

Cơ học lượng tử là một trong những [lý thuyết](#) cơ bản của [vật lý học](#). Cơ học lượng tử là phần mở rộng và bổ sung của [cơ học Newton](#) (còn gọi là *cơ học cổ điển*). Nó là cơ sở của rất nhiều các chuyên ngành khác của [vật lý](#) và [hóa học](#) như [vật lý chất rắn](#), [hóa lượng tử](#), [vật lý hạt](#). Khái niệm *lượng tử* để chỉ một số đại lượng vật lý như [năng lượng](#) (xem Hình 1) không liên tục mà rời rạc.

Cơ học lượng tử là một lý thuyết [cơ học](#), nghiên cứu về [chuyển động](#) và các đại lượng vật lý liên quan đến chuyển động như [năng lượng](#) và [xung lượng](#), của các vật thể nhỏ bé, ở đó [lượng tính sóng hạt](#) được thể hiện rõ^[2]. Lượng tính sóng hạt được giả định là tính chất cơ bản của [vật chất](#), chính vì thế cơ học lượng tử được coi là cơ bản hơn cơ học Newton vì nó cho phép mô tả chính xác và đúng đắn rất nhiều các hiện tượng vật lý mà cơ học Newton không thể giải thích được. ^[cần dẫn nguồn] Các hiện tượng này bao gồm các hiện tượng ở quy mô [nguyên tử](#) hay nhỏ hơn ([hạ nguyên tử](#)). Cơ học Newton không thể lý giải tại sao các nguyên tử lại có thể bền vững đến thế, hoặc không thể giải thích được một số hiện tượng vĩ mô như [siêu dẫn](#), [siêu chảy](#). Các [tiên đoán](#) của cơ học lượng tử chưa bao giờ bị thực nghiệm chứng minh là sai sau một thế kỷ. ^[cần dẫn nguồn] Cơ học lượng tử là sự kết hợp chặt chẽ của ít nhất ba loại hiện tượng mà cơ học cổ điển không tính đến, đó là: (i) việc [lượng tử hóa](#) (rời rạc hóa) một số đại lượng vật lý, (ii) [lượng tính sóng hạt](#), và (iii) [vướng lượng tử](#). Trong các trường hợp nhất định, các [định luật](#) của cơ học lượng tử chính là các định luật của cơ học cổ điển ở mức độ chính xác cao hơn. Việc cơ học lượng tử rút về cơ học cổ điển được biết với cái tên [nguyên lý tương ứng](#). ^[cần dẫn nguồn]

Cơ học lượng tử được kết hợp với [thuyết tương đối](#) để tạo nên *[cơ học lượng tử tương đối tính](#)*, để đối lập với *[cơ học lượng tử phi tương đối tính](#)* khi không tính đến [tính tương đối](#) của các vật thể. ^[cần dẫn nguồn] Ta dùng khái niệm *cơ học lượng tử* để chỉ cả hai loại trên. Cơ học lượng tử đồng nghĩa với vật lý lượng tử. Tuy nhiên vẫn có nhiều nhà khoa học coi cơ học lượng tử có ý nghĩa như cơ học lượng tử phi tương đối tính, mà như thế thì nó hẹp hơn vật lý lượng tử. ^[cần dẫn nguồn]

Một số [nhà vật lý](#) tin rằng cơ học lượng tử cho ta một mô tả chính xác thế giới vật lý với *hầu hết* các điều kiện khác nhau. ^[cần dẫn nguồn] Dường như là cơ học lượng tử không còn đúng ở lân cận các [hố đen](#) hoặc khi xem xét [vũ trụ](#) như một toàn thể. Ở phạm vi này thì cơ học lượng tử lại mâu thuẫn với [lý thuyết tương đối rộng](#), ^[cần dẫn nguồn] một lý thuyết về [hấp dẫn](#). Câu hỏi về sự tương thích giữa cơ học lượng tử và thuyết tương đối rộng vẫn là một lĩnh vực nghiên cứu rất sôi nổi.

Cơ học lượng tử được hình thành vào nửa đầu [thế kỷ 20](#) do [Max Planck](#), [Albert Einstein](#), [Niels Bohr](#), [Werner Heisenberg](#), [Erwin Schrödinger](#), [Max Born](#), [John von Neumann](#), [Paul Dirac](#), [Wolfgang Pauli](#) và một số người khác tạo nên.^[1] Một số vấn đề cơ bản của lý thuyết này vẫn được nghiên cứu cho đến ngày nay.^[2]

Có nhiều phương pháp toán học mô tả cơ học lượng tử, chúng tương đương với nhau. Một trong những phương pháp được dùng nhiều nhất đó là [lý thuyết biến đổi](#), do [Paul Dirac](#) phát minh ra nhằm thống nhất và khái quát hóa hai phương pháp toán học trước đó là [cơ học ma trận](#) (của [Werner Heisenberg](#)) và [cơ học sóng](#) (của [Erwin Schrödinger](#)).

Theo các phương pháp toán học mô tả cơ học lượng tử này thì [trạng thái lượng tử](#) của một [hệ lượng tử](#) sẽ cho thông tin về [xác suất](#) của các tính chất, hay còn gọi là các *đại lượng quan sát*

(đôi khi gọi tắt là *quan sát*), có thể đo được. Các quan sát có thể là [năng lượng](#), [vị trí](#), [động lượng](#) (xung lượng), và [mô men động lượng](#). Các quan sát có thể là [liên tục](#) (ví dụ vị trí của các hạt) hoặc [rời rạc](#) (ví dụ [năng lượng](#) của [điện tử](#) trong [nguyên tử hydrogen](#)).^{[[cần dẫn nguồn](#)]}

Nói chung, cơ học lượng tử không cho ra các quan sát có giá trị xác định. Thay vào đó, nó tiên đoán một [phân bố xác suất](#), tức là, xác suất để thu được một kết quả khả dĩ từ một phép đo nhất định. Các xác suất này phụ thuộc vào [trạng thái lượng tử](#) ngay tại lúc tiến hành phép đo.^{[[cần dẫn nguồn](#)]} Tuy nhiên vẫn có một số các trạng thái nhất định liên quan đến một giá trị xác định của một quan sát cụ thể. Các giá trị đó được biết với cái tên là [hàm riêng](#), hay còn gọi là *trạng thái riêng* của quan sát đó.

Ví dụ, chúng ta hãy xét một [hạt tự do](#), trạng thái lượng tử của nó có thể biểu diễn bằng một [sóng](#) có hình dạng bất kỳ và có thể lan truyền theo toàn bộ không gian, được gọi là [hàm sóng](#). Vị trí và xung lượng của hạt là hai đại lượng quan sát. *Trạng thái riêng* của vị trí là một hàm sóng có giá trị rất lớn tại vị trí x và bằng không tại tất cả các vị trí khác x . Chúng ta tiến hành đo vị trí của một hàm sóng như vậy, chúng ta sẽ thu được kết quả tìm thấy hạt tại x với xác suất 100%. Mặt khác, trạng thái riêng của xung lượng lại có dạng một [sóng phẳng](#). [Bước sóng](#) của nó là h/p , trong đó h là [hằng số Planck](#) và p là xung lượng ở trạng thái riêng đó.

Thông thường, một hệ sẽ không ở trong trạng thái riêng của bất kỳ quan sát nào mà chúng ta đang quan tâm. Tuy nhiên, nếu chúng ta đo một quan sát, hàm sóng sẽ ngay lập tức trở thành một trạng thái riêng của quan sát đó. Việc này được gọi là sự [suy sập hàm sóng](#). Nếu ta biết hàm sóng tại một thời điểm trước khi đo đạc thì chúng ta có thể tính được xác suất suy sập vào mỗi trạng thái riêng khả dĩ.^{[[cần dẫn nguồn](#)]} Ví dụ, hạt tự do được đề cập ở trên thường có một hàm sóng ở dạng một [bó sóng](#) có tâm là một vị trí ở x_0 nào đó, chứ không phải là trạng thái riêng của vị trí hay xung lượng. Khi ta đo vị trí của hạt, chúng ta không thể tiên đoán độ xác định của kết quả mà chúng ta sẽ thu được. Kết quả thu được có thể, chứ không chắc chắn, nằm gần x_0 mà ở đó, biên độ hàm sóng là lớn. Sau khi thực hiện phép đo xong, kết quả thu được là x , hàm sóng suy sập vào trạng thái riêng của vị trí nằm tại x .

Các [hàm sóng](#) có thể thay đổi theo [thời gian](#). Phương trình mô tả sự thay đổi của hàm sóng theo thời gian là [phương trình Schrödinger](#), đóng vai trò giống như [định luật thứ hai của Newton](#) trong [cơ học cổ điển](#). Phương trình Schrödinger áp dụng cho hạt tự do của chúng ta sẽ tiên đoán tâm của bó sóng chuyển động trong không gian với vận tốc không đổi, giống như một hạt cổ điển chuyển động khi không có lực nào tác dụng lên nó. Tuy nhiên, bó sóng sẽ trải rộng ra theo thời gian, điều này có nghĩa là vị trí của hạt sẽ trở nên [bất định](#) và ảnh hưởng đến trạng thái riêng của vị trí làm cho nó biến thành các bó sóng rộng hơn không phải là các trạng thái riêng của vị trí nữa.

Một số hàm sóng tạo ra các phân bố xác suất không đổi theo thời gian. Rất nhiều hệ mà khi xem xét bằng cơ học cổ điển thì được coi là "động" nhưng lại được mô tả bằng hàm sóng "tĩnh". Ví dụ một điện tử trong một nguyên tử không bị kích thích được coi một cách cổ điển là chuyển động trên một quỹ đạo hình tròn xung quanh [hạt nhân nguyên tử](#), trong khi đó thì cơ học lượng tử lại mô tả điện tử này bằng một đám mây xác suất [đối xứng cầu](#) tĩnh xung quanh hạt nhân (Hình 1).

Sự thay đổi của hàm sóng theo thời gian có tính [nhân quả](#), theo nghĩa, với một hàm sóng tại một thời điểm ban đầu có thể cho một tiên đoán xác định hàm sóng sẽ như thế nào tại bất kỳ thời điểm tiếp theo. Trong [phép đo lượng tử](#), sự thay đổi của một hàm sóng thành một hàm sóng khác không xác định và không thể đoán trước được, điều đó có nghĩa sự thay đổi đó là [ngẫu nhiên](#).

Bản chất [xác suất](#) của cơ học lượng tử nảy sinh từ việc thực hiện phép đo: vật thể tương tác với máy đo, và hàm sóng tương ứng sẽ bị *vướng*. Kết quả là vật thể cần đo không còn tồn tại như một thực thể độc lập nữa. Điều này sẽ làm cho kết quả thu được trong tương lai có một độ bất định nào đó. Đến đây, người ta có thể nghĩ rằng nếu chuẩn bị các máy đo thì những bất định đó có thể chỉ là những dữ liệu chưa biết. Nhưng vấn đề là ta không thể biết được các dữ liệu đó vì máy đo không thể vừa dùng để đo tính chất vật thể, vừa tự biết ảnh hưởng của nó đến vật thể đó cùng một lúc.

Do đó, có vấn đề về nguyên tắc, chứ không phải về thực tiễn, có một độ bất định có mặt trong các tiên đoán xác suất. Đây là một trong những ý tưởng khó hiểu nhất về bản chất của một hệ lượng tử. Đó từng là trung tâm của của [tranh luận Bohr-Einstein](#), trong đó, họ nghĩ tìm cách làm sáng tỏ các nguyên lý cơ bản này bằng các thí nghiệm tư duy.

Có một vài cách [giải thích cơ học lượng tử](#) phủ nhận sự "suy sụp hàm sóng" bằng cách thay đổi khái niệm về những thành phần thiết lập nên các "phép đo" trong cơ học lượng tử (xem thêm [giải thích trạng thái tương đối](#)).

[sửa] Các hiệu ứng của cơ học lượng tử

Như đã nhắc ở trên, có một vài lớp hiện tượng xuất hiện trong cơ học lượng tử mà không có sự tương tự với cơ học cổ điển. Chúng được gọi là "hiệu ứng lượng tử".

Loại thứ nhất của hiệu ứng lượng tử đó là [lượng tử hóa](#) các đại lượng vật lý nhất định. Trong ví dụ về hạt mà ta đã xem xét, cả vị trí và xung lượng đều là các quan sát liên tục. Tuy nhiên nếu ta giới hạn hạt đó trong một vùng không gian để hình thành bài toán [hạt trong hố thế](#) thì các quan sát đó sẽ trở nên rời rạc. Những quan sát như vậy được gọi là bị *lượng tử hóa* và nó có vai trò quan trọng trong các hệ vật lý. Ví dụ về các quan sát bị lượng tử hóa bao gồm [mô men xung lượng](#), [năng lượng](#) toàn phần của hệ liên kết, và năng lượng mà một [sóng điện từ](#) với một tần số đã cho.

Một hiệu ứng nữa là [nguyên lý bất định](#) đó là hiện tượng mà các phép đo liên tiếp của hai hay nhiều hơn hai quan sát có thể có các giới hạn cơ bản về độ chính xác. Trong ví dụ về hạt tự do, chúng ta không thể tìm thấy hàm sóng là trạng thái riêng của cả vị trí và xung lượng. Hiệu ứng này có nghĩa là không thể đo đồng thời vị trí và xung lượng với độ chính xác bất kỳ, ngay cả về mặt nguyên tắc: vì khi độ chính xác về vị trí tăng lên thì độ chính xác về xung lượng giảm đi và ngược lại. Các quan sát chịu tác động của nguyên lý này (gồm có xung lượng và vị trí, năng lượng và thời gian) là các [biến giao hoán](#) trong vật lý cổ điển.

Hiệu ứng tiếp theo là [lượng tính sóng hạt](#). Dưới một số điều kiện thực nghiệm nhất định, các vật thể vi mô như là các [nguyên tử](#) hoặc các [điện tử](#) có thể hành xử như các "hạt" trong thí nghiệm

[tán xạ](#) hoặc có thể hành xử như các "sóng" trong thí nghiệm [giao thoa](#). Nhưng chúng ta chỉ có thể quan sát một trong hai tính chất trên vào một thời điểm mà thôi.



Các bài toán chưa có lời giải trong vật lý trong [giới hạn tương ứng](#) của cơ học lượng tử: liệu có lời giải thích nào về cơ học lượng tử đúng đắn hơn hay không? Làm thế nào mà các mô tả lượng tử về [thực tại](#) gồm các vấn đề như là [chồng chất trạng thái](#) hoặc [suy sập hàm sóng](#) có thể tái tạo lại thực tại mà chúng ta nhận biết

Hiệu ứng nữa là [vướng lượng tử](#). Trong một số trường hợp, hàm sóng của một hệ được tạo thành từ nhiều hạt mà không thể phân tách thành các hàm sóng độc lập cho mỗi hạt. Trong trường hợp đó, người ta nói các hạt bị "vướng" với nhau. Nếu cơ học lượng tử đúng thì các hạt có thể thể hiện các tính chất khác thường và đặc biệt. Ví dụ, khi tiến hành một phép đo trên một hạt thì nhờ suy sập của hàm sóng toàn phần mà có thể tạo ra các hiệu ứng tức thời với các hạt khác thậm chí ngay cả khi chúng ở xa nhau.

Hiệu ứng đó có vẻ như mâu thuẫn với [lý thuyết tương đối hẹp](#) vì theo thuyết tương đối hẹp, không có gì có thể di chuyển nhanh hơn ánh sáng. Nhưng ở đây không có sự truyền thông tin nên không yêu cầu phải di chuyển một thực thể vật lý tức thời giữa hai hạt. Hiệu ứng ở đây có nghĩa là, sau khi nghiên cứu các thực thể bị vướng với nhau, hai người nghiên cứu có thể so sánh dữ liệu của họ và thu được các mối tương quan mà các hạt có.

[sửa] Công thức toán học

Xem bài chính về: [Các công thức toán học của cơ học lượng tử](#)

Trong các công thức toán học rất chặt chẽ của cơ học lượng tử do [Paul Dirac](#) và [John von Neumann](#) phát triển, các trạng thái khả dĩ của một hệ cơ học lượng tử được biểu diễn bằng các [véc tơ đơn vị](#) (còn gọi là các [véc tơ trạng thái](#)) được thể hiện bằng các [hàm số phức](#) trong [không gian Hilbert](#) (còn gọi là [không gian trạng thái](#)). Bản chất của không gian Hilbert này lại phụ thuộc vào hệ lượng tử. Ví dụ, không gian trạng thái của vị trí và xung lượng là không gian của các hàm [bình phương khả tích](#), trong khi đó không gian trạng thái của các [spin](#) và điện tử cô lập chỉ là tích của hai mặt phẳng phức. Mỗi quan sát được biểu diễn bằng một [toán tử tuyến tính Hermit](#) xác định (hay một [toán tử tự hợp](#)) tác động lên không gian trạng thái. Mỗi trạng thái riêng của một quan sát tương ứng với một [véc tơ riêng](#) (còn gọi là [hàm riêng](#)) của toán tử, và một [giá trị riêng](#) (còn gọi là [trị riêng](#)) tương ứng với giá trị của quan sát trong trạng thái riêng đó. Nếu phổ của toán tử là rời rạc thì quan sát chỉ có thể có được các giá trị riêng rời rạc.

Sự thay đổi theo thời gian của hệ lượng tử được mô tả bằng [phương trình Schrodinger](#), trong phương trình này, [toán tử Hamilton](#) tương ứng với [năng lượng toàn phần](#) của hệ gây nên sự biến đổi theo thời gian.

[Tích vô hướng](#) giữa hai véc tơ trạng thái là một số phức được gọi là [biên độ xác suất](#). Trong một phép đo, xác suất mà một hệ suy sập từ một trạng thái ban đầu đã cho vào một trạng thái riêng

đặc biệt nào đó bằng bình phương của [giá trị tuyệt đối](#) của biên độ xác suất giữa trạng thái đầu và cuối. Kết quả khả dĩ của phép đo là giá trị riêng của toán tử đều là các số thực (chính vì trị riêng phải là thực mà người ta phải chọn toán tử Hermit). Chúng ta có thể tìm thấy phân bố xác suất của một quan sát trong một trạng thái đã cho bằng việc xác định sự tách phổ của toán tử tương ứng. [Nguyên lý bất định](#) Heisenberg được biểu diễn bằng các toán tử tương ứng với các quan sát nhất định không [giao hoán](#) với nhau.

Phương trình Schrodinger tác động lên toàn bộ biên độ xác suất chứ không chỉ ảnh hưởng đến giá trị tuyệt đối của nó. Nếu giá trị tuyệt đối của biên độ xác suất mang các thông tin về xác suất, thì [pha](#) của nó mang các thông tin về [giao thoa](#) giữa các trạng thái lượng tử. Điều này làm tăng tính chất sóng của trạng thái lượng tử.

Thực ra, nghiệm giải tích của phương trình Schrödinger chỉ có thể thu được từ một số rất ít các Hamilton như trường hợp của các [dao động tử điều hòa lượng tử](#) và [nguyên tử hydrogen](#) là các đại diện quan trọng nhất. Thậm chí, ngay cả nguyên tử [helium](#) chỉ gồm hai điện tử mà cũng không thể giải bằng giải tích được. Chính vì thế mà người ta dùng một vài phép gần đúng để giải các bài toán phức tạp hơn một điện tử. Ví dụ như [lý thuyết nhiễu loạn](#) dùng nghiệm của các bài toán đối của các hệ lượng tử đơn giản sau đó thêm vào nghiệm đó một số hạng bổ chính do sự có mặt của một toán tử phụ, được coi như nhiễu loạn gây ra. Một phương pháp khác được gọi là [phương trình chuyển động bán cổ điển](#) được áp dụng cho các hệ vật lý mà cơ học cổ điển chỉ tạo ra một sai khác rất nhỏ so với [cơ học cổ điển](#). Phương pháp này rất quan trọng trong [hỗn loạn lượng tử](#).

Một phương pháp toán học thay thế cơ học lượng tử là [công thức tích phân lộ trình Feynman](#), trong đó, biên độ cơ học lượng tử được coi là tổng theo tất cả các lịch sử giữa trạng thái đầu và cuối; nó tương đương với [nguyên lý tác dụng tối thiểu](#) trong cơ học cổ điển.

[sửa] Mọi liên hệ với các lý thuyết khoa học khác

Các nguyên tắc cơ bản của cơ học lượng tử rất khái quát. Chúng phát biểu rằng không gian trạng thái của hệ là [không gian Hilbert](#) và các quan sát là các [toán tử Hermit](#) tác dụng lên không gian đó. Nhưng chúng không nói với chúng ta là không gian Hilbert nào và toán tử nào. Chúng ta cần phải chọn các thông số đó cho phù hợp để mô tả định lượng hệ lượng tử. Một hướng dẫn quan trọng cho việc lựa chọn này đó là [nguyên lý tương ứng](#), nguyên lý này phát biểu rằng các tiên đoán của cơ học lượng tử sẽ rút về các tiên đoán của cơ học cổ điển khi hệ trở lên lớn. "giới hạn hệ lớn" này được coi là "cổ điển" hay "giới hạn tương ứng". Do đó, ta có thể bắt đầu bằng một mô hình cổ điển với một hệ nào đó và cố gắng tiên đoán một mô hình lượng tử mà trong giới hạn tương ứng, mô hình lượng tử đó sẽ rút về mô hình cổ điển.

Ban đầu, khi thiết lập cơ học cổ điển, nó được áp dụng cho các mô hình mà giới hạn tương ứng là cơ học cổ điển phi tương đối tính. Ví dụ mô hình [dao động tử điều hòa lượng tử](#) sử dụng biểu thức phi tương đối tính tường minh cho [động năng](#) của dao động tử, và nó là phiên bản lượng tử của [dao động tử điều hòa cổ điển](#).

Các cố gắng ban đầu để kết hợp cơ học lượng tử với [lý thuyết tương đối hẹp](#) là thay thế phương trình Schrödinger bằng một phương trình hiệp biến như là [phương trình Klein-Gordon](#) hoặc là

[phương trình Dirac](#). Khi các lý thuyết này thành công trong việc giải thích các kết quả thực nghiệm thì chúng lại có vẻ như bỏ qua quá trình sinh và hủy tương đối tính của các hạt. Lý thuyết lượng tử tương đối tính đầy đủ phải cần đến [lý thuyết trường lượng tử](#). Lý thuyết này áp dụng lượng tử hóa cho trường chứ không chỉ cho một tập hợp cố định gồm các hạt (được gọi là *lượng tử hóa lần thứ hai* để so sánh với *lượng tử hóa lần thứ nhất* là lượng tử hóa dành cho các hạt). Lý thuyết trường lượng tử hoàn thành đầu tiên là [điện động lực học lượng tử](#), nó mô tả đầy đủ [tương tác điện từ](#).

Ít khi người ta phải dùng toàn bộ lý thuyết trường lượng tử để mô tả các hệ điện từ. Một phương pháp đơn giản hơn được người ta áp dụng từ khi khởi đầu của cơ học lượng tử, đó là coi các hạt [tích điện](#) như là các thực thể cơ học lượng tử chỉ bị tác dụng bởi trường điện từ cổ điển. Ví dụ, mô hình lượng tử cơ bản về nguyên tử hydrogen mô tả điện trường của nguyên tử hydrogen sử dụng thế năng Coulomb $1/r$ cổ điển. Phương pháp "bán cổ điển" này bị vô hiệu hóa khi thăng giáng lượng tử trong trường điện từ đóng vai trò quan trọng như là sự phát xạ [quang tử](#) từ các hạt tích điện.

Lý thuyết trường lượng tử cho [lực tương tác mạnh](#) và [lực tương tác yếu](#) đã được phát triển và gọi là [sắc động lực học lượng tử](#). Lý thuyết mô tả tương tác của các hạt [hạ hạt nhân](#) như là các [quark](#) và [gluon](#). Lực tương tác yếu và lực điện từ đã được thống nhất và lý thuyết lượng tử mô tả hai lực đó được gọi là [lý thuyết điện-yếu](#).

Rất khó có thể xây dựng các mô hình lượng tử về [hấp dẫn](#), [lực cơ bản](#) còn lại duy nhất mà chưa được thống nhất với các lực còn lại. Các phép gần đúng bán cổ điển có thể được sử dụng và dẫn đến tiên đoán về [bức xạ Hawking](#). Tuy nhiên, công thức của một [lý thuyết hấp dẫn lượng tử](#) hoàn thiện lại bị cản trở bởi sự không tương thích giữa [lý thuyết tương đối rộng](#) (lý thuyết về hấp dẫn chính xác nhất hiện nay) với một số giả thuyết cơ bản của lý thuyết lượng tử. Việc giải quyết sự không tương thích này là một nhánh của vật lý mà đang được nghiên cứu rất sôi nổi hiện nay. Một số lý thuyết như [lý thuyết dây](#) là một trong những ứng cử viên khả dĩ cho lý thuyết hấp dẫn lượng tử của tương lai.

[sửa] Ứng dụng của cơ học lượng tử

Cơ học lượng tử đã đạt được các thành công vang dội trong việc giải thích rất nhiều các đặc điểm của thế giới chúng ta. Tất cả các tính chất riêng biệt của các hạt vi mô tạo nên tất cả các dạng [vật chất](#) đó là [điện tử](#), [proton](#), [neutron](#),... chỉ có thể được mô tả bằng cơ học lượng tử.

Cơ học lượng tử còn quan trọng trong việc tìm hiểu các nguyên tử riêng biệt kết hợp với nhau để tạo nên các chất như thế nào. Việc áp dụng cơ học lượng tử vào [hóa học](#) được gọi là [hóa học lượng tử](#). Cơ học lượng tử có thể cho phép nhìn sâu vào các quá trình liên kết hóa học bằng việc cho biết các [phân tử](#) ở các trạng thái có lợi về năng lượng như thế nào so với các trạng thái thái và làm sao mà chúng khác nhau. Phần lớn các tính toán được thực hiện trong [hóa học tính toán](#) dựa trên cơ học lượng tử.

Rất nhiều các [công nghệ](#) hiện đại sử dụng các thiết bị có kích thước mà ở đó hiệu ứng lượng tử rất quan trọng. Ví dụ như là [laser](#), [transistor](#), [hiển vi điện tử](#), và [chụp công hưởng từ hạt nhân](#).

Nghiên cứu về [chất bán dẫn](#) dẫn đến việc phát minh ra các [đi-ốt](#) và [transistor](#), đó là những linh kiện điện tử không thể thiếu trong xạ hội hiện đại.

Các nhà nghiên cứu hiện đang tìm kiếm các phương pháp để can thiệp vào các trạng thái lượng tử. Một trong những cố gắng đó là [mật mã lượng tử](#) cho phép truyền [thông tin](#) một cách an toàn. Mục đích xa hơn là phát triển các [máy tính lượng tử](#), có thể thực hiện các tính toán nhanh hơn các máy tính hiện nay rất nhiều lần. Một lĩnh vực khác đó là [viễn tải lượng tử](#) có thể cho phép truyền các trạng thái lượng tử đến những khoảng cách bất kỳ.

[sửa] Hệ quả triết học của cơ học lượng tử

Ngay từ đầu, các kết quả ngược với cảm nhận con người bình thường của cơ học lượng tử đã gây ra rất nhiều các cuộc tranh luận [triết học](#) và nhiều cách [giải thích khác nhau về cơ học lượng tử](#). Ngay cả các vấn đề cơ bản như là các quy tắc [Max Born](#) liên quan đến [biên độ xác suất](#) và [phân bố xác suất](#) cũng phải mất đến hàng thập kỷ mới được thừa nhận.

[Giải thích Copenhagen](#), chủ yếu là do [Niels Bohr](#) đưa ra, là cách giải thích mẫu mực về cơ học lượng tử từ khi lý thuyết này được đưa ra lần đầu tiên. Theo cách giải thích của trường phái này thì bản chất xác suất của các tiên đoán của cơ học lượng tử không thể được giải thích dựa trên một số lý thuyết tất định, và không chỉ đơn giản phản ánh kiến thức hữu hạn của chúng ta. Cơ học lượng tử cho các kết quả có tính xác suất vì vũ trụ mà chúng ta đang thấy mang tính xác suất chứ không phải là mang tính tất định.

Bản thân [Albert Einstein](#), một trong những người sáng lập lý thuyết lượng tử, cũng không thích tính bất định trong các phép đo vật lý. Ông bảo vệ ý tưởng cho rằng có một [lý thuyết biến số ẩn cục bộ](#) nằm đằng sau cơ học lượng tử và hệ quả là lý thuyết hiện tại chưa phải là hoàn thiện. Ông đưa ra nhiều phản đề đối với lý thuyết lượng tử, trong số đó thì [nghịch lý EPR](#) (nghịch lý do Albert Einstein, [Boris Podolsky](#), và [Nathan Rosen](#) đưa ra) là nổi tiếng nhất. [John Bell](#) cho rằng nghịch lý EPR dẫn đến các sự sai khác có thể được kiểm nghiệm bằng thực nghiệm giữa cơ học lượng tử và lý thuyết biến số ẩn cục bộ. Thí nghiệm đã được tiến hành và khẳng định cơ học lượng tử là đúng và thế giới thực tại không thể được mô tả bằng các biến số ẩn. Tuy nhiên, việc tồn tại các [kẻ hở Bell](#) trong các thí nghiệm này có nghĩa là câu hỏi vẫn chưa được giải đáp thỏa đáng.

Xem thêm: [tranh luận Bohr-Einstein](#)

Cách [giải thích đa thế giới](#) của [Hugh Everett](#) được đưa ra vào năm [1956](#) cho rằng tất cả các xác suất mô tả bởi cơ học lượng tử xuất hiện trong rất nhiều thế giới khác nhau, cùng tồn tại song song và độc lập với nhau. Trong khi đa thế giới là tất định thì chúng ta nhận được các tính chất bất định cho bởi các xác suất bởi vì chúng ta chỉ quan sát được thế giới mà chúng ta tồn tại mà thôi.

[Giải thích Bohm](#), do [David Bohm](#) đưa ra, đã thừa nhận sự tồn tại của các hàm sóng phổ quát, phi cục bộ. Hàm sóng này cho phép các hạt ở xa nhau có thể tương tác tức thời với nhau. Dựa trên cách giải thích này Bohm lý luận rằng bản chất sâu xa nhất của [thực tại](#) vật lý không phải là tập hợp các vật thể rời rạc như chúng ta thấy mà là một thực thể thống nhất năng động, không thể

phân chia, và bất diệt. Tuy nhiên cách giải thích của Bohm không được phổ biến trong giới vật lý vì nó được coi là không tinh tế.

[sửa] Lịch sử cơ học lượng tử



Hình 2: [Max Planck](#), cha đẻ của lý thuyết lượng tử.

Bài chính: [Giải Nobel về vật lý](#)

Năm [1900](#), [Max Planck](#) đưa ra ý tưởng là năng lượng phát xạ bị lượng tử hóa để giải thích về sự phụ thuộc của năng lượng phát xạ vào tần số của một [vật đen](#). Năm [1905](#), Einstein giải thích [hiệu ứng quang điện](#) dựa trên ý tưởng lượng tử của Planck nhưng ông cho rằng năng lượng không chỉ phát xạ mà còn hấp thụ theo những lượng tử mà ông gọi là [quang tử](#). Năm [1913](#), Bohr giải thích [quang phổ vạch](#) của [nguyên tử hydrogen](#) lại bằng giả thuyết lượng tử. Năm [1924](#) [Louis de Broglie](#) đưa ra lý thuyết của ông về sóng vật chất.

Các lý thuyết trên, mặc dù thành công trong giải thích một số thí nghiệm nhưng vẫn bị giới hạn ở tính [hiện tượng luận](#): chúng không được chứng minh một cách chặt chẽ về tính lượng tử. Tất cả các lý thuyết đó được gọi là *lý thuyết lượng tử cổ điển*.

Thuật ngữ "vật lý lượng tử" lần đầu tiên được dùng trong bài *Planck's Universe in Light of Modern Physics* của Johnston (Vũ trụ của Planck dưới ánh sáng của vật lý hiện đại).

Cơ học lượng tử hiện đại được ra đời năm [1925](#), khi [Heisenberg](#) phát triển [cơ học ma trận](#) và [Schrödinger](#) sáng tạo ra [cơ học sóng](#) và [phương trình Schrödinger](#). Sau đó, Schrödinger chứng minh rằng hai cách tiếp cận trên là tương đương.

Heisenberg đưa ra [nguyên lý bất định](#) vào năm [1927](#) và [giải thích Copenhagen](#) cũng hình thành vào cùng thời gian đó. Bắt đầu vào năm [1927](#), [Paul Dirac](#) thống nhất [lý thuyết tương đối hẹp](#) với cơ học lượng tử. Ông cũng là người tiên phong sử dụng lý thuyết toán tử, trong đó có [ký hiệu Bra-ket](#) rất hiệu quả trong các tính toán như được mô tả trong cuốn sách nổi tiếng của ông xuất bản năm [1930](#). Cũng vào khoảng thời gian này [John von Neumann](#) đã đưa ra cơ sở toán học chặt

chế cho cơ học lượng tử như là một lý thuyết về các toán tử tuyến tính trong không gian Hilbert. Nó được trình bày trong cuốn sách cũng nổi tiếng của ông xuất bản năm [1932](#). Các lý thuyết này cùng với các nghiên cứu khác từ thời kỳ hình thành cho đến nay vẫn đứng vững và ngày càng được sử dụng rộng rãi.

Lĩnh vực [hóa học lượng tử](#) được phát triển của những người tiên phong là [Walter Heitler](#) và [Fritz London](#). Họ đã công bố các nghiên cứu về [liên kết hóa trị](#) của [phân tử hydrogen](#) vào năm [1927](#). Sau đó, hóa học lượng tử được phát triển rất mạnh trong đó có [Linus Pauling](#).

Đầu năm 1927, các cố gắng nhằm áp dụng cơ học lượng tử vào các lĩnh vực khác như là các hạt đơn lẻ dẫn đến sự ra đời của [lý thuyết trường lượng tử](#). Những người đi đầu trong lĩnh vực này là [Paul Dirac](#), [Wolfgang Pauli](#), [Victor Weisskopf](#) và [Pascaul Jordan](#). Lĩnh vực này cực thịnh trong lý thuyết [điện động lực học lượng tử](#) do [Richard Feynman](#), [Freeman Dyson](#), [Julian Schwinger](#) và [Sin-Itiro Tomonaga](#) phát triển vào những năm [1940](#). Điện động lực học lượng tử là lý thuyết lượng tử về [điện tử](#), [phản điện tử](#) và [điện từ trường](#) và đóng vai trò quan trọng trong các lý thuyết trường lượng tử sau này.

[Hugh Everett](#) đưa ra giải thích đa thế giới vào năm [1956](#).

Lý thuyết [sắc động lực học lượng tử](#) được hình thành vào đầu những năm [1960](#). Lý thuyết này do [Politzer](#), [Gross](#) và [Wilzcek](#) đưa ra vào năm [1975](#). Dựa trên các công trình tiên phong của Schwinger, [Peter Higgs](#), Goldstone và những người khác, [Sheldon Lee Glashow](#), [Steven Weinberg](#) và [Abdus Salam](#) đã độc lập với nhau chứng minh rằng lực tương tác yếu và sắc động lực học lượng tử có thể kết hợp thành một [lực điện-yếu](#) duy nhất.