



Warszawa, 29 czerwca 2023

Studenci UW odwrócili kota Schrödingera ogonem

*Studenci Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (UW) i naukowcy z Centrum Optycznych Technologii Kwantowych QOT opracowali innowacyjną metodę, która pozwala na dokonywanie cząstkowej transformaty Fouriera impulsów optycznych, wykorzystując do tego pamięć kwantową. Jest to dokonanie unikatowe w skali świata, gdyż zespół jako pierwszy przedstawił doświadczalną implementację wspomnianej transformacji w tego typu układach. Wyniki badań zostały opublikowane w prestiżowym czasopiśmie *Physical Review Letters*. W swojej pracy studenci przetestowali wykonanie cząstkowej transformaty Fouriera za pomocą podwójnego impulsu optycznego, znanego również jako stan typu „kot Schrödingera”.*

Widmo impulsu a rozkład czasowy

Fale, takie jak światło, posiadają swoje charakterystyczne właściwości – czas trwania impulsu oraz częstotliwość (odpowiadającą w przypadku światła jego barwie). Okazuje się, że cechy te związane są ze sobą poprzez operację zwaną transformatą Fouriera, umożliwiającą przechodzenie z opisu fali w czasie na opis jej widma w częstotliwościach.

Cząstkowa transformata Fouriera jest uogólnieniem transformaty Fouriera umożliwiającym częściowe przejście od opisu fali w czasie do opisu w częstotliwości. Intuicyjnie można ją rozumieć jako obrót rozkładu (na przykład chronocyklicznej funkcji Wignera) rozważanego sygnału o pewien kąt w domenie czasowo-częstotliwościowej. Okazuje się, że transformacje tego typu są niezwykle użyteczne przy projektowaniu specjalnych filtrów spektralno-czasowych, eliminujących szum, oraz umożliwiają stworzenie algorytmów pozwalających na wykorzystanie kwantowej natury światła do rozróżniania impulsów o różnych częstotliwościach precyzyjniej niż tradycyjne metody. To szczególnie ważne w spektroskopii, która pomaga badać własności chemiczne materii, oraz telekomunikacji, która wymaga przekazywania i przetwarzania informacji z wysoką precyzją i szybkością.

Soczewki i transformata Fouriera?

Zwykła szklana soczewka jest w stanie skupić padającą na nią monochromatyczną wiązkę światła do niemalże pojedynczego punktu (ogniska). Zmiana kąta padania światła na soczewkę skutkuje zmianą położenia ogniska. Dzięki temu możemy zamienić kąty padania na położenia, uzyskując analogię transformacji Fouriera, w przestrzeni kierunków i położenia. Klasyczny spektrometr bazujący na siatce dyfrakcyjnej wykorzystuje ten efekt, żeby przekształcić informację o długości fali światła na położenia, pozwalając na

rozróżnienie między liniami spektralnymi.

Soczewki czasowe i częstotliwościowe

Analogicznie jak w przypadku soczewki szklanej, soczewki czasowe i częstotliwościowe pozwalają na zamianę czasu trwania impulsu na jego rozkład widma, czyli w efekcie wykonują transformatę Fouriera w przestrzeni czasu i częstotliwości. Odpowiednie dobranie mocy takich soczewek pozwala na wykonanie cząstkowej transformaty Fouriera. W przypadku impulsów optycznych działanie soczewek czasowych i częstotliwościowych odpowiada nałożeniu na sygnał kwadratowych faz.

Do przetworzenia sygnału badacze wykorzystali pamięć kwantową - a właściwie pamięć wyposażoną dodatkowo w elementy procesora światła kwantowego - opartą na chmurze atomów rubidu umieszczonej w pułapce magneto optycznej. Atomy schłodzone do temperatury rzędu kilkudziesięciu milionowych stopnia powyżej zera absolutnego. Pamięć była umieszczona w zmieniającym się polu magnetycznym, co pozwoliło na zapisanie składowych o różnych częstotliwościach w różnych częściach chmury atomów. Impuls w trakcie zapisu i odczytu był poddany operacji soczewki czasowej, a w trakcie przechowywania działała na niego soczewka częstotliwościowa.

Urządzenie powstałe na UW pozwala na implementację takich soczewek w bardzo szerokim zakresie parametrów i w programowalny sposób. Podwójny impuls jest bardzo podatny na dekoherencję, stąd często porównuje się go do słynnego kota Schrödingera - stanu makroskopowej superpozycji bycia martwym i żywym, praktycznie niemożliwego do osiągnięcia eksperymentalnie. Mimo to zespołowi udało się zaimplementować wierne operacje na tych delikatnych stanach podwójnego impulsu.

Publikacja była efektem pracy w Laboratorium Urządzeń Kwantowo-Optycznych i Laboratorium Pamięci Kwantowych w centrum "Quantum Optical Technologies" przy udziale dwóch magistrantów: Stanisława Kurzyny i Marcina Jastrzębskiego, dwóch studentów studiów licencjackich: Bartosza Niewelta i Jana Nowosielskiego, dr. Mateusza Mazelanika oraz kierowników laboratoriów: dr. hab. Michała Parniaka i dr. hab. Wojciecha Wasilewskiego, prof. UW. Wyniki znalazły też uznanie Amerykańskiego Towarzystwa Fizycznego, które przyznało Bartoszowi Nieweltowi nagrodę za prezentację plakatu podczas niedawnej konferencji DAMOP w stanie Waszyngton.

Przed bezpośrednim zastosowaniem w telekomunikacji metoda musi być najpierw zmapowana na inne długości fali i zakresy parametrów. Cząstkowa transformata Fouriera może okazać się jednak kluczowa w odbiornikach optycznych w najnowocześniejszych sieciach, między innymi w przypadku optycznej komunikacji satelitarnej. Procesor światła kwantowego opracowany na UW pozwala znajdować i testować takie nowe protokoły w efektywny sposób.

Projekt "Quantum Optical Technologies" (MAB/2018/4) jest realizowany w ramach programu Międzynarodowe Agendy Badawcze Fundacji na rzecz Nauki Polskiej współfinansowanego ze środków UE pochodzących z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój. Centrum Optycznych Technologii Kwantowych QOT UW, znajdujące się w CeNT - Centrum Nowych Technologii, jest jednostką badawczą poszukującą praktycznych zastosowań najnowszych odkryć optyki kwantowej.

Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

Fizyka i astronomia na Uniwersytecie Warszawskim pojawiły się w 1816 roku w ramach ówczesnego Wydziału Filozofii. W roku 1825 powstało Obserwatorium Astronomiczne. Obecnie w skład Wydziału Fizyki UW wchodzi Instytuty: Fizyki Doświadczalnej, Fizyki Teoretycznej, Geofizyki, Katedra Metod Matematycznych Fizyki oraz Obserwatorium Astronomiczne. Badania pokrywają niemal wszystkie dziedziny współczesnej fizyki, w skalach od kwantowej do kosmologicznej. Kadra naukowo-dydaktyczna Wydziału składa się z ponad 250 nauczycieli akademickich. Na Wydziale Fizyki UW studiuje ponad 1100 studentów i ok. 170 doktorantów. Uniwersytet Warszawski w rankingu szanghajskim dla poszczególnych dziedzin (Shanghai's Global Ranking of Academic Subjects) znajduje się wśród 75 najlepszych na świecie jednostek, kształcących w dziedzinie fizyki.

PUBLIKACJA NAUKOWA:

Niewelt, B., Jastrzębski, M., Kurzyna, S., Nowosielski, J., Wasilewski, W., Mazelanik, M., oraz Parniak, M. Experimental Implementation of the Optical Fractional Fourier Transform in the Time-Frequency Domain. Phys. Rev. Lett., 130, 240801 (2023).

DOI: [10.1103/PhysRevLett.130.240801](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.130.240801)

KONTAKT:

dr hab. Michał Parniak

Centrum Optycznych Technologii Kwantowych QOT, Centrum Nowych Technologii, Uniwersytet Warszawski

tel. +48 22 5543786

email: m.parniak@cent.uw.edu.pl

POWIĄZANE STRONY WWW:

<https://www.fuw.edu.pl>

Strona Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

<https://www.fuw.edu.pl/informacje-prasowe.html>

Serwis prasowy Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

<http://qodl.cent.uw.edu.pl/>

Strona laboratorium Urządzeń Kwantowo-Optycznych

<http://qot.uw.edu.pl/>

strona Centrum Optycznych Technologii Kwantowych QOT UW

MATERIAŁY GRAFICZNE:

FUW230629b_fot01

https://www.fuw.edu.pl/tl_files/press/images/2023/FUW230629b_fot01.jpg

Studenci w laboratorium prezentujący obrót kotów Schrödingera. Żadne koty nie ucierpiały przy projekcie. (fot.: S. Kurzyna oraz B. Niewelt, źródło: Uniwersytet Warszawski)