

Abstrakt pracy doktorskiej

Wpływ oddziaływań spinowo-orbitalnych na stany związane w nadprzewodnikach

Szczepan Głodzik

promotor: prof. dr hab. Tadeusz Domański

Stany związane w nadprzewodnikach, indukowane przez klasyczne domieszki magnetyczne pojawiły się w literaturze po raz pierwszy pod koniec lat sześćdziesiątych ubiegłego wieku. Zainteresowanie tym tematem ostatnimi czasy wzrosło, za sprawą propozycji uzyskania faz topologicznych poprzez oddziaływanie pasma Yu-Shiby-Rusinova, pochodzącego od grupy domieszek, z nadprzewodzącym podłożem w obecności sprzężenia spinowo-orbitalnego.

W poniższej pracy przeanalizowano rozmaite efekty uzyskane poprzez oddziaływanie sprzężenia spin-orbita i stanów Yu-Shiby-Rusinova. Wykazano, że taka interakcja na sieci trójkątnej, może zwiększyć przestrzenny zasięg stanów związanych, a także wpływa na wartość sprzężenia domieszki, koniecznego do zajęcia kwantowego przejścia fazowego, charakterystycznego dla stanów Shiby.

Inny typ oddziaływania spin-orbita, odpowiedzialny za istnienie kwantowego spinowego efektu Halla w sieciach typu plastra miodu, okazał się mieć negatywny wpływ na zasięg funkcji falowej stanu związanego i znacznie zwiększać krytyczne sprzężenie domieszki. Dodatkowo odwrócenie kierunku prądu indukowanego wokół domieszki jest znacznie zmodyfikowane poprzez obecność dodatkowych stanów związanych w przerwie.

Indukowanie faz topologicznych wymaga obecności pasma Shiby, a co za tym idzie więcej niż jednej domieszki. Przeanalizowano układ klasycznych domieszek magnetycznych, których momenty magnetyczne ułożone są ferromagnetycznie w płaszczyźnie nadprzewodzącej próbki. W obecności sprzężenia spin-orbita typu Isinga, charakterystycznego dla dichalkogenków metali przejściowych, układ przechodzi do fazy topologicznego nadprzewodnictwa węzłowego. Pomiedzy węzłami, czyli punktami w przestrzeni pędów, dla których zamyka się przerwa nadprzewodząca, pojawiają się płaskie pasma Majorany, a co za tym idzie, na brzegu układu indukowane są zlokalizowane stany Majorany o zerowej energii. Są to egzotyczne kwazicząstki, będące swoimi własnymi antycząstkami.

Jeżeli momenty magnetyczne domieszek, składających się na wyspę Shiby, są skierowane prostopadle do płaszczyzny nadprzewodnika, oddziaływanie spin-orbita typu Rashby sprawia, że realizuje się chiralne nadprzewodnictwo – układ, w którym pary Coopera mają skończony moment pędu. Pokazano, że połączenie dwu materiałów van der Waalsa – CrBr_3 i NbSe_2 prowadzi do zaindukowania topologicznej fazy nadprzewodzącej, charakteryzowanej liczbą Cherna $C = 3$. Na brzegu wyspy domieszek pojawia się wtedy stan brzegowy – jednowymiarowy chiralny mod Majorany.

Złącza Josephsona, w których barierę tunelową stanowi półprzewodnik z oddziaływaniem spin-orbita, mogą być sterowane różnicą faz między nadprzewodzącymi elektrodami i wprowadzone w fazę nietrywialną topologicznie. W obszarze stanowiącym barierę pojawiają się wtedy stany Majorany, podobne do tych znajdujących w nanodrutach. Pokazano, że obecność topologicznych stanów brzegowych może być sprawdzona dzięki polaryzacji Majorany – zespolonej wersji gęstości stanów i udowodniono, że wartość bezwzględna tej wielkości jest proporcjonalna do spinowo selektywnego prądu Andreeva. Wykazano także tendencję do lokalizacji stanu Majorany w pobliżu elektrostatycznej domieszki umieszczonej blisko brzegu układu.

Lublin 25.05.2020

Szczepan Głodzik