

Dr hab. Marcin Pawłowski

Uniwersytet Gdański

Międzynarodowe Centrum Teorii Technologii Kwantowych

Wita Stwosza 8, 80-308 Gdańsk

Recenzja pracy doktorskiej mgr. Moniki Mycroft

Praca doktorska mgr. Moniki Mycroft jest zatytułowana: „*Protocols for selected quantum technologies based on feasible multi-photon bipartite entanglement*”. Celem pracy jest przedstawienie dwóch nowych protokołów wykorzystujących, jak tytuł sugeruje, wielofotonowe stany splątane współdzielone przez dwóch użytkowników. Kluczowym słowem jakie pojawia się w tytule jest „feasible”. Odnosi się ono do tego, że stany używane w protokołach przez Autorkę, są generowane w procesie parametrycznej konwersji w dół. Proces ten charakteryzuje się wysoką efektywnością generacji splątania jednak wraz ze wzrostem ilości par splątanych fotonów generowanych na sekundę rośnie prawdopodobieństwo wytwarzania więcej niż jednego fotonu w modzie. Duża część istniejących protokołów traktuje te przypadki jako szkodliwy szum podczas gdy te przedstawione w rozprawie starają się w pełni wykorzystać ich właściwości. Prowadzi to do efektywniejszego wykorzystania narzędzi dostępnych w eksperymentalnej optyce kwantowej co, w czasie kiedy informatyka kwantowa z nauki czysto teoretycznej zamienia się nową dziedziną przemysłu, jest bardzo pożądane. Bez wątplenia można uznać te protokoły za oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, o którym mówi ustawa o stopniach naukowych i tytule naukowym.

Rozprawa podzielona jest na sześć rozdziałów. W pierwszym z nich Autorka krótko przedstawia dziedzinę i motywację do podjętych prac. Jest to dobry wstęp i moją jedyną krytyczną uwagę jest to, że część tekstu napisana jest w liczbie pojedynczej a część w mnogiej.

W rozdziale drugim przedstawione są dwa najważniejsze elementy układu optycznego: źródła fotonów oraz ich detektory. Opis tych elementów jest bardzo dobrze zbalansowany i przekazuje wszystkie niezbędne informacje bez wchodzenia w szczegóły nie będące tematem rozprawy. Odczułem jednak pewien niedosyt w opisie fotodiod lawinowych gdzie, jako jedna z wad, wymieniony jest „afterpulsing” jednak to zjawisko nie jest w żaden sposób opisane. Wydaje mi się, że jest to efekt na tyle mało znany dla niespecjalistów, że zasługuje na parę zdań wyjaśnienia.

Rozdział drugi zakończony jest krótkim opisem technologii produkcji optoelektronicznych chipów. Dziwi mnie fakt, że wśród wymienionych materiałów nie ma jednego z najpopularniejszych - fosforku indu.

Rozdział trzeci przedstawia matematyczne modele dla płytki światłodzielnącej, interferencji Hong-Ou-Madela oraz interferometru Macha-Zehndera. Opis jest bardzo klarowny i posiada dużą wartość dydaktyczną. Szczególnie podoba mi się, że dwie pierwsze sekcje, dotyczące funkcji specjalnych, podobnie jak w rozdziale drugim, zawierają wszystkie istotne fakty i żadnych nieistotnych detali. Choć w recenzji tej pomijam literówki, których w tej pracy i tak jest bardzo niewiele, to w tym

rozdziale chciałbym zwrócić uwagę na jedną, która wpływa na łatwość zrozumienia tekstu. Na rysunku 3.4 pokazane są rozkłady prawdopodobieństwa dla różnych wartości n , podczas gdy w opisie występuje symbol m . Analogiczny błąd pojawia się również w 3.5.

Rozdział czwarty rozpoczyna prezentację własnych wyników Autorki. Jest to rozdział, co do którego poprawności mam poważne zastrzeżenia. $A_N(m, n)$ jest zdefiniowane wcześniej jako amplituda prawdopodobieństwa znalezienia m fotonów w jednym z modów wyjściowych kiedy w modach wejściowych jest ich odpowiednio N i n . Oczywiście $\sum_{m=0}^N |A_N(m, n)| = 1$, ale już $\sum_{n=0}^N |A_N(m, n)| \neq 1$, co można łatwo zauważyć na rysunkach 3.4 i 3.5. Niestety, to właśnie drugą z tych sum Autorka przyrównuje do 1 w kilku miejscach w tym rozdziale. Po raz pierwszy pojawia się to w wyrażeniu (4.12). Pomimo tego ostateczny wniosek punktu 4.2.2 jest dobry gdyż wzór na prawdopodobieństwo zaobserwowania w sumie $\bar{\sigma}$ fotonów jest poprawny. Dzieje się tak dlatego, że aby otrzymać to prawdopodobieństwo należy zsumować $p(k, \bar{\sigma})$ po k . Możemy zamienić więc kolejność sumowania, pozbyć się sumy, która równa się 1 i otrzymać poprawny wynik. Podobny błąd pojawia się w wyrażeniu (4.21), z tą różnicą, że bardzo trudno oszacować jest jego wpływ na resztę rozdziału, zwłaszcza że większość wniosków opiera się o numeryczne wyniki przedstawione na rysunkach.

Oprócz powyższego mam też kilka mniej istotnych komentarzy do treści zawartych w rozdziale 4. Po pierwsze, zdanie rozpoczynające stronę 35: „We then observe that the probability of measuring k ; $\bar{\sigma}-k$ after the beam splitter will be independent of the number of photons in the signal modes a_1 ; b_1 ” jest, w oczywisty sposób, nieprawdziwe. Ponieważ suma fotonów w modach a_1 ; b_1 jest taka sama jak na wyjściu z płytki światłodzielącej to prawdopodobieństwo to musi zależeć od tego czy $\bar{\sigma}$ jest większa czy mniejsza od tej sumy. Po drugie, stała normalizacyjna we wzorach (4.17) i (4.18) ma różną wartość, ale takie same oznaczenie. Jest to wyjaśnione w tekście ale, dla łatwości zrozumienia, lepsze byłoby wprowadzenie dwóch różnych symboli. Po trzecie, pod koniec strony 35 pojawia się pomysł symetryzacji strat poprzez sztuczne zwiększenie ich po jednej ze stron. Zastanawiam się czy bardziej efektywne nie byłoby zwiększenie współczynnika g po stronie z większymi stratami.

Rozdział piąty opisuje użycie protokołu podobnego do tego z rozdziału 4 w metrologii. Głównym jego celem jest znalezienie stanów, w których wysoka informacja Fishera utrzymuje się w obecności strat fotonów. To zadanie zostaje wykonane i rodzina stanów, które w obecności strat radzą sobie lepiej niż stany NOON zostaje przedstawiona. Mam tylko jedną, mało istotną uwagę do tego rozdziału. Autorka od początku twierdzi, że znalezione stany są bardziej czułe niż NOON lub HB w obecności strat fotonów, ale to jaka jest krytyczna wartość strat powyżej której nowe stany mają przewagę podane jest dopiero w opisie rysunku 5.4.

Całość pracy napisana jest w bardzo przystępny sposób i jej struktura jest bardzo dobra. W bibliografii znajduje się ponad 160 pozycji, które są dobrze dobrane. Podsumowując uważam, że **rozprawa mgr. Moniki Mycroft spełnia formalne i zwyczajowe wymagania stawiane pracom doktorskim i wnioskuję o dopuszczenie jej do dalszych etapów przewodu doktorskiego**. Jednocześnie zaznaczam, że moje zastrzeżenia co do wyników przedstawionych w rozdziale 4 są dość poważne. Podczas publicznej obrony chciałbym usłyszeć wyczerpujące wyjaśnienie odnośnie tego czy praca rzeczywiście zawiera zauważony przeze mnie błąd (dopuszczam możliwość, że nie zauważyłem zmiany notacji lub popełniłem inną pomyłkę). Jeśli ten błąd jest obecny chciałbym dowiedzieć się jak wpływa on na wnioski zawarte w dalszej części rozdziału 4.



Marcin Pawłowski