

## Streszczenie

Odkrycie odmiennego od klasycznego zachowania układów składających się z małej ilości cząstek spowodowało wiele fundamentalnych pytań o naturę naszego świata. Dalszy rozwój mechaniki kwantowej otworzył również nowe perspektywy na wykorzystanie zjawisk kwantowych w kontekście nowych technologii. W związku z tym, badanie zjawisk nieklasycznych stało się jednym z głównych nurtów badań w dziedzinie fizyki. Wraz z coraz większym zrozumieniem prostych układów zawierających niewielką liczbę cząstek, problematyka układów bardziej złożonych staje się przedmiotem zainteresowania zarówno z punktu widzenia złożonych zastosowań, jak i fundamentalnego pytania kiedy efekty kwantowe pozostają istotne. Motywuje to rozważania nad układami zawierającymi nieokreśloną liczbę cząstek, w których cechy kwantowe nadal odgrywają ważną rolę.

Niniejsza rozprawa doktorska jest podsumowaniem serii prac współautorstwa doktoranta, skoncentrowanych na opisie zjawisk nieklasycznych w układach bozonowych zawierających nieokreśloną liczbę cząstek, zwłaszcza w reżimie dużej średniej liczby cząstek.

W pierwszym artykule zatytułowanym “Simplified quantum optical Stokes observables and Bell’s theorem” zostały opisane nowe obserwabla, które pozwalają na wykrycie nieklasyczności Bella, korzystając z polaryzacyjnych stanów splątanych o nieokreślonej liczbie fotonów. Co istotne zaproponowany pomiar umożliwi wykrycie nieklasyczności w zakresie średniej liczby fotonów znacznie przekraczającej inne dotychczasowe podejścia. Zaproponowane obserwabla przypisują jako wynik pomiaru  $\pm 1$  bądź  $0$  w zależności od znaku zmierzonej różnicy odpowiedzi detektorów wykrywających fotony w dwóch ortogonalnych modach polaryzacji. W związku z tym obserwabla te można zrealizować za pomocą dowolnego typu detektorów natężenia światła, dla których odpowiedź detektorów rośnie wraz z liczbą fotonów.

Drugi artykuł “Bosonic fields in states with undefined particle numbers possess detectable non-contextuality features, plus more” przedstawia nową reprezentację algebry  $\mathfrak{su}(2)$  na dwumodowej bozonowej przestrzeni Focka. Otrzymany zestaw operatorów pozwolił na zaproponowanie uogólnionego kwadratu Peresa-Merminy, a tym samym na opis nieklasycznego efektu kontekstualności dla pól bozonowych o nieokreślonej liczbie cząstek. Co więcej, efekt ten jest powszechny dla stanów o dużej liczbie cząstek, osiągając dla przyjętego kryterium ograniczenie kwantowe w granicach makroskopowej średniej liczby cząstek. Takie zachowanie jest nietypowe dla rozważań zjawisk kwantowych.

Trzeci artykuł z serii “Generalization of Gisin’s Theorem to Quantum Fields” dotyczy sformułowania twierdzenia Gisina w kontekście pól kwantowych. Przedstawione uogólnienie tego twierdzenia stwierdza, że każdy czysty stan splątany pola kwantowego narusza pewną nierówność Bella. Wobec tego nieklasyczność Bella w ramach kwantowej teorii pola jest obecna dla wszystkich stanów czystych układów splątanych, nawet jeśli liczba cząstek jest nieokreślona;

Ostatnia praca zatytułowana “Open dynamics of entanglement in mesoscopic bosonic systems” wprowadza nowy mezoskopowy opis pól bozonowych, który pozwala na rozważenie otwartej ewolucji splątania. Opisy mezoskopowe mają na celu uproszczenie różnych problemów poprzez uwzględnienie tylko najważniejszych stopni swobody. Zaproponowany opis opiera się w szczególności na korelacjach w liczbie cząstek. Na podstawie tych korelacji skonstruowane zostało rozszerzenie zaproponowanego niedawno formalizmu zredukowanego pola, który jednak sam w sobie nie zawiera informacji o splątaniu. Zaprezentowany formalizm matematycznie odzwierciedla przestrzeń Hilberta dwóch cząstek w ramach pierwszej kwantyzacji i dlatego pozwala na intuicyjne wykorzystanie znanych już narzędzi mechaniki kwantowej. W pracy pokazane zostało, że zaproponowany formalizm jest w stanie opisać splątanie zarówno stanów gaussowskich, jak i niegaussowskich. Pon-

adto formalizm ten nie ogranicza się tylko do opisu splątania. W ramach przykładu zaprezentowane zostało jak nieklasyczny efekt statystyki sub-Poissonowskiej przekształca się w splątanie poprzez działanie rozdzielacza wiązki.