

Werner Heisenberg

Vật lý và triết học - Cuộc cách mạng trong khoa học hiện đại



Type specimen in Vietnamese language
DRM free content from TVE-4U
set in OHamburgC-Regular

Từ khi khởi đầu khoảng hơn 80 năm trước, cơ học lượng tử đã trở thành một bộ phận cơ bản và cốt yếu trong hành trang của các nhà vật lý lý thuyết. Đã có vô số những cuốn sách giáo khoa dạy lý thuyết này một cách chuẩn mực, nghĩa là trình bày rõ ràng cách sử dụng các phương pháp của nó. Chính các nguyên lý của cơ học lượng tử đã đặt nền móng cho sự vận hành của các laser và các thiết bị điện tử, mà ngày nay được thấy ở những chỗ thật bất ngờ như các đầu DVD và các máy tính tiền trong các siêu thị. Một bác sĩ khám các cơ quan nội tạng của một bệnh nhân, không cần phải thâm nhập trực tiếp vào cơ quan đó, mà lại rất nhẹ nhàng, nhờ các phương tiện tạo ảnh bằng cộng hưởng từ (MRI) cũng lại dựa trên một tính chất lượng tử rất tinh tế của hạt nhân nguyên tử. Hơn nữa, các tính toán của cơ học lượng tử đã đưa ra những tiên đoán về tính chất của các hạt cơ bản phù hợp với những phép đo thực nghiệm với độ chính xác cao đến kinh ngạc. Nói tóm lại, đó là một lý thuyết đã được kiểm nghiệm rất chi

li, hữu ích một cách toàn diện và đồng thời cũng rất đáng tin cậy.

Mặc dù đã quen thuộc đến thấu đáo như thế, nhưng đa số các nhà vật lý, nếu bị ép, sẽ đều thừa nhận rằng họ vẫn thấy có điều gì đó lạ lùng, điều gì đầy bí ẩn và không thể nắm bắt được hoàn toàn trong cơ học lượng tử. Sự vận hành nội tại của bộ máy này vẫn thật khó hiểu. Sẽ là rất hữu ích để biết rằng các tiểu luận trong tập sách này được rút ra từ những bài giảng Gifford của Werner Heisenberg đọc tại Đại học St. Andrew ở Scotland đúng nửa thế kỷ trước, nhưng vẫn liên quan tới chính những vấn đề còn gây nhiều bồi rồi ngày nay. Giải pháp mà Heisenberg trình bày, hay đúng hơn, có thể nói, là thái độ triết học mà ông bày tỏ, tất nhiên sẽ giúp ích cho một số người và làm thất vọng một số người khác, cũng hết như với những thính giả đã nghe ông lần đầu.

Để hiểu được tại sao cơ học lượng tử hiện vẫn khiến người ta bồi rồi, sẽ là rất hữu ích nếu ta xem xét lại một cách ngắn gọn những nguồn gốc của nó. Trong câu chuyện này, bản thân Heisenberg đã đóng góp hai phát lộ quan trọng.

Trong cái được gọi là lý thuyết lượng tử cũ, khởi nguồn từ Bohr vào năm 1913, các nguyên tử được hình dung như những hệ Mặt trời thu nhỏ. Các electron quay xung quanh hạt nhân nhỏ và nặng theo đúng các định luật của cơ học Newton. Nguyên lý lượng tử xuất hiện trong mô hình này đã đặt thêm một hạn chế đòi hỏi rằng chỉ một số quỹ đạo trong số vô vàn những quỹ đạo khả dĩ là thực sự được phép. Khi electron nhảy giữa các quỹ đạo này thì nguyên tử hoặc nhận vào hoặc phát ra

một lượng tử của năng lượng điện từ - mà sau này được gọi là photon – phù hợp với hiệu năng giữa hai quỹ đạo đó. Cơ chế này đã giải thích được tại sao các nguyên tử, vốn đã được biết hàng chục năm trước, lại có những đầu hiệu phổ đặc trưng, khi phát hay hấp thụ ánh sáng chỉ ở một số những tần số xác định.

Vào đầu những năm 1920, lý thuyết lượng tử cũ, đặc biệt là lý thuyết được phát triển bởi Arnold Sommerfeld ở Munich, đã trở nên quá phức tạp và cồng kềnh, và đồng thời lại không giải thích được rất nhiều những nét tinh tế trong phổ nguyên tử. Dường như có lẽ là các electron trong nguyên tử chuyển động theo những quy tắc khác một cách căn bản so với cơ học cổ điển. Werner Heisenberg khi đó còn là một sinh viên của Sommerfeld ở Munich nên đã hiểu rất rõ cuộc khủng hoảng này và chính ông là người, vào năm 1925, đã đưa ra một giải pháp lạ lùng và gây sốc. “Ý tưởng này tự nó đã gợi ý rằng”, - ông nói với chúng ta ở đây, “người ta cần phải viết ra những định luật cơ học không phải như các phương trình cho vị trí và vận tốc của các electron mà là cho các tần số và biên độ trong khai triển Fourier của chúng.”

Phát biểu này quả thật là quá khiêm tốn. Ý tưởng mà Heisenberg nói tới ở đây rõ ràng là của ông và chỉ của ông mà thôi. Cũng như Einstein trong việc tạo dựng nên thuyết tương đối đã phải định nghĩa lại cái mà chúng ta gọi là không gian và thời gian, Heisenberg cũng vậy, vào năm 1925, ông đã buộc phải đánh giá lại một cách sâu sắc không kém về những khái niệm vị trí và vận tốc mà trước đó người ta xem là quá hiển nhiên.

Chuỗi Fourier là một công cụ toán học chuẩn theo đó một dao động bất kỳ, chẳng hạn như dao động của dây đàn violon, đều có thể được biểu diễn như một tổ hợp thích hợp của các âm sơ cấp của dây đàn đó. Trong một biểu diễn như thế, vị trí và vận tốc tức thời của một điểm bất kỳ dọc theo dây đàn đều được biểu diễn bằng một tổng có trọng số của âm cơ bản và các họa âm của dây đó. Sự chói sáng thiên tài của Heisenberg là ở chỗ biết áp dụng chính logic đó cho chuyển động của electron trong nguyên tử. Thay vì tư duy về vị trí và vận tốc của electron như là những đặc trưng xác định nguyên thủy của nó, ông đã viết ra những biểu thức biểu diễn vị trí và vận tốc một cách gián tiếp, như là một tổ hợp của những dao động sơ cấp của nguyên tử.

Nói một cách nhẹ nhàng thì đó là một cách làm hơi kỳ cục. Tuy nhiên, bằng cách thay thế những định nghĩa mới của mình về vị trí và vận tốc vào những định luật chuẩn của cơ học, Heisenberg đã có một phát minh đầy kinh ngạc: bằng một cách hoàn toàn mới ông đã rút ra được định luật về sự lượng tử hoá. Những phương trình của ông cho những đáp số có nghĩa chỉ khi năng lượng của electron nhận một trong tập hợp hạn chế các giá trị. Và như Heisenberg đã quá khiêm tốn để nói một cách trực tiếp trong các tiểu luận ở đây rằng ông chỉ là người phát hiện ra mầm mống của cơ học lượng tử mà thôi.

Điều thú vị là, như Paul Dirac và Pascual Jordan sau này đã xác lập một cách hệ thống, các định luật của cơ học cổ điển đã chuyển sang hệ thống mới của cơ học lượng tử một cách hoàn toàn không thay đổi. Cái thay đổi ở đây là các đại lượng - những yếu tố được coi là cơ

sở của cơ học, như vị trí và vận tốc chẳng hạn, bị những định luật này chi phối.

Và đây chính là chỗ bắt đầu những khó khăn. Hai năm sau, trong Nguyên lý bất định nổi tiếng của mình, Heisenberg vẫn tiếp tục chứng minh rằng trong cơ học lượng tử, vị trí và vận tốc không có một ý nghĩa rõ ràng và minh bạch mà nó đã được hưởng trong cơ học cổ điển. Thay vì là những tính chất sơ cấp của một hạt, vị trí và vận tốc, theo một nghĩa nào đó, trở thành một đặc trưng thứ cấp mà nhà thực nghiệm cần rút ra từ một hệ lượng tử nào đó bằng cách làm một phép đo thích hợp. Và phép đo này cũng không phải đơn giản như người ta vẫn quen làm. Bạn đo vị trí của một hạt càng chính xác thì bạn sẽ tìm được vận tốc của nó càng kém chính xác và ngược lại. Nguyên lý bất định thường được diễn đạt dưới dạng như vậy. Tuy nhiên, một cách phát biểu thận trọng hơn nói rằng các hạt lượng tử không có những tính chất nội tại thực sự tương ứng với vị trí và vận tốc và phép đo đã buộc hệ lượng tử phải nhả ra những giá trị cho các đại lượng đó theo cách phụ thuộc vào phép đo đó được tiến hành như thế nào.

Thực tế, ngay cả nghĩ về một hạt lượng tử cũng rất dễ dẫn đến hiểu lầm bởi vì khái niệm được dán nhãn là “hạt” cũng có những ý nghĩa không còn được áp dụng một cách đầy đủ nữa. Chỉ ít tháng sau khi Heisenberg phát biểu phiên bản của mình về cơ học lượng tử, Erwin Schrodinger cũng đã đưa ra phương trình mang tên ông cung cấp một bức tranh khác. Trong bức tranh Schrodinger, electron thuộc một nguyên tử có dạng một sóng dừng trải rộng – nói một cách nôm na, đó là một

sóng biểu diễn xác suất để tìm thấy electron ở nơi này hay khác xung quanh hạt nhân. Vậy electron là sóng hay hạt? Câu trả lời, như Heisenberg khẳng định trong các tiểu luận này, là: các từ “sóng” hay “hạt” được hình thức hoá trong cơ học cổ điển bằng sự đúc rút từ kinh nghiệm hằng ngày của chúng ta và theo định nghĩa, hai khái niệm này là loại trừ nhau. Một sóng thì không thể là hạt và một hạt không thể là sóng. Một đối tượng lượng tử, tự bản thân nó, chẳng là cái này cũng chẳng là cái kia. Nếu bạn quyết định đo một tính chất giống như sóng (chẳng hạn như bước sóng, trong một thí nghiệm nhiễu xạ hay giao thoa) thì cái mà bạn quan sát được sẽ nhìn giống như sóng. Còn trái lại, nếu đo một tính chất hạt (như vị trí hoặc vận tốc) thì bạn sẽ thấy hành vi giống như hạt.

Khi nhận giải Nobel về Vật lý năm 1932, Heisenberg đã tuyên bố: “cơ học lượng tử... xuất hiện từ những nỗ lực mở rộng nguyên lý tương ứng của Bohr thành một sơ đồ toán học hoàn chỉnh bằng cách chính xác hoá thêm những khẳng định của ông”. Đó cũng là một tuyên bố quá khiêm nhường. Mặc dù có thể ông đã được dẫn dắt bởi nguyên lý tương ứng của Bohr – nói một cách nôm na, đó là ý tưởng cho rằng các hệ lượng tử cần phải chuyển về hành vi và diện mạo cổ điển ở thang vĩ mô – nhưng sự loé sáng của sáng tạo dẫn tới cơ học lượng tử thuần túy là của Heisenberg. Nhưng vào cuối năm 1926 và đầu năm 1927, Heisenberg và Bohr đã làm việc sát cánh bên nhau ở Copenhagen – hay là đụng đầu nhau thì đúng hơn – và chính là sự trao đổi đầy căng thẳng đó đã tạo ra cả Nguyên lý bất định lẫn cái gọi là cách giải

thích Copenhagen của cơ học lượng tử mà sau đó Bohr đã làm rất nhiều để phát triển nó. Heisenberg không phải đã nhượng bộ ngay những quan điểm của Bohr, nhưng vào thời gian đọc diễn từ nhận giải thưởng Nobel và chắc chắn là khi đọc những bài giảng này, ông đã toàn tâm toàn ý đứng về phe Copenhagen và tin tưởng ở Bohr đối với nhiều nguyên lý mà ông đã đi theo.

Như Heisenberg nói nhiều lần, cốt lõi của vấn đề là chuyện diễn dịch. Ngôn ngữ quy ước của vật lý được hình thành theo thể giới mà chúng ta trải nghiệm - một thể giới mà trong đó những chiếc xe ô tô và các quả bóng bầu dục bay với một vận tốc xác định và ở thời điểm bất kỳ đều có một vị trí xác định, trong khi các sóng tạo nên một lớp các thực thể hoàn toàn khác, được mô tả bởi những thuật ngữ cũng rất khác. Tuy nhiên, ở bên dưới tất cả những chuyện đó là thể giới của các hiện tượng lượng tử mà chúng ta có thể lĩnh hội được thông qua vô số các phép đo và quan sát. Lẽ tự nhiên là chúng ta mong muốn có thể mô tả tốt hơn thể giới lượng tử bằng ngôn ngữ cổ điển quen thuộc của chúng ta, và đó chính là lúc các khó khăn xuất hiện. Thể giới lượng tử không phải là thể giới của các sóng và hạt, của vị trí và vận tốc. Chỉ khi thực hiện các phép đo chúng ta mới làm cho các đại lượng đó có lại ý nghĩa quen thuộc của chúng - một ý nghĩa mặc dù vẫn chịu sự hạn chế được áp đặt bởi Nguyên lý bất định. Mọi cố gắng để mô tả thể giới lượng tử theo ngôn ngữ cổ điển chắc chắn sẽ bị rơi vào sự thiếu nhất quán và mâu thuẫn.

Dưới sức ép của sự không thoả đáng của mỗi bức tranh sóng hay hạt riêng rẽ, Heisenberg đã nói với chúng

ta rằng “bằng cách chơi với cả hai bức tranh, bằng cách đi từ bức tranh này sang bức tranh khác rồi quay ngược lại, cuối cùng rồi chúng ta sẽ có một ấn tượng đúng đắn về loại thực tại lạ lùng nằm phía sau các thí nghiệm về nguyên tử”. Điều đó, tôi e rằng, sẽ làm cho khá nhiều độc giả có ấn tượng như là một thủ đoạn lẩn tránh. Kề ra cũng tốt thôi, thưa GS. Heisenberg, - các độc giả này có thể nói – nhưng ngài có thể cho chúng tôi biết cái “loại thực tại lạ lùng” ấy gồm những cái gì không? Lạy Chúa, đó rồi cuộc lại là cái mà chúng ta không thể làm được, chỉ ít là không thể làm được một cách thoả đáng.

Chiến lược của trường phái Copenhagen để xử lý cái ngõ cụt này là tiếp tục dùng ngôn ngữ cũ - tức là sóng và hạt, vị trí và vận tốc – nhưng theo một cách hiểu chặt chẽ rằng những khái niệm đó được thể hiện trong các tử này không còn theo nghĩa nguyên thủy nữa mà phải thông qua môi giới là các phép đo và quan sát. Và vì vậy đã xuất hiện một khái niệm được phát biểu một cách rộng rãi rằng trong cơ học lượng tử, hành động đo xác định cái được đo hoặc rằng cái được đo và cái đo có liên quan mật thiết với nhau.

Như một hệ quả, dường như tri thức của chúng ta về thế giới trở nên tùy tiện và mang tính chủ quan theo cách hoàn toàn không giống như trong vật lý cổ điển. Nếu như chúng ta nhận được các thông tin khác nhau tùy thuộc vào loại phép đo mà chúng ta tiến hành và nếu chúng ta có thể chọn một cách tự do sẽ làm tập hợp các phép đo này hay khác thì liệu chúng ta có thể kết luận được rằng thế giới của những sự thật rành rành (mà Heisenberg gọi là thế giới của các sự thật cứng), như ông

Gradgridn - một nhân vật của Dickens đã từng nói, sẽ bị tiêu ma không? Rằng cái cách thức mà thế giới đó trình hiện liệu có phụ thuộc theo một cách hầu như kỳ quái vào cách thức mà chúng ta chọn để nhìn hay không?

Heisenberg rất hăng hái tranh luận chống lại những suy luận kiểu như vậy. Một phép đo, ông nói, là một hành động riêng biệt và cụ thể, nó cung cấp một mẫu thông tin xác định. Việc thế giới được phát lộ cho chúng ta nhờ khoa học phụ thuộc vào loại thông tin mà chúng ta có thể tìm ra là điều luôn luôn đúng. “Chúng ta cần nhớ rằng”, Heisenberg nói, “cái mà chúng ta quan sát được không phải là chính bản thân tự nhiên mà là tự nhiên được phô bày trước phương pháp truy vấn của chúng ta”.

Ở đây một lần nữa độc giả lại cảm thấy khó chịu vì câu trả lời không thoả đáng. Về mặt cổ điển, thế giới được coi như là một tập hợp các sự thật. Chúng ta càng quan sát tỉ mỉ thì càng thu thập được nhiều những sự thật đó. Tuy nhiên, trong cơ học lượng tử, một vấn đề mới và khá rắc rối là việc biết một loại sự thật về thế giới lại rất hay cản trở vĩnh viễn sự hiểu biết của chúng ta về một loại sự thật khác. Vậy thì khi đó liệu thực sự có một nền tảng vững chắc cho thế giới của những dữ liệu khách quan và thông tin đo được mà chúng ta sống trong đó hay không?

Câu trả lời của trường phái Copenhagen là khẳng định rằng việc đặt ra câu hỏi như vậy về thực chất là đòi hỏi giải thích cơ học lượng tử bằng vật lý cổ điển, điều mà theo định nghĩa là không thể làm được. Nhưng điều đó không mách bảo chúng ta, thay vì, nên suy nghĩ như

thẻ nào. Thông qua sự đề cập đến câu đồ đó – tức chúng ta sẽ mô tả hiện trạng này như thẻ nào khi chúng ta đã chấp nhận ngay từ đầu rằng chúng ta không có ngôn ngữ để làm được điều đó – Heisenberg đã dần thân vào một chuyện ngao du triết học bắt đầu từ những người Hy Lạp và đưa chúng ta đến với Kant. Điều mà ông làm đó đã tách ông ra khỏi các nhà vật lý hiện đại nhất, những người thường coi khinh hoặc là không đếm xỉa đến tư duy triết học về môn học của họ. Nhưng Heisenberg được giáo dục ở Đức vào đầu thế kỷ XX và có một giáo sư về triết học cổ điển là chính cha ông. Vì vậy, đối với Heisenberg, có một hiểu biết tốt về triết học đơn giản chỉ là biểu hiện của một nền giáo dục phổ thông tốt.

Heisenberg đã rất nhận mạnh sự phân biệt giữa tinh thần và vật chất của Descartes, cốt lõi của niềm xác tín cổ điển vào thực tại khách quan - tức là một thế giới vật chất tồn tại độc lập và chờ đợi sự xem xét vô tư của chúng ta. Tính tự phụ đó, thực tế, có thể đã là yếu tố trung tâm đối với sự xuất hiện của vật lý cổ điển, nhưng chúng ta không nên vì thế mà xem nó như một chân lý hiển nhiên, không còn tranh cãi. Ví dụ, Aristotle đã hình dung vật chất sơ mô được như là sự áp đặt của hình thái lên “cái tiềm tàng”, một loại bản chất bao gồm khả năng chứ không phải là thực tại. Nhưng chắc chắn Heisenberg không hề muốn gợi ý rằng Aristotle bằng cách nào đó đã tiên đoán được hàm sóng của Schrodinger. Ông đã đưa ra một ý kiến hữu ích rằng các khái niệm hiện đại của chúng ta về thực tại và vật chất, mặc dù xem ra có vẻ như là dễ hiểu, nhưng không phải

bao giờ cũng là rõ ràng và đã xuất hiện thông qua một cuộc vật lộn trí tuệ sâu sắc.

Và nếu như những khái niệm như vậy đã thay đổi trong quá khứ, thì chắc chắn rằng chúng có thể sẽ lại thay đổi. Chỉ bởi vì một tập hợp các ý tưởng và nguyên lý đã tỏ ra là hữu ích trên một vũ đài nào đó, Heisenberg thận trọng, chúng ta không nên bị mê hoặc bởi ý nghĩ rằng chúng ta đã chạm được vào các chân lý áp dụng được ở khắp nơi.

Thuyết tương đối đã cung cấp một ví dụ ít tranh cãi hơn về nguyên lý này. Albert Einstein đã chứng minh rằng không gian và thời gian không phải là tuyệt đối như là trong vũ trụ của Newton và tính đồng thời tùy thuộc vào con mắt của người quan sát. Đối với một số nhà vật lý ở đầu thế kỷ XX, sự phá vỡ đó của quan điểm “lành mạnh” cũ về không gian và thời gian là quá thể và do đó thuyết tương đối đã bị tấn công dữ dội. Nhưng rồi cuộc khủng hoảng đã nhanh chóng qua đi một cách yên lành. Những thay đổi mà thuyết tương đối đòi hỏi là không quá ghê gớm và không phải là không thể chấp nhận được như thoát đầu người ta tưởng - chủ yếu là bởi vì thuyết tương đối không phủ nhận sự đúng đắn của “thuyết duy thực cứng” – theo như cách gọi của Heisenberg. Chẳng hạn, hai người quan sát có thể thấy một chuỗi các sự kiện nào đó diễn ra theo trình tự khác nhau, nhưng không có sự phủ nhận các sự kiện đó thực sự đã xảy ra và quan điểm chính xác của thuyết tương đối là: nó cung cấp một cách thức hợp lý cho những người quan sát để họ hiểu được tại sao họ lại không nhìn thấy cùng một trình tự thời gian.

Trái lại, với cơ học lượng tử, các giả thiết cổ điển đã bị phá vỡ tan tành, nhưng thay vào vị trí của chúng lại là những giải thích rất không thoả đáng. Được nhìn nhận theo viễn cảnh đó, cách giải thích của trường phái Copenhagen được coi là tốt nhất với tư cách là một hệ thống thiết thực và khéo léo cho phép các nhà vật lý vẫn sử dụng được lý thuyết trong khi tạm cách ly ra một số câu hỏi về cơ bản là không trả lời được. Không có gì đáng ngạc nhiên khi chiến lược này đã gây ra sự phản đối. Sự thảo luận của Heisenberg về những phê phán cách giải thích của trường phái Copenhagen là đề tài được cập nhật nhất ở đây, bởi vì rất nhiều phê phán đó đã phai nhạt từ lâu. Tuy nhiên, có hai ý tưởng đáng kể vẫn còn tồn tại một cách dai dẳng.

Vào đầu những năm 1950, không lâu trước khi đọc những bài giảng này, David Bohm đã đưa ra cách xây dựng lại cơ học lượng tử, sao cho, Bohm tuyên bố, nó sẽ được sự ủng hộ của triết học truyền thống, nhưng vẫn không mất đi một mảy may nào sự thành công đối với thực nghiệm của nó. Theo Bohm, các tính chất của một hạt bao gồm “các biến ẩn” mà người quan sát không thể truy nhập được, nhưng lại quyết định kết cục của phép đo. Khi này, sự không thể tiên đoán được dường như của các sự kiện lượng tử hoá ra là do chúng ta đã không đếm xia đến các biến ẩn đó. Về bề ngoài, điều này làm cho cơ học lượng tử trở nên rất giống cơ học cổ điển của các nguyên tử trong một chất khí, ở đó chúng ta có thể đưa ra các tiên đoán có tính chất thống kê về hành vi của chất khí như là một toàn bộ, ngay cả khi thậm chí chúng ta không thể biết được từng nguyên tử riêng lẻ làm gì.

Tuy nhiên, về mặt khái niệm, ở đây có một sự khác biệt to lớn. Trong cơ học cổ điển, ta có thể nghĩ cách làm ra những thí nghiệm tinh xảo hơn để xác định chính xác hơn tính chất của các nguyên tử. Trong cơ học Bohm, môn cơ học vẫn còn thu hút được một nhóm những người ủng hộ nhiệt thành nhất, thì thông tin được mang bởi các biến ẩn là thực sự không có hạn chế - như thực tế, nó cần phải thế - nếu như những biểu hiện ra bên ngoài của cơ học lượng tử vẫn còn không thay đổi.

Heisenberg đã cung cấp rất nhiều lý do giàu sức thuyết phục lý giải tại sao cơ học của Bohm không hề hấp dẫn như người ta tưởng, nhưng thái độ cơ bản của ông là cách tiếp cận dùng các biến ẩn đã đạt được sự trở lại một phần thuyết duy thực cổ điển một cách khá mờ mờ báng cái giá phải phá huỷ đi rất nhiều vẻ đẹp toán học và đối xứng của cơ học lượng tử ở dạng thuần khiết của nó. Nói tóm lại, cơ học của Bohm là xấu xí.

Đôi lập với quan điểm của trường phái Copenhagen, như chúng ta đã biết, có cả Einstein, người suốt đời gần bó với “thuyết duy thực cứng”. Năm 1935, với hai đồng nghiệp trẻ của mình là Boris Podolsky và Nathan Rosen, ông đã cho công bố bài báo “Einstein Podolsky Rosen” (EPR) nổi tiếng, trong đó đã vạch ra cái mà các tác giả coi như là một lỗi lầm có thể chứng minh được trong cơ học lượng tử. Sự phân tích EPR yêu cầu chúng ta suy nghĩ về hai hạt xuất hiện từ một sự kiện nào đó, sao cho một số tính chất của chúng có tương quan với nhau, sau đó bay ra xa nhau. Một nhà thực nghiệm đo một tính chất nào đó của một trong hai hạt ấy, ngay lập tức sẽ biết được tính chất tương ứng của hạt kia. Einstein, Podolsky

và Rosen lập luận rằng vì thí nghiệm đó cho phép nhà vật lý nhận được một sự hiểu biết về một hạt mà không cần phải quan sát nó một cách trực tiếp, nên các tính chất của hạt phải thuộc về nội tại của nó – nghĩa là chúng đã được cố định từ trước như tư duy cổ điển quy định chứ không phải là bất định như cơ học lượng tử khẳng định.

Trong nhiều năm, quan điểm mà EPR đưa ra dường như, may lắm, được coi là một nhận xét có tính siêu hình. Tuy nhiên, khoảng một chục năm sau khi Heisenberg đọc những bài giảng này, nhà vật lý John Bell đã chế tạo ra một cách thông minh để biến sự phân tích EPR thành một phép kiểm chứng trong thực tiễn, và nếu khó khăn thì trong phòng thí nghiệm. Nếu các hạt, trước khi đo, thực sự đã có những tính chất xác định nhưng chưa biết chứ không phải những thuộc tính không xác định như suy ra từ cơ học lượng tử, thì một thực nghiệm kiểu do Bell đề xuất sẽ cho những kết quả khác với những tiên đoán của cơ học lượng tử. Chỉ sau khi Heisenberg qua đời vào năm 1976 những thực nghiệm như vậy cuối cùng mới được thực hiện, nhưng với những kết quả xác nhận cơ học lượng tử và bác bỏ quan điểm của EPR. Bài học, như Heisenberg đã chỉ ra trong sự bàn thảo của ông về quan điểm của Einstein, đó là: thực tại theo cơ học lượng tử không giống như thực tại cổ điển, bất kể Einstein có thích điều đó hay không.

Cách giải thích chuẩn của cơ học lượng tử, do đó, vẫn tiếp tục tồn tại và sự trình bày tao nhã của Heisenberg

vẫn còn giá trị và hiệu lực của nó. Nhưng câu chuyện vẫn còn chưa kết thúc.

Chiến lược của trường phái Copenhagen đã vận hành tuyệt vời đối với các nhà thực nghiệm trong các phòng thí nghiệm của họ, thậm chí đối với cả các nhà vật lý thiên văn nghiên cứu cấu trúc của các sao, các thiên hà, bởi vì trong những trường hợp đó, không bao giờ có sự lăm lăm nghiêm trọng về chuyện bộ phận nào cần phải xử lý theo cơ học lượng tử và bộ phận nào theo cơ học cổ điển. Nhưng khi mở rộng phạm vi của chúng ta để bao gồm cả toàn bộ vũ trụ thì sự phân biệt rạch ròi này không thể duy trì được nữa. Vũ trụ xuất phát từ Big Bang, hay nói ngắn gọn, từ sự hỗn độn dày đặc các hạt cơ bản điên cuồng tương tác với nhau. Sau đó, khi Vũ trụ dần nở và lạnh đi, những cấu trúc bắt đầu đột sinh – mà trước hết là chính vật chất, sau đó là sự kết tập của vật chất dưới dạng các ngôi sao sớm nhất và cứ tiếp tục như vậy cho tới khi chúng ta đi tới Vũ trụ trong trạng thái hiện nay của nó. Trong quá trình tiến hóa đó, một tập hợp thực một cách khách quan các thiên hà, các sao, và các hành tinh bằng cách nào đó đã đột sinh từ đám sương mù lượng tử bất định, nhưng nó đã làm như vậy mà không có sự can thiệp của người đo hay người quan sát bởi vì Vũ trụ là toàn bộ những gì hiện hữu.

Vì quan điểm của trường phái Copenhagen dựa trên sự phân biệt giữa người đo và cái được đo, nên nó sẽ gặp khó khăn khi chỉ có một hệ vũ trụ, một toàn thể duy nhất liên quan với nhau. Nhưng thậm chí có như vậy chẳng nữa thì tinh thần Copenhagen vẫn có thể sẽ tiếp tục tồn tại. Khi viện đến quá trình có tên là “mắt kết

hợp”, các nhà vật lý lập luận rằng sự tương tác nội tại của một hệ lượng tử phức tạp tạo nên một loại tự do liên tục cho phép hệ, như một toàn bộ, thể hiện những tính chất xác định và cố định thậm chí mặc dù trạng thái lượng tử bên dưới nó là thay đổi liên tục. Do tính dừng của chúng, những tính chất này được nhìn nhận như là độc lập và là hiện thực khách quan, do đó chúng chính là những tính chất mà chúng ta đã tự nhiên gán cho cái nhãn là cổ điển. Nếu như sơ đồ này thành công, nó sẽ là cơ sở cho nhận xét của Heisenberg nói rằng vật lý cổ điển “chỉ là sự lý tưởng hóa trong đó chúng ta có thể nói về các bộ phận của thế giới mà không cần tham chiếu gì đến bản thân chúng ta”.

Điều này hiện vẫn còn chưa được hiểu rõ. Hiện nay, sự phê phán có thể còn dai dẳng trong sự phản nản rằng cách giải thích Copenhagen về cơ học lượng tử là chưa thỏa đáng vì nó vẫn chưa trả lời được cho chúng ta một số câu hỏi sơ đẳng. Không thể nói, mà thực tế không cần phải nói, thế giới lượng tử “thực sự” là như thế nào và chúng ta sẽ lâm vào khó khăn với những câu hỏi về Vũ trụ. Nhưng tôi thì lại muốn mô tả những thiếu sót đó như là những ưu điểm. Giải thích của trường phái Copenhagen đã cung cấp một cách sử dụng cơ học lượng tử một cách đáng tin cậy, còn những vấn đề mà nó chưa trả lời được cũng chính là những câu hỏi sẽ chưa được giải đáp chừng nào các nhà vật lý chưa giải quyết được câu đố cuối cùng của họ, đó là làm thế nào kết hợp được nhuần nhuyễn cơ học lượng tử với lý thuyết hấp dẫn. Những thực nghiệm kiểu EPR minh họa cho một cách xung đột giữa hai bộ phận này. Một phép đo trên

một hạt, dường như, lại có thể xác lập tức thì những tính chất trước đó còn bất định của hạt kia (đôi tác của hạt thứ nhất), thậm chí ngay cả khi, theo những tiêu chuẩn cổ điển, hai hạt đã hoàn toàn tách rời nhau. Tính phi định xứ đó – theo như cách gọi của các nhà vật lý (với sự khó chịu công khai, Einstein gọi nó là “hành động ma quỷ từ xa”) giờ đây là điều không thể phủ nhận được bằng thực nghiệm, nhưng đồng thời nó lại dường như xung đột với tinh thần của tính nhân quả cổ điển được hiện thân trong thuyết tương đối rộng.

Một biện pháp xử lý theo cơ học lượng tử đối với hấp dẫn, theo cách nào đó, sẽ giải quyết được sự xung đột này của các nguyên lý bằng cách chỉ ra tính nhân quả, sự bất định và cấu trúc của không gian và thời gian sẽ được tích hợp với nhau một cách hài hòa như thế nào. Và điều này, dè dặt mình, sẽ rọi ánh sáng vào cái thế giới bên trong được mô tả bởi cơ học lượng tử vẫn còn đầy bí ẩn. Trong khi chờ đợi đèn lúc đó, những ai muốn hiểu xem các nhà vật lý đã xoay sở như thế nào để hiểu được cái lĩnh vực cực kỳ thành công nhưng cũng còn nhiều bất ổn này của vật lý, thì cách tốt nhất là hãy đọc những bài giảng đã trở thành kinh điển này của Heisenberg.
