

Streszczenie

W rozprawie doktorskiej przedstawione zostały studia teoretyczne nad nowym rodzajem spinowych kubitów realizowanych na trójkątnym układzie trzech koherentnie połączonych, półprzewodnikowych kropek kwantowych (TQD) z trzema elektronami. Do realizacji kubitów wykorzystano i rozwinięto schemat zaproponowany przez DiVincenzo *i in.* [1]. Kubit zakodowany został na dwóch spinowych stanach z podprzestrzeni dubletowej, która wykazuje się dużą odpornością na dekoherencję oraz jest wrażliwa na złamanie trójkątnej symetrii. Ważną zaletą proponowanego rozwiązania jest łatwość kontrolowania stanów kubitów oraz kwantowych operacji logicznych jedynie elektrycznie poprzez bramki potencjału zmieniające symetrię układu.

W pierwszej części rozprawy analizowany był efekt działania pola elektrycznego i strumienia pola magnetycznego na dwu-spinowe splątanie w podprzestrzeni dubletowej. Pole elektryczne powoduje przesunięcie poziomów elektronowych (efekt Starka), wpływa na sprzężenie wymiany pomiędzy spinami i korelacje spinowe. Strumień pola magnetycznego wywołuje cyrkulację elektronów w układzie i ich delokalizację. Układ modelowany był przez Hamiltonian Hubbarda oraz po jego transformacji kanonicznej przez efektywny Hamiltonian Heisenberga. Otrzymane w ten sposób sprzężenie wymiany wykazuje liniową i kwadratową zależność od pola elektrycznego. Ponadto dla pewnych symetrii występują tak zwane spinowe stany ciemne, w których dwa spiny są maksymalnie splątane a trzeci jest od nich niezależny. Jako miara splątania wykorzystana została zbieżność (*concurrence*). Pokazano, że jest ona związana z wartościami oczekiwanymi korelacji spinowych i chiralności.

W kolejnym rozdziale, pokazana została możliwość otrzymania stanów dubletowych w wyniku przejść Landaua-Zenera. Rozważane były dwie geometrie TQD, liniowa

i trójkątna. Wykazane zostało, że geometria trójkątna ma przewagę nad układem liniowym ponieważ można dla niej otrzymać oba stany dubletowe, każdy dla innej symetrii układu.

Kubit zakodowany na dwóch spinowych stanach w podprzestrzeni dubletwej w TQD został opisany w kolejnym rozdziale. Pokazano, że manipulacja kubitami jest możliwa dzięki zmianie symetrii TQD. Ponadto zaproponowana została nowa metoda odczytu stanu kubitów bazująca na przepływanie prądu płynącego przez TQD podłączonego do elektrod. Dla pewnych symetrii układu jeden ze stanów dubletowych jest ciemny i transport przez niego jest zablokowany. Jest to związane z asymetrią efektywnego tunelowania pomiędzy elektrodami oraz stanami dubletowymi, i dlatego efekt nazwano blokadą dubletową. Analizowana była również dynamika układu w reżimie blokady dubletowej. Badania dały informacje o procesach upływu do stanów dwu-elektronowych oraz dekoherencji i odwrócenia spinu związanych z relaksacją elektronów w elektrodach. Pokazano, że upływ do stanu trypletowego jest większy niż do stanu singletowego ze względu na aktywację kwadrupletów. Czas relaksacji związany z odwróceniem spinu jest wystarczająco długi dla przeprowadzenia operacji kwantowych na stanach dubletowych.

W ostatniej części pracy badany był układ dwóch oddziałujących kubitów, każdy zakodowany na trójkątnym układzie TQD z trzema spinami. Dla różnych konfiguracji połączeń pokazana została możliwość realizacji dwu-kubitowych operacji logicznych takich jak SWAP, CPHASE oraz CNOT. Operacje te mogą być wykonane tylko za pomocą kilku impulsów sterujących, na przykład bramka CNOT wymaga tylko 3 impulsów. Jest to ważna zaleta tej propozycji, bo poprzednie rozwiązania wymagały kilkanastu impulsów do wykonania takiej bramki. Oszacowane czasy konieczne do realizacji takich operacji są na poziomie dziesiątych części nanosekund.

Przedstawione w pracy wyniki sugerują, że TQD w geometrii trójkątnej jest dobrym kandydatem do eksperymentalnej realizacji kubitów.

[1] D. P. DiVincenzo, D. Bacon, J. Kempe, G. Burkard, and K. B. Whaley, *Nature* (London) **408**, 339 (2000).