

Recenzja pracy doktorskiej mgra Krzysztofa Szczygielskiego

„Kompletnie dodatnie ewolucje dysypatywnych układów kwantowych zaburzanych periodycznie”

Praca doktorska mgra Krzysztofa Szczygielskiego z nadmiarem spełnia ustawowe i zwyczajowe wymogi stawiane pracom doktorskim. Dotyczy to zarówno ilości zaprezentowanych wyników oraz, a może przede wszystkim, ich jakości. Problemy postawione przez doktoranta uważam za bardzo ambitne, a uzyskane wyniki dowodzą, że doktorant posiada gruntowną wiedzę teoretyczną oraz znakomity warsztat badawczy.

Pracę doktorską mgra Szczygielskiego tworzą trzy artykuły opublikowane w latach 2013-2015 w renomowanych pismach z dziedziny. Praca A jest jednoautorska, praca B ma oprócz doktoranta dwóch współautorów, natomiast praca C jako jedyne go współautora ma promotora pracy doktorskiej prof. Roberta Alickiego. Doktorant dołączył oświadczenia współautorów na temat ich wkładu w powstanie powyższych prac. Zbiór prac poprzedzony jest zgrabnie napisanym 20 stronicowym wstępem nazwanym „Przewodnikiem po upublikowanych pracach naukowych”. Przewodnik jest profesjonalnie zredagowany co świadczy o dużej kulturze naukowej doktoranta. Stanowi bardzo kompaktowe wprowadzenie do zagadnień dynamiki kwantowych układów otwartych.

Praca doktorska mgra Szczygielskiego dotyczy analizy dynamiki kwantowych układów otwartych zaburzanych periodycznie. Kwantowe układy otwarte stanowią bardzo ważny przedmiot badań, który w ostatnich latach nabrał nowego znaczenia w związku z rozwojem informatyki kwantowej i rozwojem wyrafinowanych metod kontroli układów kwantowych w warunkach laboratoryjnych. Realny układ fizyczny oddziałuje ze swoim otoczeniem i w naturalny sposób staje się układem otwartym, tzn. takim, którego ewolucja nie jest generowana przez Hamiltonian samego układu. Przy pewnych dodatkowych założeniach dotyczących układu, otoczenia i ich wzajemnego oddziaływania (np. słabe sprzężenie, rozdzielanie skal czasowych) można wyprowadzić zwarte równanie ewolucji dla stanu układu tzw. „master equation”. Równanie to generuje półgrupę odwzorowań kompletnie dodatnich, która jest naturalnym uogólnieniem 1-parametrowej grupy odwzorowań unitarnych. Ewolucja zadawana przez półgrupę dynamiczną nie jest odwracalna i opisuje dobrze znane zjawiska takie jak dysypacja czy dekoherencja, których nie możemy w konsystentny sposób opisać w ramach ewolucji hamiltonowskiej. Generator półgrupy dynamicznej został w pełni scharakteryzowany w latach 70. przez Goriniego, Kossakowskiego, Sudarshana i niezależnie przez Lindblada (obie prace ukazały się w 1976 r – dokładnie 40 lat temu). Wyprowadzenie postaci generatora w granicy słabego oddziaływania podał Davies (również w latach 70.). Generator taki nazywany jest często generatorem Daviesa.

Wyprowadzenie Daviesa zakłada, że całkowity Hamiltonian „układu + otoczenia” jest niezależny od czasu. W rozważanej pracy doktorskiej mgr Szczygielski uogólnia wyprowadzenie generatora na przypadek, gdy Hamiltonian samego układu jest periodyczny w czasie. Detaliczna analiza tego przypadku znajduje się w pracy [A]. Jest to jednoautorska praca opublikowana w J. Math. Phys. Na 23 stronach doktorant w oparciu o teorię Floqueta wyprowadza postać generatora w granicy słabego oddziaływania. W tym przypadku część dysypatywna generatora jest zależna od czasu, ale w obrazie oddziaływania zależność od czasu zostaje usunięta i generator przyjmuje charakterystyczną postać generatora półgrupy dynamicznej. Jediną różnicą w porównaniu z przypadkiem analizowanym przez Daviesa jest dodatkowa suma indeksowana zbiorem liczb całkowitych, która zapewnia modyfikację częstości Bohra Hamiltonianu uśrednionego $\omega + q \Omega$, gdzie q jest liczbą całkowitą, a $\Omega = 2\pi/T$ (doktorant nazywa je kwaziczęstościami Bohra). Jest to bardzo elegancki wynik, który stanowi wysoce nietrywialne uogólnienie podejścia Daviesa. Wynik mgra Szczygielskiego jest rygorystycznym potwierdzeniem idei dyskutowanej wcześniej w pracy Alickiego, Lidara i Zanardiego (Phys. Rev. A 2006). W dalszej części pracy doktorant w oparciu o wyprowadzoną strukturę generatora analizuje trzy ciekawe przykłady zastosowań:

1. układ 2-poziomowy modulowany harmonicznie,
2. jednomodowy oscylator harmoniczny w silnym zewnętrznym polu laserowym, oraz
3. układ dwupoziomowy oddziałujący z polem elektromagnetycznym i modulowany wiązką laserową.

Praca [B] posiada 3 autorów, a wkład doktoranta został oszacowany na 35%. Praca ta częściowo poświęcona jest pewnym aspektom termodynamicznym układów otwartych i tym samym wpisuje się w modny nurt badań pod hasłem „kwantowa termodynamika”. Autorzy analizują teoretyczną realizację koncepcji kwantowej maszyny cieplnej, pracującej w jednym z dwóch możliwych reżimów – jako silnik cieplny lub jako chłodziarka. Podstawowym układem jest znowu układ 2-poziomowy sprzężony z dwiema kapielami cieplnymi oraz wymuszany periodycznie. Periodyczne wymuszenie jest kluczowym elementem dyskutowanego schematu. Analizowano szereg wielkości termodynamicznych i pokazano zgodność modelu z I i II zasadą termodynamiki. W szczególności podano formułę na prąd ciepła (wzór (17)), który zawiera dodatkowy czynnik normalizacyjny determinowany przez periodyczne zaburzenie układu. Jak rozumiem dodanie tego czynnika jest niezbędne dla konsystencji teorii, tzn. spełnienia zasad termodynamicznych. Nie jest dla mnie jasne na ile czynnik ten jest jednoznacznie wyznaczony.

Praca [C] posiada 2 autorów, a wkład doktoranta został oszacowany na 60%. Praca ta analizuje tzw. dynamiczne rozprzęganie (dynamical decoupling) poprzez periodyczne wymuszanie i jest kolejnym zastosowaniem ogólnej koncepcji rozwiniętej w pracy [A]. Procedura ta jest znaną metodą ochrony układu kwantowego przed niepożądaną dekoherencją. Autorzy dyskutują ten problem w ramach teorii zaprezentowanej w pracy [A]. Analizowano zależny od czasu periodycznie kopany Hamiltonian i pokazano, że w przypadku układu 2-poziomowego ze sprzężeniem typu spin-spin i spin-sieć można wyprowadzić analityczne formuły na czasy relaksacji. Pokazano, że czasy relaksacji ulegają efektywnemu wydłużeniu przy zastosowaniu dynamicznego rozprzęgania.

Ocena końcowa: Pracę doktorską mgra Krzysztofa Szczygielskiego oceniam bardzo wysoko. Uważam, że z nadmiarem spełnia ustawowe i zwyczajowe wymagania stawiane pracom doktorskim. Doktorant postawił szereg ambitnych problemów i uzyskał bardzo ciekawe rezultaty. Przedstawione prace zostały opublikowane w bardzo dobrych czasopiśmie: J. Math. Phys, Phys. Rev. A oraz Phys. Rev. E. Oznacza to, że były już szczegółowo recenzowane. Stanowią one koherenty i logiczny ciąg prac prezentujący zarówno teorię jak i bardzo ciekawe zastosowania. Miałem również okazję kilkakrotnie słuchać wystąpień doktoranta na międzynarodowych konferencjach naukowych. Zarówno jego publikacje jak i wygłaszane referaty świadczą o głębokiej wiedzy teoretycznej, znakomitym warsztacie badawczym oraz dużej samodzielności naukowej. Wnoszę o dopuszczenie pana mgra Krzysztofa Szczygielskiego do dalszego etapu przewodu doktorskiego. Uważam, że jego praca doktorska w pełni zasługuje na wyróżnienie.

Toruń, 14 września 2016


prof. dr hab. Dariusz Chruściński