

CÁC CẶP FERMION KHÔNG CÓ TÍNH SIÊU CHẢY

Những năm gần đây, các nhà vật lý nhận ra rằng các fermion (ví dụ như các điện tử) có thể biểu hiện tính siêu chảy vì khả năng kết cặp của chúng ở nhiệt độ rất thấp. Giờ đây, một nhóm các nhà khoa học Mỹ đã chứng minh được rằng nếu một

Những năm gần đây, các nhà vật lý nhận ra rằng các fermion (ví dụ như các điện tử) có thể biểu hiện tính siêu chảy vì khả năng kết cặp của chúng ở nhiệt độ rất thấp. Giờ đây, một nhóm các nhà khoa học Mỹ đã chứng minh được rằng nếu một hỗn hợp các fermion được tạo ra với phần lớn ở cùng một trạng thái spin, chúng có thể đến để kết cặp mà không xử sự giống như một chất siêu chảy một chút nào.

Khám phá này cho phép ta có một cái nhìn thấu suốt đầy đủ hơn rất nhiều về các chất siêu dẫn nhiệt độ cao, cái mà có dính dáng tới sự kết cặp nhưng thường xuyên quá phức tạp để nghiên cứu một cách trực tiếp (Theo các kết quả vừa công bố trên Science 316 867).

Các hạt được chia làm hai loại: hạt boson với giá trị spin nguyên và fermion với giá trị spin bán nguyên. Khi bị làm lạnh gần tới nhiệt độ không tuyệt đối, các hạt boson toàn bộ sẽ rơi vào trạng thái cơ bản (ground state), sau đó sẽ trải qua một chuyển pha tập thể vào một pha đặc biệt gọi là ngưng tụ Bose-Einstein (Bose-Einstein condensate: BEC). Khi ở trạng thái ngưng tụ Bose-Einstein BEC, các hạt boson di chuyển như một cố kết toàn bộ, biểu hiện một hiệu ứng lượng tử vĩ mô khác thường, ví dụ như sự siêu chảy.

Hình ảnh về các cặp Cooper (Ảnh: VattlyVietNam)

Mặc dù cơ học lượng tử cấm bất kỳ hai fermion chiếm giữ cùng một trạng thái lượng tử, trong một điều kiện nào đó, chúng có thể tiếp tục ngưng tụ vào trạng thái BEC bằng cách kết cặp dưới lực hút và vì vậy coi giống như là các boson spin nguyên. Sự kết cặp là mạnh nhất khi các trạng thái spin của hai fermion trong một cặp là khác nhau (ngược hướng nhau) – các điện tử, cho ví dụ, tạo nên các cặp “Cooper” khi chúng ở trạng thái spin “up” and “down”, tức là “hướng lên” và “hướng xuống”. Bởi vì các electron tích điện, nên dòng siêu chảy của chúng cũng sẽ tạo nên dòng siêu dẫn, một tính chất quan trọng miêu tả bởi lý thuyết Bardeen Cooper Schrieffer (BCS theory).

Tuy nhiên, trạng thái siêu chảy sẽ trở nên ít phổ biến hơn trong hệ nếu tỉ số các trạng thái spin của các fermion là thiếu cân bằng. Khám phá này được phát hiện năm ngoái (2006) bởi một nhóm các nhà khoa học ở Học viện công nghệ Massachusetts (MIT)-Mỹ, được lãnh đạo bởi Wolfgang Ketterle, người đã sử dụng trường điện từ tần số radio để chuyển mật độ các trạng thái spin trong một chất khí siêu lạnh của các nguyên tử fermion trung hòa (neutral fermionic atoms) – một hệ đơn giản hơn nhiều để nghiên cứu so với sự siêu dẫn của khí điện tử.

Họ đã thấy rằng ở nhiệt độ đủ thấp, chất khí bị chia ra thành hai vùng: vùng thiếu số các trạng thái spin kết cặp ở lõi chất khí với với số lượng bằng với số lượng các fermion từ các trạng thái spin đa số, như vậy xử sự như một chất siêu chảy; và vùng phần dư còn lại của các trạng thái spin đa số sẽ được rời ra tập trung xung quanh phía lớp bên ngoài.

Giản đồ bất cân bằng - nhiệt độ mô tả giới hạn Chandrasekhar – Clogston được biết để ngăn cản trạng thái siêu chảy (Theo Science 316 867).

Giờ đây, cũng nhóm đó của MIT đã nhìn thấy những gì xảy ra nếu như tỉ số các trạng thái spin fermion là cực kỳ thiếu cân bằng. Để làm điều này, họ chuẩn bị một hỗn hợp các nguyên tử lithium-6 (các fermion) với 95% các hạt cùng một trạng thái spin, và sau đó sử dụng phổ kế tần số

radio để đo phổ kích thích. Phổ kích thích này cho phép họ tìm kiếm các nguyên tử liên kết thành cặp, cái mà được làm nổi bật lên bởi một đỉnh đặc trưng tần số cao.

Trong hỗn hợp rất thiếu cân bằng này, cái gọi là giới hạn Chandrasekhar – Clogston được biết để ngăn cản trạng thái siêu chảy đã từng được tạo ra ở nhiệt độ thấp - và điều này quả thực được quan sát bởi Ketterle và các cộng sự. Tuy nhiên, họ đã tìm ra rằng trạng thái spin thiểu số (5%) tiếp tục liên kết cùng nhau trong các cặp. “Khi các cặp của fermion được tạo ra, chúng rất cục sẽ ngưng tụ ở nhiệt độ thấp, điều này luôn luôn xảy ra”, Ketterle nói. “Bây giờ chúng ta có một vùng nơi mà chúng vừa tạo ra và không bao giờ ngưng tụ”.

Ketterle đã thêm vào điều đó bằng cách nghiên cứu sự kết cặp của các fermion, cái mà không ngưng tụ thành một chất siêu chảy ở nhiệt độ thấp, các nhà vật lý hiếm khi có thể kiểm tra lý thuyết của một hệ mà ta có rất ít kiến thức như các chất siêu dẫn nhiệt độ cao, cái mà thể hiện sự kết cặp ở trên nhiệt độ ngưng tụ. Tuy nhiên, ông đã nói rằng khám phá này cũng sẽ tạo ra nên một câu hỏi rất khó là làm sao các fermion có thể kết cặp mà không có quá trình trở thành chất siêu chảy: “Chúng ta phải chỉ ra cái gì là ý nghĩa của sự kết cặp. Tôi không thể nói nó là kết quả của “tập quán quan hệ liên kết một vợ một chồng” hay là mỗi nguyên tử bị “hấp dẫn” bởi vài nguyên tử khác trong các trạng thái spin khác”.

Elektron