

Dr hab. Andrzej Grudka, prof. UAM
Wydział Fizyki
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza
w Poznaniu

Poznań, 20 grudnia 2015

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Arijita Dutty pt. „Quantumness of states and their transfer”

Rozprawa doktorska mgr. Arijita Dutty poświęcona jest zagadnieniom z podstaw mechaniki kwantowej oraz informatyki kwantowej. Liczy 102 strony i składa się z sześciu rozdziałów, jednego dodatku oraz zawierającej 118 pozycji bibliografii. Przejdę teraz do jej omówienia i oceny.

Rozdział pierwszy jest krótkim wprowadzeniem w tematykę pracy. Zawiera on również streszczenie przedstawionych w następnych rozdziałach wyników.

Rozdział drugi poświęcony jest wyprowadzeniu nowych nierówności Bella dla quditów (układów kwantowych opisywanych d -wymiarową przestrzenią Hilberta). Przed przedstawieniem swoich oryginalnych wyników autor omawia założenia potrzebne do wyprowadzenia nierówności Bella, nierówność Clausera-Horne'a-Shimony'go-Holta oraz geometryczne nierówności Bella. Nierówności te pozwalają na testowanie, czy możliwy jest opis układów za pomocą lokalnych parametrów ukrytych. Następnie autor przedstawia swoje własne nierówności Bella. Są to nierówności dla N cząstek o spinie 1, które unikają sprzeczności Kochena-Speckera oraz łańcuchowe nierówności Bella. Te ostatnie są najpierw wyprowadzone dla układów qutritów, a następnie uogólnione dla układów quditów. Uogólnienie wykorzystuje proste rozłożenie d -wymiarowej przestrzeni Hilberta na sumę prostą przestrzeni dwu- i/lub trójwymiarowych i zastosowanie odpowiednich nierówności Bella w tych przestrzeniach. Warto zaznaczyć, że łańcuchowe nierówności Bella dla qubitów zostały podane wcześniej przez Braunsteina i Cavesa i teraz zostały umiejętnie użyte przez autora we wspomnianym wcześniej uogólnieniu. Doktorant pokazuje, w jakich przypadkach nierówności te są łamane, a co za tym idzie niemożliwy jest opis układów za pomocą

lokalnych parametrów ukrytych. Mam jedną uwagę krytyczną do tego rozdziału. Na str. 35 autor pisze “This leads to optimal value of $\theta = \frac{2\pi}{3(2n-1)}$ ”. Uważam, że zdanie to wymaga uzasadnienia.

Rozdział trzeci poświęcony jest sterowaniu kwantowemu. Najpierw autor krótko omawia na czym polega sterowanie kwantowe, a następnie wyprowadza nierówności, które testują, czy jest możliwy pewien półklasyczny opis korelacji pojawiających się w procesie sterowania. Nierówności te zostały wyprowadzone dla qubitów, a następnie zastosowane do ważnej klasy stanów: mieszaniny dowolnych czystych stanów splątanych i białego szumu. Doktorant pokazał, dla jakich parametrów nierówności te są łamane. Otrzymane rezultaty zostały porównane ze znanymi wynikami dla stanów Wernera, czyli mieszaniny stanu maksymalnie splątanego i białego szumu. Zarówno w tym, jak i poprzednim rozdziale na uznanie zasługuje wykorzystanie prostych geometrycznych własności wektorów do wyprowadzenia nietrywialnych nierówności, które oddzielają świat klasyczny od kwantowego.

Rozdział czwarty poświęcony jest analizie twierdzenia Puseya-Barretta-Rudolpha. Twierdzenie to mówi, że przy pewnych prostych założeniach każda teoria, w której funkcja falowa reprezentuje tylko wiedzę o prawdziwym stanie fizycznym (tzn. nie jest elementem rzeczywistości), nie będzie zgodna z mechaniką kwantową. Na początku autor omawia wspomniane twierdzenie oraz przytacza jego dowód. W celu eksperymentalnej weryfikacji wymienionego twierdzenia należy wykonać pewne pomiary. Niestety ze względu na brak idealnych detektorów pomiary takie będą obarczone błędem. Można zatem postawić pytanie, jaka musi być minimalna efektywność detektorów, żeby możliwa była eksperymentalna weryfikacja twierdzenia Puseya-Barretta-Rudolpha. W dalszej części rozdziału doktorant odpowiada na to pytanie. Uważam, że ten rozdział zawiera ważny wkład w najnowsze badania z zakresu podstaw mechaniki kwantowej. Mam jedną drobną uwagę krytyczną. We wzorach 4.5-4.7 kety występują ze znakiem iloczynu tensorowego a bra bez takiego znaku. Uważam, że notacja powinna zostać ujednolicona.

Rozdział piąty poświęcony jest badaniu odporności splątania kwantowego na szum. Splątanie kwantowe jest podstawowym zasobem w informacji kwantowej i takie badanie jest jak najbardziej uzasadnione. Na początku autor omawia dwa kryteria splątania. Są to kryterium Peresa i Horodeckich oraz kryterium geometryczne oparte na własnościach tensora korelacji. Omawia on też operacje kwantowe. Do tego fragmentu mam następującą uwagę krytyczną. Na stronie 69 autor pisze “For simplicity one can consider that initially the system

and the environment are in a product state $\rho \otimes \rho_{env}$ ". Jednak w równaniu 5.7 stan środowiska jest czyst. Równanie to jest poprawne, jednak uważam, że powinno zostać uzasadnione dlaczego można użyć stanu czystego. Następnie doktorant bada wpływ szumu na stany maksymalnie splątane quditów i podaje krytyczne wartości parametrów, które pozwalają stwierdzić obecność splątania w zaszumionych stanach. Autor zakłada następujące rodzaje szumu: biały szum, lokalny szum depolaryzujący, szum produktowy, szum kolorowy oraz szum tłumiący amplitudę. Uważam, że ten fragment powinien zawierać nieco obszerniejszy komentarz. W jakich warunkach laboratoryjnych pojawiają się różne typy szumu? Jaki kanał kwantowy tworzy zaszumione stany w równaniu (5.23) ze stanu czystego? Na zakończenie tego rozdziału autor bada również wpływ szumu na możliwość łamania nierówności CGLMP.

Rozdział szósty dotyczy przesyłania informacji kwantowej w łańcuchach spinowych. Kilkanaście lat temu Bose zbadał następujący problem. Załóżmy, że mamy łańcuch oddziałujących spinów. Czy w takim łańcuchu możliwe jest przesłanie stanu kwantowego z jednego końca łańcucha na drugi? Bose pokazał, że jeżeli mamy do czynienia z wartością spinu wynoszącą $\frac{1}{2}$ i łańcuch ma nie więcej niż 80 spinów, to możemy przesłać stan kwantowy z dostatecznie dużą wiernością. Autor najpierw omawia podejście Bosego, a następnie bada, czy możliwe jest przesyłanie stanu kwantowego, jeżeli mamy do czynienia z łańcuchem spinów o wartości 1. Doktorant pokazuje, że naturalna postać Hamiltonianu nie nadaje się do takiego zadania. Pokazuje on również, jakie warunki musi spełniać Hamiltonian, żeby było możliwe przesłanie quditu.

Mam jeszcze jedną uwagę krytyczną. Uważam, że na końcu rozprawy dobrze byłoby zamieścić krótki rozdział podsumowujący otrzymane wyniki i być może wskazujący na ich możliwe dalsze wykorzystanie.

Podsumowując, pragnę stwierdzić, że przedstawiona rozprawa doktorska spełnia wszystkie ustawowe i zwyczajowe kryteria stawiane rozprawom doktorskim (określone ustawą z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki). Wnoszę o dopuszczenie jej autora do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Andrzej Grudka