

Instytut Fizyki Molekularnej Polskiej Akademii Nauk



Rozprawa doktorska

Rozdzielanie i detekcja kwantowego splątania par Coopera

mgr inż. Damian Tomaszewski

Promotor: prof. dr hab. Jan Martinek

Zakład Nadprzewodnictwa i Przemian Fazowych

Poznań 2015

Streszczenie

W rozprawie doktorskiej przedstawiono badania i analizy teoretyczne związane z rozwojem wysoko wydajnego i stałego źródła rozdzielonych przestrzennie, splątanych kwantowo spinów elektronów w układzie ciało-stalowym, a także nanourządzeń, które pozwolą na skuteczne wykrywanie i analizę własności elektronowych stanów splątanych. Takie źródło, zintegrowane z innymi elementami elektronicznymi i detektorami magnetycznymi, będzie mieć duże znaczenie w rozwoju przyszłych procesorów kwantowych, które mogą zapewnić, na przykład, dystrybucję stanu splątania wymaganą do synchronizacji układów kwantowych, oraz umożliwiają bezpieczną komunikację.

W niniejszych badaniach wykorzystano splątane kwantowo stany elektronów par Coopera (spinowy stan singletowy), które naturalnie występują w stanie podstawowym nadprzewodnika. Taką parę można rozdzielić korzystając z układu podwójnej kropki kwantowej połączonej z nadprzewodnikiem, gdzie ze względu na silne oddziaływanie kulombowskie dwa elektrony w parze są rozdzielone przestrzennie, kierując się do dwóch różnych kanałów wyjściowych, przy zachowaniu swojego splątania. Zbadana została teoretycznie możliwość wykorzystania magnetycznych elektrod podłączonych do kropek kwantowych, które mogą pracować jako detektory spinów elektronów zamieniając spinową informację na ładunkową, ze względu na spinowo-zależny transport elektryczny w materiałach ferromagnetycznych.

Została przeanalizowana sprawność rozdzielania par Coopera w układach, gdzie kropki kwantowe są podłączone do dwóch nadprzewodzących elektrod lub do nadprzewodzącej i dwóch normalnych elektrod. Obliczenia zostały przeprowadzone w zakresie wspóltunelowania, w którym para elektronów jednocześnie tuneluje przez cały układ. Zbadany został nowy efekt Aharonova-Casher dla par Coopera, który związany jest z efektywną precesją spinu, której podlega poruszający się moment dipolowy w polu elektrycznym na skutek obecności oddziaływania spin-orbita typu Rashby.

Zbadana została możliwość zastosowania ferromagnetycznych elektrod jako skutecznego kwantowego detektora stanu splątanego. Przedstawiono model przyszłych eksperymentów badających stan splątany elektronów z realistycznymi parametrami, w celu wyznaczenia odpowiednich warunków dla wielkości spinowej polaryzacji detektorów magnetycznych i dopuszczalnej wielkości szumów w układzie. Pokazano możliwość odczytu informacji kwantowej dotyczącej kwantowych korelacji, korzystając z klasycznych pomiarów, takich jak prąd elektryczny.

Przedstawione w pracy wyniki potwierdzają możliwość praktycznego zastosowania nadprzewodnika jako źródła splątanych kwantowo par elektronów oraz wskazują na możliwość eksperymentalnej detekcji stanu splątania kwantowego w układach ciało-stałych.