UNIWERSYTET
WARSZAWSKI
Wydział Fizyki
Jan Chwedeńczuk

Warszawa, 18 września 2024 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Konrada Schlichtholza

Rozprawa mgr. Konrada Schlichtholza „Non-classicality of bosonic fields in states of undefined particle numbers" poświęcona jest jednemu z nurtujących zagadnień z dziedziny podstaw mechaniki kwantowej. Mianowicie, do jakiego stopnia nieklasyczne korelacje, prowadzące na przykład do łamania nierówności Bella, można zaobserwować w dużych wielociałowych układach. Że zjawiska takie obserwuje się w układach kilku ciał – to wiemy od kilkudziesięciu lat. Ale kwestia „skalowania się" kwantowości to inna para kaloszy.

Autor bierze na warsztat dwumodowe stany o nieokreślonej liczbie cząstek, mając na uwadze przede wszystkim wielofotonowe stany światła, takie jak te powstające w procesie parametrycznego podziału częstości. Celem i wynikiem jego dociekań jest, między innymi, propozycja nowych nierówności Bella, „karmionych" operatorami o spektrum dopasowanym do własności układu.

Zanim omówię stronę merytoryczną pracy, parę uwag o jej strukturze. Jest ona bardzo czytelna, rozprawa składa się, poza zwięzłym wstępem, z dwóch rozdziałów oraz dołączonych czterech prac, na kanwie których powstała. Te dwa rozdziały to zarys zagadnienia (rozdział II) oraz skrótowy opis wyników tych prac (rozdział III). Bibliografia jest bogata i kompletna. Choć Autor oparł swoją rozprawę na czterech pracach stanowiących spójną logiczną całość, warto podkreślić, że jego łączny dorobek to 11 publikacji, które ukazały się w wiodących czasopismach (głównie Physical Review A oraz New Journal of Physics). To robi wrażenie. Drobna uwaga krytyczna dotycząca rozdziałów I-III: dobrany przez Autora mały rozmiar czcionki i niewielkie odstępy między liniami sprawiają, że część tę trudno się czyta. Strony są po prostu zbyt upakowane tekstem.

ul. Pasteura 5, 02-093 Warszawa, tel.: 22 55 32 808, e-mail: jan.chwedenczuk@fuw.edu.pl

Rozdział II stanowi wartościowe wprowadzenie do zagadnienia. Oprócz krótkiego opisu formalizmu (w tym drugiej kwantyzacji), przedstawia operatory, które będą później używane do konstrukcji nierówności Bella. Następuje po nim dyskusja rodziny Hamiltonianów i stojących za nimi zjawisk fizycznych, które skupiają uwagę Autora. Co do kolejnej części – opisującej nielokalność, nierówności Bella i kontekstualność (czy tak to się tłumaczy na polski?), nie mam uwag. Najciekawszy z mojej perspektywy, bo najmniej mi znany, jest podrozdział E, traktujący o przybliżonych metodach opisu układów otwartych. Bardzo ciekawi mnie przybliżenie (34), które sprowadza układ kwantowy tylko do funkcji korelacji pierwszego rzędu (w tym spójności) i fazy pola. Na tym etapie przydałby się komentarz „wyprzedzający" opowieść, by czytelnik wiedział, do jakiego stopnia taki opis może ułatwiać albo ograniczać dalszą analizę korelacji kwantowych .

Przechodzę do opisu rozdziału III, streszczającego cztery prace Autora, na których oparta jest rozprawa. Zadanie moje nie jest trudne – forma pracy doktorskiej sprawia, że odniosę się przede wszystkim do treści tego rozdziału, a nie będę szczegółowo oceniał samych publikacji, gdyż zrobili to już recenzenci renomowanych czasopism.

Rozdział III B opisuje badania przedstawione w pracy [PhD1] (od teraz będę stosował notację [PhDi] → [i], i=1,2,3,4). Ta część rozprawy wprowadza operatory Stokesa, równanie (42), które wraz z ich modyfikacją (43) są użyte do konstrukcji nierówności Bella (44) i (45). Co do samego równania (42), nad operatorami ewolucji brakuje daszków, co jest nieco mylące. Z tego co rozumiem, są to operatory obrotu, aczkolwiek nie znalazłem ich definicji, ani w III B ani w [1]. Rozdział jest napisany zwięźle, sama praca jest bardzo ciekawa. Przydałby się rysunek porównujący łamanie nierówności CHSH z nierównością Mermina. Skądinąd – czy maksymalna wartość tej drugiej też jest dana przez tsirelsonowskie 2sqrt(2)?

Mój entuzjazm wywołany zwięzłą formą rozprawy nieco zelżał na skutek zderzenia z rozdziałem III C. Autor przedstawia bardzo pomysłową konstrukcję kwazi-operatorów Pauliego (równanie [46]) a następnie pokazuje, jak korzystając z nich skonstruować operator i nierówność badające kontekstualność. Rzecz w tym, że w rozdziale brakuje opisu układu, do którego maszynerię tę można stosować. Nie jest zatem jasne, do czego odwołują się indeksy i,j w definicji A_ij. Równania (46) to jeden indeks, by zrozumieć skąd drugi trzeba albo się cofnąć do rozdziału II albo zajrzeć do pracy [2]. Nie jest to wielki wysiłek, ale z punktu widzenia czytelnika byłoby lepiej, gdyby w rozdziale III C pojawił się opis układu czteromodowego SPDC. Ponadto cały akapit pod równaniem (52) czyta się ciężko. Nie dość, że format tekstu, jak wspomniałem, nie zachwyca, to jeszcze ustęp ten pełen jest słownych opisów matematycznych własności układu, a takie mieszanie języków rzadko kończy się dobrze. Tak czy siak, wyniki pracy [2] są bardzo ciekawe.

Proszę Autora o wyjaśnienie w trakcie obrony tego, czy definicja (46) jest Wasza (tak wnioskuję z tego rozdziału i z pracy [2]), czy też operatory te już były znane. Drugie pytanie dotyczy równania (6) z pracy [2]. O ile dobrze rozumiem, algebra nowych operatorów sprawia, że jest ono również spełnione dla zagadnienia czteromodowego. Czy tak jest? Jeżeli mam rację, to dziwi mnie nieco to, że rozdział III C skupia się głównie na tym wyniku, a tymczasem praca [2] jest bardzo bogata w inne badania nieklasyczności, które w III C wspomniane są mimochodem. Proszę o odpowiedź na to pytanie.

Rozdział III D nie wyzwolił już we mnie tak silnych emocji. Konstrukcja izomorfizmu (54) jest klarowna i cała dyskusja związana z rozkładem Schmidta oraz z twierdzeniem Gisina wydają się być bez zarzutu. To, do czego, niezmiennie, mam zastrzeżenia to forma rozdziału oraz nadmiar opisu względem wyników matematycznych. Wszystkie szczegóły można jednak znaleźć w pracy [3], która jest bardzo dobrze napisana i stanowi cenny wkład do dziedziny.

Pozostaje do omówienia rozdział III E i F, odnoszące się do pracy [4]. Po pierwsze, czemu pojawia się rozdział F, skoro dotychczas Autor stosował konwencję, w ramach której jedna część oznaczana wielką literą odpowiadała, w całości, jednemu artykułowi? To drobnostka edytorska, ale wprowadzająca konfuzję. Pytanie merytoryczne dotyczy równania (62). Jest ono rozwinięciem metody częściowo zredukowanej macierzy gęstości na taki opis, który uwzględnia korelacje czterech operatorów. Niemniej nie rozumiem, co Autor ma na myśli pisząc pod równaniem (62): „Clearly, this structure keeps information about all particle number correlations in the state.” Czy aby na pewno to są wszystkie dostępne korelacje? A co, na przykład, z iloczynem sześciu różnych operatorów: trzech kreacji i trzech anihilacji? Tego chyba w opisie (62) nie ma, prawda?

W tym rozdziale szczególnie zainteresowała mnie uwaga o splątaniu między dwoma modami pojedynczej cząstki padającej na płytkę światłodzielącą (BS - beamsplitter). Zazwyczaj splątanie jest przedstawiane jako relacja między rozdzielnymi bytami fizycznymi, które można osobno „zaadresować”. Na przykład, gdy stan bozonowy |1,1> pada BS, zjawisko Hong-Ou-Mandla sprawia, że stan wyjściowy to |20>-|02> (z dokładnością do normalizacji). Efekt ten jest konsekwencją bozonowej statystyki układu dwu cząstek (czy, jak kto woli, zastosowania formalizmu drugiej kwantyzacji dla bozonów).

Czym jest stan |10>+|01> powstały w wyniku przejścia |10> przez BS? Czy splątanie to jest zasobem? Będę ciekaw tego, jak Autor odniesie się do niekończącej się kontrowersji dotyczącej rozróżnienia między splątaniem cząstek i modów. Praca [4] jest bardzo ciekawa zaś opis otwartych układów fotonowych uważam za bardzo ważny. Nie jest dla mnie jasne, i proszę Autora o wyjaśnienie, jaki wpływ przejście od rho do rho_F a następnie do operatora gęstości po rzutowaniu ma na to, jak odnosi się splątanie wykrywane w końcowym operatorze do tego w stanie przed wszelkimi manipulacjami.

Podsumowując, jest to bardzo dobra rozprawa Autora o znakomitym dorobku, powstała pod opieką światowej klasy specjalisty w świetnym ośrodku naukowym. Praca ta nie jest wolna od niedoskonałości, ale nie jest od nich wolna żadna ludzka aktywność. Pozostaje mi stwierdzić, że rozprawa doktorska mgr. Konrada Schlichtholza pod tytułem „Non-classicality of bosonic fields in states of undefined particle numbers” spełnia wymagania opisane w art. 187 ust. 2 i 3 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tekst jednolity: Dz. U. 2023 r. poz. 742 z późn. zm.) i wnoszę o dopuszczenie Autora do dalszych etapów postępowania w przewodzie doktorskim. Wnoszę również o wyróżnienie tej rozprawy.

Podpisany elektronicznie przez
Jan Chwedeńczuk; Uniwersytet Warszawski
18.09.2024
13:10:25 +02'00'