

Streszczenie

Na przestrzeni ostatnich lat czasowo-widmowy stopień swobody kwantowych impulsów światła wylania się jako obiecująca platforma dla wysokowymiarowego przetwarzania informacji kwantowej. W porównaniu do dobrze już znanych polaryzacyjnego i przestrzennego stopnia swobody, stopień czasowo-widmowy pozwala na wielowymiarowe kodowanie informacji kwantowej, jednocześnie zachowując kompatybilność z istniejącą siecią światłowodową. Umożliwia to m.in. wydajne przesyłanie informacji kwantowej na duże odległości. Jednakże wykorzystanie czasowo-widmowego stopnia swobody pojedynczych fotonów wymaga kontroli obwiedni czasowej oraz widma impulsów optycznych, zgodnego z wymaganiami kwantowymi, takimi jak brak wzmacniaczy czy niski poziom strat.

Tematem tej pracy jest realizacja eksperymentalna czasowo-widmowego kształtowania kwantowych impulsów światła poprzez zastosowanie elektrooptycznej modulacji fazy. W tym celu zbudowałem nową platformę eksperymentalną do kształtowania czasowej obwiedni i widma impulsów jednofotonowych. Jednym z najważniejszych elementów optycznych układów czasowo-widmowych jest soczewka czasowa, oparta na optycznym dualizmie czasoprzestrzennym, który wiąże optykę czasowo-widmową z dobrze już poznaną optyką przestrzenną. W ramach prezentowanej tu pracy opracowałem dwa nowe typy elektrooptycznych soczewek czasowych, które wykorzystałem do modulacji widma optycznych impulsów kwantowych. W szczególności, użyłem fotonicznie generowanych oraz bardzo szerokopasmowych sygnałów częstotliwości radiowej (RF), tworząc aperiodyczną soczewkę czasową oraz soczewkę czasową Fresnela, które znoszą techniczne ograniczenia soczewek czasowych zademonstrowanych do tej pory, umożliwiając zupełnie nowe zastosowania.

W pierwszej części pracy zbadałem aperiodyczną soczewkę czasową, która wykorzystuje fotonicznie generowany sygnał RF. Był on wytwarzany poprzez detekcję ciągu impulsów optycznych, co pozwala na perfekcyjną synchronizację sygnału RF z modulowanymi impulsami światła. Wykazałem 18-krotną kompresję spektralną obwieszczanych pojedynczych fotonów, jednocześnie zwiększając ich maksymalne natężenie 5-krotnie (uwzględniając łączne straty układu). Wykorzystując światło klasyczne, przeprowadziłem również dogłębną analizę takiej soczewki czasowej, uwzględniając poszerzenie czasu koherencji sygnału wyjściowego czy szeroki zakres przestrajania centralnej długości fali. Ponadto przetestowałem unikalną cechę takiej soczewki czasowej: jej aperiodyczność. Wynika ona z faktu, że fotonicznie generowane impulsy RF podawane na elektrooptyczny modulator fazy nie muszą być okresowe, w przeciwieństwie do jednotonowych sygnałów RF używanych w soczewkach czasowych zademonstrowanych do tej pory.

Następnie użyłem zestawu takich soczewek czasowych do modulacji łącznego widma par splątanych fotonów. Uzyskałem dwufotonową kompresję widma z możliwością precyzyjnego strojenia centralnej długości fali fotonów wyjściowych. W szczególności, pokazałem kompresję widma splątanych fotonów oraz zmianę korelacji czasowo-widmowych pary fotonów. Użyłem tego samego układu do pomiaru łącznego profilu czasowego pary fotonów splątanych w czasowo-widmowym stopniu swobody, drasty-

cznie zmniejszając złożoność układu optycznego w porównaniu z wcześniej stosowanym nieliniowym bramkowaniem.

Najważniejszym wynikiem tej pracy jest eksperymentalna realizacja czasowej soczewki Fresnela, opartej na bardzo szerokopasmowych, złożonych sygnałach RF, co pozwoliło na osiągnięcie wyjściowych szerokości widmowych rzędu dziesiątek czy setek MHz. W tym celu zbadalem generowanie arbitralnych złożonych sygnałów RF w kontekście konwersji szerokości widmowych. Tak wygenerowane sygnały RF w połączeniu z elektrooptyczną modulacją fazy, zastosowałem do obwieszczanych pojedynczych fotonów, uzyskując kompresję ich szerokości widmowej o ponad dwa rzędy wielkości przy jednoczesnym 60-krotnym zwiększeniu maksymalnej gęstości widmowej. Taka fresnelowska soczewka czasowa tworzy brakujące połączenie pomiędzy szerokościami widmowymi pojedynczych fotonów rzędu dziesiątek GHz i dziesiątek lub setek MHz, umożliwiając tworzenie hybrydowych sieci kwantowych, które wykorzystują zarówno ultraszybką optykę (nieliniową), jak i urządzenia kwantowe oparte na rezonansowym oddziaływaniu z materiają, takimi jak pamięci czy bramki kwantowe.