

„Inżynieria modowa stanów światła dla wybranych technologii kwantowych”

W pracy doktorskiej przedstawiono szereg wyników, których wspólnym mianownikiem jest interferencja klasycznych oraz nieklasycznych stanów światła w scenariuszach stanowiących podstawę optycznych technologii kwantowych, takich jak kwantowo wspomaganą interferometria oraz kwantowa daktyloskopia.

W pierwszej części pracy pokazano, że niskoszumna kamera sCMOS wyposażona w zewnętrzny wzmacniacz obrazu umożliwia obserwację interferencji dwufotonowej w konfiguracji Hong-Ou-Mandla, co zgodnie ze stanem wiedzy autora stanowi pierwszą obserwację tego typu interferencji za pomocą kamery. Pokazano, że kamera pozwala na pomiar położenia rejestrowanych par fotonów z bardzo wysoką precyzją. Szczegółowo omówiona została interferometria dwufotonowa w scenariuszu idealnym i realistycznym, która stanowi kanoniczny przykład kwantowo wspomaganą techniki pomiaru. Zaproponowano teoretycznie i zweryfikowano doświadczalnie metodę, pozwalającą na przywrócenie precyzji estymacji fazy w interferometrii dwufotonowej poniżej klasycznej granicy szumu śrutowego, dla całego zakresu różnicy faz pomiędzy ramionami interferometru, nawet w przypadku gdy interferowane fotony są częściowo rozróżnialne widmowo. Wykazano, że precyzję pomiaru fazy można polepszyć poprzez intencjonalne wprowadzenie rozróżnialności pomiędzy interferowane fotony w niezależnym, przestrzennym stopniu swobody, a następnie przeprowadzenie odpowiedniego pomiaru zbierającego informację o przestrzennym rozkładzie równoczesnych zliczeń fotonów. Metoda ta pozwala na obejście, powszechnego w praktyce eksperymentalnej, problemu nieidealnej widzialności interferencji dwufotonowej. Ostatni eksperyment opisany w tej części pracy, prezentuje niemierzoną dotychczas czułość interferencji dwufotonowej na lokalną fazę przestrzennych funkcji falowych fotonów, w kierunku poprzecznym do ich propagacji. Jej wykorzystanie pozwoliło na opracowanie nowatorskiego schematu rekonstrukcji przestrzennej funkcji falowej nieznanego fotonu (tzn. jej amplitudy i fazy), bazującego na pomiarze jego interferencji z referencyjnym fotonem o znanych właściwościach. W schemacie tym zamiast pól elektrycznych, interferowane są dwufotonowe amplitudy prawdopodobieństwa.

Druga część pracy jest poświęcona protokołom kwantowej daktyloskopii i ich optycznym implementacjom. Pokazano w niej, że problem optycznej daktyloskopii sprowadza się do pomiaru widzialności interferencji światła wysyłanego przez uczestników protokołu. Takie sformułowanie problemu pozwoliło na wykorzystanie informacji Chernoffa, jako matematycznego narzędzia opisującego wydajność protokołów w reżimie dużej liczby powtórzeń. Zaproponowano i przedyskutowano trzy protokoły kwantowej daktyloskopii, które w odróżnieniu od dotychczas proponowanych schematów, nie wymagają stabilności fazowej między uczestnikami protokołu. Pierwsze dwa, przeanalizowane teoretycznie, działają odpowiednio w oparciu o interferencję dwufotonową oraz interferencję N -fotonowych stanów Foka. Ostatni z nich, bazujący na interferencji stanów koherentnych w odpowiednio przygotowanych modach oraz późniejszej rekonstrukcji łącznej statystyki zliczeń fotonów, został zasymulowany eksperymentem, którego wyniki w pełni zgodziły się z przewidywaniami teoretycznymi.

W ostatniej części pracy zaproponowano technikę umożliwiającą pomiar szybkozmiennej czasowej modulacji fazy, niezbędnej np. w kwantowej daktyloskopii, przy użyciu interferometrii spektralnej. Technika ta działa w oparciu o mapowanie czasowej modulacji fazy, na fazę spektralną impulsu optycznego z bardzo dużym świergotem. Technika została zademonstrowana w eksperymencie, w którym zmierzono kształt modulacji generowanej przez modulator elektrooptyczny, zasilany sygnałem elektronicznym z szybkiej fotodiody o paśmie 12.5 GHz.