

prof. dr hab. Antoni Wójcik

Poznań, 2 listopada 2015

Wydział Fizyki

Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr. Pawła Mazurka

On chosen applications of quantum correlations in the presence of external noise

Przedstawiona do recenzji rozprawa mgr. Pawła Mazurka została przygotowana pod kierunkiem prof. dr. hab. Pawła Horodeckiego. Rolę promotora pomocniczego pełniła dr Katarzyna Roszak. Rozprawa ma formę zbioru czterech artykułów opublikowanych w czasopismach naukowych w języku angielskim. Opatrzona jest streszczeniami w języku polskim i angielskim. Dokumentacja zawiera oświadczenia współautorów artykułów określające ich indywidualny wkład. Artykuły składające się na rozprawę zostały opublikowane w czasopismach o bardzo wysokiej randze naukowej - dwa w Physical Review A, jeden w Scientific Reports i jeden artykuł w Europhysics Letters. Dwa spośród czterech artykułów stanowiących rozprawę traktują o kodach korekcji błędów (z uwzględnieniem lokalnego szumu), a dwa opisują oddziaływanie z otoczeniem pary kropek kwantowych w arsenku galu i rozważają możliwości wykorzystania takiego układu dla pomiaru pola magnetycznego. Pojawia się zatem pytanie o spełnienie ustawowego wymogu spójności tematycznej zbioru artykułów tworzącego rozprawę doktorską. Autor przekonuje w streszczeniu, że taka struktura pracy jest odbiciem pewnej istotnej dychotomii odnoszącej się do roli pełnionej przez oddziaływanie układu kwantowego ze środowiskiem. Z jednej bowiem strony poszukujemy protokołów pozwalających ochronić kwantową informację przed dekoherencją, zaś z drugiej strony możemy szukać procedur, które będą wykorzystywać skutkujące dekoherencją oddziaływania.

Pierwsza praca dotyczy ważnego, aktualnego problemu kwantowej komunikacji w sieciach kwantowych. Opiera się ona na izomorfizmie pomiędzy przesyłaniem kwantowej informacji w sieci o wymiarze $d+1$, a przechowywaniem kwantowej informacji w sieci o wymiarze d . Uzyskano w pracy dolne ograniczenie (zależne od prawdopodobieństwa lokalnego szumu i ilości bramek wykorzystywanych na pierwszym poziomie zagnieżdżenia)

na wierność kodowania stanu qubitu w kod 1-wymiarowy. Wynik ten w połączeniu z wspomnianym izomorfizmem dowodzi możliwości przesyłania kwantowej informacji w zaszumionych sieciach dwuwymiarowych. Kolejnym istotnym rezultatem pracy jest przedstawienie konkretnej procedury kodowania (i odkodowywania) stanu qubitu w 2-wymiarowy kod Kitaeva na płaszczyźnie wraz ze wskazaniem teleportacyjnego charakteru takiej procedury. Ponownie wyznaczono dolne ograniczenie wierności przy uwzględnieniu szumu. Wielką zaletą zaproponowanej procedury jest jej prostota. W efekcie otrzymujemy elegancki schemat odpornej na szum komunikacji kwantowej w 3 wymiarach.

Kolejna praca uogólnia wspomniany rezultat (kodowanie stanu qubitu w kod topologiczny Kitaeva) na kody topologiczne typu Calderbanka - Steana - Shora. Przeanalizowano przykłady kodów Kitaeva na torusie, z defektami, kodu Bravyi'go na podukładach oraz kodu Haaha. Dla kodu Bravyi'go na podukładach przeanalizowano wpływ szumów. Udowodniono, że wierność jest rzędu $1-O(p)$, gdzie p to prawdopodobieństwo błędu lokalnego szumu w jednym kroku czasowym.

W trzeciej pracy zaproponowano oryginalną metodę pomiaru pola magnetycznego wykorzystującą wpływ pola na dekoherencję stanu splątanego (singletu) dwóch nieoddziałujących kropek kwantowych. Propozycję poparto obliczeniami opartymi na efektywnym hamiltonianie opisującym elektronową kropkę kwantową w arsenku galu oddziałującą z otoczeniem składającym się z kilkudziesięciu spinów jądrowych. Wykazano niemonotoniczny charakter zależności czasu nagłej śmierci splątania od wartości pola magnetycznego. Dla pól o wartościach między 5 a 10 mT zależność ta jednak okazała się monotoniczna i dostatecznie stroma, aby umożliwić konstrukcję progowego czujnika pola magnetycznego wykorzystującego pomiar wierności stanu singletowego.

W czwartej pracy ponownie przeanalizowano przydatność układu dwu nieoddziałujących kropek kwantowych w pomiarach pola magnetycznego. Tym razem jednak skoncentrowano się nie na badaniu zaniku splątania, ale na ewolucji kwantowych korelacji opisanych przeskalowanym dysonansem geometrycznym. Wykazano, że badanie dysonansu powinno umożliwić pomiar pola w zakresie większym niż badanie splątania. W szczególności stwierdzono możliwość pomiaru pola w zakresie 0 - 5 mT. Co więcej pokazano, że nie ma konieczności stosowania do pomiaru pól magnetycznych stanów splątanych - separowalne stany Wernera z niezerowym dysonansem są wystarczające.

Wszystkie te, skrótkowo omówione, wyniki (wraz ze złożonymi oświadczeniami współautorów) dowodzą, że kandydat osiągnął stopień dojrzałości umożliwiający mu samodzielne prowadzenie badań naukowych. Dysponuje wystarczająco szeroką wiedzą teoretyczną w zakresie fizyki, opanował techniki informatyki kwantowej konieczne do rozwiązywania istotnych i oryginalnych problemów. Prace dotyczące magnetometrii pokazują ponadto, że kandydat potrafi odnieść czasem nieco zbyt abstrakcyjnie traktowane przez fizyków pojęcia z zakresu teorii splątania do bardzo konkretnych, realnych przykładów fizyki ciała stałego i dzięki temu jego propozycje mają eksperymentalne uzasadnienie, a może

w przyszłości doprowadzą do zastosowań technologicznych. Wysoką ocenę rozprawy wzmocnia fakt, że wyniki zostały opublikowane w prestiżowych czasopismach.

Aby z recenzenckiego obowiązku wytknąć jakieś mankamenty rozprawy, wspomnę o kwestii językowej. Wydaje mi się, że polszczyzna streszczenia pozostawia wiele do życzenia. Zdaję sobie sprawę, że problem z językiem polskim w odniesieniu do nauki, która w zasadzie uprawiana jest po angielsku nie jest jedynie problemem kandydata. Kłopoty te dotyczą dość powszechnie pokolenia młodych fizyków. W obecnej sytuacji, kiedy zniknął (uciążliwy oczywiście) obowiązek pisanie całej rozprawy po polsku, problem ten prawdopodobnie będzie narastał. Uwaga ta, o nieco zbyt ogólnym charakterze, oczywiście nie obniża bardzo wysokiej oceny rozprawy.

Podsumowując stwierdzam, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa *On chosen applications of quantum correlations in the presence of external noise* mgr. Pawła Mazurka spełnia w pełni wymagania stawiane rozprawom doktorski. Wnoszę o jej przyjęcie i dopuszczenie kandydata do publicznej obrony.

