

Instytut Fizyki Molekularnej Polskiej Akademii Nauk



Rozprawa doktorska

**Korelacje spinowe i detekcja  
kwantowego splątania par Coopera  
metodą nierówności Bella i świadka  
splątania**

mgr Piotr Busz

Promotor: prof. dr hab. Jan Martinek

Promotor pomocniczy: dr inż. Damian Tomaszewski

Zakład Nadprzewodnictwa i Przemian Fazowych

Poznań 2018

# Streszczenie

W rozprawie doktorskiej przedstawione zostały studia teoretyczne nad modelami eksperymentalnego wyznaczania korelacji spinowych oraz detekcji splątania kwantowego przestrzennie rozdzielonych elektronów par Coopera.

W prezentowanych modelach zaproponowano wykorzystanie zarówno pomiarów korelacji prądów elektrycznych płynących w układzie, jak i stosunkowo prostszych do przeprowadzenia pomiarów prądu stałego. W modelu opartym na pomiarach korelacji prądów skorzystano z analizowanego wcześniej w literaturze układu do rozdzielania i detekcji splątanych elektronów, a w przypadku modelu bazującego na pomiarach prądu stałego zaproponowano modyfikację układu, wykorzystywanego do eksperymentalnego rozdzielania par Coopera. W pracy przeanalizowano różne sposoby detekcji korzystające z metody testowania nierówności Bella oraz stosunkowo nowej metody świadka splątania. Zbadano, która z nich jest bardziej efektywna dla danego układu. Przeanalizowano zachowanie układów dla różnych zakresów parametrów, w celu wskazania odpowiedniego zakresu parametrów dla detekcji splątania.

W pierwszej części rozprawy zaprezentowano model układu pozwalający na wyznaczanie korelacji spinowych oraz detekcję splątania kwantowego par Coopera z pomiarów korelacji prądów elektrycznych. Układ składa się ze źródła przestrzennie rozdzielonych splątanych elektronów, emitowanych do dwóch kanałów przewodzenia z detektorami magnetycznymi. Każdy z detektorów może mierzyć chwilowe natężenia prądów dla różnych kierunków magnetyzacji. Analizując poszczególne metody detekcji wyznaczono minimalne wartości wydajności detektorów  $p$  wymagane do poprawnej detekcji splątania pary Coopera będącej w stanie singletowym korzystając z korelacji prądów. Stosując odpowiednią optymalizację pokazano, że możliwa będzie (przy spełnieniu pewnych warunków eksperymentalnych) detekcja splątania nawet dla detektorów magnetycznych o dowolnej sprawności i określono jaką będzie wymagana minimalna liczba pomiarów korelacji prądów,

koniecznych dla poprawnej detekcji splątania pary Coopera znajdującej się w stanie singletowym.

W drugiej części rozprawy zaprezentowano model układu pozwalający na wyznaczenie korelacji spinowych oraz detekcję splątania kwantowego par Coopera z pomiarów prądu stałego. Analizowano układ wykorzystywany do rozdzielania par Coopera, w którym elektrody normalne (niemagnetyczne) zastąpiono elektrodami ferromagnetycznymi pełniącymi rolę magnetycznych detektorów. Układ ten zawiera naturalne źródło par Coopera w postaci elektrody nadprzewodzącej, a „wyciąganie” i rozdzielanie par Coopera odbywa się dzięki nielokalnemu efektowi bliskości oraz przyłączeniu podwójnej kropki kwantowej z dużą energią odpychającego oddziaływania kulombowskiego na każdej z kropek. Zbadano, czy efektywne pole wymiany związane z obecnością ferromagnetycznych elektrod oraz konfiguracje kierunków ich magnetyzacji wpływają na wartość natężenia stałego prądu elektrycznego płynącego w układzie. Wykazano, że dla pewnych optymalnych wartości parametrów układu złożona dynamika spinowa indukowana przez to pole wymiany nie zakłóca odczytu informacji o korelacjach spinowych elektronów par Coopera. Dla tego układu zaproponowano metody wyznaczenia korelacji spinowych oraz detekcji splątania kwantowego par Coopera na podstawie pomiarów natężenia prądu stałego płynącego w układzie. Porównano zakresy stosowalności różnych metod detekcji splątania. Badano jakie są wymagane minimalne wartości polaryzacji spinowych ferromagnetycznych elektrod, dla poszczególnych modeli detekcji, do wykrycia splątania par Coopera. Również dla tego układu wskazano możliwość optymalizacji metod detekcji, która może pozwolić na poprawne wykrycie splątania stosując elektrody ferromagnetyczne o dowolnej wartości polaryzacji spinowej.

Zaletą przedstawionych modeli detekcji w stosunku do wcześniejszych propozycji jest ich łatwiejsza realizacja eksperymentalna dzięki m.in. wykorzystaniu pomiarów prądu stałego i zmniejszeniu wymagań dotyczących wartości parametrów układów, takich jak na przykład sprawność detektorów. Zaprezentowane w pracy metody detekcji splątania mogą umożliwić eksperymentalną detekcję splątania kwantowego przestrzennie rozdzielonych elektronów par Coopera i przyczynić się do rozwoju elektronicznej technologii informatyki kwantowej.