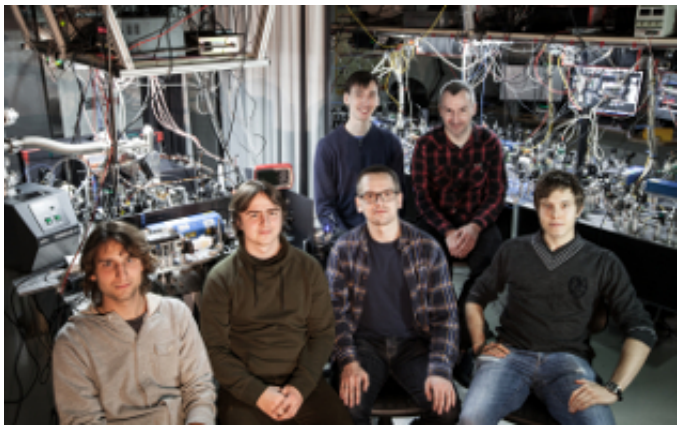
Rekordowo pojemna pamięć kwantowa bazująca na chłodzonych laserowo atomach

2017-12-15



Autorzy artykułu: (pierwszy rząd, od lewej): M. Parniak, M. Mazelanik, M. Dąbrowski, M. Lipka, (drugi rząd, od lewej) A. Leszczyński, W. Wasilewski, wraz z układem pamięci kwantowej bazującej na chłodzonych laserowo atomach. W tle widoczne są dwa stoły optyczne zawierające elementy użyte do budowy eksperymentu. (Źródło: FUW, Mateusz Mazelanik)

Równoległe przetwarzanie informacji kwantowej zademonstrowane w ostatnich latach niesie wiele możliwości w dziedzinie precyzyjnych pomiarów, komunikacji i obrazowania. Szczególnie dużo tej subtelnej informacji można zakodować, dysponując wieloma fotonami o precyzyjnie kontrolowanych właściwościach. W Laboratorium Pamięci Kwantowych na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, wykorzystując chmurę schłodzonych laserowo atomów, zbudowano pamięć zdolną przechowywać jednocześnie 665 kwantowych stanów światła. Wyniki eksperymentu opublikowano w prestiżowym czasopiśmie naukowym Nature Communications.

Pamięć jest elementem niezbędnym w każdym procesie przetwarzania informacji. Tak jak nie można skonstruować klasycznego komputera bez pamięci RAM, tak samo nie jest możliwe zbudowanie komputera kwantowego bez tzw. pamięci kwantowej. Jest to urządzenie zdolne przechować superpozycję stanów kwantowych, która może być odtworzona na żądanie użytkownika pamięci. Kluczowym parametrem takiej pamięci jest jej pojemność, oznaczająca liczbę qubitów (kwantowych bitów), którą pamięć może efektywnie przetwarzać. Jednoczesne operowanie na wielu qubitach stanowi klucz do wydajnych kwantowych obliczeń równoległych, zapewniających nowe możliwości w dziedzinach obrazowania czy komunikacji.

Niezależnie od podejmowanych wysiłków, produkcja wielu fotonów na żądanie stanowi eksperymentalne wyzwanie dla wszystkich grup zajmujących się kwantowym przetwarzaniem informacji. Modne obecnie łączenie wielu emiterów pojedynczych fotonów w jedną sieć (popularny w telekomunikacji

“multiplexing”) ma tę wadę, iż wraz ze wzrostem liczby potrzebnych fotonów gwałtownie rośnie komplikacja techniczna układu. Zastosowanie pamięci kwantowej w procesie generacji powoduje dramatyczne zmniejszenie czasu oczekiwania na wytworzenie kilkunastu fotonów (liczba wystarczająca, aby prowadzić elementarne obliczenia kwantowe) z kilku lat do pojedynczych sekund. Obecnie istnieje wiele sposobów przechowywania (atomy, cząsteczki, kryształy) jak również kodowania informacji o emitowanych fotonach. Obiecującym pomysłem jest zastosowanie informacji o kątach emisji fotonów, co w połączeniu z kamerą czułą na pojedyncze fotony pozwala na bezpośrednią rejestrację emitowanego z pamięci światła.

W Laboratorium Pamięci Kwantowych (Wydział Fizyki UW) udało się skonstruować pamięć zdolną przechować kilkaset stanów światła jednocześnie. Obecnie jest to światowy rekord pod względem pojemności pamięci - rozwiązania innych grup badawczych umożliwiają przechowywanie fotonów w maksymalnie kilkudziesięciu stanach jednocześnie. Serce zbudowanego układu stanowi tzw. pułapka magnetooptyczna (MOT): grupa atomów rubidu, znajdująca się w szklanej komorze próżniowej, jest spułapkowana i schłodzona do temperatury 20 mikrokelwinów przy pomocy laserów i pola magnetycznego. Protokół pamięci opiera się na nierezonansowym rozpraszaniu światła na atomach: w procesie zapisu oświetlamy zimną chmurę atomów laserem, w wyniku czego emitowane są pod losowymi kątami fotony, rejestrowane następnie na czułej kamerze. Informacja o kierunkach rozproszeń jest przechowywana wewnątrz zespołu atomów w postaci kolektywnych wzbudzeń (tzw. fal spinowych), które mogą być na żądanie odtworzone w postaci kolejnej grupy fotonów. Pomiar korelacji pomiędzy kierunkiem fotonów emitowanych podczas zapisu i odczytu pamięci pozwala stwierdzić, że w eksperymencie wytwarzane jest światło, którego właściwości nie mogą być opisane przy użyciu klasycznej optyki. Prototypowa pamięć kwantowa z Wydziału Fizyki UW zajmuje dwa duże stoły optyczne i funkcjonuje dzięki dziewięciu laserom i trzem komputerom, kontrolującym jej działanie.

Stworzona dzięki grantom “PRELUDIUM” i “OPUS” Narodowego Centrum Nauki oraz “Diamentowy Grant” MNiSW pamięć kwantowa jest wyjątkowa pod jeszcze jednym względem. Informacja o wszystkich wyemitowanych z pamięci fotonach jest przechowywana w tej samej objętości atomów, które współdzielą ze sobą zapamiętaną informację. Dzięki temu udało się zaobserwować interferencję dwóch fal spinowych, pochodzących od znajdujących się w zewnętrznym polu magnetycznym atomów, opisanych odmiennym zestawem liczb kwantowych. “Umożliwi to w przyszłości dalsze, bardziej skomplikowane manipulacje stanem atomów, a w efekcie wytwarzanie pojedynczych fotonów o kontrolowanych przez eksperymentatorów parametrach” – tłumaczy dr. hab. Wojciech Wasilewski, kierownik Laboratorium Pamięci 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 wchodzą Instytuty: 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:

“Wavevector multiplexed atomic quantum memory via spatially-resolved single-photon detection”
M. Parniak, M. Dąbrowski, M. Mazelanik, A. Leszczyński, M. Lipka, W. Wasilewski
Nature Communications **8**, 2140 (2017); DOI: 10.1038/s41467-017-02366-7
https://www.nature.com/articles/s41467-017-02366-7

KONTAKTY:

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

mgr Michał Parniak
Instytut Fizyki Doświadczalnej Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
tel. +48 22 5532629
email: michal.parniak@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:

FUW171215b_fot01s.jpg, HR: http://www.fuw.edu.pl/press/images/2017/FUW171215b_fot01.jpg
Spułapkowana i schłodzona laserowo chmura zimnych atomów rubidu, służąca do realizacji pamięci kwantowej. Atomy znajdują się w szklanej komorze próżniowej, wokół której widoczne są cewki wytwarzające pole magnetyczne wymagane do pułapkowania atomów. Niebieski kolor spowodowany jest oświetleniem atomów dwoma laserami działającymi w bliskiej podczerwieni, które wywołują przejście dwufotonowe wzbudzające atomy. Powrót atomów do stanu podstawowego w wyniku emisji spontanicznej skutkuje emisją niebieskiego światła. (Źródło: FUW, Mateusz Mazelanik)

FUW171215b_fot02s.jpg, HR: http://www.fuw.edu.pl/press/images/2017/FUW171215b_fot02.jpg
Autorzy artykułu: (pierwszy rząd, od lewej): M. Parniak, M. Mazelanik, M. Dąbrowski, M. Lipka, (drugi rząd, od lewej) A. Leszczyński, W. Wasilewski, wraz z układem pamięci kwantowej bazującej na chłodzonych laserowo atomach. W tle widoczne są dwa stoły optyczne zawierające elementy użyte do budowy eksperymentu. (Źródło: FUW, Mateusz Mazelanik)

MATERIAŁ FILMOWY:

https://www.youtube.com/watch?v=WYhX4Gt3VCw
Dzień z życia Laboratorium Pamięci Kwantowych. (Źródło: FUW, Michał Parniak)