

Lublin, 20.10.2023

dr hab. Paweł Mergo, prof. UMCS
Pracownia Technologii Światłowodów
Instytut Nauk Chemicznych, Wydział Chemii
Uniwersytet Marii Curie Skłodowskiej
Pl. Skłodowskiej 3, 20-031 Lublin

RECENZJA

rozprawy doktorskiej

Pana mgr Alego Golestaniego Shishvana

pt. „Temporal Shaping and Measurement of Pulsed Quantum Light”

Praca doktorska została wykonana w Zakładzie Optyki, Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski. Promotorem pracy był Prof. dr hab. Czesław Radzewicz a promotorem pomocniczym był dr Michał Karpiński

1. Podstawa opracowania recenzji.

- pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Nauki Fizyczne Uniwersytetu Warszawskiego Prof. dr hab. Wojciecha Satuły z dnia 20.06.2023r.
- rozprawa doktorska Pana mgr Alego Golestaniego pt. „Temporal Shaping and Measurement of Pulsed Quantum Light”
- Ustawa z dnia 20 lipca 2018r., Prawo o Szkolnictwie Wyższym (Dz.U. z 2020r, poz. 85)
- Ustawa z dnia 3 lipca 2018r., Przepisy wprowadzające Ustawę – Prawo o Szkolnictwie Wyższym (Dz.U z 2018r., poz. 1669)

2. Charakterystyka pracy.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska została napisana w języku angielskim i liczy 113 stron druku wraz ze spisem literatury który liczy 95 pozycji. Bibliografia

odzwierciedla współczesny stan wiedzy z zakresu objętego dysertacją. Dobór literatury jest celowy i poprawny.

Rozprawa zawiera 5 rozdziałów merytorycznych, w tym podsumowanie oraz streszczenie w języku angielskim i polskim. Układ pracy nie budzi moich zastrzeżeń choć wyraźnie brakuje jednoznacznie sformułowanego celu i tez pracy. Użyta terminologia jest prawidłowa i zrozumiała.

3. Ocena podjętego tematu.

W dysertacji doktorant podejmuje niezwykle ważny dla dalszego szybkiego rozwoju technik komunikacji i przetwarzania informacji problem związany z modyfikacją i pomiarami pojedynczych fotonów. Można wyróżnić tu kilka niezwykle istotnych aspektów:

1. Komunikacja kwantowa: Umiejętność pomiaru i sterowania pojedynczych fotonów jest istotne w kontekście komunikacji kwantowej która bazując na pojedynczych fotonach jako nośnikach informacji pozwala na przesyłanie informacji w sposób gwarantujący wysokie bezpieczeństwo (kryptografia kwantowa).
2. Skalowalność: Możliwość sterowania i pomiaru pojedynczych fotonów umożliwia tworzenie zaawansowanych systemów kwantowych, takich jak pojedyncze bity kwantowe w kwantowych komputerach i procesorach kwantowych. Pojedyncze fotony stanowią skalowalną jednostkę przetwarzania informacji w tych systemach.
3. Metrologia i precyzja: Pomiary pojedynczych fotonów pozwalają na osiąganie bardzo wysokiej precyzji w różnych zastosowaniach, takich jak pomiar czasu, długości, częstotliwości i innych wielkości fizycznych. Jest to szczególnie istotne w telekomunikacji.
4. Inżynieria kwantowa: Modyfikacja pojedynczych fotonów jest istotna w dziedzinie kwantowej inżynierii, gdzie foton jest wykorzystywany jako nośnik informacji i narzędzie do manipulacji stanami kwantowymi. To z kolei ma zastosowanie w rozwoju nowych technologii, takich jak sensory kwantowe i kwantowe urządzenia pomiarowe.

Ogólnie rzecz biorąc, modyfikacja i pomiary pojedynczych fotonów są istotne, ponieważ pozwalają na rozwijanie zaawansowanych technologii opartych na zasadach fizyki kwantowej, które mają potencjał do istotnych zmian w sposobach komunikacji i przetwarzania informacji.

Z pełnym przekonaniem mogę stwierdzić że tematyka podjęta w pracy jest aktualna i ważna z aplikacyjnego punktu widzenia.

MP

W pracy przedstawiono badania związane z czasowo-widmowym stanem fotonów umożliwiającym wielowymiarowe kodowanie informacji. W pracy wykorzystano elektro-optyczną modulację fazy do realizacji przekształceń pojedynczych fotonów w domenie czasowo-widmowej. To podejście umożliwia przekształcanie fotonów które można wykorzystać zarówno dla klasycznych jak i kwantowych impulsów światła.

4. Analiza i ocena merytoryczna pracy.

W dysertacji (o czym już wspomniałem wyżej) brak jest wyraźnego wskazania celu i tez pracy co niewątpliwie utrudnia jej właściwą ocenę. Lektura dysertacji pozwala jednak na wskazanie (nie wiem czy słusznie) że jej celem było opracowanie metod aktywnego i pasywnego przekształcania impulsów optycznych w dziedzinie czasowo-częstotliwościowej, które można zastosować nie tylko w reżimie klasycznym, ale także do pojedynczych pakietów fotonów.

W rozdziale pierwszym dysertacji który jest wprowadzeniem do zagadnień w niej poruszonych doktorant opisał min: kodowanie informacji w świetle, propagację impulsu światła przez ośrodki dyspersyjne, nieliniowe efekty optyczne, techniki charakteryzacji impulsów optycznych, techniki wydłużania impulsów świetlnych, rodzaje dyspersji w światłowodach.

W rozdziale drugim przedstawiono opis charakteryzacji fazowej modulacji fazy. Charakteryzacja została przeprowadzona przy użyciu techniki próbkowania elektro-optycznego w której elektro-optyczny modulator fazy jest sterowany przez zmienny w czasie sygnał elektroniczny wytwarzany przez szybką fotodiodę, który następnie jest wzmacniany i synchronizowany z impulsem optycznym przechodzącym przez modulator. Główną zaletą przedstawionej techniki jest to, że nie wymaga ona sygnału referencyjnego i można ją zastosować w różnych zakresach długości fal w zależności od długości fali roboczej elektro-optycznego modulatora fazy.

W rozdziale trzecim pracy przedstawiono metodę pomiaru obwiedni impulsu pojedynczego fotonu. Opisano opracowany przez doktoranta interferometryczny układ optyczny, w którym impuls optyczny jest wykorzystywany do pomiaru samego siebie. Impuls przechodzi przez zrównoważony interferometr Macha-Zehndera. W jednym ramieniu interferometru impuls jest przesuwany widmowo a jego częstotliwość jest skanowana względem sygnału w ramieniu odniesienia. Następnie fotodioda na wyjściu interferometru mierzy scałkowaną energię w funkcji przesunięcia widma. W wyniku tego pomiaru uzyskuje się prążki interferencyjne w domenie widmowej z których przy wykorzystaniu transformaty Fouriera otrzymujemy obwiednię energii impulsu w dziedzinie czasu. Opracowaną technikę można wykorzystać do pomiaru klasycznych i kwantowych impulsów światła. Przedstawiona technika pozwala mierzyć czas trwania krótkich impulsów optycznych bez wykorzystania

MP

detekcji rozdzielczości czasowej i spektralnej. Ponadto jest niezależna od centralnej długości fali światła i wolna od szumów optycznych.

W rozdziale czwartym przedstawiono możliwość wykorzystania pasywnych optycznych struktur periodycznych do kształtowania impulsów światła. W szczególności przedstawiono światłowodowe siatki Bragga ze zmiennym okresem (ang. chirped fiber Bragg gratings, CFBG) jako jedną z najbardziej obiecującą do tego celu strukturę. Można je projektować w dość dowolny sposób przez co niektóre z nich dzięki odpowiednio zaprojektowanemu kształtowi dyspersji mogą odpowiednio kształtować impulsy światła. odpowiednio kształtować zaprojektować tak, aby zapewniały dowolne profile dyspersji i odpowiedzi widmowej. Opisano również wytwarzanie światłowodowych siatek Bragga o określonych kształtach dyspersji, współczynnikach odbicia pracujących w zakresach telekomunikacyjnych długości fali oraz długości fali powyżej 2 μm .

Rozdział piąty to podsumowanie rozprawy.

5. Uwagi szczegółowe.

Praca ma charakter eksperymentalny. Doktorant wskazuje kierunki i obszary dalszych badań. Przeprowadzone badania zaprezentowane w rozprawie stanowią ważne ogniwo w łańcuchu prac z zakresu komunikacji kwantowej i przetwarzania informacji. Na podkreślenie zasługuje obszerny materiał badawczy a w szczególności przedstawione w pracy optyczne techniki pomiarowe.

Za osiągnięcia własne Doktoranta uważam:

- umiejętność prowadzenia zaawansowanych pomiarów optycznych,
- umiejętność łączenia kilku technik pomiarowych w jednym eksperymencie,
- opracowanie techniki przestrajalnej interferometrii z przesunięciem widmowym do pomiaru impulsów jednofotonowych
- zaprojektowanie, wytworzenie i charakteryzacja siatek Bragga ze zmiennym okresem do pasywnego kształtowania impulsów optycznych

Do słabych stron pracy zaliczam:

- brak wskazania celu i tezy pracy

Uwagi te nie wpływają na całościowy odbiór pracy który uważam za bardzo pozytywny.

6. Podsumowanie i konkluzja.

Zapoznając się z przedstawioną do recenzji rozprawą doktorską jednoznacznie stwierdzam że przedstawiona dysertacja całkowicie wypełnia warunki określone w § 21 pkt 2–4 Załącznika nr 1 do uchwały nr 157 Senatu Uniwersytetu Warszawskiego z dnia 29 czerwca 2022 r. w sprawie określenia sposobu postępowania w sprawie nadania stopnia doktora oraz stopnia doktora habilitowanego na Uniwersytecie Warszawskim tj:

- prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną mgr Alego Golestaniego w dyscyplinie nauki fizyczne oraz jednoznacznie wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

- przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

Na podkreślenie zasługuje fakt podjęcia przez doktoranta niezwykle aktualnego zarówno od strony naukowej jak i aplikacyjnej tematu związanego z komunikacją kwantową i kwantowym przetwarzaniem informacji.

Reasumując uważam że rozprawa mgr Alego Golestaniego pt. „Temporal Shaping and Measurement of Pulsed Quantum Light” spełnia wymagania stawiane pracom promocyjnym na stopień doktora nauk fizycznych w rozumieniu ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tekst jednolity: Dz. U. z 2023 r. poz. 742 z późn. zm.) a Autor może być dopuszczony do jej publicznej obrony.

