

Streszczenie

Wraz z rozwojem kwantowych technologii, technik eksperymentalnych i postępowaniem technologicznym w ogóle splątanie kwantowego światła jest (i najprawdopodobniej będzie również w przyszłości) bardzo aktualnym zagadnieniem badawczym. Taka jest również tematyka niniejszej rozprawy doktorskiej, w skład której wchodzi cztery artykuły naukowe (wymienione w bibliografii PhD Series) opatrzone wstępem. Wstęp zawiera zwięzły opis badań przeprowadzonych w czasie studiów doktoranckich, których wyniki zostały umieszczone w wyżej wspomnianych publikacjach. Przeprowadzone badania dotyczą nieklasycznych korelacji kwantowych stanów optycznych o niestalonej ilości cząstek analizowanych za pomocą pomiarów intensywności w kontekście polaryzacji i pomiaru homodynowego. Publikacje są ze sobą powiązane.

Artykuł "General mapping of multiqubit entanglement conditions to nonseparability indicators for quantum-optical fields" stanowi podstawę cyklu. Praca opisuje ogólną metodę tworzenia pewnej określonej klasy kwantowo-optycznych indykatorów splątania, które wykorzystują korelacje oparte na intensywnościach. Tego typu metody wykrywania splątania są obecnie eksperymentalnie wykonalne. Nasza metoda jest oparta na istnieniu odwzorowania pomiędzy wskaźnikami splątania i nierównościami Bella dla quditów, a analogicznymi indykatorami nieklasyczności dla pól optycznych. W sensie operacyjnym polega to na zamianie prawdopodobieństw koincydencyjnej detekcji cząstki w danym końcowym kanale przez stosunek lokalnie rejestrowanych intensywności pola. Matematycznie rzecz ujmując odwzorowanie polega na zastąpieniu wartości średnich obserwabli Pauliego, lub ich korelacji, średnimi standardowych lub znormalizowanych obserwabli Stokesa, lub ich korelacji. W pracy zaznaczone jest, że w przypadku nierówności Bella nasza metoda nadaje się jedynie dla obserwabli o spektrum pomiędzy $[-1, 1]$. Strategia konstruowania nierówności Bella dla standardowych operatorów Stokesa musi być diametralnie inna i nie jest tu dyskutowana. Tak otrzymane identyfikatory nieklasyczności są testowane dla czteromodowej jasnej ściętnionej próżni (BSV) oraz jej generalizacji na stany o większej ilości modów optycznych.

Artykuł "Simplified quantum optical Stokes observables and Bell's theorem" również przedstawia nowe narzędzia do wykrywania nieklasycznych korelacji pól optycznych. Zaproponowaliśmy tam nowe obserwable - uproszczone operatory Stokesa - do przeprowadzania eksperymentów Bellowskich. Koncepcja nowych obserwabli jest bardzo prosta i polega na porównaniu, w którym z lokalnych detektorów zarejestrowano większą intensywność padającego światła. W zależności od tego takiemu pomiarowi nadawane są wartości ± 1 . Gdy oba detektory rejestrują taką samą częstotliwość przypisywane jest 0. Okazuje się że używając naszych obserwabli można uzyskać lepsze łamanie nierówności Bella niż w przypadku znormalizowanych operatorów Stokesa dla jasnej ściętnionej próżni oraz stanów otrzymanych w wyniku parametrycznej konwersji trzeciego rzędu tzw "makroskopowego stanu GHZ". Również warto zwrócić uwagę, że zaproponowane obserwable są realizowalne eksperymentalnie, a ich znaczenie fizyczne jest intuicyjne. Niestety nasze obserwable nie nadają się do konstrukcji świadków splątania.

Prace "Can single photon excitation of two spatially separated modes lead to a violation of Bell inequality via weak-field homodyne measurements?" i "Wave-particle complementarity: detecting violation of local realism with photon-number resolving weak-field homodyne measurements" dotyczą analizy i weryfikacji kontrowersyjnych stwierdzeń dotyczących nieklasyczności pojedynczego fotonu nazywaną w literaturze "niekolalnością pojedynczego fotonu" wykrywalną przy użyciu pomiaru homodynowego dla słabych stanów koherentnych lokalnych oscylatorów. Zostały przeanalizowane dwa emblematyczne eksperymenty myślowe odnośnie tego zagadnienia: eksperyment Tana, Wallsa i Colletta (TWC) oraz tzw. paradoks Har-

dy'ego. Obecnie, w czasach gdy jest możliwa eksperymentalna realizacja tych eksperymentów, wyjaśnienie kontrowersji dotyczących łamania nierówności Bella przez pojedynczy foton nabiera znaczenia nie tylko w sensie fundamentalnym, ale też w odniesieniu do rozwoju kwantowych technologii. Eksperyment Hardy'ego jest niepodważalnie poprawny, choć nieoptymalny. Natomiast w przypadku TWC teza okazała się być błędna. W ostatnim z przytoczonych artykułów został zawarty opis modelu ukrytych zmiennych dla doświadczenia TWC, co jednoznacznie zamyka możliwość użycia schematu TWC do bezwarunkowo bezpiecznej kryptografii kwantowej. Ponadto zostały przedstawione eksperymenty, będące zmodyfikowanymi wersjami eksperymentów TWC i Hardy'iego. Okazuje się, że łamanie nierówności Bella przez pojedynczy foton występuje jedynie przy bardzo specyficznych ustawieniach płytek światłdzielących i zmiennych amplitud stanów koherentnych użytych do pomiaru homodynowego.

Wstęp do publikacji jest zorganizowany w następujący sposób. Pierwsze cztery rozdziały wstępu zawierają ogólne uwagi na temat jasnej ścięsnionej próżni i obserwabli używanych do opisu pola optycznego. Rozdziały 5-7 omawiają ogólny zarys prowadzonych badań i wnioski zawarte w wyżej wspomnianych publikacjach. W sekcji 5 została przedstawiona metoda otrzymywania indykatorów nieklasyczości dla pola optycznego. Rozdział 6 omawia uproszczone operatory Stokesa. W rozdziale 7 jest opisana analiza eksperymentów (TWC) oraz Hardy'ego. Również zostały przytoczone zaproponowane przez nas eksperymenty, pozwalające na zaobserwowanie *prawdziwej* nieklasyczości Bella pojedynczego fotonu.

Ostatnia część wstępu jest krótkim opisem możliwej kontynuacji przedstawionych badań.