĩ đến một máy chụp hình số tự (digital camera) được chế tạo để mã hóa hình ảnh thành bit. Thiên nhiên biến đổi mọi thứ thông liệu ta chú ý thành xung điện sai biệt trong không gian và thời gian. Những xung điện này được chuyển tải đến mắt bởi các hạt photon (quang tử), thực ra cũng là cơ cấu mã hóa nhị phân. Khi các xung điện truyền đạt đến mắt, tức thời bị mắt mã hóa như do bởi cái máy chụp hình số tự. Thông liệu cũng được mã hóa qua tai, mũi, lưỡi, và thân giống như qua mắt rồi truyền chuyển đến não để được xử lý và ghi thâu. Bộ não cũng vậy, bao gồm hết thảy các giao liên trao đổi tín hiệu giữa các tế bào não, là một tiến trình xử lý thông liệu mã hóa rất công hiệu. Thông liệu được xử lý không duy nhất trong bộ não mà trong tất cả mọi chất sống. Thật vậy, môn phân tử sinh học mô tả các tế bào như nơi chứa đựng thông liệu di truyền, sự sinh trưởng và tập tính các sinh vật như do mã di truyền kiểm định.

Giống như trường hợp năng lượng, thông tin có thể mô tả bằng ngôn ngữ toán học và xem như một sản vật có thể đo lường, mua bán, chế định, và đánh thuế. Tuy nhiên, khác với năng lượng, thông tin có tính chủ quan (subjectivity). Không hoàn toàn ở trong một hệ thống vật lý, như năng lượng chuyển hóa ở trong kẹo bánh, điện năng trong bình ắc quy, hóa năng trong thùng xăng, động năng trong làn gió, thông tin còn có một phần ở trong tâm thức. Hãy lấy số 14159265 làm thí dụ. Đối với ai chưa từng làm quen với số pi thì số đó không có ý nghĩa gì cả. Nhưng đối với các nhà khoa học thì đó là phần lẻ của một thông liệu khoa học quan trọng.

Thông tin như chữ “sách” chẳng hạn, không những biểu dương một thông điệp viết mà còn chỉ thị những ký hiệu tự mẫu s, a, ‘, c, h, dùng viết chữ ấy. Vì vậy, thông tin xem như có hai nghĩa. Một, trong ngôn ngữ hằng ngày, thông tin mang ý nghĩa của một thông điệp nào đó, và hai, nó là ký hiệu có công dụng truyền chuyển thông điệp, ký hiệu có thể là chữ cái, số, hay chuỗi 0 và 1. Theo nghĩa thứ hai, “công nghệ thông tin” (information technology) là ngành kỹ thuật chuyên cất giữ, truyền chuyển, phô bày, và xử lý ký hiệu, không cần biết đến ý nghĩa của chúng.

Các thành phần chính yếu của khoa học thông tin, theo vật lý gia Benjamin W. Schumacher, có thể lược giản thành một phương pháp ba giai đoạn:

1.- Xác định một tài nguyên vật lý. Thí dụ một chuỗi lựa chọn nhị phân, một chuỗi câu hỏi chỉ có hai cách trả lời: có hay không? đúng hay sai? sắp hay ngược? zero hay một? Claude E. Shannon, nhà khoa học sáng thiết thuyết thông tin, tương hợp mỗi lựa chọn với một bit.

2.- Xác định một công việc xử lý thông tin có thể thực hiện với sự sử dụng tài nguyên vật lý xác định trong giai đoạn 1. Thí dụ công việc phần đầu là áp nén (compression) xuất liệu (output) từ một nguồn thông tin, như bản văn trong một quyển sách chẳng hạn, vào trong một chuỗi bit, và phần sau là khử áp (decompression) chuỗi bit ấy, tức phục hồi thông tin nguyên thì áp nén trong chuỗi bit.

3.- Xác định một tiêu chuẩn về sự thành tựu công việc xác định trong giai đoạn 2. Thí dụ: tiêu chuẩn bảo rằng xuất liệu sau khi khử áp phải hoàn toàn trùng hợp với nhập liệu trước khi áp nén.

Như vậy câu hỏi căn bản của thông tin học là “Tối thiểu cần bao nhiêu số lượng tài nguyên vật lý (giai đoạn 1) để thực hiện công việc xử lý thông tin (giai đoạn 2) theo đúng tiêu chuẩn thành tựu (giai đoạn 3)?” Câu hỏi này tuy không chuyên đạt hết tất cả những gì thuộc khoa học thông tin nhưng có thể giúp ta nhận xét và phân tích những công trình nghiên cứu thuộc lĩnh vực thông tin.

Ví như trong trường hợp áp nén dữ liệu (data compression), câu hỏi là: “Tối thiểu cần bao nhiêu bit để chứa đựng thông tin do một nguồn nào đó sản xuất?” Để giải quyết vấn đề này hầu giúp các kỹ sư điện thiết lập những hệ thống viễn thông công hiệu, Shannon phát minh một cách đo lường thông tin do một nguồn thông tin sản xuất và phổ biến ý kiến của ông trong bài báo nổi tiếng “Thuyết toán học về truyền thông” (The Mathematical Theory of Communication; 1948).

Áp dụng cách đo lường Shannon để đo ‘số lượng thông tin’ trong một thông điệp thời không cần định nghĩa thế nào là ‘thông tin’, và ngay cả ý nghĩa của thông điệp cũng không cần biết. Phương pháp đo lường của Shannon áp dụng dễ nhất là vào các thông điệp gồm những chuỗi lựa chọn giữa hai tương phản: đúng hay sai, sắp hay ngửa, 0 hay 1. Muốn đo số lượng thông tin của một thông điệp do một nguồn sản xuất, hãy mã hóa nhị phân thông điệp thành một chuỗi gồm toàn chữ số 0 và 1, rồi đếm có bao nhiêu chữ số trong chuỗi ấy. Số chữ số đếm được ông định nghĩa là số bit tối thiểu cần để chứa đựng xuất liệu từ nguồn. Biểu thức toán học về số lượng thông tin nay được gọi là Shannon entropy và kỹ thuật đo thông tin bằng cách đếm gọi là phép đếm bit (bit-counting).

Theo Shannon, sở dĩ dùng mã nhị phân trong phép đếm bit vì đây là phương cách ít tốn kém nhất để đo số lượng thông tin. Mặc dầu rất công hiệu trong việc truyền dẫn, chứa đựng, và xử lý dữ liệu nhị phân, bit và phép đếm bit hoàn toàn không giải đáp những câu hỏi liên quan đến tánh chủ quan của thông tin, đặc biệt là vấn đề ý nghĩa, ‘Các ký hiệu chuyển đạt ý nghĩa của thông điệp đúng đến mức nào?’, và vấn đề hiệu nghiệm, ‘Thông điệp nhận được tác dụng trên hành vi hiệu quả như thế nào so với ý muốn?’ Shannon chủ trương “những gì liên can ngữ nghĩa đều không thích hợp với vấn đề kỹ thuật.” Chủ trương này rất thích hợp với vật lý học luôn luôn gạt ra ngoài những vấn đề liên can tánh chủ quan.

Trong Tựa Nhận thức và Tánh Không, có đoạn Thầy Tuệ Sỹ đặt câu hỏi: “Phục Hy phát hiện khái niệm nhị phân bằng hai hào. Ông chồng ba bit-hào

thành một quẻ; thu hoạch được tám quẻ. Rồi chòng nữa, ông có bộ nhớ 6 bit-hào, nhận được 64 ký tự-quẻ, nói đủ để ghi tất cả mọi hiện tượng, từ thiên nhiên, xã hội, con người. Ghi bất cứ cái gì mà con người có thể suy nghĩ và tưởng tượng. Nhưng phát hiện của Phục Hy được thấy là hữu ích cho việc bói toán hơn là hỗ trợ bộ óc của con người, như vi tính ngày nay, tại sao?”

Và trả lời: “Người học Phật chỉ có thể nói: căn, cảnh, thức; ba sự hòa hiệp xúc. Duyên xúc phát sinh thọ. Xúc dị biệt nên cảm thọ dị biệt. Không cùng môi trường «thức ăn» thì không thể nhìn giống nhau được. Hai bờ sông Ngân có hai chòm sao. Từ Đông hay Tây, nhìn lên đều thấy. Ở bên này Thái bình dương nhìn lên, đó là Ngưu lang, người chăn bò, và Chức nữ, cô gái dệt lụa. Và một thiên tình sử nảo lòng. Còn bên kia Đại tây dương nhìn lên, đó là con thiên ung và cây đàn bảy dây. Không có dấu hiệu gì chứng tỏ con chim đang cố vượt sông Ngân để sang bờ bên kia nghe đàn, mà được thấy là đang đi tìm trái tim của vị thần ăn cắp lửa. Cách nhìn khác nhau vạch ra định hướng lịch sử khác nhau, và tạo dựng những nền văn minh khác nhau.”

Đúng vậy. Nhà khoa học, triết học, và toán học Gottfried W. Leibniz (1646-1716), người phát minh toán vi tích phân (Calculus) đồng thời và độc lập với Newton cũng là người đầu tiên từ năm 1666 tìm cách sáng chế một hệ thống ký tự phổ quát (*characteristica universalis*) trong đó một logic hình thức (*symbolic logic*; *calculus ratiocinator*; luật tư duy) chuyển dịch mọi phát biểu bằng lời nói thường có tính cách mơ hồ thành những mệnh đề toán học chính xác, qui giảm hết thảy mệnh đề chân thật của luận lý về ngôn ngữ của toán vi tích phân. Áp dụng phép đếm nhị phân, ông chỉ sử dụng hai chữ số nhị phân 0 và 1 làm ký tự để thành lập các biểu thức số học.

Leibniz tin tưởng trên nguyên tắc mọi vấn đề đều có thể giải quyết. Trước hết, tạo một môi trường phổ quát trong đó các ý tưởng tương phản có thể đồng thời câu khởi và tương hỗ. Hệ thống ký tự phổ quát tựa trên một logic nhị phân là ngữ pháp có khả năng chuyển dịch tất cả khái niệm và ý kiến bất đồng vào cùng một tập hợp ký hiệu. Điểm khác biệt với ngôn ngữ thông thường là hệ thống ký tự phổ quát không phát âm và không bị chất liệu nội dung hạn chế. Không nội dung và im lặng, ngữ pháp nhị phân có thể chuyển đổi mọi mệnh đề có ý nghĩa thành những thuật ngữ của logic vi tích phân, một hệ thống chứng minh những mẫu hình luận chứng đúng hay sai, hoặc liên kết chúng thành một ma trận (*matrix*). Do đó, các tiến trình tư duy trái nghịch có thể đồng thời diễn biến cùng trong một môi trường. Mọi sự bất đồng về thái độ hay niềm tin, một khi chuyển dịch qua ký tự tương ứng, có thể dẫn khởi những phép diễn toán không vấp phải mâu thuẫn phi lý. Kết

quả là logic vi tích phân chỉ chỗ đúng sai của biện luận, ra ngoài những phát biểu mơ hồ, những lối nhìn thành kiến.

Đạo ấy, Leibniz hay viết về những vấn đề thần học liên hệ đến người Trung Hoa và thường trao đổi thư từ với các linh mục Dòng Tên truyền đạo ở Trung Hoa đang nghiên cứu Kinh Dịch để tìm điểm tương đồng giữa tín ngưỡng của người Trung Hoa và Thiên chúa giáo. Leibniz có tin cho Joachim Bouvet, linh mục Dòng Tên người Pháp ở Bắc kinh biết cách ông đếm bằng hai số 0 và 1. Chẳng bao lâu sau khi nhận được thư trả lời kèm theo hình 64 quẻ kép trong Kinh Dịch của Bouvet cho biết có sự tương quan giữa các quẻ ấy và phép đếm nhị phân của ông, ông đệ trình Viện Hàn lâm Hoàng gia Khoa học (1703) bài “Giải thích số học nhị phân chỉ dùng ký tự 0 và 1, kèm theo đoạn bình về sự lợi ích của nó và về sự nó giải thích ý nghĩa những hình tượng Trung Hoa thời cổ đại đời vua Phục Hy” (Explication de l'arithmétique binaire, qui se sert des seuls caractères 0 et 1, avec des remarques sur son utilité, et sur ce qu'elle donne le sens des anciennes figures Chinoises de Fo-hy). Có đoạn ông viết: “Điểm bất ngờ trong phép tính này là số học chỉ dùng 0 và 1 chứa đựng điều bí ẩn về các vạch của vua và triết gia thời cổ tên Phục Hy Nhiều quẻ được cho là do ông vua ấy vạch ra, tất cả đều có thể suy ra từ số học này.

Nhưng chỉ cần đưa ra đây hình của tám quẻ đơn gọi là Bát quái là những hình cơ bản, và thêm vào đó lời giải thích, thật ra đã hiển nhiên, để hiểu ngay một vạch liền □ có nghĩa là đơn vị hay 1 và một vạch đứt ~ có nghĩa là zero hay 0.

Người Trung Hoa đánh mất đi sự hiểu biết ý nghĩa của Bát quái hay những vạch của Phục Hy, có thể hơn ngàn năm nay, và họ đã viết những lời chú giải các quẻ, tìm kiếm tôi không biết ý nghĩa xa xưa nào, cho nên bây giờ trở nên cần thiết đối với họ là có lời giải thích chân thật từ phía người Âu châu.”

Ngoài ra, Leibniz gia công chế tạo máy tính thích hợp với ngôn ngữ nhị phân có khả năng diễn toán trên các chuỗi số nhị phân theo qui tắc logic hình thức nhưng không thành công. Mãi hơn hai thế kỷ sau nhờ những công trình tiếp tục nghiên cứu những ý kiến của Leibniz do những tên tuổi như Boole, Venn, Russell, Whitehead, Shannon, và nhiều nhân vật khác nữa, logic hình thức mới có thể vận dụng để chứng minh bằng pháp diễn dịch trong các mạch điện tử. Sau đó, John von Neumann áp dụng số học nhị phân của Leibniz khai thiết máy điện toán số tự (digital computer).

(IV) - Pháp giới tính: chồng chập, giao thoa, và vướng mắc

Tương cần nhắc lại đây một số tính chất đặc biệt của cơ học lượng tử (quantum mechanics) trước khi bàn về khoa thông tin lượng tử (quantum information). Lượng tử hay hạt có hai loại phẩm tính, tĩnh và động. Các phẩm tính tĩnh có kích thước không thay đổi khi đo lường và dùng để phân biệt các loại hạt. Ba phẩm tính tĩnh quan trọng nhất là khối, điện tích, và đại lượng của spin. Trong số các phẩm tính động biểu trưng tính động của hạt có thể kể vị trí, xung lượng, và định hướng của spin.

Nền tảng của cơ học lượng tử là nguyên lý bất định Heisenberg được sử dụng để xác định mức độ chính xác trong sự đo lường những phẩm tính động của hạt chuyển động. Các phẩm tính động luôn luôn phát hiện thành từng cặp bổ sung, chẳng hạn vị trí và xung lượng, năng lượng và thời gian trong một tiến trình vật lý. Theo nguyên lý bất định, dẫu dụng cụ, phương pháp, và người đo lường hoàn hảo đến mức độ nào đi nữa, ta không bao giờ có thể đồng thời biết được chính xác cả hai phẩm tính bổ sung của một hạt đang chuyển động. Theo Bohr, những phẩm tính biểu trưng tính động của lượng tử không thuộc bản tính tự nhiên của lượng tử mà phát hiện từ toàn thể trạng huống trong đó công việc đo lường được thực hiện. Hạt tự nó không có phẩm tính vị trí và xung lượng. Những phẩm tính ấy thật ra là quan hệ giữa hạt và dụng cụ đo lường. Dẹp bỏ dụng cụ đo lường thì những phẩm tính ấy cũng biến mất. Phẩm tính động của hạt khả dĩ định nghĩa và quan sát được chỉ khi nào đặt hạt trong quan hệ hỗ tương tác dụng với những hệ thống khác. Như vậy, thay vì có vị trí và tốc độ được quan sát và định nghĩa riêng biệt, các hạt có một trạng thái lượng tử (a quantum state) tức một tổ hợp vị trí và tốc độ.

Cơ học lượng tử thường không dự đoán một kết quả duy nhất của một thí nghiệm. Nó trưng dẫn nhiều kết quả khác nhau, nêu rõ mỗi kết quả có bao nhiêu cơ duyên thành tựu. Nghĩa là, nếu áp dụng cùng một phép đo lường và khởi sự trong điều kiện ban đầu giống nhau để đo một số lớn hệ thống tương tự nhau [đây muốn nói là đo một hệ thống rất nhiều lần, hệ thống tất nhiên không bao giờ ở yên trong cùng một trạng thái] thì kết quả đo được sẽ là A trong một số trường hợp, B trong một số trường hợp khác, v..v... Ta có thể dự đoán gần đúng bao nhiêu lần kết quả là A hay B nhưng không thể dự đoán kết quả chính xác sau mỗi lần đo lường được. Như vậy cơ học lượng tử

thêm vào khoa học yếu tố ngẫu nhiên bất khả dự tri. Vì thế một số khoa học gia như Einstein chống đối cơ học lượng tử, bảo rằng: “Thượng đế không chơi súc sắc”. Nhưng đa số chấp nhận bởi cơ học lượng tử hoàn toàn phù hợp với thực nghiệm. Cơ học lượng tử chi phối sự vận hành của các transistor và mạch tổ hợp là những thành phần chính yếu của các thiết bị điện tử như tivi và máy tính, đồng thời là nền tảng của hóa học và sinh học hiện đại.

Lượng tử ánh sáng (photon) cũng như lượng tử vật chất (thí dụ: electron) có hai hành tướng, hạt và sóng. Trái với quan điểm của Niels Bohr cho rằng không bao giờ có thể thấy photon tác dụng như hạt và sóng cùng một lúc, năm 1992, các vật lý gia Nhật bản hoàn thành một thí nghiệm do một nhóm vật lý gia Ấn độ thiết kế và quan sát được hiện tượng photon tác dụng đồng thời như hạt và sóng. Như vậy, hành tướng phát hiện là tùy theo trạng huống trong đó thí nghiệm được thực hiện. Nói theo ngôn ngữ Phật giáo, lượng tử là một pháp hữu vi siêu việt và hàm dung hai hành tướng sóng và hạt tương đãi đối nghịch. Đây là đặc tính mâu thuẫn mà nhất thống của tánh Không của lượng tử.

Sóng chuyển động tuần hoàn và được xác định bởi hai phẩm tính: biên độ diễn tả độ cao của sóng và pha diễn tả sóng ở vào thời kỳ nào của chu kỳ chuyển động. Pha của sóng điều tiết hiện tượng hai sóng gặp nhau. Nếu hai sóng đồng tần số tiếp xúc nhau với pha đồng nhất thời ta bảo chúng “trùng pha” (in phase), với pha khác nhau nửa chu kỳ thời ta bảo chúng “phản pha” (out of phase).

Khi hai sóng gặp nhau thời tổng hợp thành một sóng có biên độ bằng biên độ của hai sóng cộng lại. Sự kiện biên độ các sóng gặp nhau bất kỳ ở đâu cộng thành biên độ của sóng tổng hợp được gọi là nguyên lý chồng chập (superposition principle). Nguyên lý này chỉ áp dụng trong trường hợp biên độ không lớn và khi không áp dụng được thời gọi là trường hợp phi tuyến tính (non linearity). Không có gì thêm hay mất đi mọi khi sóng gặp nhau. Đặc biệt là khi một sóng truyền dẫn ra khỏi sóng tổng hợp, biên độ của nó vẫn như trước khi gặp các sóng khác. Sóng tổng hợp chỉ là một sự chồng chập sóng tạm thời. Nguyên lý chồng chập quyết định rằng khi các sóng dao động cộng lại thời biên độ của sóng tổng hợp tùy thuộc sự tương quan liên hệ giữa các pha. Khi hai sóng trùng pha, đỉnh sóng giống hàng với đỉnh sóng, đáy sóng giống hàng với đáy sóng tạo thành một sóng mạnh hơn với biên độ lớn. Nếu biên độ của chúng bằng nhau (chọn làm 1 đơn vị) thời sóng tổng hợp có biên độ

bằng 2 đơn vị. Đây là trường hợp giao thoa xây dựng. Khi chúng phản pha, đỉnh của sóng này giống hàng với đáy của sóng kia và nếu biên độ của chúng bằng nhau thì hai sóng hỗ giao tương triệt, tổng hợp thành một sóng có biên độ triệt tiêu. Trường hợp này gọi là giao thoa phá hủy. Nếu pha ở đâu đó trong khoảng giữa trùng và phản pha thì biên độ tổng hợp nằm trong khoảng 0 và 2.

Ngẫu duyên và giao thoa, hai nét đặc thù của cơ học lượng tử được diễn tả toán học bằng một hàm sóng do Schrodinger sáng thiết với mục đích minh giải sự giao thoa của các hạt vật chất. Hàm sóng không mô tả hạt mà thông tin về cơ duyên có thể tìm thấy hạt đâu đó tại nhiều vị trí khác nhau. Bình phương biên độ của sóng tại bất kỳ chỗ nào cho biết xác suất tìm thấy phẩm tính vị trí của hạt ở chỗ đó và dạng sóng thông tin cho biết về tất cả phẩm tính khác. Hàm sóng chính là trạng thái lượng tử biểu tượng vừa hiện tượng giao thoa của các hạt vừa tập tính ngẫu duyên của chúng. Quan hệ giữa tính khả dự tri của hàm sóng và tính bất khả dự tri của hạt tương tự quan hệ giữa hai mệnh đề có vẻ mâu thuẫn nhau: “Xác suất đồng tiền rơi ngửa là 50%, một đại lượng hoàn toàn khả dự tri” và “Đồng tiền rơi xuống sau mỗi lần gieo không biết là sấp hay ngửa, đó chính là một điều bất khả dự tri”. Hàm sóng có thể biểu trưng hai mệnh đề tương phản như thế, quả là một sự kiện khác thường!

Tóm lại, hàm sóng không vận tải năng lượng như sóng nước hay sóng âm, mà vận tải những khả năng, hay tiềm năng chồng chập tuyến tính lên nhau. Nói theo Duy thức, hàm sóng là những làn sóng chủng tử tạo nên thức a lại da, thức này hằng chuyển, tương tục bất đoạn.

Von Neumann là người đầu tiên đặt thành vấn đề nhưng không giải quyết sự đo lường phẩm tính lượng tử. Ông cũng là người đầu tiên chỉ cho thấy thuyết lượng tử dẫn khởi vai trò tâm thức của người quan sát thí nghiệm. Ông cho rằng vật thể tự nó không có phẩm tính nếu quan sát viên không chú tâm quan sát nó. Khái niệm then chốt trong sự đo lường lượng tử là sự “sụp đổ của hàm sóng” phát hiện trong thí nghiệm với màn chắn có hai khe: Một hạt đơn nhất như một photon hay một nguyên tử natri khi truyền dẫn thời có dạng sóng, nhưng khi đến nơi thì có dạng hạt. Theo nhóm Copenhagen do Bohr lãnh đạo, chính tác dụng quan sát, hay đo lường, sóng làm nó sụp đổ thành hạt.

Hạt đơn nhất khi đi qua một khe tường như đồng thời biết được khe kia bị che kín hay để hở, do đó cuối cùng chọn lựa kiểu hình vẽ ra trên màn lân

quang, một vùng điểm trắng hay kiểu hình sóng giao thoa. Nghĩa là, nó ý thức được điều kiện chẳng những tại một khe mà khắp nơi trong toàn thể thí nghiệm [Nên nhớ so với kích thước của hạt khoảng cách hai khe vô cùng lớn]. Tánh nối kết phi cục bộ (non-local connection) này là nét đặc thù trọng yếu của cơ học lượng tử. Bảo rằng A nối kết phi cục bộ với B có nghĩa là (1) nối kết không qua trung gian môi chất nào giữa A và B; (2) ảnh hưởng của sự nối kết không bị khoảng cách giảm thiểu; ảnh hưởng vẫn giống nhau dẫu cách xa hàng vạn dặm hay chỉ một phần rất nhỏ của một ly; và (3) có tánh tức thời, không bị tốc độ ánh sáng hạn định.

Trong cơ học lượng tử, tánh nối kết phi cục bộ có tên gọi là pha vướng mắc (phase entanglement). Mỗi khi hệ lượng tử A gặp hệ lượng tử B, pha của chúng hỗn hợp: sóng của A sao một phần pha của nó vào trong sóng của B và ngược lại. Sự trao đổi pha như thế nối kết vĩnh viễn hai hệ thống A và B. Tánh pha vướng mắc nối kết hết thảy mọi hệ thống từng gặp nhau một lần trong quá khứ thành một sắc sóng duy nhất, sự nối kết không qua trung gian môi chất nào, không bị khoảng cách giảm thiểu ảnh hưởng, và có tánh tức thời.

Nhằm tìm hiểu ý nghĩa toàn thể (holism) của trạng thái chồng chập và vướng mắc, hãy lấy spin làm thí dụ. Spin là một tính chất vật lý chỉ được đề cập trong cơ học lượng tử. Có những hệ thống như electron có spin $1/2$ với hai trạng thái mà thôi, hoặc trạng thái spin “chỉ lên” (spin up) hoặc trạng thái spin “chỉ xuống” (spin down). Giả thiết hai hệ thống có spin $1/2$ cùng phát ra từ một nguồn, rồi sau đó lìa nhau theo hai ngã đường ngược hướng. Dẫu ly cách bao nhiêu đi nữa, trạng thái spin của toàn thể, nghĩa là trạng thái spin nối của hai hệ thống ấy hợp nhau, là trạng thái chồng chập của hệ thống đầu có spin chỉ lên và hệ thống thứ hai có spin chỉ xuống với hệ thống đầu có spin chỉ xuống và hệ thống thứ hai có spin chỉ lên.

Trong trạng thái chồng chập, riêng mỗi hệ thống, không có hệ thống nào ở trong trạng thái có spin chỉ lên hay spin chỉ xuống. Như vậy có nghĩa là, tuy spin cục bộ (local spin) tức spin của riêng mỗi hệ thống là một phẩm tính khả quan trắc (local observable), nhưng trong cách thế chồng chập nó không có một độ đo chính xác mà chỉ với một xác suất bao nhiêu phần trăm đúng. Spin toàn thể (total spin) của trạng thái chồng chập mới có một độ đo xác định. Khi đo spin của một trong hai hệ thống và biết kết quả thời xác suất đo spin của hệ thống kia biến đổi thành 1, nghĩa là ta có thể biết chắc spin của nó là chỉ lên hay chỉ xuống.

Tính chồng chập và pha vướng mắc là một thí dụ khoa học về pháp giới tính là “tính bản nhiên của tất cả sự vật, nghĩa là của tất cả các chuyển động và các hiện tượng trong vũ trụ. Tính bản nhiên ấy là tính “trùng trùng duyên khởi”, nghĩa là tính ảnh hưởng dây chuyền của một sự vật đối với tất cả sự vật, của tất cả sự vật đối với một sự vật. Ví như một con cá nhỏ vẫy đuôi, tuy rung động rất ít, nhưng nếu có khả năng đo lường chính xác, thì cũng có thể thấy ảnh hưởng cùng khắp bốn bề.” (Kinh Thủ Lăng Nghiêm. Lời nói đầu. Tâm Minh Lê Đình Thám)

Vật lý gia John Stewart Bell chứng minh một định lý toán học xác nhận rằng thực tại lượng tử phải phi cục bộ. Kết quả của định lý Bell không tùy thuộc thuyết lượng tử, như vậy có nghĩa là một ngày kia nếu thuyết lượng tử được nhận thấy không còn giá trị, không lợi ích nữa, và bị dẹp bỏ, thì định lý Bell vẫn đứng vững và luôn luôn đúng. Nên nhớ rằng định lý Bell buộc thực tại chứ không phải hiện tượng phải phi cục bộ. Đo lường lượng tử là phương tiện vật lý gia sử dụng để tiếp xúc với thực tại. Tất cả mọi đo lường lượng tử đều cấu thành bởi những nhảy lượng tử, chẳng hạn như những chớp sáng lóe trên màn lân tinh. Các nhảy lượng tử lên xuống từ thực tại lượng tử tạo thành những mẫu hình tồn tại và tái diễn có tính cục bộ, nghĩa là tương giao tác dụng qua trung gian những môi chất trong không gian và thời gian. Do tính pha vướng mắc mà hiện thành một toàn thể hoàn chỉnh trong đó các lượng tử nối kết phi cục bộ vận hành theo quy luật của hàm sóng.

Qubit: Không và Bất không.

Để tìm hiểu thông tin lượng tử, hãy đặt câu hỏi theo phương pháp ba giai đoạn của Schumacher. Trong cơ học lượng tử, tài nguyên vật lý mới nào thay thế chuỗi các bit? Công việc xử lý thông tin nào có thể thực hiện? Những tiêu chuẩn thích hợp nào về sự thành tựu công việc xử lý thông tin?

Về tài nguyên vật lý thời phải kể đến các trạng thái chồng chập, giống như trường hợp con mèo của Schrodinger là sự chồng chập hai khả năng sống và chết. Công việc xử lý thông tin có thể liên can đến sự vận dụng tính nối kết phi cục bộ tức pha vướng mắc. So với trường hợp thông tin cổ điển, tiêu chuẩn về sự thành tựu tinh tế hơn nhiều bởi vì muốn gom thu kết quả của một công việc xử lý thông tin thời phải quan sát, hay đo lường, hệ thống. Nhưng trong cơ học lượng tử, hành động như vậy sẽ biến đổi hệ thống, hủy diệt những trạng thái chồng chập đặc biệt chỉ hiện hữu trong vật lý lượng tử mà thôi.

Tài nguyên căn bản của thông tin lượng tử gọi là bit lượng tử, quantum bit, hay qubit (đọc là kiubit), danh từ do Schumacher đề nghị và được cộng đồng vật lý gia chấp nhận vào thu 1992. Giống như bit là tượng trừu xuất từ những nguyên lý của vật lý học cổ điển, qubit là tượng trừu xuất từ những nguyên lý của cơ học lượng tử. Bit, đơn vị của thông tin cổ điển, được miêu tả bởi trạng thái của nó, 0 hay 1. Cũng vậy, qubit, đơn vị của thông tin lượng tử, được miêu tả bởi trạng thái lượng tử của một hệ thống lượng tử hai thứ nguyên. Có hai trạng thái lượng tử của qubit gọi là trạng thái cơ bản tương ứng với hai trạng thái 0 và 1 của một bit cổ điển. Hai trạng thái cơ bản này thường được ký hiệu là $|0\rangle$ (đọc là ket 0) và $|1\rangle$ (đọc là ket 1). Tuy nhiên, trong cơ học lượng tử, hạt nào có hai trạng thái lượng tử khác nhau tất có một tập hợp gồm vô số trạng thái chồng chập của hai trạng thái đó. Vì thế qubit có thể được miêu tả bởi vô số trạng thái chồng chập của hai trạng thái cơ bản $|0\rangle$ và $|1\rangle$. Biểu thức của qubit có dạng:

$$a|0\rangle + b|1\rangle$$

a và b là phức số, một trong hai phức số này phải khác không. (Xem Bài toán A lại da duyên khởi. Sách Tánh khởi và Duyên khởi. Hồng Dương). Có thể nói vắn tắt, qubit là chồng chập 0 và 1, cũng như nói bit là trị số 0 hay 1.

Bất cứ hệ thống lượng tử nào có hai trạng thái như spin của electron hay phân cực của photon đều là hóa thân của một qubit. Trong một qubit có nhiều hơn một bit thông tin. Tuy nhiên khi đo qubit để thu lượm thông tin thời chỉ đạt được chỉ một bit mà thôi.

Xin mở dấu ngoặc để giải thích sơ lược phân cực của photon liên hệ như thế nào với qubit. Ánh sáng là những sóng ngang, thẳng góc (90 độ) với chiều sóng truyền dẫn (chiều dọc), kết hợp dao động di chuyển của điện trường và từ trường. Một bộ lọc sóng phân cực như kiến mát Polaroid chẳng hạn, có công dụng phân cực ánh sáng, nghĩa là để ánh sáng truyền xuyên qua kiến theo một chiều riêng biệt, chiều của trục truyền dẫn của bộ lọc. Nếu chiều của trục bộ lọc thẳng đứng thời chỉ có ánh sáng phân cực thẳng đứng truyền qua nguyên vẹn, còn ánh sáng phân cực nằm ngang thời hoàn toàn bị chặn lại. Ánh sáng của mặt trời hay của đèn điện vì là hỗn hợp ánh sáng phân cực khắp mọi hướng khác nhau cho nên gọi là ánh sáng thường, không có chiều phân cực nào đặc biệt. Mỗi photon của ánh sáng phân cực có thể hình dung như có gắn một mũi tên chỉ hướng phân cực của nó, thẳng góc với chiều truyền dẫn ánh sáng. Cơ học lượng tử thường nói đến những photon phân cực theo hai chiều thẳng góc với nhau và với chiều truyền dẫn của ánh sáng.

Như vậy, photon là trạng thái chồng chập của hai sóng phân cực, sóng phân cực chiều đứng và sóng phân cực chiều ngang, cho nên được xem như hóa thân của một qubit.

Thí nghiệm nào có thể tạo ra một qubit? Cách đơn giản nhất để tạo qubit là dùng một bộ tách chùm tia (beam splitter). Bộ tách chùm tia không gì khác là những đĩa thủy tinh dày độ hơn nửa phân, đường kính lớn trong khoảng từ một đến hai phân, một mặt được phủ một lớp mỏng kim loại, kim loại màu vàng, màu bạc, đủ mọi màu, hầu phản chiếu ánh sáng màu sắc khác nhau. Bộ tách chùm tia có mặt hầu như khắp nơi, trong nhà, trên xe, nó giúp kiểm soát các tia chớp laser vi tế trong các máy chơi CD. Chức năng của nó là tách ra hai chiều một chùm tia sáng chiếu xiên trên mặt nó: một tia truyền thẳng xuyên qua thủy tinh và tia thứ hai phản chiếu trên nó như trên một mặt gương. Đặc điểm là nó bảo toàn năng lượng của chùm tia, không biến chuyển phần nào ra nhiệt. Nó có tính đối xứng, nghĩa là tách chùm tia thành hai phần bằng nhau: tia truyền thẳng và tia phản chiếu, độ sáng của mỗi tia bằng nửa độ sáng của chùm tia chiếu tới nó.

Bây giờ đặt một bộ tách chùm tia nằm ngang song song với nền nhà. Chiếu xiên một photon tới mặt bên trên của nó, mỗi photon giả thiết chuyển tải một bit thông tin. Kết quả là sẽ có hai tín hiệu, một ở phía trên, một ở phía dưới bộ tách. Tuy nhiên không một photon thứ hai hay một bit thông tin thứ hai nào được tạo. Theo quy luật lượng tử, thông tin hiện đang nằm trong trạng thái chồng chập của 1 và 0. Nếu đặt hai máy dò, cái ở trên, cái ở dưới bộ tách, thì một trong hai máy dò sẽ phát hiện thông tin nhưng không biết trước máy nào. Theo quy ước, nếu photon hiện nơi máy dò phía trên thì có nghĩa là 1, hiện nơi máy phía dưới thì có nghĩa là 0. Đó là đầu mối quan trọng để nhận ra một qubit ‘1 và 0’ đã được tác thành. Nó được chuyển tải bởi hai chùm tia vi tế, cả hai cộng lại vừa đủ năng lượng của một photon đơn nhất.

Để hợp hai chùm vi tế ấy lại thành một photon hãy dùng hai tấm gương G1 và G2 phản chiếu hai tia của bộ tách thứ nhất, tia truyền thẳng và tia phản chiếu, đến gặp nhau trên một bộ tách thứ hai. Ta có một giao thoa kế với hai máy dò A và B như hình sau đây.

Công dụng của giao thoa kế là triển chuyển 1 thành 0 hay ngược lại, đúng như công dụng của một cổng NOT (BẮT). [Các phần tử của mạch logic gọi là cổng (gate) vì chúng kiểm soát dòng thông tin giống như cổng đập nước kiểm soát dòng nước]. Vì bit chỉ có hai khả năng, nên “BẮT” khả năng này

tức là chọn khả năng kia. Như vậy, bộ tách chùm tia thứ nhất có thể xem như “căn số bậc hai của BẮT”, bởi vì áp dụng hai lần liên tiếp qua hai bộ tách, “căn bậc hai của BẮT” nhân “căn bậc hai của BẮT”, hóa thành “BẮT” lại. “Căn bậc hai của BẮT”, một khái niệm chỉ cơ học lượng tử mới có, là đối phần logic của khái niệm toán học “căn bậc hai của -1 ”, còn gọi là số ảo “ i ”. Điều này chứng tỏ trong tầng mức sâu thẳm có một sự liên hệ giữa vật lý (bộ tách chùm tia) và toán học (ảo số). Theo quan điểm Duy thức, sự liên hệ ấy chính là thức, a lại da thức.

Số ảo i tương ứng với góc quay 90° , do đó sự so sánh với số ảo cho ta hiểu tại sao một hình cầu có thể dùng để biểu tượng một qubit trong không gian ba thứ nguyên.

Hình A: Một bit chỉ có thể có một trong hai trạng thái là 0 hay 1. Có thể biểu diễn bit bởi một mũi tên chỉ xuống hay chỉ lên.

Hình B: Một qubit có rất nhiều trạng thái khả năng. Mỗi trạng thái có thể biểu diễn bởi một mũi tên chỉ vào một vị trí trên một hình cầu. Bắc cực tương ứng với 1, Nam cực với 0. Tất cả những vị trí khác là sự chồng chập hai trạng thái 0 và 1.

Hình C: Một qubit khác với bit ở chỗ là có thể cất chứa những trị số ở khoảng giữa 0 và 1, vì thế có thể cất chứa vô hạn số lượng thông tin. Nhưng phải đo lường mới trích dẫn được thông tin cất chứa trong qubit. Tuy nhiên, theo quy luật lượng tử, đo lường xóa bỏ hết thảy mọi thông tin trong qubit ngoại trừ độc nhất một trong hai trạng thái, 0 hay 1, được phát hiện. Kết quả đo qubit luôn luôn là một bit, 0 hay 1. Xác suất của mỗi kết quả tùy thuộc “vĩ độ” của qubit. “Kinh độ” của qubit biểu tượng pha, độ sai biệt tương đối giữa chu kỳ của hai sóng. Tại kinh tuyến Greenwich với kinh độ zero, hai sóng trùng pha, bên kia nửa vòng quanh hình cầu, kinh độ là 180° , hai sóng phản pha. Tóm lại, qubit được xác định bởi hai số: vĩ độ chia thành phần tương đối và kinh độ miêu tả sự sai biệt pha tương đối giữa hai trạng thái 0 và 1.

Sự khác biệt được chú ý đầu tiên giữa bit và qubit là khả năng cất chứa thông tin. Một bộ ghi với hai bit (2-bit register) có thể cất chứa mỗi lần chỉ một trong 2 lũy thừa 2 tức 4 số: 00, 01, 10, 11 tức theo phép biểu diễn nhị phân, một trong bốn số thập phân: 0, 1, 2, và 3. Hai qubit cũng cất chứa những số từ 0 đến 3 như bit. Tuy nhiên, vì hai qubit là trạng thái chồng chập những trạng thái kê trên cho nên một bộ ghi với hai qubit có thể cất chứa các

số 0, 1, 2, và 3 cùng một lúc. Nếu gồm tám qubit bộ ghi có thể cất chứa 2 lũy thừa 8 tức 256 số cùng một lúc. Khi số qubit trong bộ ghi tăng lên 100, thời số cất chứa tăng lên 2 lũy thừa 100 tức độ chừng 10 lũy thừa 30 (số 1 đèo 30 zero) số cùng một lúc. Hiện tại hay trong tương lai gần đây không thể có siêu máy tính nào có thể xử lý số lượng thông tin lớn như vậy.

Trên đây trình bày các thí dụ về thông tin lượng tử theo đúng phương pháp ba giai đoạn của Schumacher: Cần bao nhiêu qubit (tài nguyên vật lý) để cất chứa một số lượng thông tin cổ điển (công việc xử lý thông tin) hầu có thể trích dẫn thông tin cất chứa một cách xác thực (tiêu chuẩn thành tựu).

Khả năng cất chứa vô lượng thông tin phát xuất từ trạng thái chồng chập là nguyên nhân thúc giục các khoa học gia tìm cách sáng chế máy tính lượng tử (quantum computer), một loại máy tính có khả năng cất chứa cùng một lúc một số lượng thông tin vô hạn trong một số qubit tương đối bé. Ngoài ra, hiện tượng chồng chập liên hệ táng pha vướng mắc. Vướng mắc là khả năng các hệ thống lượng tử hiển bày những tương giao giữa những trạng thái trong một chồng chập. Vướng mắc cho phép hai hạt chuyển vận như một, dẫu chúng cách xa bao nhiêu đi nữa. Nếu có hai qubit vướng mắc, đo trạng thái của qubit này lập tức xác định được trạng thái của qubit kia.

Các vật lý gia áp dụng khả năng tính này để tìm cách chuyển thông tin đi xa và tức thời (teleportation) mà không bị đọc lén. Trước hết, họ dùng một dụng cụ như bộ tách chùm tia tạo sự vướng mắc giữa hai hạt, hai photon A và B chẳng hạn, nhằm mỗi khi biến đổi trạng thái hạt A thời trạng thái hạt B bất kỳ ở đâu cũng tức thời biến đổi theo. Sau đó tạo trạng thái lượng tử cần truyền chuyển đi xa và tức thời nơi một photon thứ ba, C, rồi tạo sự vướng mắc giữa hạt A và hạt C. Tức thời trạng thái của B bị đổi thành trạng thái tạo nơi C, và trạng thái nguyên thủy nơi C bị hủy diệt. Một trạng thái biến mất tại một chỗ tức thời hiện ra tại một chỗ khác!

Nhóm vật lý gia Đại học Innsbruck, Austria, là những khoa học gia đầu tiên thành công dùng nguyên tử chuyển thông tin tức thời xuyên qua sợi quang học (optical fiber) dài 800 mét đặt trong một cống nước dưới đáy sông Danube nối liền hai phòng thí nghiệm ở hai bên sông. Tin này được tường thuật đầy đủ trong tạp chí Nature, ngày 16 tháng 6 năm 2004, làm phấn khởi các khoa học gia đang tìm cách sáng chế những siêu máy tính vận chuyển tín hiệu tức thời trong đó táng vướng mắc được sử dụng như những mạch dây lượng tử.

John Archibald Wheeler, giáo sư Đại học Princeton, quan tâm đến vai trò quan trọng của tâm thức trong vật lý học, đã nêu lên những thắc mắc mà ông gọi là “Những câu hỏi thực sự rộng lớn” (Really Big Questions). Năm câu trong số đó là nguồn cảm hứng của nhiều công trình nghiên cứu vật lý học và triết học hiện đại: Tại sao lượng tử? (Why the quantum?), Sự hữu tồn như thế nào? (How come existence?), Hiện tượng phát xuất từ bit? (It from bit?), Một vũ trụ tham gia? (A “participatory universe”?), và Cái gì làm thành ý nghĩa? (What makes “meaning”?)

Về câu hỏi “Hiện tượng phát xuất từ bit?” vật lý gia David Deutsch, Viện Kế toán lượng tử, Đại học Oxford, không chấp nhận quan điểm thông tin tạo ra thế giới hiện tượng. Trái lại, ông cho rằng cái thế giới trong đó có cái gọi là thông tin (information) và những tiến trình gọi là kế toán (computation) hiện chứa hay ít nhất sẵn sàng chứa những máy tính phổ quát (universal computers). Trong bài “It from Qubit” ông giải thích: “Thế giới là do qubit cấu thành. Mọi lời giải đáp câu hỏi trong thiên nhiên một vật gì đó được quan sát là có hay không, thật ra là một vật khả quan trắc nhị phân (Boolean observable). Mỗi vật khả quan trắc nhị phân là thành phần của một qubit, hệ thống cơ bản đối với thực tại vật lý nhưng xa lạ đối với kinh nghiệm hằng ngày của chúng ta. Cái mà ta tưởng chừng như một thế giới gồm các biến số chỉ có duy nhất một trị số thật ra là thành phần của một thực tại rộng lớn hơn trong đó câu trả lời đầy đủ câu hỏi có-không không thể nào chỉ là có hay không, không thể nào là cả hai, có và không, đi song đôi, mà là một lượng tử khả quan trắc, một vật thể có thể biểu tượng toán học bằng một ma trận Hermite lớn.”

David Deutsch lưu ý chúng ta rằng mặc dầu theo thuyết thông tin cổ điển dung lượng của qubit chỉ chuyên tải độc nhất một bit, nhưng trong thiên nhiên không có hệ thống cơ bản nào tương ứng với một bit. Chỉ có qubit mới hiện thành trong thiên nhiên. Theo ông, “bit, biến số nhị phân, và kế toán cổ điển hết thảy đều là những phẩm tính xuất hiện (emergent) hay gần đúng (approximate) của qubit.”

Nhân quả đồng thời.

Vì electron và photon đều xem như hóa thân của qubit cho nên thay vì nói theo ngôn ngữ của thuyết thông tin lượng tử, ‘thế giới là do qubit cấu thành’ ta có thể nói theo ngôn ngữ của thuyết lượng tử điện động lực (quantum electrodynamics; thuyết về ánh sáng và vật chất, sau này sẽ gọi tắt là QED), ‘mọi sự vật đều xác định bởi sự tương tác giữa các electron (vật chất) với

nhau và với các photon (năng lượng)'. Thế giới và cả chúng ta tất cả đều do nguyên tử cấu thành, và nguyên tử gồm một hạt nhân đặc sít ở giữa bao quanh bởi một đám mây electron. Electron là tướng mạo của nguyên tử, và tương tác giữa nguyên tử và phân tử thật ra là tương tác giữa các đám mây electron. Theo QED, electron tương tác bằng cách trao đổi photon. Một electron phát ra một photon và chuyển động "giật lùi", hay một electron hấp thu một photon và tiếp nhận một "cái đá". Mọi biến cố do tương tác giữa các electron đều có thể diễn tả như vậy.

Đối với các thuyết lượng tử vấn đề nan giải là phải giải thích hiện tượng vướng mắc, cái mà Einstein gọi là 'tác động ma quái qua khoảng cách' (spooky action at a distance). Khó khăn ở đây là phải cắt nghĩa làm thế nào có sự nối kết tức thời và hai chiều giữa hai lượng tử vướng mắc pha. QED giải thích như thế nào?

Trước hết tưởng cần nhắc đến thuyết điện từ động lực học của James Clerk Maxwell (1864) được tóm tắt trong bốn phương trình, có thể dùng để giải bất cứ bài toán điện và từ nào không liên can đến hiệu quả lượng tử. Đặc biệt là các phương trình này chứa một hằng số ký hiệu là c tuy xuất phát từ kết quả đo lường điện tính và từ tính của các điện tích di chuyển hay đứng yên là những sự kiện không liên quan sóng và tốc độ lớn, thế mà trị số đo được đúng là tốc độ của ánh sáng. Do đó, ánh sáng được quan niệm là sóng điện từ truyền dẫn với tốc độ c bằng ba trăm ngàn cây số mỗi giây.

Phương trình Maxwell có hai lời giải, lời giải sóng trễ (retarded wave) mô tả sóng truyền dẫn đi tới trong thời gian từ quá khứ tới vị lai, và lời giải sóng sớm (advanced wave) mô tả sóng truyền dẫn đi lùi trong thời gian từ vị lai lùi vào quá khứ. Hai sóng này truyền dẫn ngược chiều thời gian nhưng cùng một tốc độ, tốc độ ánh sáng trong không. Gọi là sóng trễ vì nó đến nơi sau khi được phát ra, còn sóng sớm thời đến nơi trước khi được phát ra. Sóng trễ phần nào có thể ví với các làn sóng lan rộng đều khắp mọi hướng trong không trung từ một anten radiô hay các sóng nước lan rộng từ điểm một viên sỏi rơi xuống mặt hồ; sóng sớm phần nào có thể ví với các làn sóng truyền tới anten radiô từ khắp mọi phương hay các sóng nước bắt đầu từ bờ hồ truyền dẫn cùng về một điểm là trung tâm mặt hồ.

Từ trước đến nay không có thí nghiệm nào phát hiện sóng sớm và tất cả sóng ánh sáng biết được đều là sóng trễ cho nên lời giải sóng sớm bị gạt bỏ một bên xem như không lợi ích mặc dầu sóng sớm là một phần của câu hỏi

rộng lớn hơn: tại sao “mũi tên thời gian” trong khi hết thảy mọi định luật cơ bản của vật lý học không phát hiện một chiều thời gian nào đặc biệt?

Vào đầu năm 1941, trước một cử tọa gồm sinh viên và giáo sư Đại học Princeton, trong đó có Einstein và Pauli, sinh viên cao học Richard Feynman (có giáo sư hướng dẫn là John Wheeler và sau này là một trong ba khoa học gia được Giải Nobel Vật lý 1965 vì có công khai phá QED) trình bày và được tán đồng kết quả nghiên cứu đầu tay là sử dụng sóng sớm để giải thích vì sao khi sóng phát ra vừa lìa khỏi electron thì electron giật lùi theo chiều ngược lại. Lỗi nhìn không phân biệt sóng trễ và sóng sớm của Feynman là nhân quan căn bản của thuyết thiết bị hấp thu bức xạ Wheeler-Feynman (The Wheeler-Feynman absorber theory of radiation).

Theo Wheeler và Feynman, sự phát sóng không làm electron giật lùi như cách giải thích “tác động và phản ứng” của vật lý học cổ điển. Electron không tương tác với sóng do nó phát ra. Nó giật lùi là do tác động của một sóng sớm phát ra từ một electron khác khi electron này hấp thu sóng trễ do nó phát. Thuyết Wheeler-Feynman mô tả hiện tượng trao đổi photon giữa hai electron như sau. Electron A phát ra nhưng không giật lùi một nửa sóng (sóng trễ) truyền tới trong thời gian với tốc độ ánh sáng. Sóng này khi được hấp thu, động lượng của nó làm giật lùi thiết bị hấp thu nó, một electron khác gọi là B. Kích động bởi chuyển động giật lùi, electron B phát ra một nửa sóng (sóng sớm) truyền lùi trong thời gian đến electron A với tốc độ ánh sáng. Động lượng của sóng này làm electron A giật lùi khi hấp thu nó.

Theo thuyết tương đối hẹp, thời gian không hiện hữu đối với một photon. Thời gian trao đổi photon là zero. Photon không phân biệt sự truyền dẫn sóng tới hay lùi trong thời gian.

Thuyết Wheeler-Feynman chỉ đề cập các sóng điện từ. Vật lý gia John G. Cramer, Đại học Washington, áp dụng thuyết ấy vào các sóng lượng tử để mô tả sự tương tác giữa các hệ thống lượng tử. Phương trình sóng Schrodinger sau khi được biến cải để chấp nhận những hiệu quả của thuyết tương đối cũng có hai lời giải giống như trường hợp phương trình Maxwell. Cramer dùng nó mô tả sự tương tác mà ông gọi là sự “giao dịch” (transaction) giữa hai hệ thống lượng tử. Ông ví “giao dịch” như cái “bắt tay” (handshaking) giữa hai hệ thống ở đâu đó trong không gian và thời gian. Đó là cách ông dùng ngôn ngữ thông thường (không toán học) để nói đến sự tương tác tức thời, nghĩa là xảy ra theo hai chiều ngược nhau mà đồng thời. Tiếc rằng ông không học Duy thức để ví sự tương tác tức thời với

“Tam pháp triển chuyển, Nhân quả đồng thời”, tổng hợp hai chuyển biến đồng thời và nghịch chiều, kàrana \Leftrightarrow kàrya.

Hình sau đây tóm lược cách Cramer giải thích sự “giao dịch” trong cơ học lượng tử.

Trên hết: Một electron E dao động phát ra một hỗn hợp hai sóng ngược chiều, gọi là “sóng đề nghị”: một sóng trể và một sóng sớm. Sóng trể truyền tới vị lai cho đến khi gặp electron A hấp thu năng lượng nó chuyển tải. Sự hấp thu làm A dao động và phát ra một sóng trể mới hỗ giao tương triệt với sóng trể trước. Trong vị lai của A, tổng hiệu quả là không có trường sóng trể.

Ở giữa: Electron A cũng có phát ra một sóng sớm gọi là “sóng xác nhận”, truyền lùi trong thời gian đến nguồn phát xạ E. Sóng xác nhận bị E hấp thu, làm E giựt lùi và phát ra một sóng sớm mới truyền vào quá khứ. Sóng mới này hỗ giao tương triệt với sóng sớm trước. Như thế, không có bức xạ nào truyền lùi vào quá khứ trước lúc E phát ra sóng trể nguyên thì.

Dưới hết: Chỉ còn lại một cặp sóng nối kết nguồn phát xạ E và hệ thống hấp thu A, cấu thành bởi nửa sóng trể chuyển tải năng lượng dương truyền tới vị lai và nửa sóng sớm chuyển tải năng lượng âm truyền lùi vào quá khứ. Hai sóng này hỗ tương hiệp nhập tạo thành sóng “giao dịch”, truyền dẫn từ nguồn đến hệ thống hấp thu theo mũi tên thời gian.

Trên đây diễn tả quá trình các biến cố theo thứ tự trước sau. Nhưng trong thực tế, quá trình biến cố là phi thời gian, tất cả đồng thời câu khởi. Lý do: Tín hiệu vận chuyển với tốc độ ánh sáng hoàn tất tức thời bất kỳ lộ trình truyền dẫn nào, thời gian truyền dẫn luôn luôn là zero. Quả vậy, đối với tín hiệu ánh sáng mọi điểm trong Vũ trụ ở sát ngay bên mọi điểm khác trong Vũ trụ. Trong khung quy chiếu của chúng thời gian truyền dẫn là zero, và $+0 = -0$, cho nên không có sự phân biệt sóng truyền dẫn tới hay lùi.

Trong Vũ trụ (tức trong không gian và thời gian), khi một electron dao động nó đồng thời phát ra một sóng (trể) truyền tới vị lai và một sóng (sớm) lùi vào quá khứ. Bất kỳ ở đâu trong Vũ trụ các sóng ấy khi gặp một electron khác sẽ làm electron này dao động và đồng thời bức xạ trong cả hai chiều, truyền tới vị lai và lùi vào quá khứ. Kết quả là hiện thành một mạng lưới sóng điện từ hỗ tương hiệp nhập và hỗ giao tương tác, phủ kín toàn thể Vũ trụ, tất cả do sự dao động của duy chỉ một electron. Áp dụng phép tính xác suất sẽ thấy hầu hết các sóng tương hủy, còn lại một số truyền trở về

electron nguyên tử. Những gì quan sát được gồm toàn sóng trở lan truyền theo mũi tên thời gian, còn sóng sớm bất khả quan trước thời xác định vị trí tương đối của electron trong toàn thể mạng lưới và biểu hiện qua phản ứng giựt lùi.

Điểm đặc sắc ở đây là electron giựt lùi đồng thời với khi bức xạ. Hiệu quả rõ ràng nhất của các sóng sớm là nhiếp nhập mỗi mỗi electron vào trong toàn thể mạng lưới điện từ phủ kín Vũ trụ. Nếu một electron trong một phòng thí nghiệm trên quả đất trải qua một sự biến, phản ứng giựt lùi của nó là bằng chứng các sóng liên hệ ngược (feedback waves) đã được hấp thu, báo tin mọi hạt tích điện trong Vũ trụ cách xa quả đất bao nhiêu đi nữa cũng đã biết tức khắc sự biến ấy, mặc dầu không tín hiệu nào truyền chuyển qua lại giữa các hạt tích điện trong Vũ trụ nhanh hơn tốc độ ánh sáng.

“Giựt lùi” là nói theo ngôn ngữ thông thường để diễn tả một đại lượng gọi là tánh cản trở bức xạ của electron (radiation resistance). Electron bức xạ mỗi khi tăng tốc độ vì bị đẩy, tuy nhiên năng lượng bức xạ không nhiều như năng lượng dùng để đẩy nó. Cần năng lượng đẩy nó vì phải chế phục tánh cản trở bức xạ của nó. Gọi là tánh cản trở bức xạ bởi vì tánh này liên hợp với gia tốc phát sinh bức xạ. Theo cách giải thích lượng tử tương tác trên đây, thời tánh cản trở bức xạ của electron là một xuất hiện tánh (duyên khởi), kết quả tác dụng của tất cả sóng sớm phát ra từ hết thảy mọi hạt tích điện trong Vũ trụ đã hấp thu sóng trở nó phát. Như vậy mọi electron đều là vừa nhân vừa quả của toàn mạng lưới sóng điện từ, hay nói theo Pháp Tạng, vừa Không vừa Hữu, vừa hữu lực vừa vô lực.

Thế giới của electron và photon trong thuyết thiết bị hấp thu bức xạ có thể xem như một mô hình toán học của Pháp giới Hoa nghiêm. Sóng truyền tới vị lai hay lùi vào quá khứ diễn tả khái niệm thời gian quá khứ và vị lai như cuộn tròn trong giây phút tức thời hiện tại, một cái hiện tại vận hành bất tuyệt. Trong thế giới phi thời gian đó, tương tác giữa các biến tượng cá biệt xảy ra tức thời, nghĩa là theo hai chiều ngược nhau và đồng thời. Trong Hoa nghiêm nghĩa hải bách môn của Pháp Tạng có những đoạn đồng ý nghĩa với khái niệm vận hành của sóng và hạt như trình bày trên: “Hạt bụi ở gần và thế giới mười phương ở xa. Nhưng hạt bụi không có thể chất nên nhiếp nhập khắp mười phương. Nói cách khác, mười phương là tất cả phương của hạt bụi. Do đó ở xa luôn luôn là ở gần ... Mười phương nhiếp thu trong một hạt bụi cho nên luôn luôn ở gần mặc dầu ở xa, và hạt bụi phổ cập khắp mười phương cho nên luôn luôn ở xa mặc dầu ở gần.”

“Hạt bụi không có tự tính. Khi thể chất hiện tiền và thẩm nhập toàn mười phương thời đó là duỗi ra. Mười phương không có thể chất và toàn hiện trong hạt bụi do duyên khởi thời đó là co rút. Kinh (Hoa nghiêm) nói: ‘Một quốc độ làm đầy cả mười phương, Mười phương nhập vào một (quốc độ) cũng không dư thừa.’ Khi co lại, hết thấy sự vật hiện thành trong một hạt bụi. Khi duỗi ra, hạt bụi thu nhiếp mỗi mỗi sự vật. Duỗi ra luôn luôn là co rút, vì hạt bụi bao trùm mọi vật. Co rút luôn luôn là duỗi ra vì mọi vật bao trùm hạt bụi.”

Hồng Dương

---o0o---

Hết