

SCHEME: Nadprzewodnictwo w układach hybrydowych magnetyków i metali

Streszczenie popularnonaukowe w języku polskim

Nadprzewodnictwo jest emergentną fazą w układach oddziałujących elektronów, wykazującą makroskopowe kwantowe zachowanie z bezporowym przepływem prądów elektrycznych. Nadprzewodnictwo pojawia się wtedy, gdy elektrony, które naładowane są ujemnie, tworzą pary Coopera, pokonując wzajemne odpychanie elektrostatyczne. W niskotemperaturowych, konwencjonalnych nadprzewodnikach (obserwowanych w metalach ochłodzonych do temperatur $T < -240^{\circ}\text{C}$), temperatura przejścia T_c , poniżej której występuje nadprzewodnictwo, jest typowo bardzo niska, i mechanizm tworzenia się par Coopera wykorzystuje fonony powodujące gromadzenie się ładunku dodatniego przyciągającego elektrony. Takie fononowe nadprzewodnictwo zostało wyjaśnione w ramach teorii Bardeena-Coopera-Schrieffera (BCS). Jakkolwiek, obecnym celem jest odkrycie/wytworzenie materiałów wykazujących nadprzewodnictwo w temperaturze pokojowej. To będzie najprawdopodobnie alternatywny sposób łączenia elektronów z silniejszym niekonwencjonalnym mechanizmem parowania. W aktualnie prowadzonych badaniach, różnorodne materiały zostały zidentyfikowane, posiadające względnie wysokie T_c , gdzie spinowe wzbudzenia (kwanty znane jako magnony) uznawane są za łącznik powodujący przyciąganie między elektronami. Pomimo dużego postępu, brakuje szczegółowego zrozumienia tych materiałów ze względu na złożoną strukturę krystaliczną, efekty silnych korelacji oraz występowanie innych rodzajów porządku rywalizujących z nadprzewodnictwem. Dlatego potrzebne są nowe materiały, prostsze do modelowania i łatwe do wytworzenia, które mogą wykazywać nadprzewodnictwo. W projekcie zaproponowane zostaną układy hybrydowe złożone z magnetyku i cienkiej warstwy metalicznej, jako nowa platforma do realizacji nadprzewodnictwa z parowaniem magnetycznym i z możliwością uzyskania wysokiej wartości T_c . Takie układy hybrydowe stwarzają możliwość korzystnego odseparowania wzbudzeń spinowych i par elektronów w osobnych warstwach, umożliwiając projektowanie i optymalizację tych systemów niezależnie. Pozwoli to kontrolować przyciąganie między elektronami i sam stan nadprzewodzący. Aby zbadać pełne możliwości takich układów, rozwinięty zostanie opis teoretyczny (i) wzbudzeń spinowych i ich propagacji dla różnych stanów magnetycznych oraz (ii) sprzężenia elektron-magnon dla różnych interfejsów. Zostanie pokazany sposób kontrolowania przyciągania elektronów i tworzenia się par Coopera w warstwie metalicznej. Oprócz tego, przeprowadzone badania dostarczą istotnego zrozumienia transportu wzbudzeń spinowych w różnych stanach magnetycznych, co może doprowadzić do nowej, opartej na spinie, koncepcji przetwarzania informacji.

Otrzymana w projekcie wiedza uchyli drzwi do następujących nowych zjawisk i zastosowań:

(1) Zaprojektowanie układów do realizacji egzotycznego kondensatu nadprzewodzącego, który był do tej pory obserwowany w konkretnych złożonych układach (np. kupratach).

(2) Ustalenie koniecznej wiedzy teoretycznej do pomiarów nielokalnego transportu spinowego jako nowej techniki spektroskopowej próbkującej wzbudzenia spinowe. Jak dotąd, tylko kosztowne eksperymenty z rozpraszaniem neutronów umożliwiały takie próbkowanie.

(3) Projekt SCHEME pozwoli ustalić kluczowe czynniki, takie jak natura oddziaływania elektron-magnon i spektra wzbudzeń spinowych, które determinują transport spinowy dla różnych rodzajów wzbudzeń spinowych. Osiągnięciem projektu SCHEME będzie ustalenie koniecznej wiedzy w zakresie inżynierii egzotycznych, dostrajalnych nadprzewodników i projektowania urządzeń opartych na spinie do przetwarzania informacji. W krótszej perspektywie, otrzymane wyniki będą stanowić podstawę dla eksperymentów pozwalających zrealizować obydwa szerokie cele. Przykładowo, zastosowanie nielokalnego transportu jako metody spektroskopii wzbudzeń spinowych dostarczy nowego skutecznego narzędzia do rozwoju pokrewnych dziedzin, takich jak ciecze spinowe. W dłuższej perspektywie, sukces projektu SCHEME może doprowadzić do eksperymentalnej realizacji dostrajalnych nadprzewodników, które znajdą szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach badań, takich jak nadprzewodząca spintronika, silnie skorelowane układy i kwantowe obliczenia z nadprzewodzącymi kubitami.