

Zastosowanie wielofotonowej interferencji kwantowej do wybranych zagadnień kwantowego przetwarzania informacji

Kierownik projektu: dr hab. Magdalena Stobińska

Mechanika kwantowa, badana od przeszło 100 lat, stała się fundamentem wielu dziedzin nauki, zwłaszcza fizyki, chemii, inżynierii materiałowej i elektroniki. Dzięki zjawiskom kwantowym możliwe stało się przekraczanie barier wynikających z praw fizyki klasycznej. Przykładowo, kwantowe przetwarzanie informacji pozwala na ogromne przyspieszenie obliczeń. Wiele algorytmów komputerowych opiera się na Szybkiej Transformacji Fouriera (ang. *Fast Fourier Transform*, FFT), rozkładającej cyfrowy sygnał, taki jak np. dźwięk lub obraz, na widmo, które jest następnie analizowane i przetwarzane w celu filtrowania i kompresji. Mimo, że czas obliczania FFT skaluje się niemalże liniowo z rozmiarem zbioru danych, algorytm ten stał się wąskim gardłem we współczesnych czasach przetwarzania Big Data. Kwantowy odpowiednik FFT – Kwantowa Transformata Fouriera (ang. *Quantum Fourier Transform*, QFT), pozwala na zredukowanie czasu obliczeń tysiące razy. Stała się więc podstawą algorytmów kwantowych, które umożliwiają np. szybkie przeszukiwanie zbiorów danych lub łamanie szyfrowania RSA z użyciem komputerów kwantowych. Nową dziedziną, w której systemy kwantowe mogą być zastosowane, są kwantowe symulacje. Pozwalają one zbadać i lepiej zrozumieć topologiczne efekty w materii kwantowej, za odkrycie których przyznano nagrodę Nobla w 2016 r. Potencjał tych materiałów jest widziany np. w elektronice i spintronice. Kwantowe symulacje pozwalają pokonać ograniczenia modelowania komputerowego i zaprojektować materiały zanim zostaną one wytworzone w laboratorium.

Jedną z najbardziej zaawansowanych platform kwantowych jest kwantowa fotonika. Chociaż układów optycznych nie można skalować tak łatwo jak systemów opartych na elementach nadprzewodzących, a zbiór możliwych do wytworzenia kwantowych stanów światła jest ograniczony, platforma ta ma wiele zalet. Układy fotoniczne cechują się niskim kosztem eksploatacji i łatwością użycia. Nie wymagają kosztowych instalacji a technologia ich produkcji jest rozwijana przez firmy budujące światłowodowe systemy telekomunikacyjne. Kwantowa optyka zintegrowana, będąca odpowiednikiem układów scalonych, pozwala na realizację laboratorium chipowego (ang. *lab-on-a-chip*) oraz złożonych operacji w kontrolowanych warunkach.

Celem projektu jest pogłębienie wiedzy na temat wielofotonowej interferencji kwantowej, szczególnie w dziedzinie czasowej. Kwantowa interferencja jest jednym z najciekawszych zjawisk fizycznych i najważniejszych zasobów kwantowych technologii. W przypadku platformy czasowej, szereg wąskich jednofotonowych impulsów w ośrodku nieliniowym ulega dyspersji. Poszczególne impulsy zaczynają się przekrywać i interferują. Będziemy studiować tę interferencję pod kątem wykorzystania jej do obliczeń kwantowych oraz kwantowych symulacji materiałów topologicznych. Motywacją do przeprowadzenia tych badań są wyniki, które zostały w 2019 roku uzyskane przez dr hab. Stobińską i jej współpracowników. Pierwszym wynikiem jest teoretyczne i eksperymentalne zbadanie kwantowej interferencji wielofotonowych stanów Focka na pojedynczej płytce światłodzielącej i pokazanie, że w ten sposób można obliczać Kwantową Transformatę Fouriera–Kraichnika z użyciem jednej bramki kwantowej. Pozwala to na wykorzystanie tego urządzenia jako wydajnego, specjalizowanego kwantowego komputera o szerokich zastosowaniach. Drugie osiągnięcie, to pokazanie, że taka wielofotonowa interferencja kwantowa pozwala na przeprowadzanie wydajnych kwantowych symulacji materiałów topologicznych, które charakteryzują się nietypowymi symetriami. Stanowią one punkt wyjściowy do badań zaplanowanych w tym projekcie.

Projekt składa się z trzech fascynujących zadań, które obejmują teoretyczne i eksperymentalne badanie wielofotonowej kwantowej interferencji, znalezienie zależności pomiędzy różnymi układami fonicznymi a realizowanymi przez nie operacjami matematycznymi (transformatami), oraz przeprowadzanie kwantowych symulacji materiałów wykazujących topologiczne przejścia fazowe. Wyniki projektu pozwolą na zrozumienie istoty złożonej interferencji kwantowej, systematyczne poszerzanie palety zastosowań kwantowych układów fonicznych oraz zbadanie zjawisk topologicznych zachodzących w nowych materiałach. Mamy nadzieję, że zachęcą one inżynierów i chemików do poszukiwania ich nowych zastosowań. Oprócz badań teoretycznych, realizowanych analitycznie i numerycznie, planujemy eksperymenty z użyciem nowoczesnej kwantowej fonicznej platformy w dziedzinie czasowej, rozwijanej na Wydziale Fizyki UW.

Projekt będzie realizowany przez zespół składający się z dwóch młodych doktorów oraz dwóch doktorantów, którzy będą wykonywać zadania pod kierunkiem dr hab. Stobińskiej. Zespół będzie korzystał z istniejącej sieci kontaktów budowanej przez Kierownika Projektu. W szczególności, sieć obejmuje naukowców z kilku najlepszych ośrodków europejskich zajmujących się optyką kwantową, takich jak Uniwersytet Oxfordzki i Imperial College London (grupa prof. Iana Walmsleya). Dzięki temu młodzi badacze uzyskają możliwość zdobycia unikalnej wiedzy i doświadczenia, zarówno w pracy naukowej jak i badawczo-rozwojowej. Przygotuje ich to do wymagań stawianych przez rynek pracy i wesprze ich przyszłą karierę w różnych sektorach gospodarki.