

Hybrydowa kontrola kwantowa w pojedynczych układach w ciele stałym

Mechanika kwantowa stanowiła i nadal stanowi przełom nie tylko w rozumieniu fizyki, ale i technologii. Bardzo szybko znalazła swoje zastosowanie w nauce i inżynierii — od rewolucji w samej fizyce i chemii, aż po mikro- i nanotechnologie. Wreszcie, możliwym stało się projektowanie i tworzenie układów, w których elektrony ograniczone są przestrzennie przez nanometrowe drobiny materii, materiału półprzewodnikowego — nazywane kropkami kwantowymi. To jedne z układów, które zrewolucjonizują znaną nam technikę w ciągu kilku lat, a znaleźć je można już teraz w najnowszych modelach telewizorów.

Pręźnie rozwijającymi się dziedzinami wykorzystującymi mechanikę kwantową są kwantowe przetwarzanie informacji, szyfrowanie i telekomunikacja, które przynieść mają niespotykane dotąd bezpieczeństwo informacji i jej przesyłu. Nadchodzącym przełomem zdaje się być powstanie w pełni działającego komputera kwantowego, którego możliwości w pewnych zagadnieniach będą nieporównywalnie większe od tradycyjnych komputerów. Elementarnym składnikiem takiego komputera będą bity kwantowe nazywane *kubitami*, które stanowią elementarne jednostki kwantowej informacji. Jednym z kandydatów na realizację kubitów jest być *spin* elektronu, który jest pewną wewnętrzną właściwością cząstek oferowaną nam przez ich kwantową naturę, bez odpowiednika w świecie klasycznym. Spin elektronu, a dokładnie jego rzut na pewną oś, może przyjmować dwie wartości, o których można myśleć jak o strzałce w górę i w dół. Są to dwa *stany kwantowe*. Cechą szczególną układu kwantowego jest to, że może w pewnym sensie być w obu tych stanach na raz, a to jak bardzo w którym z nich jest opisują dwie liczby zespolone. Graficznie można to wyrazić jako punkt na sferze, nazywanej powszechnie *sferą Blocha*. Każdemu punktowi na niej odpowiada inna *superpozycja* stanów. Wszelkie operacje wykonywane na stanie kwantowym są opisywane jako obroty na tej sferze, czyli przemieszczanie punktu po jej powierzchni.

Spin elektronu w kropce kwantowej daje się kontrolować przy pomocy widzialnego światła laserowego, ale nie jest to metoda uniwersalna. Najłatwiej jest użyć mikrofal, ale są to bardzo długie fale (taka w kuchence ma 12 cm), co bardzo ogranicza miniaturyzację przyszłych czipów. Zdaje się więc, że potrzeba nam innych narzędzi, aby w pełni wykorzystywać potencjał kwantowych układów. Oprócz kubitów spinowych dużym zainteresowaniem cieszą się też *kubity ładunkowe*, które stanowią oddziałujące elektrostatycznie elektrony z *dziurami*, czyli brakiem elektronów w miejscu, w którym być powinny. Te ostatnie to tak zwane kwazicząstki stosowane, aby teoretycznie opisać pozostawiony po brakującym elektronie ładunek dodatni. Tutaj kontrola również odbywa się przy pomocy światła lasera, ale wymyślona niedawno metoda wymaga precyzyjnej kontroli impulsów laserowych.

Z pomocą przychodzi tutaj kontrola akustyczna, czyli wykorzystująca fale dźwiękowe — drgania atomów w materiale. Przy jej pomocy w prosty sposób możemy obejść zarówno problem precyzyjnej kontroli impulsów w kubitach ładunkowych jak problem z długością mikrofal poprzez zastosowanie tysięcy razy krótszych fal akustycznych. W ramach projektu proponujemy metody kontroli obu rodzajów kubitów polegające na połączeniu pobudzania laserem z „trzęsieniem” kropką kwantową za pomocą fal akustycznych. Wyprowadzimy równania opisujące zachowanie się spinu i ładunków przy takim ich pobudzaniu, a następnie rozwiążemy je numerycznie przy użyciu wysokowydajnych komputerów. Pozwoli to ocenić jak bardzo precyzyjna kontrola jest możliwa, oraz jak bardzo otoczenie, które zawsze czyha, aby zniszczyć informację kwantową, wpływa na skuteczność zaproponowanych przez nas metod.