

Katowice, 2.12.2016

Dr hab. Jerzy Dajka,
dyrektor Instytutu Fizyki
Uniwersytetu Śląskiego

POLITECHNIKA GDAŃSKA WYDZIAŁ FIZYKI TECHNICZNEJ I MATEMATYKI STOSOWANEJ	
Wpłynęło dnia	13.12.2016r.
L. dz.	77/WFT:MS/SN/2016r.
Zał.	—

Recenzja pracy doktorskiej Jan Tuziemski: „Kwantowa dekoherencja i struktury korelacyjne”

Z prawdziwą przyjemnością recenzowałem znakomitą pracę doktorską.

1. Wstęp

Różne formy korelacji kwantowych fascynowały fizyków niemal od zawsze, czyli od powstania mechaniki kwantowej. Czym są i jaką rolę pełnią nie było oczywistym, choć rozumiano, że świat, którego elementy splatają się ze sobą jest co najmniej dziwniejszy niż klasyczny (vide: EPR). Kwantowe korelacje bywają niezwykle użyteczne. Stanowią podstawę wielu protokołów komunikacyjnych, przydają się w kryptografii. W szczególności korelacje kwantowe mogą stanowić klucz do skutecznego zdalnego przygotowania stanu kwantowego. Ostatnimi czasy badania nad korelacjami nieklasycznymi wydawały się wskazywać, że korelacje „mniej kwantowe” niż splątanie mogą być nie mniej a nawet bardziej użyteczne. Jednym z zagadnień poruszanych w recenzowanej rozprawie jest weryfikacja tej opinii. Problem to ważny, gdyż wiąże się nieodłącznie z praktycznym, użytecznym aspektem kwantowej teorii informacji.

Czasem jednak korelacje kwantowe bywają niechciane – powstają na skutek oddziaływania badanego układu z otoczeniem i nieodłącznie towarzyszą dekoherencji. Intensywne badanie tego zjawiska w ostatnich latach pokazało jednak, że świat bez dekoherencji byłby (prawdopodobnie) bardzo dziwny - gdyż nieklasyczny. Dekoherencja wydaje się być naturalnym „winnym” tego, że w świecie pojawia się „klasyczność”. Co więcej, pomysł kwantowego darwinizmu sugeruje, że to dzięki dekoherencji możemy pewnym zjawiskom przypisać obiektywne istnienie. Niezależnie od swojej przełomowej nowatorskości kwantowy darwinizm nie jest odpowiedzią na wszystkie pytania a czasem budzi kontrowersje. Struktura rozgłaszająca dla dekoherującego układu kwantowego tłumaczy przynajmniej część z niejasności, z którymi może nie radzić sobie kwantowy darwinizm. W szczególności obecność struktur rozgłaszających w naturalny sposób tłumaczy obiektywność. Recenzowana praca doktorska to wynik badań nad tym właśnie aspektem ewolucji układów kwantowych podlegających dekoherencji. Podjęte zagadnienie jest ważne, ciekawe i kluczowe dla rozumienia świata, a wyniki badań Autora pokazują, że nawet te „niechciane” korelacje są dla nas użyteczne.

2. Struktura pracy

Recenzowana praca jest napisana nader czytelnie. Dobór tematyki i sposób prezentacji plasuje ją gdzieś w połowie drogi pomiędzy zaawansowanym podręcznikiem dla doktorantów a oryginalnymi publikacjami. To bardzo dobrze, gdyż dzięki temu Autorowi udało się pogodzić zwięzłość z przystępnością, nie wymuszając na czytelniku ciągłego przeszukiwania cytowanych odnośników i nierzadko deprymującej konfrontacji ze sformułowaniami „jak łatwo pokazać”.

Ze względu na napisane po polsku streszczenie dołączone do rozprawy, które w sposób kompleksowy, spójny, trafny i satysfakcjonujący ujmuje zakres i cele pracy, czuję się zwolniony ze konieczności szczegółowego formalnego opisu zawartości pracy.

Ujmując rzecz skrótowo, praca składa się z pięciu rozdziałów, z czego **dwa pierwsze** stanowią znakomite wprowadzenie do poruszanej tematyki. Ich wartość dydaktyczną trudno jest przecenić szczególnie przy wprowadzaniu pojęcia struktur rozgłaszających. Autor prezentuje tu indykatory (funkcje diagnozujące) dla formowania się tej struktury. Sposób ujęcia problemu oraz rozłożenie akcentów pokazują, że Autor nie tylko doskonale zrozumie problem, z którym się mierzy, lecz również potrafi wskazać istotne jego elementy wymagające szczególnej dbałości w analizie.

Dalsze rozdziały rozprawy zawierają główne wyniki naukowe prac prowadzonych przez Autora w ostatnich latach. **W rozdziale trzecim** Autor poddaje krytycznej analizie opinie o wpływie różnych typów korelacji kwantowych na możliwości i wydajność procedury zdalnego przygotowania stanu układu kwantowego. Niedawne prace innych autorów pozwalały domniemywać, że w przypadku protokołu zdalnego przygotowania stanu można uzyskiwać większą skuteczność przy wykorzystaniu „słabszych” korelacji nieklasycznych w miejsce splątania kwantowego. Ten zastanawiający wynik bywał (nad)używany dla uzasadnienia badań prowadzonych nad różnymi rodzajami korelacji nieklasycznych. W trzecim rozdziale rozprawy Autor pokazuje i analizuje niedostatki argumentacji na rzecz domniemanej supremacji korelacji nieklasycznych and splątaniem. Autor jednoznacznie pokazuje, że źródłem problemów jest sposób oceny skuteczności (efektywności) protokołu. Co jednak ciekawe, Autor pokazuje, że przy zastosowaniu pewnych ograniczeń nałożonych na protokół, korelacje nieklasyczne mogą jednak okazać się efektywniejsze niż splątanie. Przedstawiona analiza, jakkolwiek pełna i szczegółowa, pokazuje jednak, że mimo upływu czasu relacje splątania i korelacji nieklasycznych wymagają badań.

Rozdział czwarty rozprawy dotyczy ogólnych własności formowania się struktur rozgłaszających dla pewnej klasy układów zanurzonych w otoczenie zbudowane z oscylatorów harmonicznym. Autor na wstępie podkreśla ograniczenia zastosowanego modelu. Autor jest tutaj chyba nazbyt krytyczny. Z racji własnych doświadczeń dyskutowany model budzi moją głęboką sympatię. Co więcej, w mojej ocenie rozważania przedstawione w czwartym rozdziale rozprawy są najbardziej kompletne, ścisłe oraz, co istotne, podatne na dalsze ścisłe uogólnienia. Wysoka symetria hamiltonianu (4.1) ma naturalną interpretację fizyczną: model opisuje układ w skalach czasowych mniejszych niż skale czasowe związane z dyssypacją energii do otoczenia. Warto zauważyć, że modele o podobnej symetrii były skutecznie stosowane w opisie jak najbardziej rzeczywistych układów - cf. D. I. Schuster et al. Nature 445, 515 (2007). Myślę, że w świetle tych

ograniczeń uzasadnionym byłoby badanie własności modelu w zerowej temperaturze. Jeśli jednak przyjąć, jak czyni to Autor, że wyniki rozdziału mają stanowić przygotowanie do prac nad ruchem Browna w dalszych rozdziałach rozprawy, parametryzowanie dekoherencji temperaturą otoczenia jest w pełni zasadne.

W **rozdziale piątym** Autor skupia uwagę na jednym z najszerzej badanych układów otwartych: dużym i ciężkim oscylatorze, zanurzone w kąpiel innych oscylatorów. Problem postawiony w rozprawie wymusza rezygnację z części metod doskonale i wielokrotnie testowanych do badania tego problemu w kontekście układów otwartych, gdyż to nie dynamika zredukowana jest tym, o co pyta Autor w rozprawie. Uzupełniając pełną i częściową granicę pomiaru, Autor zastosował tu przybliżenie „bezodrzutowe”, *recoilles limit*, polegające na założeniu, że oto parametry układu i jego otoczenia pozwalają zaniedbać wpływ otoczenia na układ, zaś wpływ układu na otoczenie pozostaje znaczący. Oczywiście pełne rozwiązanie problemu, niewsparte przybliżeniami, jeśli istnieje, to pozostaje nieodkryte. Celem badań pozostawało poszukiwanie zależnego od wyboru parametrów występowania struktur rozgłaszających. Szczególnie ciekawe jest, w mojej opinii, wykorzystanie własności prawie-periodyczności funkcji diagnozujących celem obliczania ich wartości średnich. W przypadku ruchu Browna w dyskretnym otoczeniu użycie prawa wielkich liczb było znakomitym pomysłem. Niezależnie od wiarygodnej analizy otrzymanych formuł, Autor dokonuje ich fizycznej interpretacji. Należy stwierdzić, że uzyskane w tym rozdziale wyniki są nierzadko nieintuicyjne, zatem tym wartościowsze.

3. Uwagi krytyczne

Niezależnie od mojej wysokiej oceny zarówno wyników rozprawy jak i przyjętej metodyki badań należy zwrócić uwagę na pewne aspekty, które być może byłyby warte przyszłej pogłębionej analizy. Rzecz niemal w całości dotyczyć będzie fragmentów rozdziału piątego pracy i wiązać się będzie z zastosowanym tam przybliżeniem „bezodrzutowym”.

Ujmując w pewnym, kwantowo-darwinowskim, uproszczeniu Autor analizuje możliwość występowania dynamiki układu, która jest obiektywna w tym sensie, że informacja o układzie szczytywana przez otoczenie zapisuje się w kopiach we fragmentach otoczenia. Jeśli uznać, że tak rozumiane fragmenty otoczenia to „układ pomiarowy”, wówczas obiektywność oznaczałaby, że poszczególne fragmenty otoczenia „patrzac” na układ (*i*) widzą z grubsza to samo, zaś „patrzac” (*ii*) nie zmieniają tego na co patrzą. Przybliżenie „bezodrzutowe” zastosowane w rozprawie nie tylko umożliwia, inaczej przecież beznadziejną, analizę problemu, lecz również wymusza a priori spełnienie warunku (*ii*), wykonując połowę pracy za nas. Oczywiście dopiero pojawienie się struktur rozgłaszających pozwala na wniosek (*i*).

Warto również zwrócić uwagę, że określenie warunku (5.2) mianem przybliżenia Borna jest subtelnym nadużyciem. Przybliżenie Borna, istotnie opisywane koniec końców formułą (5.2), wymaga spełnienia szeregu warunków zapewniających istotnie szybszą relaksację (termalizację) otoczenia w porównaniu do skal czasowych badanego układu. Własność (5.2) nieobwarowana ograniczeniami, to nic innego nad przybliżenie pola średniego ze wszystkimi swoimi ograniczeniami i słabościami znanymi fizykom układów złożonych. Jeśli przybliżenie „bezodrzutowe” miałoby być przybliżeniem Borna ale-na-odwrot, jak deklaruje Autor, należałoby sformułować i sformalizować warunki w jakich obowiązuje.

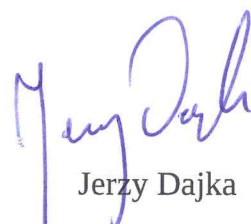
Analizując ruch Browna Autor bada wpływ różnych parametrów zarówno układu jak i otoczenia na pojawianie się, zakodowane w funkcjach diagnozujących, struktur rozgłaszających. Pewnym utrudnieniem jest to, że Autor, jakkolwiek podaje bezwzględne wartości, nie ułatwia czytelnikowi odkrycia ich wzajemnych relacji. W mojej ocenie to relacje pomiędzy wielkościami fizycznymi, raczej niż same wielkości, determinują własności układu fizycznego. Dla przykładu: istotne jest nie tyle to, ile wynosi temperatura otoczenia, ile raczej to, czy jest niska, czy wysoka w odniesieniu do skal energetycznych badanego układu. W niskich temperaturach należy uwzględnić załamanie się pewnych przybliżeń wobec znaczącego wydłużenia skal czasowych dla zaniku nieuniknionych korelacji pomiędzy układem a otoczeniem. Innymi słowy, można domniemywać, że w niskich temperaturach przybliżenie „bezdrzutowe” będzie dyskusyjne. Pytanie jednak, kiedy możemy mówić o „niskiej” temperaturze? Warto zauważyć, że również siła sprzężenia układ - otoczenie jest kluczowym parametrem determinującym obiektywność. W przypadku sprzężenia „słabego” można mieć nadzieję na słuszność przybliżenia „bezdrzutowego”. Z drugiej strony w przypadku, gdy sprzężenie jest duże, oczekujemy, że układ centralny wejdzie w kwantowy reżim Smoluchowskiego, stając się efektywnie klasyczny. Swoją drogą ciekawe, czy klasyczność taka pojawia się niezależnie od występowania struktur rozgłaszających.

4. Konkluzja

Badania naukowe, których owocem jest recenzowana rozprawa doktorska prowadzone były przez Autora we współpracy z wieloma osobami, zaś dorobek Autora obejmuje liczne publikacje w znakomitych czasopismach. Pragnę tu stanowczo podkreślić, że recenzowana praca doktorska jest bytem odrębnym w stosunku do tych publikacji a jej zawartość stanowi istotną wartość dodaną w badaniach nad strukturami korelacyjnymi i dekoherencją.

a) Na podstawie powyższych argumentów stwierdzam stanowczo, że recenzowana rozprawa doktorska spełnia w dużym nadmiarze wymagania ustawowo i zwyczajowo stawiane pracom doktorskim. Wnoszę zatem o dopuszczenie jej Autora do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

b) Ze względu na ważkość poruszanej tematyki, znakomity sposób jej ujęcia oraz zawarte w rozprawie wyniki naukowe kluczowe dla zrozumienia otaczającego nas świata wnoszę o **wyróżnienie** recenzowanej przeze mnie pracy doktorskiej.



Jerzy Dajka