

Źródło dużych grup fotonów – pierwszy fotonowy „scalak”

2017-02-08



Serce układu do generowania grup fotonów, czyli szklana komórka wypełniona gorącymi parami gazu. W wyniku oświetlenia komórki laserem są emitowane fotony o długości fali w zakresie podczerwieni. (Źródło: FUW, Mateusz Mazelanik)

Holograficzna pamięć atomowa, wymyślona i skonstruowana przez fizyków z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, jest pierwszym urządzeniem zdolnym na żądanie generować pojedyncze fotony w grupach liczących po kilkadziesiąt i więcej sztuk. Zademonstrowany przyrząd w praktyce usuwa kolejną fundamentalną przeszkodę na drodze do budowy jednej z odmian komputerów kwantowych.

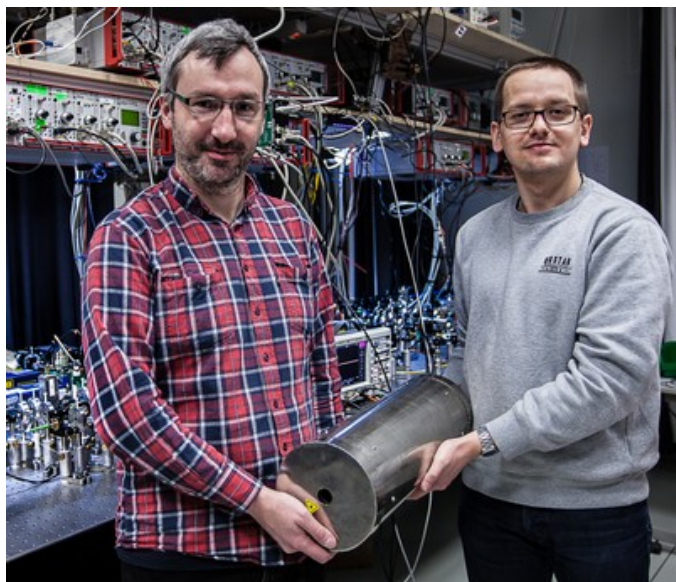
Całkowicie bezpieczne, kwantowe łącza o dużej przepustowości, a nawet konstrukcja jednej z odmian komputerów kwantowych – to możliwe zastosowania nowego źródła pojedynczych fotonów, zbudowanego na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (FUW). Niespotykaną do tej pory cechą właśnie zaprezentowanego urządzenia jest to, że po raz pierwszy pozwala ono na żądanie wyprodukować nie pojedynczy foton, a ich dużą, precyzyjnie kontrolowaną grupę.

„W stosunku do dotychczasowych rozwiązań i pomysłów nasz przyrząd charakteryzuje się znacznie większą wydajnością i skalą integracji. W sensie funkcjonalnym można nawet o nim myśleć jak o działającym na pojedynczych fotonach pierwszym odpowiedniku małego układu scalonego”, mówi dr hab. Wojciech Wasilewski (FUW), jeden ze współautorów publikacji w uznanym czasopiśmie fizycznym „Physical Review Letters”.

Pierwsze źródła pojedynczych fotonów powstały jeszcze w latach 70. ubiegłego wieku i choć ich dzisiejsze różne wersje nadal mają wiele wad, pojedyncze fotony można już z powodzeniem stosować np. do realizowania gwarantujących pełną dyskrecję protokołów komunikacji kwantowej. Do wykonywania złożonych obliczeń kwantowych potrzebne byłyby jednak całe grupy fotonów.

Najprostsza metoda wytworzenia grup fotonów polega na użyciu odpowiednio dużej liczby źródeł. Rozpowszechnionymi źródłami pojedynczych fotonów są dziś urządzenia wykorzystujące zjawisko spontanicznego parametrycznego podziału częstości (Spontaneous Parametric Down-Conversion, SPDC). W określonych warunkach dochodzi tu do podziału fotonu wygenerowanego przez laser na dwa nowe o energiach dwukrotnie mniejszych i pozostałych cechach wzajemnie powiązanych przez zasady zachowania energii i pędu. Zarejestrowanie jednego fotonu z pary dostarcza więc informacji nie tylko o nim, ale także o istnieniu i cechach drugiego fotonu, niezaburzonego przez obserwację – a zatem idealnie się nadającego do operacji kwantowych. Niestety, każde źródło SPDC wytwarza pojedyncze fotony dość wolno i w sposób czysto przypadkowy. W efekcie na jednoczesną emisję z zaledwie 10 źródeł trzeba byłoby czekać nawet kilka lat.

W 2013 roku zespół brytyjskich fizyków z uniwersytetów w Oxfordzie i Londynie zaproponował znacznie bardziej wydajny protokół wytwarzania grup fotonów. Pomysł polegał na umieszczeniu przy każdym źródle pamięci kwantowej, zdolnej do przechowania wyemitowanego fotonu. Zmagazynowane w pamięciach fotony można byłoby w pewnym momencie jednocześnie uwolnić. Wyliczenia wskazywały, że oczekiwanie na grupę 10 fotonów skracałoby się wtedy o oszałamiające dziesięć rzędów wielkości: z lat do mikrosekund!



Wojciech Wasilewski (po lewej) i Michał Dąbrowski z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego demonstrują generator pojedynczych fotonów oparty na holograficznej pamięci kwantowej. Komórka szklana z gazem znajduje się tu wewnątrz ekranu magnetycznego służącego do eliminowania zewnętrznych zakłóceń. (Źródło: FUW, Mateusz Mazelanik)

Zaprezentowane na FUW źródło jest pierwszą realizacją opisanego pomysłu, na dodatek znacznie bardziej zintegrowaną: tu wszystkie fotony powstają od razu wewnątrz pamięci kwantowej, w wyniku działania trwającego mikrosekundy impulsu laserowego. Zewnętrzne źródła pojedynczych fotonów przestały być w ogóle potrzebne, a liczba niezbędnych pamięci kwantowych zmalała do zaledwie jednej.

„Cały nasz układ eksperymentalny zajmuje na stole optycznym powierzchnię mniej więcej dwóch metrów kwadratowych. Wszystkie najważniejsze rzeczy dzieją się jednak w samej pamięci, czyli w cylindrze o długości ok. 10 cm i średnicy 2,5 cm. Ktoś, kto oczekiwałby wewnątrz cylindra wyrafinowanej konstrukcji godnej półprzewodnikowego układu scalonego, byłby jednak mocno rozczarowany. Wnętrze wypełniają jedynie pary rubidu ^{87}Rb , znajdujące się w temperaturze 60-80 stopni Celsjusza”, opisuje doktorant Michał Dąbrowski (FUW).

Nowa pamięć, zbudowana dzięki grantom PRELUDIUM i SONATA Narodowego Centrum Nauki oraz środkom projektu PhoQuS@UW, jest wielomodowa przestrzennie: poszczególne fotony można umieścić, przechować, przetworzyć i odczytać w różnych obszarach przestrzeni wewnątrz cylindra, pełniących rolę wydzielonych komórek pamięci. Operacja zapisu, wykonywana za pomocą wiązki lasera, w praktyce polega na utrwaleniu w postaci wzbudzeń atomowych pewnego przestrzennego wzorca – hologramu. Oświetlenie układu laserem pozwala odtworzyć hologram i odczytać zawartość pamięci.

W przeprowadzonych doświadczeniach nowe źródło generowało grupy fotonów liczące do 60 sztuk. Obliczenia wskazują, że w realistycznych warunkach użycie laserów o większej mocy pozwoliłoby zwiększyć tę liczbę nawet do kilku tysięcy. (Złożoność obliczeń związanych z analizą danych z doświadczeń była tak duża, że do ich wykonania konieczne okazało się użycie mocy obliczeniowej składającego się z 53 tys. rdzeni gridu komputerowego Infrastruktura PL-Grid).

Z powodu szumów, strat i innych procesów pasożytniczych trwałość pamięci kwantowej zbudowanej na FUV sięga od kilku do kilkudziesięciu mikrosekund, co w kategoriach ludzkiej percepcji wydaje się wartością bardzo małą. Istnieją jednak układy pozwalające wykonywać na fotonach proste operacje w czasie liczonym w nanosekundach. W nowej pamięci kwantowej na każdym fotonie można byłoby więc przeprowadzić nawet kilkaset operacji, co w zupełności wystarcza do celów kwantowej komunikacji i przetwarzania informacji.

Działające źródło dużych grup fotonów to istotny krok na drodze do skonstruowania jednej z odmian komputera kwantowego, zdolnego przeliczać pewne zagadnienia w czasie wielokrotnie krótszym niż najlepsze współczesne maszyny liczące. Już kilkanaście lat temu wykazano bowiem, że wykonując na fotonach proste operacje z zakresu optyki liniowej można otrzymać wzrost szybkości charakterystyczny dla obliczeń kwantowych. Złożoność takich obliczeń zależy jednak od liczby jednocześnie przetwarzanych fotonów. Brak źródeł dużych grup fotonów powodował, że dotychczas liniowe komputery kwantowe nie mogły rozwinąć skrzydeł, ograniczając swoje działanie do elementarnych operacji matematycznych.

Oprócz obliczeń kwantowych fotonowy „scalak” może znaleźć zastosowania w komunikacji kwantowej. Obecnie realizuje się ją przesyłając światłowodem pojedyncze fotony. Nowe źródło pozwalałoby wprowadzić do światłowodu wiele fotonów jednocześnie, a zatem wielokrotnie zwiększałoby przepustowość łączy kwantowych.

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 ok. 200 nauczycieli akademickich, wśród których jest 88 pracowników z tytułem profesora. Na Wydziale Fizyki UW studiuje ok. 1000 studentów i ponad 170 doktorantów.

PUBLIKACJE NAUKOWE:

„High-Capacity Angularly Multiplexed Holographic Memory Operating at the Single-Photon Level”
R. Chrapkiewicz, M. Dąbrowski, W. Wasilewski
Physical Review Letters 118, 063603 (2017); DOI: 10.1103/PhysRevLett.118.063603

KONTAKTY:

dr hab. Wojciech Wasilewski
Instytut Fizyki Doświadczalnej Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
tel. +48 22 5532630
email: wojciech.wasilewski@fuw.edu.pl

mgr Michał Dąbrowski
Instytut Fizyki Doświadczalnej Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
tel. +48 22 5532629
email: michal.dabrowski@fuw.edu.pl

POWIĄZANE STRONY WWW:

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

Strona Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

<http://psi.fuw.edu.pl/>

Strona Laboratorium Pamięci Kwantowych Instytutu Fizyki Doświadczalnej Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

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

Serwis prasowy Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

MATERIAŁY GRAFICZNE:

FUW170208b_fot01s.jpg, HR: http://www.fuw.edu.pl/press/images/2017/FUW170208b_fot01.jpg

Serce układu do generowania grup fotonów, czyli szklana komórka wypełniona gorącymi parami gazu. W wyniku oświetlenia komórki laserem są emitowane fotony o długości fali w zakresie podczerwieni. (Źródło: FUW, Mateusz Mazelanik)

FUW170208b_fot02s.jpg, HR: http://www.fuw.edu.pl/press/images/2017/FUW170208b_fot02.jpg

Wojciech Wasilewski (po lewej) i Michał Dąbrowski z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego demonstrują generator pojedynczych fotonów oparty na holograficznej pamięci kwantowej. Komórka szklana z gazem znajduje się tu wewnątrz ekranu magnetycznego służącego do eliminowania zewnętrznych zakłóceń. (Źródło: FUW, Mateusz Mazelanik)



[FUW170208a - Zrodlo grup fotonow.pdf \(109.5 kB\)](#)