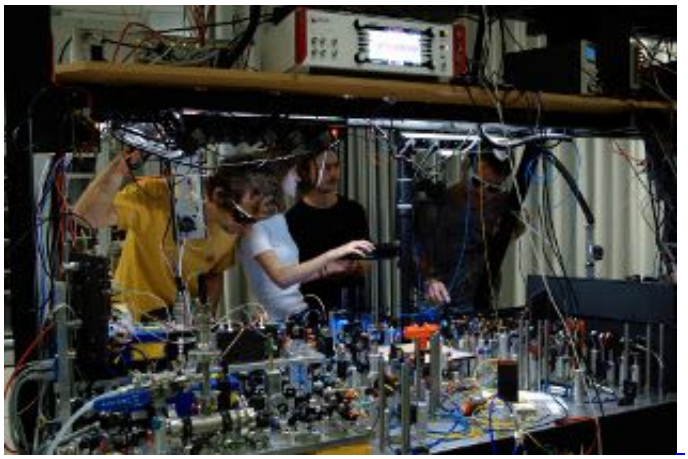
Odkrycie naukowców z UW to krok w stronę karty sieciowej dla komputera kwantowego

2023-10-05



Zespół badaczy z Centrum Optycznych Technologii Kwantowych (od lewej: M. Parniak, U. Pylypenko, M. Mazelanik, S. Borówka) pracujący z urządzeniem do konwersji mikrofalowo-optycznej, opracowanym na UW (Źródło: M. Lipka, UW)

Zespół naukowców z Centrum Optycznych Technologii Kwantowych QOT, w tym studentka Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, skonstruował urządzenie potrafiące dokonać konwersji informacji kwantowej pomiędzy pojedynczymi fotonami mikrofalowymi oraz optycznymi. Wyniki badań dotyczących urządzenia, opublikowane na łamach czasopisma „Nature Photonics", prezentują nową technikę detekcji mikrofalowej, mogącą znaleźć zastosowania w technologiach kwantowych, jako element infrastruktury kwantowego internetu, oraz w mikrofalowej radioastronomii.

Konwersja informacji

W czasie odtwarzania muzyki z urządzenia elektronicznego dochodzi do konwersji informacji – plik muzyczny zapisany cyfrowo w pamięci urządzenia konwertowany jest na prąd elektryczny, kierowany następnie do głośników. W podobny sposób można konwertować informację kwantową zawartą w fotonach – najmniejszych, niepodzielnych cząstkach światła – na przykład przekazać informację z fotonu mikrofalowego do fotonu optycznego. Operacje na pojedynczych fotonach nastręczają jednak wielu trudności. Przede wszystkim urządzenia wykonujące takie operacje muszą być bardzo precyzyjne i nie mogą wnosić do konwertowanej informacji szumu ani zakłóceń. Dodatkową trudność stanowi fakt, że fotony optyczne mają dziesięć tysięcy razy większą energię niż fotony mikrofalowe i istnieje niewiele ośrodków, które mogą równocześnie oddziaływać z jednymi i drugimi.

Konwersja informacji kwantowej jest jednak kluczowa dla działania tzw. kwantowych sieci hybrydowych – sieci połączeń między różnymi urządzeniami kwantowymi, takimi jak komputery kwantowe wykonujące obliczenia przy pomocy fotonów mikrofalowych oddziałujących z obwodami nadprzewodzącymi. Przesył informacji kwantowej na duże odległości przy pomocy tych fotonów jest utrudniony ze względu na zakłócenia. Sprawy mają się jednak dużo lepiej w przypadku fotonów optycznych, mogących bez problemów przenosić informację kwantową w światłowodach. Mikrofalowo-optyczny konwerter kwantowej informacji może więc w przyszłości stać się kluczową częścią kwantowej karty sieciowej – interfejsu pomiędzy kwantowymi komputerami a kwantowym internetem.

Powiększone atomy

Jednymi z obiektów, które mogą oddziaływać z fotonami mikrofalowymi oraz optycznymi, są atomy rydbergowskie, nazwane tak na cześć Johannesa Rydberga, który na przełomie XIX i XX w. zajmował się spektroskopią optyczną i zaproponował słynny wzór Rydberga. Atomy rydbergowskie można otrzymać przez laserowe wzbudzenie elektronu walencyjnego np. w atomie rubidu. Dzięki temu atom zwiększa swój rozmiar tysiąckrotnie oraz nabywa interesujących własności, które są przedmiotem badań wielu grup badawczych na całym świecie. W tym przypadku najistotniejsze jest to, że atomy rydbergowskie są bardzo czułe na promieniowanie mikrofalowe.

Do tej pory konwersja mikrofalowo-optyczna w atomach rydbergowskich została zaprezentowana wyłącznie dla laserowo schłodzonych atomów w skomplikowanym układzie pułapki magnetooptycznej. Naukowcy z UW jako pierwsi pokazali, że konwersja mikrofalowo-optyczna może zajść również w temperaturze pokojowej, dla swobodnego gazu atomowego zamkniętego w szklanej komórce. Dzięki temu znacząco uproszczono konstrukcję układu, co może doprowadzić do miniaturyzacji urządzenia. Dodatkowo zaproponowano nowy schemat konwersji, charakteryzujący się wyjątkowo niskimi zakłóceniami, który pozwala na operacje na pojedynczych fotonach. Uzyskanie znacząco lepszych parametrów niż do tej pory, przy użyciu tak prostego układu, było dużym zaskoczeniem dla badaczy. Wynalazek z UW może też działać non-stop, gdyż nie wymaga specjalnego czasu na przygotowanie atomów, co w innych podejściach pochłania nawet ponad 99% czasu pracy urządzenia.

W ramach prezentacji czułości urządzenia zademonstrowano wykrywanie mikrofalowego promieniowania termicznego w temperaturze pokojowej. Po raz pierwszy udało się tego dokonać bez użycia anten mikrofalowych oraz specjalnych niskoszumnych wzmacniaczy. Do zejścia na poziom termiczny wymagana jest czułość na pojedyncze fotony, ale konwerter może działać też dla mikrofal nawet milion razy silniejszych i nie może zostać uszkodzony nawet przez bardzo silne pola, w przeciwieństwie do innych urządzeń mikrofalowych.

Mikrofalowa przyszłość

Technologie kwantowe, które obecnie bardzo szybko się rozwijają, wykorzystują różne nośniki informacji. Komputery kwantowe oparte na złączach nadprzewodzących przechowują kwantową informację w częstościach mikrofalowych, natomiast pamięci kwantowe wykorzystują do tego fotony optyczne. Podobnie jak w przypadku kwantowej karty sieciowej, połączenie obu typów urządzeń wymaga interfejsu, który mógłby sprawnie oddziaływać zarówno w dziedzinie mikrofalowej jak i optycznej – atomy rydbergowskie są tu jednym z proponowanych rozwiązań.

Operacje na pojedynczych fotonach mikrofalowych mogą być również istotne dla pomiarów astronomicznych, badających własności dalekich obiektów lub obserwujących wczesny Wszechświat np. przy pomocy mikrofalowego promieniowania tła. Do tej pory pomiary zachowujące informację kwantową przenoszoną przez mikrofalowe fotony nie były możliwe. Konwersja mikrofalowo-optyczna potencjalnie stwarza miejsce na nową gałąź mikrofalowej radioastronomii.

Codzienna komunikacja także może wykorzystać odkrycia związane z detekcją mikrofal. Technologie mobilne nowych generacji do przesyłu wykorzystują pasma mikrofalowe o coraz wyższej częstości, coraz trudniejsze do wytwarzania i wykrywania w obwodach elektronicznych. Może okazać się, że w pewnym momencie atomowe sensory mikrofalowe staną się kluczowym elementem tych technologii, pozwalając na przykład skrócić znany graczom „ping" do absolutnego minimum. Obecnie w Centrum Optycznych Technologii Kwantowych QOT, jak również w innych ośrodkach naukowych na świecie, trwają badania nad wykorzystaniem kwantowych technologii w superczułej detekcji promieniowania mikrofalowego.

Publikacja była efektem pracy w zespole Laboratorium Urządzeń Kwantowo-Optycznych w Centrum Optycznych Technologii Kwantowych QOT przy udziale doktoranta Sebastiana Borówki, magistrantki Uliany Pylypenko, dr. Mateusza Mazelanika oraz kierownika laboratorium, dr. hab. Michała Parniaka. Wszyscy autorzy pracy są też związani z Wydziałem Fizyki UW jako studenci, doktoranci i absolwenci. Co istotne, studenci i doktoranci mogą brać udział w badaniach w QOT w ramach studiów na Wydziale Fizyki UW i doktoratów realizowanych w Szkole Doktorskiej, a wyniki badań wykorzystać do przygotowania prac dyplomowych.

Wyniki badań są realizacją głównego celu projektu SONATA17 finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki. Ponadto, projekt 'Centrum Optycznych Technologii Kwantowych' (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 wchodzą 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:

S. Borówka, U. Pylypenko, M. Mazelanik, M. Parniak
Continuous wideband microwave-to-optical converter based on room-temperature Rydberg atoms
Nature Photonics (2023)
https://www.nature.com/articles/s41566-023-01295-w
doi: 10.1038/s41566-023-01295-w

KONTAKT:

dr hab. Michał Parniak
Centrum Optycznych Technologii Kwantowych, Centrum Nowych Technologii, Uniwersytet Warszawski
tel. +48 225543786
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 I FILMOWE:

FUW231005b_img01
https://www.fuw.edu.pl/tl_files/press/images/2023/FUW231005b_img01.png
Wizja artystyczna komórki z atomami rydbergowskimi konwertującymi padającą mikrofalę na wiązkę optyczną (Źródło: M. Mazelanik, Uniwersytet Warszawski)

FUW231005b_fot02
https://www.fuw.edu.pl/tl_files/press/images/2023/FUW231005b_fot02.jpg
Zespół badaczy z Centrum Optycznych Technologii Kwantowych (od lewej: M. Parniak, U. Pylypenko, M. Mazelanik, S. Borówka) pracujący z urządzeniem do konwersji mikrofalowo-optycznej, opracowanym na Uniwersytecie Warszawskim (Źródło: M. Lipka, Uniwersytet Warszawski)

FUW231005c_pl_mov03
https://www.fuw.edu.pl/tl_files/press/images/2023/FUW231005c_pl_mov03.mp4
Krótki film demonstrujący laboratorium i pracę zespołu nad kwantowym konwerterem mikrofalowo-optycznym opracowanym na Uniwersytecie Warszawskim (Źródło: M. Parniak, Uniwersytet Warszawski)
https://youtu.be/Uk0S7UKOTYk

FUW231005a - detekcja_mikrofalowa.pdf (200.2 kB)