

Recenzja pracy doktorskiej mgr Kamili Trzcińskiej

**„Superaktywacja łamania nierówności Svetlichnego
w układach wielocząstkowych”**

Praca doktorska mgr Kamili Trzcińskiej poświęcona jest badaniu korelacji w wielocząstkowych układach złożonych. Korelacje w układach fizycznych (zarówno klasycznych jak i kwantowych) są często kluczem do zrozumienia fizyki zagadnienia. Naszą wiedzę o układzie zdobywamy analizując różne typy korelacji. Wraz z rozwojem kwantowej teorii informacji problem opisu korelacji nabiera kluczowego znaczenia. Korelacje są kluczowym zasobem komunikacji, która de facto polega na skorelowaniu nadawcy i odbiorcy przez wymianę układów fizycznych. Fizyka kwantowa wprowadza nowe subtelne typy korelacji, które nie są dostępne w układach klasycznych. Najbardziej popularny rodzaj kwantowych korelacji to kwantowe splątanie, które jest kluczowym zasobem informacyjnym szeregu znanych protokołów kwantowych, np. protokołu kwantowej teleportacji. Okazuje się jednak, że stany kwantowe, które są separowalne, czyli nie posiadają kwantowego splątania, nadal mogą reprezentować nieklasyczne korelacje takie jak np. kwantowy dyskord.

Pewne typy kwantowych korelacji prowadzą do łamania nierówności Bella. Nierówności te, wyprowadzone przez Johna Bella w latach 60., wprowadzają ograniczenie na teorie spełniające warunki lokalnego realizmu. Mechanika kwantowa prowadzi do złamania nierówności Bella co zostało również potwierdzone eksperymentalnie dla zmodyfikowanej nierówności Bella zaproponowanej przez Clausera, Horne'a, Shimony i Holta (CHSH). Nierówności Bella czy też nierówności CHSH dotyczą sytuacji dwóch układów. W przypadku większej liczby układów sytuacja jest dużo bardziej skomplikowana. Dla trzech układów analog nierówności Bella został zaproponowany przez Mermin'a i Svetlichnego.

Praca doktorska mgr Kamili Trzcińskiej analizuje przypadek nierówności Svetlichnego. Kluczowym elementem pracy jest zjawisko aktywacji: nawet jeśli dany stan kwantowy spełnia nierówność Svetlichnego (lub inny rodzaj nierówności typu Bella), to większa liczba kopii tego stanu może prowadzić do łamania tej nierówności. Jest to całkowicie kwantowy efekt, który nie ma klasycznego odpowiednika.

W pracy doktorskiej pani mgr Trzcińska analizuje 2-parametrową klasę 3-cząstkowych stanów GHZ (wzór (4.18)). Wyznaczone są dwie 1-parametrowe rodziny, które maksymalizują operator Svetlichnego. Obie rodziny w pewnym zakresie parametru spełniają nierówność Svetlichnego, tzn. wartość operatora jest ograniczona przez 4. Pytanie jakie stawia doktorantka, to czy dwie kopie tego stanu mogą łamać nierówność Svetlichnego, jeśli pojedyncza kopia ją spełnia? Detaliczna analiza numeryczna, która przeprowadza doktorantka daje pozytywną odpowiedź – możliwa jest aktywacja łamania nierówności Svetlichnego. Wynik ten jest ciekawy i wartościowy. Co więcej, został opublikowany w renomowanym czasopiśmie – Phys. Rev A w 2015r. Podobna analiza przeprowadzona jest dla tzw.

zazsumionych stanów GHZ, tzn. mieszaniny pierwotnych stanów i stanu maksymalnie mieszanego. Wynik jest podobny: używając dwóch kopii zazsumionego stanu GHZ można aktywować nierówność Svetlichnego. Co ciekawe, używa się w tym celu tych samych obserwacji co w przypadku oryginalnych stanów GHZ (bez szumu). Omija się tym samym skomplikowaną procedurę optymalizacji.

Podkreślając wartościowy wynik rozprawy chciałbym jednak zgłosić szereg uwag krytycznych.

1) Główny rezultat – aktywacja łamania nierówności Svetlichnego – jest wynikiem analizy numerycznej. Zabrakło mi w rozprawie bardziej detalicznych rozważań analitycznych. Np. Jakie stany można aktywować? Czy istnieją naturalne klasy stanów podlegające aktywacji? Czy istnieją stany, których nie można aktywować? Jeśli tak, dlaczego?

2) Na ile aktywacja nierówności Svetlichnego jest uniwersalna? Doktorantka bada jedynie bardzo wąską klasę stanów. Czy znane są inne stany, które można aktywować?

3) Jako teoretyk mam zawsze pewien niedosyt jeśli analiza ogranicza się do numeryki. Dodatkowo doktorantka korzysta z komercyjnego programu „Mathematica”, który w zasadzie jest „czarną skrzynką”, do której nie mamy żadnego dostępu. Praca byłaby dużo bardziej wartościowa, gdyby doktorantka dostarczyła własny kod numeryczny, który można by krytycznie przeanalizować.

4) W procedurze optymalizacji parametryzacja odgrywa zazwyczaj istotną rolę. Można pokusić się o pytanie jak zmiana parametryzacji grupy $SU(4)$ wpływa na wynik optymalizacji.

Ocena końcowa: Praca doktorska mgr Kamili Trzcińskiej spełnia ustawowe i zwyczajowe wymogi stawiane pracom doktorskim. Doktorantka postawiła ciekawy problem badawczy i uzyskała istotnie nowe rezultaty, które zostały opublikowane w renomowanych czasopismach z dziedziny: Phys. Rev. A oraz Open Sys. Inf. Dyn. Wnoszę o dopuszczenie pani mgr Kamili Trzcińskiej do dalszego etapu przewodu doktorskiego.

Toruń, 12 września 2017


prof. dr hab. Dariusz Chruściński