

Splątanie kwantowe to fundamentalne zjawisko w mechanice kwantowej. W stanie splątanym cząstki pod pewnymi względami zachowują się jak jedna całość, niezależnie od odległości, która je dzieli. W ciągu ostatnich kilku dekad, fotony odegrały wiodącą rolę w doświadczalnych badaniach nad splątaniem kwantowym. Splątanie było obecne w różnych stopniach swobody, ale najczęściej stosowano polaryzację światła ze względu na łatwą manipulację tym stopniem swobody. Polaryzacja pojedynczego fotonu jest opisana dwu-wymiarową przestrzenią Hilberta – pozwala fizycznie zrealizować kubit. Okazuje się, że wyżej wymiarowe przestrzenie Hilberta otwierają szersze możliwości przesyłania i przetwarzania informacji, a przestrzenny stopień swobody może posłużyć jako naturalna realizacja “kuditu”. Ta praca skupia się na badaniu przestrzennych profili pojedynczych fotonów i przestrzennego splątania par fotonów. Praca wprowadza narzędzia do badań podstawowych, a jednocześnie może prowadzić do technologicznych postępów w dziedzinie komunikacji kwantowej i obrazowania kwantowego.

Praca została podzielona na trzy główne części, które skupiają się na charakteryzacji przestrzennego stopnia swobody obwieszczanych pojedynczych fotonów i splątanych par fotonów.

W pierwszej części pracy opisano ilościową charakteryzację profili przestrzennych obwieszczanych pojedynczych fotonów. To zadanie jest jednak szczególnie trudne dla pojedynczych fotonów, ze względu na ich nieokreśloną fazę globalną. Aby sprostać temu wyzwaniu, wprowadzono technikę interferometryczną wykorzystującą interferencję pojedynczego fotonu z samym sobą. Wprowadzona technika umożliwia pełną charakteryzację dwuwymiarowej amplitudy prawdopodobieństwa pojedynczego fotonu.

W drugiej części pracy scharakteryzowano przestrzennie splątane pary fotonów generowane przy pomocy spontanicznej parametrycznej konwersji w dół (ang. spontaneous parametric down-conversion – SPDC). Do charakteryzacji użyto nowo zbudowanej kamery ze wzmacniaczem obrazu oferującą wysoką szybkość akwizycji danych. Kamera ta wykorzystuje połączenie wzmacniacza obrazu z sensorem sCMOS o wysokiej rozdzielczości przestrzennej i fotopowielacza o wysokiej rozdzielczości czasowej. Połączenie to pozwala monitorować i kontrolować liczbę fotonów wykrywanych w każdej klatce sensora sCMOS. Stworzona kamera umożliwia detekcję pojedynczych fotonów z wysoką rozdzielczością przestrzenną, jednocześnie zwiększając szybkość akwizycji danych.

W ostatniej części pracy opisano nieliniowy interferometr Zou-Wang-Mandela (ZWM), gdzie wykorzystano technikę znaną jako obrazowanie kwantowe z nierejestrowanymi fotonami (ang. quantum imaging with undetected photons – QIUP) do charakteryzacji korelacji przestrzennych fotonów. Technika QIUP pozwala na tworzenie obrazów bez potrzeby wykrywania światła, które oddziaływało z obrazowanym obiektem. Opiera się ona na generowaniu splątanych par fotonów w kwantowej superpozycji, pochodzących z dwóch różnych źródeł SPDC. W tym procesie jeden z fotonów ze splątanej pary, oddziałuje z badanym obiektem, ale nie jest rejestrowany. Drugi foton z pary, chociaż nie oświetla obiektu, tworzy jego obraz na kamerze. W niniejszej pracy użyto techniki QIUP do charakteryzacji przestrzennych korelacji par fotonów generowanych w procesie SPDC bez rejestracji jednego z fotonów z pary. Stało się to możliwe dzięki temu, że rozdzielczość przestrzenna techniki QIUP jest ograniczona przez stopień korelacji pędu poprzecznego fotonów; silniejsza korelacja prowadzi do wyższej rozdzielczości. W pracy wykorzystano tę

technikę interferometryczną do pomiaru korelacji pędów poprzecznych fotonów i zbadano możliwości charakteryzacji splątania wielowymiarowego z udziałem orbitalnego momentu pędu fotonów.

Podsumowując, praca wprowadza nowe narzędzia do przestrzennej charakteryzacji pojedynczych fotonów i splątanych par fotonów, które mogą przyczynić się do dalszego rozwoju technik komunikacji kwantowej, obrazowania kwantowego i badań nad splątaniem.