

Chmura Kondo w molekułach magnetycznych sprzężonych z nadprzewodnikiem

Fizyka kwantowa całkowicie zrewolucjonizowała nasze rozumienie wszechświata w ciągu ostatniego stulecia. Niemniej jednak, kwantowe zjawiska i korelacje w materii, z bardzo nielicznymi wyjątkami, takimi jak nadprzewodnictwo, istnieją w niezwykle małych skalach długości i czasu, co czyni je niezmiernie wymagającymi, jeżeli chodzi o badania eksperymentalne. Dlatego też bezpośrednie wykrycie i zbadanie korelacji kwantowych w większych skalach jest nieodzowne dla głębszego zrozumienia tych aspektów fizyki kwantowej. Jednym z ciekawszych zjawisk, w którym korelacje kwantowe występują w stosunkowo dużej skali długości, jest efekt Kondo. To wielociałowe zjawisko polega na ekranowaniu spinu domieszki magnetycznej przez elektrony przewodnictwa w materiałach makroskopowych, jak również w strukturach mezoskopowych. Ekranowanie objawia się poprzez tworzenie chmury kwantowo skorelowanych elektronów przewodnictwa; zwanej chmurą Kondo, która według przewidywań może osiągać skale długości rzędu mikrometrów. Po wielu latach nieudanych prób wykrycia chmury Kondo, Ivan V. Borzenets et al. [Nature 579, 210 (2020)] potwierdził ostatnio jej istnienie wykorzystując oscylacje Fabry'ego-Perota w układzie mezoskopowym. To przełomowe osiągnięcie otwiera drogę do badania właściwości przestrzennych silnie skorelowanych stanów w układach nanoskopowych. W szczególności, otwiera to pole do dalszych badań nad zachowaniem się chmury Kondo w różnych układach mezoskopowych, takich jak złącza molekularne, nanodruki czy tranzystory jednoelektronowe. Badania teoretyczne takich układów są kluczowe do dalszego rozwoju badań eksperymentalnych oraz do poszerzenia wiedzy dotyczącej układów, których własności są determinowane silnymi korelacjami elektronowymi.

Głównym celem niniejszego projektu jest zatem wypełnienie nowo powstałej luki w wiedzy na temat wiarygodnych przewidywań teoretycznych, szczególnie w kontekście molekuł, charakteryzujących się dużym spinem, przyłączonych do elektrod nadprzewodzących. Warto zwrócić uwagę na znaczenie wprowadzenia korelacji nadprzewodzących do układu, które znacznie wpływają na jego własności, np.: gdy domieszka o spinie połówkowym jest dołączona do nadprzewodnika, pojawia się kwantowe przejście fazowe pomiędzy fazą ekranowaną i nieekranowaną, gdy przerwa energetyczna nadprzewodnika staje się porównywalna z temperaturą Kondo. Co ciekawe, w takim przypadku wykazano, że chmura Kondo istnieje nawet dla takiej fazy układu, w której zjawisko Kondo nie zachodzi. Niniejszy projekt dostarczy nowej wiedzy na temat przestrzennych własności korelacji Kondo w przypadku molekuł magnetycznych o dużym spinie, takich jak molekularne magnetyki, dołączonych do nadprzewodzących elektrod. Molekuły takie, w przeciwieństwie do prostych układów kropek kwantowych, posiadają dodatkowe parametry wewnętrzne, takie jak oddziaływanie wymienne i anizotropia magnetyczna, które mogą w znacznym stopniu wpływać na procesy ekranowania, a tym samym na chmurę Kondo. Realizacja tego projektu przyczyni się do głębszego zrozumienia wpływu oddziaływania wymiany oraz oddziaływania spinowo-orbitalnego na przestrzenne zachowanie się korelacji Kondo w badanych układach.

Badania zostaną przeprowadzone z wykorzystaniem nowoczesnych technik obliczeniowych opartych o metody grupy renormalizacji. Metody te pozwalają na uzyskanie bardzo dokładnych wyników i przewidywań dotyczących własności rozpatrywanych hybrydowych nanostruktur. W ten sposób, projekt przyczyni się do pełniejszego zrozumienia fundamentalnych aspektów silnie skorelowanych stanów w układach domieszek kwantowych, co może przyczynić się do wzmożenia badań doświadczalnych tego typu układów. Ponadto, wiedza o korelacjach przestrzennych uzyskana w niniejszym projekcie przyczyni się do dalszego rozwoju nanoelektroniki, elektroniki molekularnej, spintroniki molekularnej, czy też kwantowych technologii informacyjnych. W tym kontekście, szczególnie duże możliwości tkwią w rozwoju nowych nanotechnologii, ukierunkowanych na przechowywanie i przetwarzanie informacji kwantowej.