

QUAN SÁT TƯƠNG TÁC SIÊU TRAO ĐỔI TRONG HỆ NGUYÊN TỬ LẠNH VÀ MẠNG QUANG HỌC

Các nhà vật lý Đức và Mỹ đã lần đầu tiên quan sát được tương tác siêu trao đổi giữa các spin của nguyên tử trong một mạng quang học. Tương tác siêu trao đổi là một cơ chế tạo ra từ tính của một loạt các loại vật liệu, kể cả các vật liệu

Các nhà vật lý Đức và Mỹ đã lần đầu tiên quan sát được tương tác siêu trao đổi giữa các spin của nguyên tử trong một mạng quang học. Tương tác siêu trao đổi là một cơ chế tạo ra từ tính của một loạt các loại vật liệu, kể cả các vật liệu siêu dẫn nhiệt độ cao. Và nhóm nghiên cứu tin rằng kỹ thuật này giúp làm sáng tỏ cơ chế về tính chất điện tử và tính chất từ của những vật liệu này.

Tương tác siêu trao đổi (Superexchange interaction - SE) là một loại tương tác thường xảy ra giữa các spin của các điện tử trong vật liệu tinh thể. Không giống như các tương tác trao đổi thông thường khác xảy ra khi các điện tử đủ gần nhau sao cho hàm sóng của chúng phủ nhau, SE không đòi hỏi sự phủ nhau của hàm sóng. Thay vào đó, tương tác này dựa trên nguyên lý nhảy điện tử (sự nhảy ảo - virtual hopping) từ vị trí này đến vị trí khác trong một mạng tinh thể. Đây là một quá trình cơ học lượng tử mà nhờ đó, điện tử có thể chui hầm qua các vùng lân cận riêng biệt và tham gia vào vị trí lân cận đó, và chỉ cho phép chính điện tử đó hoặc điện tử ở vùng lân cận nhảy trở lại vị trí cũ sau một thời gian. Các khả năng có thể xảy ra ở đây bị chi phối bởi sự định hướng tương đối giữa các spin của điện tử. Kết quả là tương tác siêu trao đổi vừa khiến cho các spin của các điện tử lân cận hướng song song hoặc phản song song phụ thuộc chính xác vào thành phần của vật liệu.

Mười ngàn giếng thế kép

Mới đây, nhóm nghiên cứu của Immanuel Bloch (Đại học Johannes Gutenberg, Đức) cùng các cộng sự ở Đại học Harvard, và Đại học Boston (Mỹ) đã quan sát được tương tác siêu trao đổi trong một mạng quang học của các nguyên tử Rubidium siêu lạnh. Nhóm đã đặt chéo một chùm tia laser để tạo ra 10000 giếng thế kép giống nhau, mỗi giếng chứa hai nguyên tử và sắp xếp trên một đường thẳng tạo ra một mạng quang học một chiều (hình vẽ).

Hình 1. Mô hình về mạng quang học giếng thế kép một chiều.

Với mô hình mạng được thiết lập sao cho mỗi cặp nguyên tử sẽ có spin hướng theo chiều ngược nhau - tạo ra cấu hình vật liệu phản sắt từ. Sau đó, chùm laser được điều chỉnh để giảm hàng rào thế giữa các cặp nguyên tử, cho phép các điện tử có thể chui hầm giữa các giếng và do đó làm tăng tương tác siêu trao đổi. Và sau đó, phản ứng của spin của nguyên tử với sự thay đổi này được ghi nhận. Khi họ không thể quan sát từng nguyên tử riêng biệt, họ có thể đo hiệu ứng bằng cách lấy trung bình theo chiều bên trái và bên phải của spin của mỗi giếng kép.

Dao động spin

Nhóm đã quan sát được các spin dao động từ phía sau về phía trước giữa các giếng. Ví dụ, nếu nguyên tử ở bên trái của giếng bắt đầu là spin up, còn giếng bên phải là spin down, thì sau thời gian khoảng 25 ms, giếng bên trái sẽ giữ trạng thái spin down còn bên phải thì trở thành spin up. Nhóm khẳng định rằng quan sát này hoàn toàn phù hợp với những gì được mô tả trong lý thuyết về tương tác siêu trao đổi giữa các cặp nguyên tử. Bloch và các cộng sự cũng thay đổi liên kết siêu trao đổi từ phản sắt từ (thực chất trở thành tên gọi là tương tác kép - double exchange) mà có các spin song song với nhau, bằng cách nâng chiều của một giếng kép tương đối so với vị trí khác.

Hình 2. Mô hình về tương tác siêu trao đổi trong hệ nguyên tử siêu lạnh.

Bloch nói với tạp chí Physicsworld.com rằng, nhóm của ông hi vọng có thể mở rộng kỹ thuật để tạo ra mạng quang học hai chiều để cho phép nghiên cứu ở dải rộng hơn các hệ từ tính phức tạp, kể cả các tương tác phản sắt từ theo một chiều và sắt từ theo một chiều khác. Mạng quang học cũng có thể sử dụng để nghiên cứu các tính chất của một số vật liệu siêu dẫn nhiệt độ cao, được biết là có các tính chất từ liên quan đến tương tác siêu trao đổi. Các vật liệu này chứa các lớp hai chiều chồng lên nhau, và do đó một mạng quang học hai chiều sẽ rất hữu ích để hiểu các tương tác đem lại tính siêu dẫn. Bloch cũng tin rằng có thể tinh chỉnh tương tác siêu trao đổi giữa các nguyên tử trong mạng quang học để tạo ra các phần tử logic cho máy tính lượng tử.

(Xem chi tiết công trình vừa công bố trên ScienceExpress).

Vạn lý Độc hành

Theo Physicsworld.com & Science, Vật lý Việt Nam