

dr hab. Gniewomir Sarbicki
Katedra Fizyki Matematycznej
Instytut Fizyki
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

Recenzja osiągnięcia naukowego dr Waldemara Kłobusa pt.
Analiza układów złożonych i wpływu nieklasycznych korelacji na ich własności
przedstawionego w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego
w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych

Złożony w 2023 roku przez dr Waldemara Kłobusa wniosek habilitacyjny "Analiza układów złożonych i wpływu nieklasycznych korelacji na ich własności" opiera się na 7 artykułach naukowych opublikowanych w latach 2016 - 2022 w renomowanych czasopismach: Physical Review E (140 punktów MNiSW), New Journal of Physics (140 punktów MNiSW), 3 prace w Physical Review A (100 punktów MNiSW), oraz w czasopismach mniej renomowanych: European Physics Journal D (40 punktów MNiSW), Foundations of Physics (40 punktów MNiSW).

Tematykę prac jest różnorodna. Sam autor opisuje tematykę poruszaną w artykułach jako:

1. Potencjał komunikacyjny układu wielocząstkowego jako efekt łamania relacji monogamii
2. Kompromis między zaburzeniem a uzyskiwaną informacją jako efekt więzu niesygnalizowania oraz stopnia korelacji układu wielocząstkowego
3. Kooperacyjny zysk informacyjny jako efekt współzależności układu wielocząstkowego
4. Analiza relacji splątania kwantowego i tensora korelacji (2 prace)
5. Analiza transferu splątania kwantowego do układu o zmienionej wymiarowości
6. Dynamika chaotyczna jako efekt oddziaływań kwantowego układu złożonego

Podsumowując, punkty 1-3 dotyczą własności teorioinformacyjnych układów wielocząstkowych, punkty 4-5 dotyczą detekcji splątania, a ostatni punkt dotyczy dynamiki chaotycznej układu kwantowego, w którym pewne założenia pozwalają wprowadzić nieliniowość do równania dynamiki. Tytuł osiągnięcia jest bardzo ogólny, by zawrzeć w sobie tak różnorodną tematykę. Jakkolwiek ciekawa jest praca dotycząca chaosu kwantowego [H7], prace spoza cyklu [O1] i [O2] wydają się być bliższe pozostałej tematyce i włączenie ich do osiągnięcia zamiast pracy [H7] poprawiło by jego spójność tematyczną.

Numerację w wykazie publikacji (wstęp, str. 3) i w bibliografii różni permutacja bez punktów stałych: (17)(236)(45), co sprawiało pewne problemy nawigacyjne i było pewnym niedociągnięciem autoreferatu.

Wszystkie wskazane artykuły są wieloautorskie (od 3 do 6 współautorów w pracy, średnio 4.4), łącznie 24 współautorów 7 artykułów. Pokazuje to umiejętność autora owocnej współpracy w większych grupach badawczych. Analiza dokumentu "Wykaz osiągnięć naukowych albo artystycznych, stanowiących znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny" oraz oświadczeń współautorów pozwala stwierdzić znaczny, a w większości prac wiodący, wkład autora w uzyskane wyniki badań.

Jako wyniki w osiągnięciu najistotniejsze dla rozwoju dziedziny subiektywnie uważam prace [H1], [H4] i [H5]. Praca [H1] odnosi się do znanej wcześniej obserwacji, że złamanie relacji monogamii skutkuje możliwością nadświetlnej komunikacji, co było rozważane w kontekście promieniowania Hawkinga z czarnych dziur (JHEP 02, 062 (2013)). Artykuł [H1] precyzuje to ilościowo, podając oszacowania na przepustowość uzyskanego w ten sposób nadświetlnego kanału komunikacyjnego.

Praca [H4] opisuje metodę konstrukcji stanów o znikających elementach tensora korelacji o wszystkich indeksach niezerowych (składowe wewnętrzne, opisujące korelacje między wszystkimi cząstkami) jednocześnie pokazując, że stany te są istotnie wielocząstkowo splątane. Wprowadza to ograniczenia na wykrywanie splątania za pomocą kryteriów opartych o tensor korelacji. Praca [H5] z kolei rozważa problem braku czystych qubitowych stanów k -jednorodnych dla pewnych wartości k i liczby cząstek N i podaje w takiej sytuacji metodę konstrukcji stanu mieszanego o takich własnościach oraz przytacza wyniki numeryczne potwierdzające, że są to stany o maksymalnej możliwej do uzyskania czystości. Artykuł ten uogólnia koncepcję stanu k -jednorodnego do stanów mieszanych otwierając pole do dyskusji nad protokołami kwantowymi wykorzystującymi takie stany. Wkładem habilitanta do tej pracy jest adaptacja formalizmu generatorów grupy stabilizatora znanego wcześniej w teorii kwantowych kodów korygujących błędy. Polega ona na nałożeniu na generatory dodatkowego warunku k -jednorodności. Charakterystyka takich zbiorów jest wciąż problemem otwartym i otwiera nowe pole badań.

Praca [H3] definiuje za pomocą warunkowej informacji wzajemnej wielkość nazwaną *współzależnością*, mierzącą w wielocząstkowym układzie złożonym, dzielonym między n użytkowników minimalny zysk informacyjny o n -tym podukładzie dla $n-2$ użytkowników, jeżeli współpracują oni z $n-1$ -szym użytkownikiem, minimalizowany po wszystkich permutacjach zbioru użytkowników. Wielkość ta zawsze się zeruje, jeżeli przynajmniej jeden użytkownik jest niezależny od pozostałych. Praca pokazuje, że wielkość ta wykrywa n -cząstkowe korelacje nawet w przypadku zerowania się wewnętrznych składowych tensora korelacji.

Praca [H2] wyprowadza zasadę nieoznaczoności w scenariuszu dwóch rozdzielonych przestrzennie obserwatorów przy założeniu jedynie niesygnalowania, zatem bez użycia formalizmu kwantowego, a rozważając jedynie łączne warunkowe rozkłady prawdopodobieństwa wyników (pudełko Popescu-Rohlich). Wyprowadzona zasada wiąże ilościowo zaburzenie rozkładu wyników jednej z obserwacji ze zmianą nielokalności Bella pudełka z, którą z kolei dzięki relacji monogamii można powiązać z uzyskiwaną informacją. Zasada zobrazowana jest na przykładzie nierówności CHSH i jej uogólnienia, nierówności BCCB.

Praca [H6], dotycząca detekcji splątania po przeniesieniu go na układ dwóch qubitów zwraca z kolei uwagę ciekawymi wynikami uzyskanymi z prostego pomysłu i za pomocą prostych operacji matematycznych.

Bardzo ciekawą pracą, choć najmniej powiązaną tematycznie z pozostałymi pracami w osiągnięciu habilitacyjnym jest praca [H7]. Autorzy uzasadniają w niej i analizują nieliniowe równanie dynamiki rotatora kopanego poddanemu działaniu kanału tłumiącego amplitudę o współczynniku tłumienia r . Cykl: nieliniowa dynamika unitarna - obrót wokół osi y - tłumienie amplitudy prowadzi do dyskretnego układu równań na wektor Blocha. Autorzy badają istnienie rozwiązań okresowych i ich okresy w funkcji parametru r , obserwują zjawisko podwajania okresu, okien zachowań chaotycznych na diagramie bifurkacyjnym i potwierdzają schemat bifurkacyjny Feigenbauma. Dla zachowań chaotycznych numerycznie wyznaczają wymiar fraktalny dziwnego atryktora.

W artykułach widać dbałość o czytelność wyników dla fizyków mniej matematycznych. W pracy [H6] przykładową realizacją operacji przenoszącej splątanie jest lokalne oddziaływanie z polem magnetycznym, jak w eksperymencie Sterna-Gerlacha. W pracy [H5] pokazany jest randomizowany obwód kwantowy produkujący k -jednorodne stany qubitów ze stanu próżni, rozbity na bramki Hadamarda, przesunięcia w fazie, CNOT i SWAP.

Autor odznacza się biegłością w implementowaniu eksperymentów numerycznych na potrzeby prowadzonych badań. Z dokumentu "Wykaz osiągnięć naukowych albo artystycznych" dowiadujemy się, że wykorzystuje w tym celu pakiety Mathematica i MATLAB. Z punktu widzenia zasad otwartej nauki, kody eksperymentów numerycznych wspierających hipotezy w artykułach lepiej by były napisane w bezpłatnych interpreterach, pozwalając na weryfikację tez artykułu

każdemu bez ponoszenia dodatkowych kosztów. Drugą istotną cechą interpretera kodu wspierającego tezy artykułu powinna być również jego otwartość, w przeciwnym wypadku argumentacja jest oparta na wynikach czarnej skrzynki, której poprawności działania nie można zweryfikować. Zarzut ten dotyczy głównie kodów pakietu Mathematica - kody Matlaba są w dużej mierze kompatybilne z GNU Octave, spełniającym oba powyższe warunki.

W momencie pisania wniosku autor miał 13 publikacji po doktoracie, 11 przed doktoratem i 3 preprinty. Prace te miały (wg. Google Scholar) 402 cytowania i indeks Hirscha 11. W momencie pisania niniejszej recenzji było to już: 446 cytowania przy niezmienionym indeksie Hirscha. Dla naukowca 10 lat po doktoracie w dziedzinie informatyki kwantowej jest to bardzo dobry wynik. Pamiętać jednak przy tym należy, że został on osiągnięty w grupach mających w składzie bardzo znamienitych i rozpoznawalnych naukowców, co na pewno podnosi wskaźnik cytowań.

Wyniki wskazane w osiągnięciu habilitacyjnym autor uzyskał na Uniwersytecie Adama Mickiewicza w Poznaniu i na Uniwersytecie Gdańskim. Odbył również 5 krótkich staży w ośrodkach w Europie, Kanadzie i Singapurze. Spełnia zatem ustawowy warunek aktywności naukowej w więcej niż jednym ośrodku.

Po doktoracie, gdy autor pracował nad wynikami wchodzącymi w skład jego osiągnięcia habilitacyjnego, przebywał on do początku 2021 roku na dwóch stażach podoktorskich, nie prowadząc w tym czasie zajęć dydaktycznych. Następnie przeszedł na etat naukowo- dydaktyczny na Uniwersytecie Gdańskim, przeprowadzając do czasu złożenia wniosku (przez 5 semestrów) 670 godzin zajęć dydaktycznych z przedmiotów matematycznych i z fizyki kwantowej (zgodnie ze specjalnością naukową), ale również z mechaniki analitycznej. Był również promotorem pomocniczym doktoratu pani Mahaswety Pandit obronionego w 2022 roku. W tym samym okresie był też dwukrotnie przewodniczącym wydziałowej komisji rekrutacyjnej. Biorąc pod uwagę relatywnie krótki okres zatrudnienia na etacie naukowo-dydaktycznym, dorobek naukowy i organizacyjny habilitanta jest bez zarzutu. Dodatkowo w okresie poprzedzającym zatrudnienie wykazał się działalnością na polu popularyzacji nauki.

W dokumencie "Wykaz osiągnięć naukowych albo artystycznych" autor przedstawia 12 wystąpień na konferencjach i seminariach, dowodząc umiejętności w prezentowaniu wyników swoich badań i dyskusji o nich.

Autor nie wykazuje zdobycia i kierowania w żadnym grantie, co obecnie często jest podnoszone jako zarzut wobec osoby pretendującej do bycia samodzielnym pracownikiem naukowym. Będąc zatrudnionym w dwóch grantach, zaniedbał rozwój kompetencji biurowatycznych, skupiając się na rozwijaniu swoich kwalifikacji naukowych, które powyżej oceniłem bardzo pozytywnie i które w mojej opinii w pełni rekompensują braki na polu biurowatycznym.

Podsumowując, uważam że dorobek naukowy dr Waldemara Kłobusa spełnia wymagania sprecyzowane w ustawie o stopniach i tytułach naukowych. Przy bardzo szeroko określonej tematyce osiągnięcia habilitacyjnego, uzyskane wyniki są istotne z punktu widzenia rozwoju informatyki kwantowej, a analiza wkładu autora potwierdza jego wszechstronne kompetencje naukowe. Z przyjemnością rekomenduję dopuszczenie dr Waldemara Kłobusa do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.

Gniewomir Sarbicki

dr hab. Gniewomir Sarbicki