

Adiabatic evolution of driven quantum systems in the presence of dissipation and noise possessing spatial and temporal correlations

Adiabatyczna ewolucja wymuszanych układów kwantowych w obecności dyssypacji i szumu o korelacjach czasoprzestrzennych

Celem pracy doktorskiej jest zrozumienie zagrożeń stojących na drodze do realizacji koherentnego transportu elektronu w komputerze kwantowym zbudowanym z półprzewodnikowych kropek kwantowych. Koncentruję się na procesie tunelowania elektronu wzdłuż łańcucha kropek kwantowych, rozważając pojedyncze przejście pomiędzy dwoma kropkami. Głównym wyzwaniem jest złożoność realistycznego otoczenia kubitów spinowych, na które składają się spiny jądrowe, bezpośrednio sprzęgające się ze spinem elektronu, ale też, jak pokazują eksperymenty przeprowadzane w bramkowanych kropkach kwantowych, wysoko i niskoczęstotliwościowe fluktuacje pól elektrycznych (szum ładunkowy), oraz drgania sieci krystalicznej (fonony). Obecność niekontrolowanych pól elektrycznych nie tylko wpływa na ruch elektronu, ale także, w obecności skończonego oddziaływania spinowo-orbitalnego, modyfikuje jego stan spinowy. Ponieważ koherentna komunikacja pomiędzy oddalonymi rejestrami kwantowymi jest konieczna dla konstrukcji skalowalnego komputera kwantowego, praca ta poświęcona jest realistycznemu oszacowaniu błędów transferu ładunku, oraz utraty koherencji spinowej wywołanej przemieszczeniem się elektronu pomiędzy dwoma kropkami kwantowymi.

Transport ładunku wywołany jest za pomocą zmieniającego w czasie napięcia na bramkach, które kontrolują potencjał kropek kwantowych. Ruch elektronu wymuszany jest poprzez zmianę odstrojenia energii stanów podstawowych kropek, podczas której elektron powinien pozostać w stanie podstawowym, którego położenie zmienia się pomiędzy kropkami. Z rozwiązania modelu Landaua-Zenera wiemy, że wystarczająco powolna zmiana odstrojenia prowadzi do udanego transferu ładunku. Jak jednak pokazuję w tej pracy, w wyniku sprzężenia elektronu z otoczeniem, prawdopodobieństwo pozostawienia ładunku w początkowej kropce może także rosnąć dla wolniejszych przejść. Opisuję wyniki pokazujące, że błąd transferu ładunku jest opisany niemonotoniczną funkcją czasu przejścia w realistycznym modelu podwójnej kropki kwantowej w krzemie, zaś w arsenku galu monotonicznie zanika z rosnącym czasem przejścia.

W drugiej części pracy dodaję spinowy stopień swobody, analizując wpływ transferu na fazę pomiędzy stanami spinowymi. Pokazuję, że wymuszona ewolucja ładunkowego stopnia swobody, w obecności sprzężenia spinowo-orbitalnego prowadzi do chwilowej korelacji spinu i ładunku. W rezultacie, częściowa zmiana charakteru kubitów ze spinowych na ładunkowych wystawia jego stan na wpływ fononów oraz szumu ładunkowego. Prowadzi to do defazowania stanów spinowych, którego charakter wrażliwy jest na czasowo-przestrzenne korelacje szumu. W rozprawie prezentuję mechanizmy utraty fazy przesyłanego kubitów, które zachodzą w obecności: różnicy rozszczepień Zeemana w kropkach oraz niezachowującego spin sprzężenia tunelowego pomiędzy kropkami. Głównym wynikiem jest oszacowanie błędów transferu ładunku, oraz ilości utraty koherencji kubitów spinowych, w wyniku przejścia elektronu pomiędzy dwoma kropkami w realistycznych układach opartych na krzemie i arsenku galu.

16.05.2022

Jan A. Krzywda