

HIỆU ỨNG HALL SPIN LƯỢNG TỬ TRONG HGTE

Các nhà vật lý Đức và Mỹ vừa lần đầu tiên quan sát thấy những dấu hiệu đầu tiên về một hiện tượng chất rắn bất thường gọi là Hiệu ứng Hall spin lượng tử (Quantum spin Hall effect - QSHE), trong đó dòng điện tử phân cực spin ở tại rìa của chất cách điện có

Các nhà vật lý Đức và Mỹ vừa lần đầu tiên quan sát thấy những dấu hiệu đầu tiên về một hiện tượng chất rắn bất thường gọi là Hiệu ứng Hall spin lượng tử (Quantum spin Hall effect - QSHE), trong đó dòng điện tử phân cực spin ở tại rìa của chất cách điện có thể trở thành điện tử dẫn điện.

Các nhà nghiên cứu đã quan sát thấy sự dẫn điện ở rìa trong các tấm thủy ngân telurua (HgTe) mặc dù trên thực tế họ không thể khẳng định chắc chắn rằng các điện tử ở rìa có phải là spin phân cực hay không. QSHE là một hiệu ứng rất lý thú bởi nó sẽ cực kỳ hữu ích cho việc tạo ra các linh kiện spintronic, khai thác đồng thời hai thuộc tính của điện tử: điện tích và spin.

Bất kỳ ai học qua các giáo trình cơ sở vật lý đều rất quen thuộc với hiệu ứng Hall cổ điển, mà ở đó các điện tử chuyển động trong các tấm mỏng bị dịch chuyển về 2 rìa của mẫu khi có mặt của từ trường do tác dụng của lực Lorentz. Điều này tạo ra sự mất cân bằng về điện tích, dẫn đến việc sinh ra một hiệu điện thế ngang qua mẫu vật. Năm 1999, các nhà vật lý đã lần đầu tiên chỉ ra các bằng chứng về "Hiệu ứng Hall spin" mà trong đó các điện tử mang spin up và spin down bị lệch về 2 phía đối diện của một tấm bán dẫn và kết quả là tạo ra sự phân tách spin, và tạo ra một dòng spin vuông góc với chiều của dòng điện.

Hiệu ứng Hall spin lượng tử (QHSE) là một hiện tượng tương ứng (giống như hiệu ứng Hall lượng tử quan hệ tương ứng với hiệu ứng Hall cổ điển) mà được giả thiết xảy ra không phải ở các vật dẫn, nhưng trong một số các mẫu điện môi rất mỏng. Nó bao gồm các điện tử spin up dẫn điện dọc theo một rìa của điện môi cùng với các điện tử spin down dọc theo một rìa khác. Bằng dù trên toàn khối là điện môi, nhưng tính dẫn điện có thể đạt được ở các rìa do sự tương tác giữa spin với mômen động lượng quỹ đạo của điện tử (tương tác spin - quỹ đạo) làm giảm độ rộng vùng cấm (khe năng lượng giữa vùng dẫn và vùng hóa trị) cho đến 0 đối với các điện tử phân cực spin.

Mô hình hiệu ứng Hall spin lượng tử.

Năm trước, Shou-Cheng Zhang và cộng sự ở Đại học Stanford (Mỹ) đã giả thiết rằng ở các tấm rất mỏng thủy ngân telurua (HgTe) có thể có cấu trúc vùng năng lượng thích hợp cho hiện tượng này. Và Zhang đã gia nhập nhóm của Laurens Molenkamp cùng các cộng sự ở Đại học Wuerzburg (Đức) để cố gắng tìm ra những bằng chứng thực nghiệm đầu tiên về hiệu ứng này trong các giếng lượng tử HgTe - các màng mỏng HgTe với độ dày chỉ vài nanomet cho phép cầm tù các điện tử trong một cấu trúc 2 chiều (điện tử bị hạn chế 1 chiều và di chuyển tự do theo 2 chiều).

Các điện cực đã được nối vào giếng cho phép đo độ dẫn của chúng khi được làm lạnh xuống nhiệt độ khoảng 30 mK. Độ dẫn khác 0 như đã giả thiết bởi Zhang đã được quan sát thấy trong tất cả các giếng lượng tử có chiều dày từ 6,3 đến 12 nm. Vì độ dẫn không tăng theo chiều dày của giếng nên các nhà nghiên cứu đã kết luận rằng sự dẫn điện xảy ra dọc theo rìa của các giếng hơn là xảy ra trong lòng của vật liệu.

Tuy nhiên với các giếng mỏng hơn 6,3 nm lại xảy ra tính chất giống như điện môi - phù hợp với lý thuyết của Zhang, dự đoán rằng các giếng rất mỏng sẽ không thể có được cấu trúc vùng thích hợp để xảy ra QSHE. Khi nhóm đặt từ trường vào các giếng dày hơn, sự dẫn ở rìa bị biến mất - hoàn

toàn phù hợp với những gì đã được tiên đoán trong lý thuyết.

Kết quả đo độ dẫn, khe năng lượng phụ thuộc vào từ trường (Science Express).

Mặc dù họ thành công trong việc quan sát thấy sự dẫn ở rìa, nhưng nhóm vẫn không đủ bằng chứng để khẳng định rằng điện tử dẫn có phải là phân cực spin hay không. "Tất nhiên sẽ có thêm nhiều công trình cần phải làm" - Charles Kane ở Đại học Pennsylvania (Mỹ), người đã tiên đoán rằng QSHE có thể xảy ra trong các màng siêu mỏng carbon (gọi là graphene) - "Nhưng tôi không nghĩ rằng nó có thể làm giảm đi tầm quan trọng của công trình này".

Molenkamp phát biểu trên Physics World, nhóm đang khai thác khả năng làm thế nào các đầu đo từ trường SQUID có thể được tích hợp trong các giếng lượng tử để đo sự phân cực spin ở các rìa. Và bởi vì các điện tử spin phân cực được hy vọng có thể tạo ra sự mất tính dẫn điện, nên các chất điện môi có khả năng dẫn điện ở rìa có thể được sử dụng trong các linh kiện spintronic công suất thấp.

(Chi tiết trên bài báo vừa đăng trên Science Express).

Vạn lý Độc hành