



Warszawa, 7 maja 2019

Fale spinowe łączą się w pary jak fotony

Gdy dwa identyczne fotony padają z dwóch stron na płytkę światłodzielącą, oba zawsze wychodzą z tej samej strony - łączą się w parę. Podstawowym zastosowaniem tego kwantowego efektu, znanego jako interferencja Hong-Ou-Mandela, jest testowanie elementów tworzących kwantowe układy logiczne. Doktoranci Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego pracujący w Laboratorium Pamięci Kwantowych zademonstrowali realizację tego efektu dla kwazicząstek przechowywanych w pamięci kwantowej, zwanych falami spinowymi. Użycie nowatorskiej metody manipulacji falami spinowymi z użyciem projektora laserowego pozwoliło na realizację odpowiednika płytki światłodzielącej dla fal spinowych i obserwację interferencji Hong-Ou-Mandela dla tych kwazicząstek. Zademonstrowana metoda jest pierwszym krokiem na drodze do realizacji rekonfigurowalnych układów kwantowych z pamięcią, znajdujących zastosowanie między innymi w komunikacji kwantowej na duże odległości.

Na Wydziale Fizyki UW w Laboratorium Pamięci Kwantowych (LPK), prowadzonym przez dr hab. Wojciecha Wasilewskiego, od 2016 roku powstawała nowa pamięć kwantowa oparta o zimne atomy rubidu. W ciągu ostatnich lat zespół naukowców pokonywał kolejne przeszkody, przekształcając abstrakcyjne idee w konkretne pomysły. Na pierwszym etapie uruchomione zostały mechanizmy stabilizacji laserów, pozwalające na uzyskanie zimnej chmury atomów w pułapce magnetooptrycznej. Od tego momentu uczeni wkroczyli na nieprzetarty szlak, którego pokonywanie wymagało rozwiązania szeregu zagadek. Zaowocowało to prezentacją w prestiżowym czasopiśmie *Nature Communications* najpojemniejszej na świecie pamięci kwantowej. Jednak sama pamięć była tylko fundamentem, na którym miały się oprzeć realizacje kolejnych idei. W tym celu badacze skonstruowali moduł projektora kształtującego wiązkę jednego z laserów. Precyzyjna analiza teoretyczna w połączeniu z wielokrotną i uważną weryfikacją eksperymentalną umożliwiła znalezienie obrazów, których wyświetlanie pozwala na manipulację przechowywanymi w pamięci stanami. Różne rodzaje takich manipulacji opisują kolejne publikacje zespołu, z których najważniejsza ukazała się w prestiżowym czasopiśmie *Physical Review Letters* i została wyróżniona na okładce numeru 6 w tym roku.

W zbudowanej pamięci stany światła przechowywane są w postaci kolektywnych wzbudzeń atomowych, zwanych falami spinowymi. Każda taka pojedyncza fala odpowiada jednemu "zamrożonemu" w pamięci fotonowi. Ponadto, tak samo jak fotony, fale spinowe są bozonami. Dlatego na skutek interferencji i one łączą się w pary. Demonstrację takiego efektu można traktować jako podstawowy test pokazujący jednocześnie zdolność generowania pojedynczych fal w pamięci, jak i precyzyjnego ich kontrolowania. Podstawową trudnością realizacji tego eksperymentu było uzyskanie odpowiednika płytki światłodzielącej dla fal spinowych. Doktoranci Wydziału Fizyki pracujący w LPK wykorzystali do tego moduł projektora laserowego.

Opracowana metoda pozwala na modyfikację fazy zamrożonych w postaci fal spinowych fotonów, dzięki czemu możliwa jest realizacja odpowiedników podstawowych elementów optycznych, takich jak soczewka czy siatka dyfrakcyjna. Precyzyjna analiza pozwala znaleźć kształt siatki wywołującej

efekt analogiczny do płytki światłodzielnącej. Jej użycie pozwoliło zaobserwować kwantowy efekt Hong-Ou-Mandela dla fal spinowych. Wyniki wskazują, że zaproponowana metoda zachowuje spójność stanów kwantowych, co z kolei oznacza, że może być ona w przyszłości stosowana w urządzeniach do przetwarzania informacji kwantowej.

Jednym z takich urządzeń jest tak zwany quantum repeater - urządzenie pozwalające na przesył splątanych par fotonów na duże odległości. Fotony te następnie wykorzystuje się w protokole całkowicie bezpiecznej komunikacji kwantowej. Kluczowym elementem quantum repeatera jest właśnie pamięć kwantowa. Ponadto, gdy do jego budowy użyje się pamięci o dużej pojemności z możliwością modyfikacji przechowywanego fotonu, cały proces przesyłu splątania można przyspieszyć poprzez jego zrównoleglenie.

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 Instytut: Fizyki Doświadczalnej, Fizyki Teoretycznej, Geofizyki, Katedra Metod Matematycznych oraz Obserwatorium Astronomiczne. Badania pokrywają niemal wszystkie dziedziny współczesnej fizyki, w skalach od kwantowej do kosmologicznej. Kadra naukowo-dydaktyczna Wydziału składa się z ponad 200 nauczycieli akademickich, wśród których jest 77 pracowników z tytułem profesora. Na Wydziale Fizyki UW studiuje ok. 1000 studentów i ponad 170 doktorantów.

PUBLIKACJE NAUKOWE:

M. Parniak, M. Mazelanik, A. Leszczyński, M. Lipka, M. Dąbrowski, and W. Wasilewski, *Quantum Optics of Spin Waves through ac Stark Modulation*, Phys. Rev. Lett. **122**, 063604, Feb. 2019.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.122.063604>

KONTAKTY:

mgr Michał Parniak
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego;
Centrum Kwantowych Technologii Optycznych, Centrum Nowych Technologii Uniwersytetu Warszawskiego
tel. +48 697 555 351
email: michal.parniak@fuw.edu.pl

mgr Mateusz Mazelanik
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego;
Centrum Kwantowych Technologii Optycznych, Centrum Nowych Technologii Uniwersytetu Warszawskiego
tel. +48 22 55 32 631
email: mateusz.mazelanik@fuw.edu.pl

dr hab. Wojciech Wasilewski
Centrum Kwantowych Technologii Optycznych, Centrum Nowych Technologii Uniwersytetu Warszawskiego
tel. +48 22 5532630
email: w.wasilewski@cent.uw.edu.pl

POWIĄZANE STRONY WWW:

<http://www.fuw.edu.pl>
Strona Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.
<http://psi.fuw.edu.pl/>
Strona Laboratorium Pamięci Kwantowych Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.
<http://www.fuw.edu.pl/informacje-prasowe.html>
Serwis prasowy Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

MATERIAŁY GRAFICZNE:

FUW190506b_fot01

http://www.fuw.edu.pl/press/images/2019/FUW190506b_fot01.jpg

Wizja artystyczna interferencji Hong-Ou-Mandela dwóch fal spinowych (spin wave) z użyciem efektywnej siatki dyfrakcyjnej generowanej przez modulację fazy fali spinowej z użyciem przestrzennie zmiennego przesunięcia AC-Starka (AC-Stark). (Źródło: M. Mazelanik, FUW)

FUW190506b_fot02

http://www.fuw.edu.pl/press/images/2019/FUW190506b_fot02.jpg

Dwaj pierwsi autorzy publikacji pracujący przy układzie pamięci kwantowej na Uniwersytecie Warszawskim. (Źródło: M. Parniak & M. Mazelanik, FUW)