

TINH THỂ THỜI GIAN

GS Cao Chi

Tinh thể thời gian (time crystals) là trạng thái mới của vật chất chứa những cấu hình hoạt động tương tự như trong các đồng hồ. Tinh thể thời gian có thể giúp chúng ta hiểu thêm vũ trụ và lỗ đen từ một khía cạnh khác? Giúp chúng ta hiểu vật chất một cách khác hoặc mở rộng tầm nhìn về vật chất? Nếu cơ chế tinh thể thời gian là một cơ chế phổ quát trong vũ trụ thì *tinh thể thời gian* có thể là một quan điểm nhận thức mới về vũ trụ?

Tinh thể thời gian là gì?

Năm 2012, Frank Wilczek (Giải Nobel Vật lý năm 2004 về tương tác mạnh) đã đưa khái niệm mới - tinh thể thời gian vào vật lý. Bản thân ông đã rất ngạc nhiên về các trạng thái mới của vật chất có những đối xứng trong thời gian, tương tự như các tinh thể thông thường có đối xứng trong không gian.

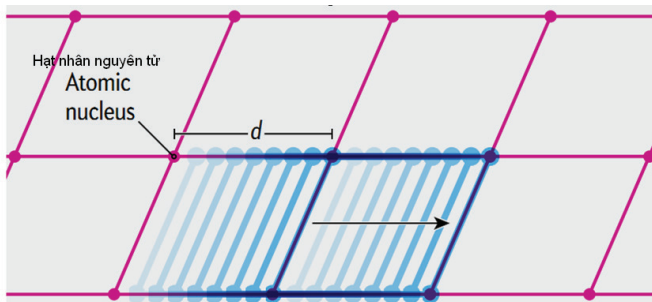
Như ta biết, tinh thể với những nguyên tử hay phân tử có cấu trúc lặp lại làm cho các chất rắn ổn định và cứng. Tinh thể có cấu trúc lặp lại, trong ngôn ngữ vật lý người ta gọi là tinh thể bị vi phạm đối xứng không gian tự phát (ý nói đáng lý phải có sự dịch chuyển toàn phần thì tinh thể chỉ có sự dịch chuyển từng đoạn một).

Tinh thể thời gian là một khái niệm hoàn toàn mới. Đó là những trạng thái vật chất mà hình thể lặp lại theo những khoảng thời gian (thay vì theo những khoảng không gian). Đó là các hệ trong đó đối xứng thời gian bị vi phạm tự phát.

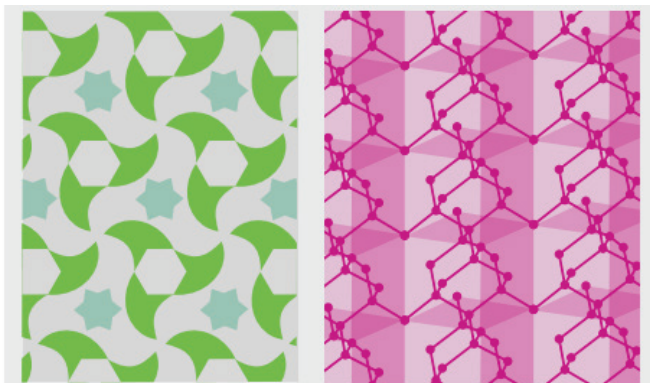
Khái niệm tinh thể thời gian xuất hiện năm 2012 nhưng đến năm 2017 các nhà vật lý mới lần đầu tiên khám phá những chất liệu mới về tinh thể thời gian. Các khám phá này có ý nghĩa rất quan trọng đối với máy tính lượng tử trong tương lai, giúp chúng hoạt động ở mức độ phức tạp và ổn định cao hơn nhờ khai thác các quy luật của động lực học lượng tử. Ngoài ra, công nghệ này cũng được dùng để chế tạo nhiều loại đồng hồ lượng tử mới có độ chính xác cao.

Dịch chuyển thời gian sau đây được ghi là τ và được gọi là *tau* (chữ Hy Lạp). Các tinh thể được đặc trưng bởi khoảng cách d , vậy các tọa độ sẽ là nd . Khi chúng ta dịch chuyển tinh thể khoảng cách d thì tinh thể trùng lại với chính nó. Như vậy tinh thể có một đối xứng hạn chế về dịch chuyển (không dịch chuyển một khoảng bất kỳ được - hình 1).

Ta nói rằng đối xứng dịch chuyển tổng quát bị phá vỡ dẫn đến một dịch chuyển hạn chế hơn đặc trưng bởi d . Tinh thể có 2, 3 chiều. Chúng có thể có các đối xứng riêng quay hoặc tịnh tiến (hình 2).



Hình 1. Đối xứng của tinh thể.



Hai chiều (đền Alhambra)

Ba chiều (tinh thể kim cương)

Hình 2. Đối xứng tinh thể trong 2 và 3 chiều.

GS Wilczek nhận định rằng, có thể nới rộng số chiều lên 4 chiều không - thời gian. Hai câu hỏi từ đó có thể phát sinh: các tinh thể trong không thời gian có thể miêu tả những hệ nào trong thế giới thực tại? và những hình loại (pattern) đó có cho phép chúng ta xác định các trạng thái của vật chất hay không?

Những hiện tượng gì có thể quy về hiện tượng tinh thể thời gian? Đó là: Trái đất lặp lại hướng trong không gian qua từng chu kỳ thời gian khoảng 1 ngày, hệ Trái đất - Mặt trời lặp lại cấu hình từng chu kỳ thời gian khoảng 1 năm. Các đồng hồ cũng lặp lại cấu hình liên hồi. Các đồng hồ nguyên tử đã có độ chính xác cao song chúng ta vẫn có thể tăng thêm độ chính xác nhờ sử dụng tinh thể thời gian.

Phá vỡ đối xứng tự phát

Khi một chất lỏng hoặc khí biến thành tinh thể thì đối xứng sẽ bị thu hẹp lại. Hiện tượng giảm đối xứng này sinh ra vì sự giảm nhiệt độ và không cần một tác động ngoại lai nào khác. Ta có thể nói rằng, khi chất lỏng biến thành tinh thể, vật chất đã phá vỡ đối xứng dịch chuyển một cách “tự phát” (đó là một

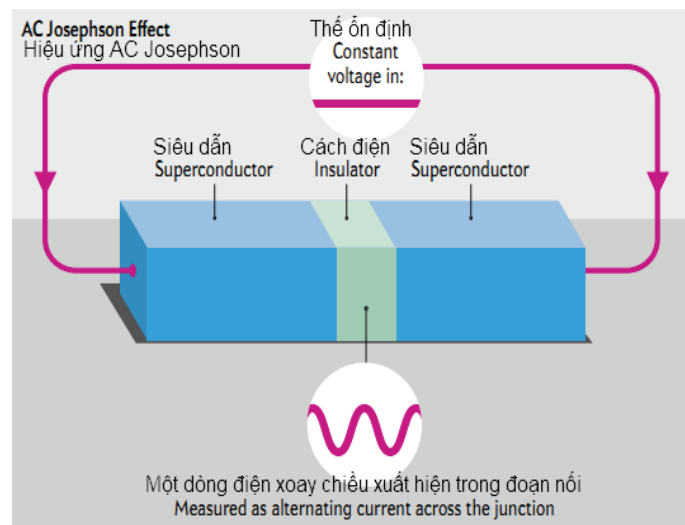
chuyển pha mạnh). Sự chuyển pha này kèm theo bức xạ năng lượng (dưới dạng nhiệt năng) và chúng ta có thể biết trước.

Ta thấy phát sinh 3 đặc trưng: đối xứng bị thu hẹp, một chuyển pha mạnh và một đặc trưng khác là độ cứng rắn. Căn cứ vào 3 đặc trưng đó, có thể thấy bản chất sâu xa của hiện tượng là do các nguyên tử muốn rơi vào một cấu hình với năng lượng thuận lợi hơn.

Wilczek cho rằng τ cũng có thể bị phá vỡ tự phát. Đó là hiện tượng xảy ra trong các tinh thể thời gian. Năm 2012 Wilczek (cùng với Shapere) đã công bố công trình, đưa vào vật lý lý thuyết khái niệm tinh thể thời gian: tinh thể thời gian là hệ trong đó τ bị phá vỡ đối xứng tự phát. Ở đây, chúng ta phải sử dụng định lý I Noether: τ cơ bản gắn với bảo toàn năng lượng. Khi một hệ phá vỡ đối xứng τ thì năng lượng không bảo toàn. Phá vỡ đối xứng tự phát xảy ra là cần thiết về mặt năng lượng. Hãy tưởng tượng, viên kim cương tưởng là vĩnh cửu song dưới nhiệt độ rất cao cũng biến thành tro, thậm chí có thể thành những lỗ đen vi mô dưới tác động của thăng giáng lượng tử.

Tinh thể thời gian thế hệ trước và sau

Hiệu ứng AC Josephson (lấy tên nhà vật lý Brian Josephson) cho ta hình ảnh một gia đình các tinh thể thời gian. Hiệu ứng xảy ra khi áp đặt một hiệu thế V lên đoạn nối 2 vật liệu siêu dẫn (hình 3). Trong thí nghiệm này, ta quan sát được một dòng điện xoay



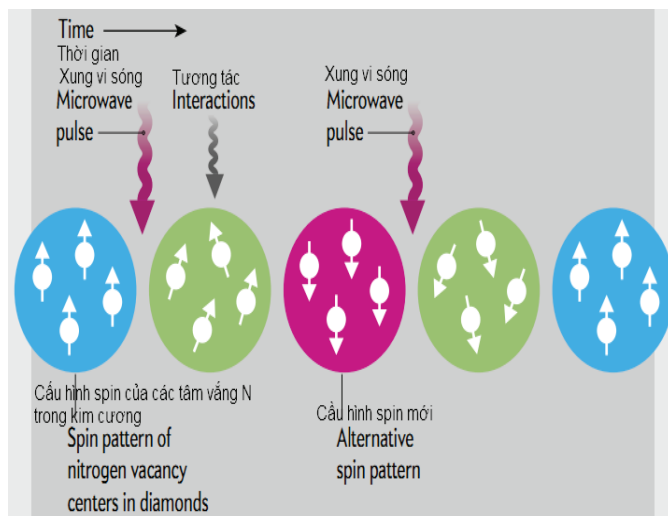
Hình 3. Hiệu ứng Josephson.

chiều tần số $2eV/h$ chạy qua đoạn nối. Đối xứng τ bị thu hẹp về một đối xứng τ nhỏ hơn với tần số $h/2eV$. Hiệu ứng AC Josephson là một phạm trù cho khái niệm tinh thể thời gian. Chú ý, để nuôi V phải có ắc quy, như vậy khi ắc quy chạy thì nhiệt năng tỏa ra.

Nếu thay siêu dẫn bằng siêu chảy ta cũng có thể thu được kết quả tương tự. Những tinh thể thời gian kiểu AC Josephson được gọi là tinh thể thời gian thế hệ trước. Những tinh thể thời gian từ 2017 được gọi là tinh thể thời gian mới.

Tháng 3/2017, Christopher Monroe (Đại học Maryland, Mỹ) đã tạo nên tinh thể thời gian gồm một dãy ions ytterbium (Yb) bằng cách sử dụng tia laser, nam châm, gương, thiết bị quang học, tác động lên các nguyên tử, khiến chúng dao động cùng nhau, sau đó tách riêng những nguyên tử riêng lẻ, bẫy chúng bằng điện từ, chuyển sang buồng chân không và chiếu chúng bằng tia laser.

Tháng 8/2017, Mikhail Lukin và cộng sự (Đại học Harvard, Mỹ) đã tạo nên tinh thể thời gian bằng cách tác động lên mạng kim cương những xung laser có chu kỳ. Giữa các xung thì spin tiếp tục tương tác với nhau. Toàn hệ thu được một cấu hình chu kỳ, song chu kỳ này khác với chu kỳ của các xung laser. Nói cách khác, hệ đã vi phạm đối xứng tự phát (hình 4).



Hình 4. Thí nghiệm Lukin.

*Spin là lượng chuyển động quay mà một vật có, xét cả khối lượng và hình dạng của nó. Đây còn được gọi là moment động lượng của một vật.

Các thí nghiệm nêu trên đã mở ra hướng tạo vật liệu mới trong vật lý, song nhiều vấn đề đã được đặt ra: cần nối rộng phạm trù này đến nhiều hiện tượng trong thiên nhiên; cần xét phối hợp sự vi phạm tự phát của không gian và thời gian; cũng cần xét đến các quasicrystals (tinh thể chưa được xếp hạng theo cấu hình lặp lại) như chất lỏng, kính thời gian (time glass), chất liệu có độ cứng (rigidity) lẫn các lệch chuẩn nhỏ.

VỀ τ TRONG VŨ TRỤ VÀ LỖ ĐEN

Sự ổn định nhất định nào đó dẫn đến bảo toàn τ trong vũ trụ học. Trong các mô hình, các nhà thiên văn cho rằng vũ trụ bảo toàn đối xứng thời gian. Song chúng ta đã biết vũ trụ đang dần nở, mô hình trạng thái vững (steady-state) cho rằng vật chất luôn tạo ra làm cho mật độ trung bình của vũ trụ dường như không thay đổi. Song mô hình vững đó có thể không sống sót với thời gian. Vũ trụ hiện nay khác với vũ trụ 13,7 tỷ năm trước. Trong ý nghĩa đó τ có thể tự phát bị phá vỡ về toàn cục. Nhiều nhà vũ trụ học cho rằng, vũ trụ chúng ta là một vũ trụ chu kỳ (cyclic universe). Những ý tưởng đó gắn với ý tưởng về tinh thể thời gian. Có thể chăng bản thân không - thời gian dưới những điều kiện áp suất, nhiệt độ cao cũng mất đi τ - nghĩa là mất đi dịch chuyển thời gian?

Như thế tinh thể thời gian có thể giúp chúng ta hiểu thêm vũ trụ và lỗ đen từ một khía cạnh khác? Giúp chúng ta hiểu vật chất một cách khác hoặc mở rộng tầm nhìn của chúng ta về vật chất? Nếu cơ chế tinh thể thời gian là một cơ chế phổ quát trong vũ trụ thì **tinh thể thời gian** có thể là một quan điểm nhận thức mới về vũ trụ?

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Frank Wilczek (2019), "The exquisite precision of time crystals", *Scientific American*, **11**, pp.31.
2. Krzysztof Sacha and Jakub Zakrzewski (2018), "Time crystals: A review", *Reports on Progress in Physics*, **81(1)**, article No.016401.