UNIWERSYTET WARSZAWSKI
WYDZIAŁ FIZYKI
Warszawa, 12 listopada 2026
Asystent Dziekana d/s promocji Wydziału Fizyki UW: press.contact@fuw.edu.pl Pasteura 5, 02-093 Warszawa tel. +48 22 5532935 fax +48 22 5532999 email: dziekfiz@fuw.edu.pl

Inteligentny sensor kwantowy z odpornością na straty

Naukowcy z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (UW) oraz z Centrum Optycznych Technologii Kwantowych przy Centrum Nowych Technologii UW (CeNT UW) opracowali metodę ultraczułej detekcji mikrofal. Wykorzystując zimne, silnie oddziałujące atomy rydbergowskie jako detektor mikrofal, badacze zaobserwowali, że odpowiednio przygotowane oddziaływania między atomami pozwalają na uodpornienie stanu atomów na straty. Dzięki temu pomiar dostarczył trzykrotnie więcej informacji o badanym polu (mierzonej tzw. informacją Fishera) niż analogiczny pomiar bez udziału oddziaływań. Wyniki badań zostały opublikowane w prestiżowym czasopiśmie Nature Communications.

Atomowe detektory mikrofal

Precyzyjna detekcja słabych pól mikrofalowych ma znaczenie dla rozwoju technologii kwantowych, w tym metod komunikacji oraz metrologii. Przykładowo, obecne komputery kwantowe bazujące na złączach nadprzewodzących wykorzystują fotony mikrofalowe do przechowywania informacji. To właśnie detektory oparte na atomach rydbergowskich stanowią obiecujący kierunek rozwoju technologii detekcji elektromagnetycznej. Dzięki ich niezwykłej czułości na pola mikrofalowe, takie detektory umożliwiają precyzyjny pomiar bez konieczności kalibracji urządzenia. Jednocześnie niski szum pozwala nawet na detekcję promieniowania termicznego otaczającej układ aparatury.

Bardzo duże atomy

Atomy rydbergowskie (nazwane na cześć szwedzkiego uczonego Johannesa Rydberga) są to atomy, których jeden elektron po oświetleniu odpowiednio dostrojonymi laserami został wzbudzony do stanu o bardzo wysokiej energii, czyli znalazł się na powłoce elektronowej bardzo oddalonej od jądra (w języku fizyki: o bardzo wysokiej głównej liczbie kwantowej). W ten sposób atomy te stają się bardzo duże (mogą zwiększyć swój rozmiar nawet tysiąckrotnie względem stanu podstawowego), co czyni je niezwykle czułymi na zewnętrzne pola elektryczne. Jednocześnie cechą tych atomów, ze względu na swoje rozmiary, jest silne oddziaływanie pomiędzy wzbudzeniami, podobne jak u dużych molekuł gazu.

Straty, na które można się uodpornić

Każdy rzeczywisty pomiar wiąże się ze stratami. Część informacji o poszukiwanym parametrze zawartej w badanym sygnale może zostać utracona podczas przygotowania stanu, jego ewolucji lub samej detekcji. W typowym układzie wzrost strat prowadzi więc do zmniejszenia precyzji pomiaru. Kluczowym elementem odkrycia okazało się zaskakujące zachowanie atomów pod wpływem oddziaływań. Naukowcy z Laboratorium Urządzeń Kwantowo-Optycznych w Centrum Optycznych Technologii Kwantowych CeNT UW (mgr Stanisław Kurzyna, mgr Bartosz Niewelt, dr hab. Michał Parniak, prof. ucz., dr hab.

Wojciech Wasilewski, prof. ucz., dr Mateusz Mazelanik), realizujący badania w ramach projektów naukowych CeNT UW (większość z nich jest jednocześnie związana z Wydziałem Fizyki UW), pokazali, że skutki strat pomiarowych - dotychczas uznawanych za barierę trudną do pokonania - można w dużej mierze zniwelować, odpowiednio przygotowując atomy przed pomiarem. Straty niezmiennie obniżają czułość i w żadnym wypadku nie są korzystne - jednak zaproponowany protokół pozwala im zaradzić. Okazuje się, że oddziaływanie pomiędzy atomami rydbergowskimi, które samo ma charakter stratny, przekształca ich stan tak, że późniejsze straty przy detekcji odbierają znacznie mniej informacji o mierzonym polu. We współpracy z ekspertem w dziedzinie estymacji z Wydziału Fizyki UW, profesorem Rafałem Demkowiczem-Dobrzańskim, powstała teoria wyjaśniająca to zaskakujące zachowanie. Połączenie jej z nowatorskimi metodami optymalizacji rozwiniętymi na Uniwersytecie Warszawskim pozwoliło potwierdzić i dokładniej opisać obserwowany efekt.

Informacja o mierzonym polu

Aby ocenić, jak dobry jest pomiar, naukowcy posłużyli się wielkością zwaną informacją Fishera. Pozwala ona określić, ile informacji o szukanym parametrze, w tym przypadku o sile pola mikrofalowego, można uzyskać dla określonego sposobu pomiaru. Mówiąc obrazowo, jest to miara „ostrości” wiedzy o mierzonej wielkości: im większa informacja Fishera, tym mniejsza może być niepewność estymacji tego parametru, co wynika z fundamentalnego ograniczenia matematycznego, tzw. nierówności Craméra-Rao.

W eksperymencie zmierzona informacja Fishera dla układu wykorzystującego oddziaływania atomów rydbergowskich była trzykrotnie większa niż w odpowiadającym pomiarze bez oddziaływań. Wynik ten pokazuje, że oddziaływania pomiędzy wzbudzeniami mogą zostać wykorzystane do zwiększenia ilości informacji uzyskiwanej z pomiaru nawet w obecności znacznych strat.

Uzyskane wyniki pokazują nowy sposób wykorzystania oddziaływań między atomami rydbergowskimi w detekcji pól mikrofalowych. Połączenie dużej czułości na pola elektryczne z kontrolowanymi oddziaływaniami między atomami pozwala budować czujniki, w których straty pomiarowe ograniczają informację znacznie słabiej niż w typowych metodach. Powstały sensor używa atomów rydbergowskich, aby wykrywać pole, ale też aby przetwarzać informacje. Stanowi więc ważny krok w stronę nowej generacji inteligentnych sensorów kwantowych, które przetwarzają informację. Urządzenia tego typu będą mogły wykorzystać możliwości komputerów kwantowych w celu uzyskania maksymalnej czułości.

Fundusze Europejskie dla Nowoczesnej Gospodarki | Rzeczpospolita Polska | Dofinansowane przez Unię Europejską | FNP Fundacja na rzecz Nauki Polskiej

Projekt "Optyczne Technologie Kwantowe" (FENG.02.01-IP.05-0017/23) jest realizowany w ramach działania 2.1 Międzynarodowe Agendy Badawcze Fundacji na rzecz Nauki Polskiej współfinansowanego przez Unię Europejską ze środków 2. Priorytetu Programu Fundusze Europejskie dla Nowoczesnej Gospodarki 2021–2027 (FENG).

Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
Fizyka i astronomia na Uniwersytecie Warszawskim pojawiły się w 1816 roku w ramach ówczesnego Wydziału Filozofii. Obecnie w skład Wydziału Fizyki UW wchodzą Instytuty: Fizyki Doświadczalnej, Fizyki Teoretycznej, Geofizyki oraz Katedra Metod Matematycznych Fizyki. 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 1350 studentów i ok. 150 doktorantów. Uniwersytet Warszawski w rankingu szanghajskim dla poszczególnych dziedzin (Shanghai's Global Ranking of Academic Subjects) znajduje się wśród 150 najlepszych na świecie jednostek, kształcących w dziedzinie fizyki.

PUBLIKACJA NAUKOWA:

Stanisław Kurzyna, Bartosz Niewelt, Mateusz Mazelanik, Wojciech Wasilewski, Rafał Demkowicz-Dobrzański & Michał Parniak
Microwave-field quantum metrology with inherent robustness against detection losses enabled by Rydberg interactions, Nat Commun **17**, 9013 (2026)

https://doi.org/10.1038/s41467-026-76016-2

KONTAKT:

dr hab. Michał Parniak, prof. UW
Centrum Optycznych Technologii Kwantowych, Centrum Nowych Technologii oraz Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski
tel. +48 225543786
m.parniak@cent.uw.edu.pl

POWIĄZANE STRONY WWW:

https://www.qodl.eu/
Strona Laboratorium Urządzeń Kwantowo-Optycznych

https://qot.uw.edu.pl/
Strona Centrum Optycznych Technologii Kwantowych QOT UW

https://www.fuw.edu.pl
Strona Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

https://www.fuw.edu.pl/informacje-prasowe.html
Serwis prasowy Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

MATERIAŁY GRAFICZNE:

FUW261112b_fot01.jpg
https://www.fuw.edu.pl/tl_files/press/images/2026/ FUW261112b_fot01.jpg
Na zdjęciu pamięć kwantowa umożliwiająca detekcję mikrofal wykorzystana w eksperymencie (fot. Bartosz Niewelt/UW).