

CÁI KHÔNG TRONG LƯỢNG TỬ

Phạm Xuân Yêm *

Tóm tắt

Chân không lượng tử (viết gọn thành Không) là trạng thái cơ bản tận cùng của vạn vật, nó vô hướng, trung hòa, mang năng lượng cực tiểu, trong đó chẳng hề vẫn gọn chút vật chất kể cả điện từ trường (ánh sáng nói riêng). Do những nhiễu loạn của năng lượng trong Không mà vật chất (cùng phần vật chất) nảy sinh, tương tác, biến chuyển, phân rã và trở về với Không, cứ thế tiếp nối vòng sinh hủy. Tuy vậy năng lượng của Không lại vô hạn theo nguyên lý bất định Heisenberg. Cực tiểu nhưng vô hạn, nghịch lý này hẳn đòi hỏi một cuộc cách mạng trong nhận thức? Dấu sao có ít nhất hai biểu hiện của Không đã được kiểm chứng thành công bởi thực nghiệm. Đó là hiệu ứng Casimir và các hằng số tương tác cơ bản không cố định mà biến đổi. Nhưng mặt khác vì năng lượng vô hạn, vai trò của Không trong sự dẫn nổ của Vũ trụ chưa tìm thấy lời giải đáp, minh họa sự mâu thuẫn căn bản giữa hai trụ cột của vật lý hiện đại: Lượng tử trong thế giới vi mô và Tương đối rộng của thế giới vĩ mô.

Kỳ thú thay khi ngược dòng thời gian tìm về một thế kỷ đã trôi qua với hai cột mốc 1900 và 1905 vì chính hai năm đó, Max Planck và Albert Einstein lần lượt theo thứ tự trên đã mang đến cho nhân loại hai kho tàng tri thức tuyệt vời gọi là thuyết *lượng tử* và thuyết *tương đối hẹp* trong vật lý, chất chiu vun tròn qua hai phương trình $E = hv$ và $E = mc^2$ ngắn gọn mà đẹp biết bao. Không gì hơn, hai lý thuyết ấy chẳng những ảnh hưởng lan tràn sang nhiều địa hạt khác của khoa học từ toán đến sinh qua hóa thậm chí cả nhân văn nghệ thuật, cũng là cội nguồn và chiếc nôi nuôi dưỡng triển khai của biết bao công nghệ cao hiện đại, ngoài ra còn khơi dậy nhiều nhận thức sâu sắc về bản thể của sự vật, câu hỏi từ buổi bình minh của loài người về tự tính, tại sao, từ đâu và về đâu của thế giới hiện tượng ngoại cảnh, nó có hoàn toàn khách quan độc lập với ý thức nội tâm con người không? Những tia sáng mà hai lý thuyết trên rọi vào cho khoa học cơ bản, công nghệ và triết lý đã vô hình trung thoảng dần thay đổi nếp sống cũng như suy tư của mỗi chúng ta trong quá trình tiến hóa của loài người. Vấn đề mênh mông, bài này chỉ đề cập đến một khái niệm then chốt của vật lý hiện đại gọi là Chân không lượng tử mà hai hệ quả đã được thực nghiệm kiểm chứng thành công: hiệu ứng Casimir, hằng số tương tác cơ bản không hằng mà biến chuyển. Nhưng mặt khác liên quan đến thuyết *tương đối rộng*, vì có năng lượng vô hạn nên câu hỏi về vai trò của Không trong sự dẫn nổ của Vũ trụ chưa biết giải quyết ra sao. Vấn đề này sẽ được nói qua ở đoạn cuối, liên đới đến lý thuyết siêu dây/Lý thuyết *M*.

Vật lý đương đại và Công nghệ cao

Trước hết chúng ta hãy tạm kể mấy thành quả mới lạ mà vật lý hiện đại mang đến cho đời sống hàng ngày:

1-Công nghệ thông-truyền-tin với ba chữ v kép (world-wide-web) hay mạng lưới toàn cầu được sáng tạo và dùng đầu tiên bởi các nhà vật lý ở CERN (Centre Européen de Recherche Nucléaire) chuyên về nghiên cứu hạt cơ bản, mũi nhọn của vật lý hiện đại. Đặt ở biên giới Pháp-Thụy Sĩ gần thành phố Genève với máy gia tốc hình tròn chu vi hai mươi bảy cây số

* Đại học Pierre et Marie Curie, Paris, pham@lpthe.jussieu.fr Bài viết này trích trong cuốn Einstein, Dấu Ấn Trăm Năm (tuyển tập kỷ yếu hội thảo Hội an 2005, nhiều tác giả, nxb Trẻ, <http://www.nxbtre.com.vn>)

nằm sâu hơn trăm thước dưới mặt đất, trong đó công nghệ siêu dẫn của điện từ được tận dụng, tạo nên những từ trường rất mạnh để đẩy những hạt electron, positron, proton cho đạt tới vận tốc gần bằng ánh sáng, nhờ đó mà thăm dò được bản chất của các hạt cơ bản cấu tạo nên vạn vật và khám phá các định luật tương tác của chúng. Vì hàng ngàn nhà vật lý ngành năng lượng cao này đều sinh hoạt ở nhiều quốc gia tản mát khắp địa cầu không phải lúc nào cũng có thể thường xuyên làm việc bên CERN, để dễ dàng cộng tác và trao đổi rất nhiều dữ liệu, cùng nhau phân tích tổng hợp nhanh chóng các kết quả nghiên cứu, năm 1994 đã xuất hiện www. Chưa đầy mười năm sau, internet đã nhanh chóng tràn ngập thị trường thông-truyền-tin quốc tế mà điển hình là động cơ truy cập Google qua đó ta có thể tham khảo tức thì muôn vàn thông tin, tài liệu, sách báo.

2-Cuộc *cách mạng số* trong những phương tiện truyền thanh, truyền hình, quay phim, điện thoại v.v. được phát triển nhờ những khám phá về laser và chất bán dẫn mà đại diện là các linh kiện vi tính, vi điện tử, quang điện tử. Những kỳ công nói trên khởi nguồn từ vật lý lượng tử !

3-Hệ thống GPS (Global Positioning System) để xác định tức khắc các địa điểm trên hoàn cầu đang dần dần trang bị các phương tiện vận tải trên trời dưới biển. Hệ thống đó tùy thuộc căn bản vào máy đo thời gian vô cùng chính xác (đồng hồ nguyên tử khai thác sự dao động tuần hoàn của các nguyên tử vi mô) được làm ra với mục tiêu khoa học thuần túy để kiểm chứng thuyết tương đối rộng. Theo thuyết này nhịp độ của đồng hồ thay đổi với sức hút của quả đất, trọng lực giảm thì tần số dao động cũng giảm theo, hay thời gian trôi nhanh lên.

4-Công nghệ liên quan đến y tế dùng máy gia tốc của các hạt proton hay electron, laser ánh sáng dùng trong giải phẫu, máy chụp hình nổi như MRI (magnetic resonance imaging), PET (positron emission tomography) là những ứng dụng trực tiếp của nhiều công trình nghiên cứu cơ bản về lượng tử. Đặc biệt với PET, hạt positron (tức *phản* electron, bản giao hưởng tuyệt vời giữa lượng tử và tương đối hẹp) được tận dụng để rồi theo sự biến chuyển của tế bào.

5-Hiện tượng siêu dẫn điện từ ở nhiệt độ thấp là một đặc trưng của vật lý lượng tử. Thực là kỳ lạ, dòng điện truyền qua một dây siêu dẫn tồn tại rất lâu dài dẫu ta cắt bỏ điện đi. Vật liệu siêu dẫn không có điện trở, chúng không bị nóng lên, như vậy điện không bị thất tán nếu được truyền tải bằng dây siêu dẫn. Hơn thế nữa, một thanh nam châm để gần một vật liệu siêu dẫn sẽ bị nâng bật ra ngoài, khác hẳn với điện từ ở điều kiện thường. Với những đặc tính trên và còn nhiều điều chưa kể đến như từ trường cực kỳ mạnh dưới trạng thái siêu dẫn, rất nhiều người nhìn thấy ở đây triển vọng cho công nghiệp tương lai của thế kỷ 21, đặc biệt trong sự sản xuất, tích trữ và chuyển vận năng lượng. Một thí dụ là khả năng điều chỉnh được sự tổng hợp nhiệt hạch thường xuyên xảy ra trong Mặt trời từ hơn bốn tỷ năm qua. Đó là lò phản ứng nhiệt hạch quốc tế ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) đang được xây dựng ở Cadarache miền nam nước Pháp để nghiên cứu việc sản xuất năng lượng *sạch*. Lò ITER dùng từ trường siêu dẫn cực kỳ mạnh để giam hãm plasma hạt nhân nguyên tử, điều kiện tiên quyết để khởi động sự tổng hợp nhiệt hạch. Ngoài ra còn phải kể đến khả năng chủ yếu của siêu dẫn trong các ngành liên quan đến điện tử (với máy tính và dữ kiện dùng vật liệu siêu dẫn), đến sinh học (với thiết bị sensor cực kỳ nhạy bén), đến vận tải (với tàu hỏa tốc hành nâng lên bởi từ trường siêu dẫn, không chạm đường ray nên tàu chạy rất nhanh lại an toàn).

Đôi điều tản mạn về thế giới vi mô, lượng tử và hạt cơ bản

Để làm quen với lượng tử, chúng ta bắt đầu bằng công thức Planck $E = hv$ theo đó sự trao đổi năng lượng E của một vật thể vi mô với môi trường chung quanh *không liên tục* mà được thực hiện bằng từng đơn vị (hay gói) như một hv , hai hv , ba hv , ... n hv với n là một số nguyên; hơn nữa năng lượng E lại gắn liền với tần số dao động ν của vật thể vi mô ấy, và hệ số tỉ lệ h được gọi là hằng số Planck. Danh từ lượng tử (gốc chữ La tinh quantum: bao nhiêu) hàm nghĩa số lượng, mang tính chất rời rạc. Ký hiệu h viết tắt hilfe (phụ khuyết), một chữ

binh thường chọn từ tiếng Đức mẹ đẻ, chi tiết đó nói lên lòng khiêm tốn của một nhà bác học lớn, mặc dầu trong thâm tâm ông biết mình vừa phát hiện ra một công trình phi thường. Trong lúc vui mừng khôn xiết ông thổ lộ với con trai Erwin năm ấy mới lên bảy tuổi: hôm nay bố vừa khám phá được một điều vĩ đại chẳng kém Newton, trước nỗi ngỡ ngàng của cậu con không rõ cha nói gì.

Do tính toán qua hằng số rất nhỏ h mà ra, danh từ vi mô trong khoa học tự nhiên được hiểu như những vật chất kích thước bằng hay nhỏ hơn một phần tỷ mét, hay nanô-mét. Như vậy một nguyên tử rộng dài khoảng nanô-mét có thể được coi như ngưỡng cửa bắt đầu đi sâu xuống thế giới vi mô trong đó bao gồm những hạt nhỏ hơn nữa như hạt nhân nguyên tử và hai thành phần của chúng tức là hạt proton và hạt neutron. Thế giới vi mô vận hành theo những định luật của vật lý lượng tử, nhưng ảnh hưởng của lượng tử vượt rất xa ra ngoài thế giới vi mô chính là vì thế giới vĩ mô lớn rộng (thiên hà tinh tú, mặt trời, sinh, thực, khoáng vật ở trái đất) tất cả đều được tạo thành bởi những hạt vi mô cơ bản gọi là quark và lepton, đặc biệt lepton e hay electron. Điểm then chốt mà Planck giả thiết là một vật vi mô chỉ có thể tiếp nhận hay mất đi những đơn vị năng lượng $h\nu$. Ngạc nhiên thay, ta hình dung sức nóng một dạng của năng lượng, phun ra từng gói từng chùm chứ không tuôn chảy đều đặn. Giả thuyết của ông vào thời điểm ấy là cả một ý niệm cực kỳ cách mạng vì định kiến cho rằng năng lượng phát tỏa ra phải liên tục đã ăn sâu vào tiềm thức con người đến nỗi ta tin đó là hiển nhiên như vậy. Nhiều phát minh vượt bậc trong khoa học thường khởi đầu bằng một tinh ngộ để từ bỏ định kiến đã bám rễ vào tư tưởng con người trong bấy nhiêu thế hệ. Trăm năm qua, cái ý niệm muôn vàn tinh tế đó ngày càng thấm đượm: mọi vận hành tương tác của vật chất thoát tưởng là đều đặn liên tục như hương bay nước chảy, thực ra chỉ là những nhận thức thô sơ ở trạng thái lớn vĩ mô của một thực tại phong phú sóng động hơn, kỳ diệu hơn, tung bùng hợp âm trong vùng sân khấu¹ của thế giới vi mô.

Thực ra không có gì mới lạ cái quan điểm theo đó tất cả mọi vật chất ở thang mức vĩ mô mà hàng ngày chúng ta nhận thức đều được tạo ra bởi một số hạt cơ bản vi mô, số ấy ít thôi không nhiều. Mời bạn đọc hiểu hạt cơ bản qua một ẩn dụ sau đây: giả sử ở nước ta, các mái của nhà chùa, nhà thờ, nhà ở, lầu đài thành quách v.v. tất cả đều được lợp bằng bốn loại ngói: bát tràng, lá thiêu, âm dương và huyền thạch, và chỉ có bốn loại ngói đó thôi để dựng nên các mái nhà trên đất nước. Vậy bốn loại ngói đó là bốn hạt cơ bản của mái nhà Việt. Cũng như hạt cơ bản của từ ngữ là hai mươi sáu mẫu tự a,b,c... để viết lên bao tác phẩm văn chương thơ phú tuyệt vời, của âm thanh là bảy nốt đô, rê, mi... để hòa điệu trăm ngàn bản nhạc mê ly, của màu sắc là ba màu xanh, đỏ, vàng cơ bản từ đó vẽ ra các họa phẩm huyền diệu. *Trong thiên nhiên, hạt cơ bản của vật chất bất động hay sinh động là quark và lepton!*

Thực là một bước nhảy vọt vĩ đại trong kiến thức của loài người ở đầu thiên niên kỷ thứ ba này! Chúng tương tác, gắn kết để tạo thành vật chất, hơn nữa còn dựng nên cả cấu trúc cong xoắn của không-thời gian trong vũ trụ, vì theo thuyết tương đối rộng, vật chất và không-thời gian được thống nhất, cái trước tạo nên (và là) cái sau. Như một lần Einstein đã viết cho Schwarzschild (người đầu tiên năm 1916 giải phương trình Einstein của thuyết tương đối rộng): Xưa kia người ta nghĩ rằng nếu mọi vật trên đời biến mất thì sẽ còn lại thời gian và không gian, nhưng theo thuyết tương đối rộng thì không-thời gian cũng biến mất theo vật chất mà thôi.

Thuyết tương đối hẹp và rộng -*vật lý cổ điển*- gần như do một mình Einstein sáng tạo, trái lại vì thế giới vi mô vô cùng phong phú bao quát nhiều địa hạt khác nhau nên vật lý lượng tử là một công trình tập thể với những đóng góp của nhiều nhân vật lịch sử như Bohr, de Broglie, Schrödinger, Heisenberg, Dirac, Pauli, Fermi nối tiếp cho mãi đến ngày nay bởi các tài năng đến từ mọi miền trên trái đất qua vài khuôn mặt quen thuộc, tạm kê như Bose, Gell-Mann, Landau, Salam, Yang, Yukawa...

¹ chép mượn nhan đề Hợp âm trong vùng sân khấu, tập truyện ngắn bằng bạc thi tình của nhà vật lý và văn nữ Mai Ninh, nxb Thời mới, Toronto (2000).

Ngược dòng thời gian, quan niệm về hạt sơ đẳng (nghĩa là những đơn vị vi mô nhỏ bé nhất không sao chia cắt cho nhỏ hơn được nữa) cấu tạo nên vật chất trong vũ trụ đã từ lâu tiềm ẩn trong ý thức nhân loại. Cái được hiểu là sơ đẳng đó biến đổi với thời gian như ta thấy. Mới cách đây trăm năm, phân tử được coi là hạt cơ bản nhỏ nhất của vật chất, rồi phân tử lại do nhiều nguyên tử gắn bó với nhau qua sự trao đổi các điện tử electron của chúng mà thành. Sau đó nguyên tử cũng chỉ do hạt nhân và electron dao động chung quanh tạo lập, rồi đến hạt nhân cũng chẳng qua là một phức hợp của hai thành phần nhỏ hơn là proton và neutron, cuối cùng proton và neutron cũng được tạo ra bởi hai hạt cơ bản gọi là quark u , d (viết tắt up, down) gắn bó với nhau qua sự trao đổi *keo* (gluon) mà nên. Định luật tương tác *mạnh* của các quark để gắn bó chúng trong proton và neutron mang tên *Sắc động lực học lượng tử* (quantum chromodynamics, QCD) vay mượn chữ *Điện động lực học lượng tử* (quantum electrodynamics, QED), cái này diễn tả tương tác điện từ trong thế giới vi mô của electron. Hai danh từ *sắc* và *điện* để chỉ định hai tính chất lượng tử riêng biệt, *sắc tích* của quark và *điện tích* $-e$ của electron. Trong Sắc động lực có tám gluon mang sắc tích trao đổi giữa quark, còn trong Điện động lực chỉ có một quang tử (photon) trao đổi giữa electron. Tóm lại vạn vật đều được cấu tạo bởi các hạt cơ bản, bốn thôi không nhiều, hai quark u , d và hai lepton: electron, neutrino². Ngoài sắc tích ra, hai quark u , d còn mang điện tích $+(2/3)e$ cho u và $-(1/3)e$ cho d , cũng như electron mang điện tích âm $-e$, còn neutrino thì trung hòa, cả hai lepton (electron và neutrino) đều không có sắc tích. Là hạt cơ bản kỳ lạ nhất trong bốn hạt, neutrino vì tương tác quá ư nhỏ yếu với vật chất nên bay trong vũ trụ với vận tốc ánh sáng c như vượt chân không, xuyên suốt trái đất gần như chẳng để lại một dấu ấn gì, không như quang tử. Thực là một sứ giả độc đáo nối cầu giữa thế giới vĩ mô vô cùng lớn rộng của thiên hà vũ trụ với thế giới vi mô muôn vàn nhỏ bé của hạ tầng nguyên tử. Neutrino nhẹ nhất trong bốn hạt cơ bản (khoảng một phần tỷ khối lượng electron) và nhiều nhất trong trời đất, hằng hà sa số, mỗi giây đồng hồ trên diện tích một cm^2 của làn da chúng ta có chừng sáu mươi tỷ hạt neutrino từ Mặt trời bay tới, không kể từ muôn vàn vì sao khác! Nếu như từng ấy những hạt quang tử mà chạm tới chúng ta, chắc hẳn con người không thể sinh tồn dưới trạng thái hiện hữu. May thay neutrino là hạt cơ bản chỉ có tương tác *yếu*³ với quark u , d và electron, và

² Thực ra có mười hai hạt cơ bản chia ra làm ba họ, mỗi họ bốn hạt. Họ thứ nhì (hai quark c (charm), s (strange) và hai lepton μ , ν_μ) và họ thứ ba (hai quark t (top), b (bottom) và hai lepton τ , ν_τ) đều có khối lượng lớn, thời gian sống lại vô cùng ngắn ngủi vì bị phân rã bởi tương tác *yếu* bê-ta (xem phụ chú ngay dưới), thành ra chỉ còn bốn hạt (hai quark u, d và hai lepton: electron, neutrino) bền vững để tạo thành vật chất như ta thấy.

³Các hiện tượng trong thiên nhiên vận hành qua bốn lực cơ bản, vâng chỉ có bốn thôi, đó là trọng lực, điện từ, tương tác 'yếu' chủ trì sự phân rã bê-ta (quark $d \rightarrow$ quark u + electron + phản hạt neutrino) của các hạt nhân nguyên tử, cội nguồn của sự tổng hợp nhiệt hạch trong Mặt trời, tinh tú; và sau hết là tương tác 'mạnh' (Sắc động lực học lượng tử) của quark u , d gắn bó chặt chẽ trong proton, neutron làm cho vật chất bền vững. Hai tương tác *mạnh* và *yếu* chỉ vận hành trong thế giới vi mô. Hơn nữa hai lực điện từ và yếu có rất nhiều điểm đồng quy nên thực chất chỉ là hai dạng của một tương tác duy nhất gọi là *điện-yếu*. Lý thuyết chuẩn thống nhất và diễn tả chính xác bản tính của ba tương tác lượng tử (mạnh, điện-yếu) là một thành công tuyệt vời của vật lý hạt.

chúng ta cũng như mọi vật thể khác đều do ba (trong bốn) hạt cơ bản u , d và electron tạo thành. Hai quark cơ bản u , d nói trên là những phần tử sơ đẳng nhất, qua tương tác mạnh³, cấu tạo nên proton (tập hợp của ba quark u,u,d) và neutron (tập hợp của ba quark d,d,u) rồi chính hai hạt này lại gắn bó nhau để tạo thành hạt nhân của tất cả các nguyên tử, từ khinh khí nhẹ nhất đến những hóa chất nặng nhất trong trời đất. Hạt nhân và electron tạo thành các nguyên tử, mỗi nguyên tử có một hạt nhân riêng của nó với một số electron dao động chung quanh. Sau đó những nguyên tử khác nhau lại gắn bó (qua sự trao đổi các electron với nhau) để tạo thành những vật lớn hơn gọi là phân tử, và acid DNA trụ cột của gen sinh vật là một đại phân tử, thí dụ này kể ra để chúng ta có một ý niệm về kích thước của các vật thể.

Trong bốn loại tương tác cơ bản của vạn vật³, hằng số tương tác mạnh α_s của quark lớn nhất, gấp khoảng trăm lần hằng số tương tác điện từ $\alpha_{em} \approx 1/137$, còn hằng số trọng lực G của Newton thì quá nhỏ khoảng 10^{-42} lần so với lực điện từ ở điều kiện bình thường (hiện nay và ở đây), nhưng ở lúc khai thiên lập địa (Big Bang) lại là chuyện khác. Có thể nói là tất cả các hiện tượng điện từ (cơ bản cũng như ứng dụng) đều có thể tính toán, diễn tả bằng một thông số thôi, đó là hằng số tương tác điện từ α_{em} để thấy rõ tính chất phổ quát của nó. Cũng như tất cả các hiện tượng hấp dẫn có thể diễn tả qua hằng số tương tác trọng lực Newton G .

Trường, lưỡng tính sóng-hạt, $E^2 = m^2 c^4$ hay vật chất và phản vật chất, hạt ảo

Quan điểm độc đáo mà Planck tặng cho nhân loại là cũng có những gói hay hạt sơ đẳng của năng lượng trao đổi giữa các vật thể vi mô. Hơn nữa, năng lượng E lại trực tiếp gắn liền với tần số dao động ν của chúng. Trường lượng tử của vật thể vi mô diễn tả lưỡng tính sóng-hạt của nó, đó là hàm tuần hoàn trong không gian⁴ \mathbf{x} và thời gian t , tuân theo những định luật của các tương tác cơ bản từ đó ta suy diễn ra mọi vận hành của vật thể. Công thức $E = mc^2$ (m là khối lượng của vật và $c \approx 300.000$ km/s là vận tốc của ánh sáng) diễn tả năng lượng E là một dạng của vật chất và khối lượng m đồng nghĩa với hạt. Khi liên kết với $E = h\nu$ và tần số ν đồng nghĩa với sóng, ta cảm nhận cái lưỡng tính sóng-hạt của thế giới vi mô qua sự trung gian của năng lượng E . Vật chất mang điện tích khi chuyển động chính là nguồn gốc tạo ra sóng điện từ trường, biểu hiện qua sự dao động của hạt quang tử. Nhưng photon lại không có khối lượng ($m = 0$), vậy tính chất hạt của nó ở đâu? Chính xung lượng $|\mathbf{k}| = E/c$ diễn tả dạng hạt của photon. Thực vậy trong thuyết tương đối hẹp, $E^2 = |\mathbf{k}|^2 c^2 + m^2 c^4$ là phương trình chính xác, còn $E^2 = m^2 c^4$ chỉ là dạng riêng lẻ của phương trình trên, khi hạt có khối lượng $m \neq 0$ đứng yên ($|\mathbf{k}| = 0$). Trái lại vì $m = 0$, quang tử luôn luôn chuyển động với vận tốc c , nó có năng lượng E và xung lượng $|\mathbf{k}| = E/c$, vậy phương trình $h\nu = E = |\mathbf{k}|c$ diễn tả lưỡng tính sóng-hạt của sóng điện từ. Ánh sáng mắt ta nhìn thấy là sóng điện từ với tần số ν khoảng triệu tỷ (10^{15}) vòng trong một giây đồng hồ.

Công thức $E^2 = |\mathbf{k}|^2 c^2 + m^2 c^4$ của thuyết tương đối hẹp và chùm năng lượng $h\nu$ của thuyết lượng tử là điểm khởi đầu mà Dirac kết hợp được để khám phá ra một chân trời mới: sự xuất hiện của phản hạt có cùng khối lượng với hạt, nhưng tất cả các đặc trưng khác (điện tích, spin, sắc trong quark) của hạt và phản hạt đều ngược dấu. Sự thống nhất cơ học lượng tử với thuyết tương đối hẹp là điều tối cần thiết vì thế giới vi mô của lượng tử luôn dao động với vận tốc rất cao, mà trường hợp này chỉ thuyết tương đối hẹp của cơ học mới diễn tả được chính xác. Để

⁴ Những véc-tơ như \mathbf{k} , \mathbf{x} ,... đư ợc in đậm, và $|\mathbf{k}|, |\mathbf{x}|$ là chiều dài của \mathbf{k} , \mathbf{x} .

chứng minh phản hạt, Dirac đi từ nhận xét sau đây: vì $E = \pm (|\mathbf{k}|^2 c^2 + m^2 c^4)^{1/2}$, nên $E = \pm mc^2$ với một vật không di động. Trong vật lý cổ điển, hiển nhiên $E > 0$ nên ta chỉ có $E = mc^2$ thôi. Trái lại trong thế giới vi mô của vật lý lượng tử, năng lượng của một hạt có thể mất đi hay nhận được từng gói $h\nu$, vậy không có gì ngăn cản hạt khi mất đi quá nhiều gói $h\nu$ có thể mang năng lượng âm, hay ngược lại một hạt với $E < 0$ khi nhận được nhiều gói $h\nu$ có thể trở về trạng thái bình thường với năng lượng dương. Thí dụ trong đại dương của muôn vàn hạt electron (điện tích âm $-e$) mang $E < 0$, nếu ta có đủ sức để kéo một hạt trong đại dương ấy ra ngoài, tức là đại dương ấy mất đi một electron mang $E < 0$, $-e$. Nhưng mất đi (tượng trưng bằng dấu $-$) cái âm thì cũng như nhận được cái dương, $-(-) = +$, vậy kết cục là ta thấy xuất hiện một hạt có điện tích dương $+e$ và mang năng lượng $E > 0$. Đó là hạt *phản* electron hay positron. Tóm lại, hạt và phản hạt đều có $E > 0$, chúng có chung khối lượng nhưng mọi đặc trưng khác (điện tích, spin, sắc) đều ngược dấu. Ta có phản quark, phản lepton, phản nguyên tử. Như vậy có vật chất thì cũng có phản vật chất, khi giao hội chúng tự hủy để biến thành năng lượng, và ngược lại nếu cung cấp đủ năng lượng thì các cặp vật chất-phản vật chất được tạo ra.

Sự tương trùng giữa năng lượng với cặp vật chất-phản vật chất đưa đến khái niệm *vật ảo* trong lượng tử, đó là những vật mà năng lượng E và xung lượng \mathbf{k} không tuân theo phương trình $E^2 = |\mathbf{k}|^2 c^2 + m^2 c^4$ nữa. Một hạt thực khối lượng m , năng lượng E và xung lượng \mathbf{k} , ba đại lượng đó ràng buộc bởi phương trình $m = (E^2 - |\mathbf{k}|^2 c^2)^{1/2} / c^2$. Hạt ấy khi thành ảo có khối lượng bình phương $m^{*2} \neq m^2$. Khối lượng m^* của hạt ảo thay đổi liên tục chứ không giới hạn trong một vài trị số m nhất định của hạt thực. Thí dụ sau đây cho ta rõ photon ảo là gì. Như ta biết, khi electron chuyển động nó phát ra photon. Để một electron và một positron đi ngược chiều va chạm nhau, xung lượng của chúng là $+\mathbf{k}$ và $-\mathbf{k}$, mỗi hạt có năng lượng bằng $E_e = (|\mathbf{k}|^2 c^2 + m_e^2 c^4)^{1/2}$, m_e là khối lượng chung của electron và positron. Gặp nhau, chúng phát ra một photon ảo nên năng lượng \bar{E} và (xung lượng \mathbf{K}) của photon ảo này là tổng năng lượng và (tổng xung lượng) của electron và positron, $\bar{E} = 2E_e$, $\mathbf{K} = \mathbf{k} - \mathbf{k} = \mathbf{0}$, vậy photon ảo có khối lượng $(\bar{E}^2 - |\mathbf{K}|^2 c^2)^{1/2} / c^2 = 2E_e / c^2$ khác 0. Cũng thế ta có quark, lepton, gluon ảo. Tương tác điện từ của electron được diễn tả qua sự trao đổi photon ảo giữa electron với nhau, cũng như tương tác mạnh của quark là do sự trao đổi các gluon ảo giữa quark, tương tác yếu của neutrino qua sự trao đổi các boson ảo W^\pm , Z^0 . Những photon, gluon, W^\pm , Z^0 ảo theo thứ tự chính là những sứ giả truyền tin làm trung gian cho các tương tác điện từ, mạnh, yếu để tạo ra các lực thích ứng. Thí dụ hai điện tích đứng yên trao đổi một photon ảo, hàm truyền Feynman của photon ảo này sinh ra lực Coulomb giữa chúng. Các hạt ảo dựa vào năng lượng E vay mượn của chân không lượng tử (xem định nghĩa và đặc tính phần dưới) mà sinh ra, chúng tồn tại trong thời gian ngắn ngủi $t \sim \hbar / E$ (nguyên lý bất định $E t \sim \hbar \sim 2|\mathbf{k}||\mathbf{x}|$), rồi trả lại E để ra đi, như nhà vật lý kỳ tài Feynman từng hài hước: từ chân không sinh ra rồi lại hủy, ôi biết bao thời gian phí phạm!

Trở về với Chân không

Chân không lượng tử được định nghĩa như trạng thái cơ bản của vạn vật, nó vô hướng, trung hòa, mang năng lượng cực tiểu trong đó vật chất, tức là tất cả các trường lượng tử, bị loại bỏ hết. Nhưng không phải vì *Không* chẳng chứa trường vật chất nào mà năng lượng của nó bằng 0. Theo nguyên lý bất định (nguồn gốc của sự thăng giáng lượng tử), năng lượng của bất cứ trạng thái vi mô nào là chuỗi $(1/2)h\nu$, $(3/2)h\nu$, $(5/2)h\nu$...chứ không phải là $0h\nu$, $1h\nu$,

$2hv$... Cũng dễ hiểu thôi, nguyên lý bất định bảo ta nếu xung lượng $|\mathbf{k}|$ được xác định rõ rệt bao nhiêu thì vị trí trong không gian $|\mathbf{x}|$ lại mơ hồ rối loạn bấy nhiêu, vậy năng lượng tối thiểu $\varepsilon = (1/2)hv \neq 0$ chính là một thỏa hiệp tối ưu bình đẳng cho cả hai bên $|\mathbf{k}|$ và $|\mathbf{x}|$. Thực tế, nếu $\varepsilon = 0$, $|\mathbf{k}| = 0$, vậy $|\mathbf{x}|$ không sao được xác định nổi. Phản ánh nguyên lý này, thế giới vi mô luôn luôn dao động ngay ở nhiệt độ tuyệt đối thấp nhất (năng lượng cực tiểu) và đó là ý nghĩa của sự thăng giáng lượng tử. Bởi năng lượng tối thiểu khác 0 và vì tần số ν có thể là bất cứ con số nào từ 0 đến vô tận nên *Không* có năng lượng phân kỳ khi ta lấy tích phân tất cả các một dao động ν . Làm sao ước tính được năng lượng của *Không*, mặc dầu vô hạn? Phép phân tích thứ nguyên cho ta cách trả lời. Với ba đại lượng cơ bản phổ cập trong vật lý là $h = 2\pi \hbar$ hằng số Planck, G hằng số trọng lực Newton và c vận tốc ánh sáng, ta chỉ có một cách duy nhất để lập nên những đại lượng mang thứ nguyên chiều dài (L), khối lượng (M), và thời gian (T). Đó là chiều dài Planck $L_p = [G\hbar / c^3]^{1/2} = 1.6 \times 10^{-35}$ m, khối lượng Planck $M_p = \hbar / (cL_p) = 2.2 \times 10^{-8}$ kg, và thời gian Planck $T_p = L_p / c = 5.4 \times 10^{-44}$ s. Từ đó, năng lượng Planck $E_p = M_p c^2 = 2 \times 10^{+9}$ joule. Mật độ năng lượng của *Không* được ước tính theo $(27/16\pi^2) E_p / (L_p)^3 = 8.4 \times 10^{112}$ joule/ m³ với những đóng góp của các trường ảo tràn đầy trong *Không*: photon trong tương tác điện từ, ba boson W^\pm, Z^0 của tương tác yếu, và tám gluon trong tương tác mạnh. Đóng góp của quark và lepton cũng chẳng thay đổi công thức trên bao nhiêu. Tuy nhiên chính vì vô hướng, trung hòa lại có năng lượng vô hạn, nên cái *Không* lượng tử mang ẩn dụ một hư vô mệnh mang tĩnh lặng, từ đó do những kích thích nhiễu loạn của năng lượng mà vật chất được tạo thành để rồi chúng tương tác, phân rã, trở về với *Không*, tiếp nối bao vòng tục lụy! Cái *Không* lượng tử thực là trạng thái cơ bản, là cội nguồn và chốn trở về cũng như ra đi của vạn vật⁵. Nó không rỗng tuếch chẳng có gì mà là cái thể lắng đọng của tất cả⁶. *Chân không-Vật chất-Không gian-Thời gian chẳng sao tách biệt, cái này có là cái kia có, cái này không thì cái kia không*⁷, đó là hệ quả của Lượng tử và Tương đối! Thực tế, thuyết Tương đối hẹp liên kết *Không gian* và *Thời gian*, còn Tương đối rộng nối *Vật chất* với *Không-Thời gian* và cuối cùng Lượng tử mang *Chân không* về với *Vật chất* và như vậy kết nối cả bốn khái niệm cơ bản trên. Dưới một khía cạnh nào, ta cảm nhận cái *Không* qua câu nói đáng yêu đầy ẩn dụ của đồng bào miền nam “dzậy mà không phải dzậy”, không mà chẳng là không. Mặc dầu *Không* là trạng thái không sao nắm bắt, chẳng có cái nào của nó mà ta định lượng nổi, nhưng rõ ràng khác với hư không trong công nghệ, về mặt định tính ta có thể kể ba đặc trưng của *Không*. Đó là sự thăng giáng lượng tử, sự tràn đầy hạt và phản hạt kết

⁵ Đâu đây Một cõi đi về với Trịnh Công Sơn.

⁶ Xem Le Vide, Univers du tout et du rien, Revue de l'Université de Bruxelles, Editions Complexe (1998), với các bài của R.J. Adler, M. Bitbol, H.B. Casimir, N. Deruelle, E. Gunzig và S. Diner, J.W. van Holden, C. Isham, M. Lachièze-Rey, P. Marage, R. Mills, M. Paty, I. Prigogine và T. Petrosky, C. Schiller.

⁷ Có cái gì không quá xa lạ với Giáo lý duyên khởi của đạo Phật, với Sắc Không trong Bát nhã tâm kinh? Xem M. Bitbol trong Le Vide, Univers du tout et du rien đã dẫn, và Trịnh Xuân Thuận trong Science et Bouddhisme : A la croisée des chemins <http://chimviet.free.fr>

thành các cặp ảo trong *Không* và sự phân cực chân không, gây ra bởi các cặp này. Phản ánh tác động của Không, hai hệ quả sau đây được phát hiện và đo lường được:

1-*Không lượng tử* tự nó thì vô hướng tĩnh lặng, nhưng khi có vật chất vào (mà làm sao chẳng có vật chất được vì trong Không tràn đầy năng lượng và trường ảo?) thì lập tức bị phân cực, do đó hằng số tương tác của các trường không còn hằng nữa mà thay đổi với năng lượng. Tính chất này mang tên *hằng số di động*, cách tính toán sự biến đổi của hằng số dựa vào lý thuyết trường lượng tử qua những đóng góp của các cặp ảo. Khi năng lượng thay đổi từ 1 đến 100 GeV, hằng số tương tác điện từ α_{em} tăng lên từ $\approx 1/137$ đến $\approx 1/129$, trong khi hằng số tương tác mạnh α_s của quark lại giảm đi từ ≈ 0.4 xuống ≈ 0.12 . Một cách định tính thôi, ta hiểu sơ lược tại sao trong điện động lực học lượng tử, hằng số α_{em} lại tăng lên khi ta thám dò nó ở chiều càng sâu thăm. Muốn gần electron bao nhiêu (x nhỏ) để đo lường tính chất của nó thì ta cần nhiều xung lượng (k lớn) bấy nhiêu, theo nguyên lý bất định $2|k||x| \sim \hbar$. Vì trong Không có muôn vàn cặp ảo positron-electron, những positron ảo này vì điện tích khác dấu với electron nên bị hút lại gần làm thành hàng rào vây quanh electron thực mà ta muốn quan sát, sự bao bọc đó làm cho chân không bị phân cực. Hằng số tương tác điện từ tăng lên vì phải vượt qua cản trở của hàng rào các cặp positron-electron ảo nên đo lường nó càng khó ở kích thước càng sâu. Mặt khác, sắc động lực học lượng tử diễn tả quark gắn chắc với nhau để cấu tạo nên các hạt nhân nguyên tử. Trái với điện từ, hằng số tương tác mạnh lại giảm đi khi đo lường quark ở chỗ sâu thăm. Tính chất này gọi là sự *tự do tiệm cận*⁸, hàm ý khi năng lượng tăng vô hạn (tiệm cận) thì α_s giảm xuống đến 0 (tương tác ràng buộc hết rồi, quark được tự do). Tính toán nhọc nhằn chứng minh được $\alpha_s(E) \rightarrow 0$ khi $E \rightarrow \infty$ là cả một kỳ công của ba nhà vật lý lý thuyết⁸, tính chất này đặt nền tảng cho các định luật vận hành của quark. Các hằng số tương tác tăng (hay giảm) rất khoan thai như hàm $\log E$ (hay $1/\log E$). Kết quả đo lường sự biến đổi của hai hằng số điện động lực và sắc động lực đều được thực nghiệm kiểm chứng nhiều lần. Tương tác của quark thực là kỳ lạ trái ngược với điện từ, quan sát chúng ở xa (cần năng lượng nhỏ) thì cực kỳ khó khăn vì α_s rất lớn, càng gần sát chúng (cần năng lượng lớn) thì chúng lại dễ dàng. Lý do là không như điện từ chỉ có một photon, trong tương tác mạnh ta còn có ba gluon gắn kết tương tác với nhau mà đặc tính của chúng là hỗ trợ (chứ không cản trở như cặp quark-phản quark) khi ta đo lường tính chất quark ở chiều sâu thăm. Trong khi lực điện tĩnh và trọng lực đều giảm đi theo tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách r , tính chất tự do tiệm cận làm cho lực của quark tăng với r khiến quark ở nhiệt độ thấp (năng lượng nhỏ) bị giam hãm trong proton và neutron, kéo được chúng ra ngoài không nổi vì lực ràng buộc quark mạnh lên khi kéo chúng xa nhau.

Mô tả nổi ba lực cơ bản (mạnh và điện-yếu) một cách vô cùng chính xác bằng trường lượng tử, tóm tắt trong lý thuyết chuẩn, là một thành công kỳ diệu với không dưới hai chục nhà vật lý hạt đoạt giải Nobel trong ba mươi năm gần đây! Biết bao nhiêu tiên đoán của lý thuyết này đều vững vàng vượt qua tất cả các trắc nghiệm, đặc biệt khối lượng của quark top được ước

⁸Giải Nobel vật lý 2004 tặng thưởng D. Gross, H. Politzer, F. Wilczek đã khám phá ra tính chất *tự do tiệm cận* (asymptotic freedom) của sắc động lực học lượng tử.

Chi tiết chứng minh đặc tính này có thể tìm thấy ở chương 15 trong sách giáo trình về lý thuyết chuẩn, Elementary particles and their Interactions, Concepts and Phenomena, Hồ Kim Quang và Phạm Xuân Yêm, Springer-Verlag (1998). Xem <http://www.lpthe.jussieu.fr/~pham>

tính chính xác trước khi thực nghiệm phát hiện ra năm 1995. Mô hình chuẩn có nghĩa là mọi phát triển sau này phải dùng nó làm nòng cốt để dựa vào mà cải đổi (thí dụ như định luật vạn vật hấp dẫn của Newton là mô hình chuẩn của trọng trường, rồi sau thuyết tương đối rộng của Einstein dựa vào đó mà cải đổi). Trong bốn lực cơ bản chỉ còn cái cuối cùng là luật cổ điển hấp dẫn (thuyết tương đối rộng) hãy còn chưa hòa nhịp tương thích nổi với lượng tử, nhưng biết đâu với lý thuyết siêu dây/ lý thuyết M^9 ?

2- Hiệu ứng Casimir¹⁰. Trong một chân không kín rỗng, không ánh sáng không chút vật chất, ta đặt hai phiến gương mỏng song song. Mặc dầu năng lượng của Không *giữa* hai phiến và *ngoài* hai phiến đều phân kỳ như ta biết, nhưng năng lượng của Không ở *giữa* nhỏ hơn ở *ngoài* hai phiến, sự khác biệt *hữu hạn* đó gây nên một áp suất làm chúng hút lẫn nhau. Đó là lực Casimir, một đặc trưng của Không lượng tử. Lực hút đó ông tính được ra bằng $F_c = (\pi hc/120) (L^2/d^4)$ với L^2 là diện tích của gương và d khoảng cách giữa hai phiến. Nguồn gốc lượng tử của F_c được biểu hiện rõ ràng qua h (hằng số Planck) trong công thức trên. Ở khoảng cách $d \approx$ nanô-mét trong công nghệ tương lai, lực này có thể đóng vai trò quan trọng. Các phòng thực nghiệm ở Riverside (California), Padova, Stockholm đã đo F_c với độ sai biệt khoảng 1% so với tính toán. Các nhà vật lý trong nhóm Kastler-Brossel của trường Cao đẳng sư phạm Paris¹¹ đang xúc tiến việc tính toán đo lường với chủ đích tăng độ chính xác lên nhiều lần hơn nữa (<http://www.spectro.jussieu.fr/Vacuum/>). Trong hư không (của vật lý ứng dụng/công nghệ) tất cả đều vắng bóng chẳng có điện từ, ánh sáng, vật chất, khối lượng, điện tích, sắc tích...chi cả, kỳ lạ thay đột khởi một lực mà gốc nguồn rút tia từ năng lượng cực tiểu (nhưng vô hạn) của chân không lượng tử!

3- Liên quan đến thiên văn vật lý, câu hỏi cực kỳ quan trọng về vai trò của Không trong sự dãn nở Vũ trụ được đặt ra nhưng chưa biết giải đáp ra sao, báo hiệu một điều mới lạ đang đón chờ chúng ta ở chân trời. Thực vậy năng lượng vô hạn của Không (còn gọi là *tai họa chân không*) phản ánh sự tương phản căn bản (ở thời điểm Big Bang) giữa hai trụ cột của vật lý hiện đại: thuyết lượng tử của thế giới vi mô và thuyết tương đối rộng của thế giới vĩ mô. Thuyết này diễn tả luật hấp dẫn của trọng trường là do sự cong xoắn của không-thời gian làm mọi vật rơi lại gần nhau chứ chẳng có lực nào hút chúng cả, mà cái cấu trúc cong xoắn này là do vật chất tạo nên. Những kết quả đo lường gia tốc dãn nở của Vũ trụ cần đến lực *phản hấp dẫn* (lực đẩy xa thay vì hút vào của lực hấp dẫn) để chống lại sự co rút của Vũ trụ bởi trọng trường. Lực phản hấp dẫn này (liên quan đến câu chuyện *hằng số vũ trụ học* trong phương trình Einstein về thuyết tương đối rộng) có thể xuất phát bởi một loại vật chất không bức xạ, chỉ tác động lên cách vận hành và dãn nở của Vũ trụ, khác lạ với vật chất bình thường của những thiên hà sáng ngời mà ta quan sát được hàng ngày. Các nhà thiên văn gọi cái vật chất khác lạ này là *vật tối*, mang *năng lượng tối* mà bản chất chưa được xác định. Nhưng quan trọng hơn cả, mật độ năng lượng cực kỳ lớn của Không mà ta đã ước tính ở trên *vượt xa quá nhiều* năng lượng cần thiết để giải thích gia tốc dãn nở của Vũ trụ mà các nhà thiên văn đo lường. Về mặt cơ bản, cái tai họa chân không này là nỗi trăn trở hàng đầu của các nhà vật lý đương đại, nhưng đầy lý thú và thách thức cho thế hệ tương lai. Lý thuyết siêu dây/lý thuyết M^9 (với không gian mười chiều, bảy chiều quá nhỏ lại bị cuốn tròn khiến ta khó nhận thức

⁹ Xem Giai điệu dây và bản giao hưởng Vũ trụ, Tia sáng và nxb Tré (2003) do Phạm Văn Thiều dịch theo cuốn The Elegant Universe của Brian Greene, Vintage books (1999).

¹⁰ Xem bài của H. B. Casimir và một số bài khác của R. J. Adler, S. Diner trong Le Vide, Univers du tout et du rien đã dẫn. Hiệu ứng này được trình bày trong P. W. Miloni, The quantum vacuum, Academic Press (1994). Nhà vật lý Hà lan Casimir sau khi công bố năm 1948 lực mang tên ông đã giữ chức vụ tổng giám đốc nghiên cứu đại tập đoàn công nghệ quốc tế Philips.

¹¹ Tập hợp nghiên cứu giảng dạy đại học uy tín hàng đầu nước Pháp.

được) có thể cho ta chìa khóa trả lời không? Trong không gian nhiều hơn ba chiều, lực hấp dẫn giảm đi theo tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách r sẽ không còn chính xác nữa, và việc kiểm chứng bằng thực nghiệm sự sai biệt với luật Newton ở kích thước $r \approx$ milimét đang là một đề tài vật lý sôi nổi. Cần biết thêm rằng lý thuyết M (M tượng trưng Mẹ, Màng, Mặt mã, Ma trận tùy hứng mỗi người) cũng chưa biết giải quyết cái tai họa chân không ra sao. Phải chăng cũng như Planck và Einstein trước thời Lượng tử và Tương đối, ngày nay có lẽ còn cái gì đang thiếu sót trong cách nhận thức các hiện tượng thiên nhiên của Con Người ?

Gửi bạn thay lời kết

Hơn trăm năm trước đây ở Âu châu có nhiều nhà khoa học khá bi quan cho rằng các đề tài nghiên cứu cơ bản trong vật lý gần như cạn kiệt, như von Jolly giáo sư vật lý ở đại học Berlin đã khuyên cậu sinh viên trẻ Planck, mới đậu cử nhân xong muốn học thêm, nên đi vào đường khác nhiều triển vọng hơn, đừng nghiên cứu về vật lý lý thuyết làm gì vì mọi điều căn bản đã được khám phá hết cả rồi, chỉ còn vài điểm phụ chẳng quan trọng gì mà xây nền đắp móng. Lại thêm Lord Kelvin, người của nhiệt độ tuyệt đối, với câu tuyên bố năm 1892 nổi tiếng: “Vật lý đã hoàn chỉnh cả rồi về mặt căn bản, cái mà ta còn có thể đóng góp chỉ là xác định thêm vài thập phân sau dấu phẩy cho các đo lường, tính toán mà thôi”. Ngay sau đó ông thêm: “Tuy nhiên còn có hai vấn đề nhỏ nhỏ nhưng sớm muộn chúng sẽ được giải quyết, dấu sao lòng tin của chúng ta về sự hoàn tất của Vật lý không hề lay chuyển...”¹². Hai *tiểu tiết* ông nêu lên là: thứ nhất hai nhà vật lý Michelson và Morley chẳng tìm thấy chất liệu ê-te tràn ngập vũ trụ trong đó dao động sóng điện từ (cũng như sóng nước di chuyển được là vì có nước, sóng âm thanh truyền đi là vì có không khí, vậy chắc phải có một chất liệu gì tạm gọi là ê-te để chuyên chở sóng điện từ, chứ không làm sao chúng truyền đi được?), thứ hai các đo lường ngày càng chính xác về cường độ bức xạ nhiệt của vật đen¹³ không phù hợp với công thức Wien. Sau đó Lord Rayleigh và Jeans cải thiện công thức trên được một phần nhưng lại mang nghịch lý là tổng năng lượng phát ra tăng lên vô hạn!

Hai vấn đề mà Lord Kelvin tuy khá tinh để nhận ra nhưng tưởng là thứ yếu ngò đâu lại hệ trọng vô chùng. Trong đêm tối mung lung ràng buộc bởi định kiến siêu hình, đó là hai ngôi sao rọi sáng cho vật lý vượt trùng dương khai phá những chân trời mới lạ, vì giải thích nổi việc thứ nhất chính là thuyết tương đối hẹp và việc thứ nhì chính là thuyết lượng tử!

Rõ ràng trăm năm sau 1905, vật lý hãy còn biết bao câu hỏi từ cơ bản (tương phản giữa lượng tử với tương đối rộng diễn tả qua tai họa chân không, năng lượng và vật chất tối, không gian nhiều chiều...) đến ứng dụng (khoa học công nghệ nanô, thông tin học lượng tử, sản xuất và tiết kiệm năng lượng...) chưa biết trả lời ra sao và đang trông chờ những lời giải đáp bởi các thế hệ trẻ mới lên, trong cảnh hài hòa giữa người với người và với môi trường thiên nhiên.

Có lẽ chẳng phải ngẫu nhiên mà cuộc hội thảo về “Vật lý hiện đại với văn hóa và phát triển” có sự tham gia tích cực của trường Đại học mang tên Phan Chu Trinh. Nhà sĩ phu có tầm nhìn vượt xa thời đại là người đầu tiên ở nước ta chủ trương dân quyền, chống bạo động, dấy phong trào duy tân “chấn dân khí, khai dân trí, hậu dân sinh”. Vì ông thấy dân trí cùng tư duy khoa học của người mình còn quá thấp, nên trước hết cần “tự lực khai hóa” đã, rồi mới từng bước

¹² Max Planck et les quanta, J. C. Boudenot et G. Cohen-Tannoudji, Ellipses (2001).

¹³ Vật đen là một lò kín nung nóng lên ở nhiệt độ T , nếu đục một lỗ nhỏ trên thành lò, ta thấy phát ra ánh sáng mà sự phân phối cường độ bức xạ (theo tần số) chỉ phụ thuộc vào T thôi chứ không vào bất cứ chất liệu nào ở trong lò, chứng tỏ bức xạ chỉ phụ thuộc vào sự dao động của các thành phần cơ bản chung cho các chất liệu.

phục hồi chủ quyền quốc gia. Trăm năm nhìn lại, những lời Tây Hồ hằng nhắc nhở như vẫn còn sáng đầu đây¹⁴ để chúng ta cùng nhau suy ngẫm.

Sơ lược vài thuật ngữ (glossary)

Lượng tử (quantum): Đơn vị vật lý nhỏ nhất mà một đại lượng (quantity) nào đó bị phân hoạch thành từng phần riêng lẻ. Thí dụ lượng tử của năng lượng (energy) là đơn vị $h\nu$. Vật lý lượng tử diễn tả sự vận hành của thế giới vi mô như nguyên tử, hạt nhân của chúng và các hạt cơ bản như quark, electron, neutrino, photon.

Luỡng tính sóng hạt (wave-particle duality): đặc điểm cơ bản của thế giới vi mô nói rằng các vật đều thể hiện dưới hai tính chất vừa sóng vừa hạt. Photon và electron là hai thí dụ thường xuyên mang lưỡng tính sóng hạt. Sóng được diễn tả bởi tần số (frequency) của sự dao động tuần hoàn (periodic oscillation) trong cả không gian lẫn thời gian. Tính chất sóng của điện từ thì quá quen thuộc từ thế kỷ 17 (Huygens, Young) với hiện tượng giao thoa ánh sáng, còn tính chất hạt photon của điện từ được minh chứng qua hiệu ứng điện quang (photoelectric) bởi Einstein. Giải Nobel Vật lý 1921 tặng thưởng ông vì công trình này, chứ không phải vì lý thuyết tương đối hẹp hay rộng.

Nguyên lý bất định (undetermination principle) : Nguyên lý cơ bản của vật lý lượng tử do Heisenberg phát hiện ra, nói rằng có những đặc trưng của thế giới vi mô theo đó vị trí và vận tốc (hay đúng ra xung lượng momentum) của hạt chẳng hạn không thể được xác định đồng thời. Những khía cạnh bất định như thế sẽ càng trở nên nghiêm trọng khi các thang khoảng cách và thời gian càng nhỏ. Điều này mang tới hiệu quả là thế giới vi mô luôn luôn dao động sôi sục với những *thăng giáng lượng tử (quantum fluctuation)*.

Phép phân tích thứ nguyên (dimensional analysis) : Trong vật lý, tất cả các đại lượng đo lường được như khối lượng, năng lượng, vận tốc, gia tốc, lực ... đều có thể diễn tả qua ba thứ nguyên (dimension), và chỉ có ba thôi. Đó là khối lượng M, khoảng cách không gian L, và thời gian T. Thí dụ vận tốc có thứ nguyên bằng L/T , gia tốc L/T^2 , xung lượng (khối lượng nhân với vận tốc) ML/T , lực ML/T^2 (xin nhớ công thức cơ học Newton $f = m\gamma$), năng lượng (lực nhân với khoảng cách di chuyển) ML^2/T^2 , tần số $1/T$. Do đó hằng số Planck $h = E/\nu$ (năng lượng chia cho tần số) có thứ nguyên ML^2/T .

Véc-tơ quay vòng (angular momentum) \mathbf{J} của một vật thể bằng xung lượng (momentum) \mathbf{k} của hạt ấy nhân với khoảng cách \mathbf{r} giữa hạt và trục mà nó quay chung quanh: $\mathbf{J} = \mathbf{k} \times \mathbf{r}$. Vậy $|\mathbf{J}|$ có thứ nguyên bằng thứ nguyên của $|\mathbf{k}|$ nhân với L, hay ML^2/T . Sự tự quay vòng (cũng như \mathbf{J}) của hạt cơ bản ở thế giới lượng tử (spin) do đó có cùng thứ nguyên ML^2/T như hằng số Planck h , và ta hiểu vì sao $h/2\pi = \hbar$ là đơn vị đo lường spin.

¹⁴ trích phần Thứ nhìn lại vị trí của Phan Bội Châu và Phan Chu Trinh trong hành trình dân tộc vào thế kỷ XX, trang 290 trong sách Việt Nam và Nhật Bản giao lưu văn hóa, Vĩnh Sính, nxb Văn Nghệ (2001). Theo Yoshikawa Yasuhisa thuyết trình trong cuộc Hội thảo về giao lưu văn hóa giữa Pháp với bốn nước Viễn đông (Hàn Quốc, Nhật Bản, Trung Quốc và Việt Nam) tại Thư viện quốc gia François Mitterand (2004), người Nhật thời Minh Trị Thiên Hoàng vì ý thức được khoảng cách quá xa về tư duy khoa học của họ so với Âu châu nên mấy cuốn sách được họ chuyển ngữ trước tiên là của Jules Verne về khoa học viễn tưởng, rồi sau mới mới đến khoa học nhân văn, triết lý, xã hội với Jean-Jacques Rousseau, Victor Hugo, Emile Zola...

Sau hết các hằng số tương tác cơ bản : điện từ $\alpha_{em} \approx 1/137$, tương tác mạnh $\alpha_s \approx 0.4$ đều không thứ nguyên (dimensionless) hay $M^0L^0T^0$.

Spin: khám phá bởi Dirac là một đặc trưng của vật lý lượng tử khi hòa nhịp với thuyết tương đối hẹp. Spin miêu tả việc *tự quay vòng* của hạt vi mô cơ bản (như trái đất tự quay chung quanh trục bắc nam của nó, nhưng spin không phải hoàn toàn như thế mà tinh tế hơn). Những hạt cơ bản như electron, neutrino, quark có spin bằng $\hbar/4\pi = \hbar/2$ nghĩa là hạt phải quay hai vòng (tức 4π hay 720 độ) mới quay lại vị trí ban đầu, điều không tưởng trong cơ học cổ điển. Những hạt có spin $\hbar/2$ được gọi chung là fermion. Những hạt mà spin là một con số nguyên của \hbar (như $0\hbar, 1\hbar, 2\hbar$) gọi là boson. Dĩ nhiên những gì vô hướng phải không quay và mang spin $0\hbar$. Những boson với spin $1\hbar$ là: photon trong tương tác điện từ (điện động lực học lượng tử, quantum electrodynamics, QED), tám gluon trong tương tác mạnh (sắc động lực học lượng tử, quantum chromodynamics, QCD), và ba boson yếu W^\pm, Z trong tương tác yếu (điện-yếu động lực học lượng tử, quantum electroweakdynamics, QEWD).

Trung hòa (neutral): không mang điện tích, sắc tích chi cả. Hoặc nếu là tập hợp của nhiều thành phần mang điện hay sắc tích thì chúng triệt tiêu nhau để trung bình tổng hợp vẫn trung hòa.

Trường (field) : Môi trường vật chất trong đó các lực (force) truyền đi tác dụng của chúng. Trường được mô tả bởi một hàm số $F(\mathbf{x}, t)$ tại mỗi điểm trong không gian \mathbf{x} và thời gian t , phản ánh cường độ (intensity) và hướng (direction) của lực tại bất cứ một điểm không-thời gian (space-time) \mathbf{x}, t nào đó. Trọng trường (mô tả lực hấp dẫn), điện từ trường (lực điện từ) là hai thí dụ khá quen thuộc. Ánh sáng chỉ là một dạng của điện từ do Maxwell suy tính ra và Hertz minh chứng bằng thực nghiệm. Photon là lượng tử của điện từ trường.

Tương đối hẹp (special relativity): đó là lý thuyết cơ học Einstein thay thế cho cơ học Newton cổ điển. Với Newton, không gian và thời gian là những hệ thống quy chiếu tuyệt đối, không chút liên quan với nhau. Theo trực giác thông thường bắt rễ từ cơ học cổ điển, nếu ta đuổi theo ánh sáng với vận tốc c của nó, ta sẽ thấy ánh sáng bất động, đó là phép cộng trừ vận tốc theo Galileo. Tuy nhiên theo thuyết điện từ Maxwell, ánh sáng luôn luôn chuyển động với vận tốc c cố định trong bất kỳ hệ thống quy chiếu nào (đứng yên hay di chuyển). Không ai có thể nắm chặt ánh sáng trong tay dù chạy theo nó nhanh đến mấy. Sự đối nghịch nói trên giữa cơ học cổ điển với điện từ được Einstein giải thích bằng thuyết tương đối hẹp, mà công thức $E = mc^2$ là hậu quả kỳ diệu nhất.

Theo Einstein, không gian và thời gian chẳng còn là hai thực thể độc lập như con người thường cảm nhận thô thiển trong đời sống hàng ngày, chúng liên đới quện sát nhau, thời gian thay đổi tùy theo vị trí trong không gian và vận tốc của người quan sát, ngược lại cũng vậy với không gian. Cụ thể là đối với người quan sát đứng yên, thời gian dần nở ra và không gian co cụm lại trên một con tàu di chuyển. Đồng hồ chỉ một giây trên con tàu, người đứng ngoài thấy *hơn* một giây! Ta không cảm thấy thế chỉ vì chúng ta, hoả tiễn, máy bay đều chuyển động với vận tốc quá nhỏ so với vận tốc c của ánh sáng.

Tương đối rộng (general relativity): định luật hấp dẫn theo đó mọi vật hút nhau là do chúng nằm trong một không gian cong xoắn nên rơi vào nhau. Cấu trúc cong xoắn của Vũ trụ do vật chất tạo nên. Theo thuyết này, thời gian co cụm lại khi lực hấp dẫn giảm đi. Như vậy trên vệ tinh nhân tạo, di chuyển nhanh chóng của GPS, thuyết tương đối hẹp và rộng ảnh hưởng đối chọi nhau đến nhịp độ tíc tắc của đồng hồ. Cái trước làm cho thời gian trôi chậm đi (vì vệ tinh di chuyển), cái sau khiến nó trôi nhanh hơn (vì trọng lực trên vệ tinh giảm đi), so với mặt đất.

Vô Hướng (scalar): Trong toán hình học, một vài đối tượng nghiên cứu tiêu biểu là vô hướng (scalar), vec-tơ (vector), ten-sơ (tensor), spin-ơ (spinor). Vật dẫn dị nhất là vật vô hướng, sau đó là vec-tơ có ba thành phần trong không gian ba chiều (lực trong cơ học thường được diễn tả bằng vec-tơ).