

Recenzja dorobku naukowego dr. Łukasza Cywińskiego w związku z postpowaniem o nadanie stopnia doktora habilitowanego

Tematem habilitacji pana dr. Cywińskiego jest, zgodnie z tytułem, *Teorii dekoherencji kubitów realizowanych w ciele stałym*. Konstrukcje elementarnych składników urządzeń mających przetwarzać informację w postaci spinów elektronów w kropkach kwantowych, wydają się być jednym z najbardziej obiecujących kierunków poszukiwań praktycznych implementacji w dziedzinie informatyki kwantowej. Podobnie jak w innych układach (np. optycznych i atomowych), głównym problemem jest opanowanie nieuniknionej dekoherencji wywołanej oddziaływaniem z otoczeniem.

Jako osiągnięcie naukowe mające być podstawą do nadania stopnia pan dr Cywiński przedstawił cykl ośmiu publikacji dotyczących tematyki objętej przytoczonym powyżej tytułem. Sześć spośród tych prac to publikacje wieloautorskie - pan dr Cywiński jest pierwszym autorem czterech z nich i drugim autorem w pozostałych dwóch. Prace te są owocem współpracy z grupą badaczy z University of Maryland, gdzie dr Cywiński przebywał na stażu podoktorskim. Oświadczenia współautorów dość wyraźnie wskazują na rolę pana dr. Cywińskiego jako pomysłodawcy większości oryginalnych koncepcji zawartych w publikacjach. Dwie publikacje są jednoautorskimi pracami pana dr. Cywińskiego. Prace składające się na cykl zostały opublikowane w latach 2008-2014 w *Physical Review B* (5 prac), *Physical Review Letters* (1), *Physical Review A* (1) oraz *Acta Physica Polonica A* (1). Były one cytowane w literaturze światowej ponad 350 razy, co jest wynikiem więcej niż znakomitym, jeśli weźmie się pod uwagę stosunkowo krótki czas, jaki upłynął od czasu ich opublikowania.

W publikacjach składających się na habilitację pan dr Cywiński zajął się kilkoma ważnymi aspektami dekoherencji w układach spinowych. W szczególności:

- 1) Dekoherencją w ładunkowych kubitach nadprzewodzących przy dość ogólnych założeniach dotyczących charakteru szumu, pochodzącego od różnorodnych oddziaływań z otoczeniem oraz sposobów przywracania koherencji w takich układach.
- 2) Dekoherencją kubitów spinowych (elektronów w kropkach kwantowych) wywołaną sprzężeniem ze spinami jądrowymi, co jest zasadniczym źródłem dekoherencji w tego typu układach. Analiza dotyczy pojedynczych i podwójnych kropek kwantowych. W analizowanych wypadku szczegóły oddziaływań są znane, a trudność polega na uwzględnieniu, że oddziaływanie wywołane jest sprzężeniem z dużą liczbą spinów jądrowych.

- 3) Analizą metod wydłużania czasu koherencji poprzez zastosowanie efektu echa spinowego w słabych polach magnetycznych, gdzie metody sprawdzone dla silnych pól magnetycznych nie znajdują zastosowania.

Zagadnieniom opisanym powyżej w punkcie 1) poświęcone są prace [H1] i [H8]. W pracach zbadano dekoherencje pojedynczego qubitu przygotowanego w spójnej superpozycji obu jego stanów, poddanego klasycznemu szumowi oraz ciągowi impulsowych wzbudzeń o różnych charakterystykach. Analiza dotyczyła kilku modeli szumu: szumu telegraficznego i gaussowskiego szumu typu $1/f^\alpha$, a rozwiązaniem problemem było znalezienia optymalnych pulsów z punktu widzenia spowolnienia zaniku koherencji. Ciekawym wynikiem było pokazanie jak za pomocą pomiarów spójności można wyznaczyć (przy pewnych dodatkowych założeniach) charakterystyki (nieznanego) szumu powodującego tę dekoherencję. Waga prac, polega może nie tyle na rewolucyjności zastosowanych metod analizy szumów, co na konsekwentnym przeprowadzeniu dobrze zdefiniowanego i spójnego programu badań.

Zagadnień dekoherencji kubitów spinowych pod wpływem oddziaływań nadsztylnych ze spinami jądrowymi (p. 2) i 3) powyżej) dotyczy głównie część przedstawionego do oceny osiągnięcia naukowego, zaprezentowana w pracach [H2]-[H5]. Praca [H3] (i [H2], w której przedstawiono wstępnie omawiane tu wyniki) poświęcona jest teorii dekoherencji w takim właśnie wypadku, gdy oddziaływania z otaczającymi kropkę kwantową spinami jądrowymi grają decydującą rolę, a dzieje się tak w większości sytuacji dostępnych eksperymentalnie. W tym wypadku standardowe metody pozwalające np. na efektywną analizę dekoherencji spowodowanej procesami fononowymi, kiedy to, w standardowej sytuacji, czas korelacji otoczenia fononowego jest znacznie krótszy od charakterystycznego czasu ewolucji spinu, nie dają się zastosować ze względu na stosunkowo powolną dynamikę otoczenia. Rozwiązanie problemu zaprezentowane w pracach składających się na habilitację wykorzystuje zaawansowane techniki diagramowe i sumacyjne pozwalające na znalezienie efektywnego rozwinięcia w $1/N$, gdzie N jest (dużą) liczbą otaczających spinów oddziałujących w sposób istotny ze spinowym qubitem. Opracowane metody pozwoliły na analizę dekoherencji w doświadczeniach z echem spinowym (prace [H2]-[H4]), w szczególności w niskich polach magnetycznych, co było wynikiem niedostępnym przy użyciu znanych uprzednio metod. Otrzymane wyniki zostały wkrótce potwierdzone doświadczalnie. W pracy [H7] skutecznie zastosowano opracowane podejście do analizy dekoherencji w podwójnych kropkach kwantowych. Syntetyczny przegląd szeregu opisanych powyżej wyników zawarto w pracy [H5].

Praca [H6] pozostaje nieco poza najistotniejszym nurtem badań, których celem jest opis teoretyczny istotnych z punktu widzenia doświadczalnego i zastosowań w informatyce kwantowej zagadnień dekoherencji w kropkach kwantowych. W pracy przedstawiono porównanie przewidywań "klasycznego" podejścia Nakajimy-Zwanziga za pomocą operatorów rzutowych z otrzymanymi metodami przedstawionymi w pracach składających się na habilitację. Porównanie przeprowadzone na rozwiązalnym modelu wykazało słabości podejścia Nakajimy-Zwanziga, (w szczególności w ważnym wypadku słabego pola

magnetycznego), w stosunku do zaprezentowanego przez autora, potwierdzając tym samym skuteczność tego ostatniego.

Zaprezentowany jako osiągnięcie stanowiące podstawę habilitacji cykl prac jest realizacją dobrze zdefiniowanego i spójnego projektu badawczego. Pragnę podkreślić również że projekt ten dotyczy zagadnień niezwykle ważnych z punktu widzenia zastosowań w inżynierii i informatyce kwantowej. Prace dokumentujące osiągnięcie są czysto teoretyczne, mają jednak bezpośredni związek z przeprowadzanymi doświadczeniami, a pewne, zawarte w nich przewidywania znalazły już eksperymentalne potwierdzenie.

Na pozostały dorobek naukowy dr. Cywińskiego po uzyskaniu przez niego stopnia doktorskiego składa się ok. 15 opublikowanych prac. Część z nich poświęcona jest zagadnieniom, których dotyczy habilitacja dr. Cywińskiego, jednak blisko 10 pozostałych dotyczy innych problemów fizyki ciała stałego: konstrukcji podwójnych kropek kwantowych w konkretnych materiałach, samoorganizowanych kropek kwantowych oraz izolatorów topologicznych. Wszystkie te prace ukazały się w bardzo dobrych czasopiśmie. Prace pana dr. Cywińskiego były cytowane w literaturze światowej ponad 1000 razy, co niewątpliwie jest wynikiem godnym uwagi w wypadku badacza będącego na tym etapie rozwoju kariery naukowej. O rezonansie jego prac świadczą też zaproszenia (ok. 10) do wygłoszenia wykładów na konferencjach międzynarodowych i współpraca z kilkunastoma grupami badawczymi na świecie.

Pan dr. Cywiński ma doświadczenie w pozyskiwaniu środków na badania naukowe i kierowaniu projektami badawczymi. Był kierownikiem w trzech projektach finansowanych przez Narodowe Centrum Nauki, Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego i Fundacje na rzecz Nauki Polskiej oraz wykonawcą w trzech innych (w tym dwóch finansowanych przez instytucje europejskie).

Osiągnięcia dydaktyczne dr. Cywińskiego są dość niskie, w zasadzie nie prowadził regularnych zajęć ze studentami, oprócz ćwiczeń z fizyki w czasie pobytu na Uniwersytecie Kalifornijskim w San Diego, jednak jest to problem pojawiający się prawie zawsze w wypadkach habilitantów zatrudnionych w instytutach badawczych.

Podsumowując uważam, że zarówno osiągnięcie naukowe przedstawione jako podstawa habilitacji dr. Łukasza Cywińskiego jak i jego pozostałe dokonania naukowe wypełniają wymagania ustawowe i zwyczajowe dotyczące habilitacji i w pełni uzasadniają wystąpienie o nadanie mu stopnia doktora habilitowanego. Z pełnym przekonaniem popieram więc taki wniosek.

Warszawa 1.06.2015



prof. dr hab. Marek Kuś