

Rozprawa Doktorska

Hybrydowa kontrola kwantowa w pojedynczych układach w ciele stałym

Mateusz Kuniej

Wrocław, wrzesień 2026

Streszczenie

W ostatnich latach pojawiły się koncepcje układów hybrydowych, w których różnego rodzaju kwantowe stopnie swobody, dzięki kontrolowanym sprzężeniom z zewnętrznymi polami, pozwalają na przechowywanie, przetwarzanie i przesyłanie informacji kwantowej, co może prowadzić do powstania urządzeń nowej generacji.

Optycznie aktywne kropki kwantowe są w czołówce układów przeznaczonych do zastosowań w technologiach kwantowych ze względu na wyjątkowo dobre właściwości optyczne, szeroki zakres skali energetycznych stanów ładunkowych i spinowych oraz już istniejące sprzężenia z zewnętrznymi polami. Kropki kwantowe są uważane za obiecujący element budulcowy w komunikacji kwantowej, metrologii oraz przetwarzaniu informacji, a dodatkowo mogą znaleźć zastosowanie jako emitery kwantowe w temperaturach kriogenicznych i pokojowych. Tym samym dostępne interfejsy ze światłem, mikrofalami, spinami jądrowymi i falami mechanicznymi sprawiają, że kropki kwantowe są doskonałymi kandydatami na elementy układów hybrydowych.

Kolejnym logicznym krokiem jest dodanie do istniejących już sprzężeń w kropkach kontrolowanego sprzężenia z falami mechanicznymi. Samo sprzężenie nośników z fononami w kropkach kwantowych nie indukuje koherentnych przejść w układzie, a jedynie moduluje energie stanów, przez co deterministyczne przygotowywanie stanów oraz kontrola stanów spinowych lub orbitalnych nośników za pomocą samych fal akustycznych są niemożliwe. W niniejszej pracy wykazano, że wykorzystanie protokołów opartych na kontrolowanym, jednoczesnym oddziaływaniu zarówno fal akustycznych, jak i elektromagnetycznych ze stanami nośników w kropkach kwantowych pozwala uzyskać deterministyczną i koherentną kontrolę.

Proponowane protokoły wypełniają luki w opisie teoretycznym dotyczącym kontrolowania stanów ładunkowych i spinowych, co może pomóc w rozwijaniu badań dotyczących akustooptyki nośników w kropkach kwantowych. Rozszerzenie tych protokołów w przyszłości do postaci czysto kwantowych może umożliwić przenoszenie informacji kwantowej z nośnika w kropce na skwantowany mod akustyczny. Będzie to także krokiem w stronę przesyłania informacji za pomocą dźwięku pomiędzy kropkami kwantowymi a innymi układami w ciele stałym, chociażby pomiędzy kropką kwantową a kubitem nadprzewodzącym lub centrami azot-luka, które nie są kompatybilne ze światłem widzialnym jako nośnikiem informacji.