

Warszawa, 28 października 2013

Kwantowa rzeczywistość bardziej zagmatwana niż sądziliśmy

Kupiłeś w sklepie internetowym kilka szklanych wazonów w różnych kolorach. Każdy wazon wysłałeś osobną paczką. Co byś powiedział o kurierze, który dostarczył wszystkie paczki nienaruszone, a mimo to po rozpakowaniu okazałoby się, że tylko czerwone wazony są całe, a tylko zielone rozbite w drobny mak? Fizycy z Uniwersytetu Warszawskiego i Politechniki Gdańskiej wykazali jednak, że podczas przesyłania informacji kwantowej przyroda ma równie wiele fantazji, co ów szalony kurier.

Doświadczenie z pojedynczymi fotonami, przeprowadzone przez fizyków z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (FUW) i Wydziału Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Gdańskiej (PG), ujawniło kolejną sprzeczną z intuicją cechę mikroświata. Gdy natura przesyła obiekt kwantowy, kwantowa jakość tej przesyłki – to, czy obiekt będzie się zachowywał jak fala, czy jak cząstka – zależy także od jego cech na pozór zupełnie niezwiązanych z samym przesyłaniem! Zaskakujące wyniki właśnie opublikowano w prestiżowym czasopiśmie naukowym „Nature Communications”.

Jednym z najbardziej zadziwiających, a jednocześnie najprostszych do przeprowadzenia eksperymentów jest doświadczenie z interferencją. Dziś może je wykonać praktycznie każdy. Gdy światło lasera skierujemy na przesłonę z dwiema szczelinami, zobaczymy za nimi układ ciemnych i jasnych prążków. Fizycy od dawna wiedzieli, że prążki interferencyjne będą widoczne nawet wtedy, gdy przez szczeliny przelatują pojedyncze cząstki, np. pojedynczy foton czy elektron. Przyjmuje się, że foton czy elektron zachowuje się wówczas jak fala, która przechodzi przez obie szczeliny jednocześnie i interferuje sama ze sobą.

Wszystko się zmienia, gdy w układzie pomiarowym istnieje możliwość, choćby nawet tylko potencjalna, określenia drogi fotonu czy elektronu – czyli ustalenia, przez którą szczelinę cząstka przeszła. Gdy informacja o drodze cząstki wycieka z układu pomiarowego do obserwatora, interferencja natychmiast znika! Zamiast prążków interferencyjnych za przesłoną widać wtedy po prostu jedną jasną plamę.

Aby fotony interferowały, muszą mieć tę samą długość fali. Podobnie elektrony – muszą mieć tę samą energię. Ale cząstki kwantowe mają także wiele innych cech, pozornie niezwiązanych z interferencją. Na przykład mogą być spolaryzowane (ich pole elektryczne może drgać w określonej płaszczyźnie) lub różnić się orientacją spinu (cechy kwantowej opisującej dynamikę obiektu w spoczynku).

„Do tej pory najczęściej przyjmowano, że dodatkowe cechy cząstek, takie jak spin czy polaryzacja, nie mają istotnego wpływu na interferencję. My postanowiliśmy przyjrzeć się zagadnieniu dokładniej i zdziwiliśmy się otrzymanymi rezultatami”, mówi prof. dr hab. Konrad Banaszek (FUW).

Eksperyment fizyków z FUW i PG rozpoczynał się od wygenerowania fotonów obwieszczanych. „Nazwa brzmi zniechęcająco, ale sama idea jest prosta”, uspokaja prof. dr hab. Czesław Radzewicz (FUW). „Generujemy fotony w procesie, w którym muszą powstawać parami. Gdy potem zarejestrujemy jeden foton, mamy pewność, że powstał też drugi, którego własności, takie jak kierunek emisji czy długość fali, jesteśmy w stanie przewidzieć bez wykonania pomiaru. Innymi słowy używamy jednego fotonu do obwieszczenia obecności drugiego fotonu, niezaburzonego przez pomiary stwierdzające jego obecność”.

Każdy „zaanonsonowany” w ten sposób foton badacze kierowali pojedynczo do prostego interferometru, składającego się z dwóch kryształów kalcytu. W pierwszym kryształcie foton rozdzielał się, po czym wędrował przez oba ramiona interferometru jednocześnie. W obu ramionach naukowcy zaburzali polaryzację fotonu (czyli płaszczyznę, w której drga jego pole elektryczne), wprowadzając do niej szum. W drugim kalcycie obie ścieżki fotonu się łączyły i powstawał charakterystyczny układ prążków interferencyjnych – naturalnie tylko wtedy, gdy z układu nie wyciekała informacja, którym ramieniem poruszał się dany foton. Ostatnim etapem doświadczenia był pomiar prążków interferencyjnych za pomocą krzemowych fotodiod lawinowych.

„Okazało się, że na podstawie pomiarów prążków interferencyjnych jesteśmy w stanie ustalić, czy podczas przesyłania informacji przez interferometr jej część nie wydostała się na zewnątrz. Innymi słowy umiemy z całą pewnością stwierdzić, czy ktoś podsłuchiwał przesyłaną informację, czy nie”, mówi dr Michał Karpiński (FUW, obecnie University of Oxford), który zbudował układ eksperymentalny i przeprowadził pomiary.

Wyniki eksperymentu ujawniły nową, zaskakującą cechę rzeczywistości. Okazało się, że polaryzacja fotonów, cecha pozornie zupełnie niezwiązana z interferencją, ma na nią jednak wpływ.

„To trochę tak, jakby jakość usługi kurierskiej, na przykład integralność wazonu w szczelnie zamkniętej paczce, zależała od tego, czy wazon jest niebieski, czy czerwony. W naszym świecie kolor nie miałby wpływu na to, czy wazon się stłukł, czy jest cały. Lecz kwantowy kurier dostarcza przesyłkę w stanie, który zależy także od jej wewnętrznych, pozornie niezwiązanych z interferencją cech!”, opisuje prof. dr hab. Paweł Horodecki (PG).

Wynik doświadczenia pozwala fizykom w nowy, bardziej kompletny sposób spojrzeć na najbardziej fundamentalne cechy rzeczywistości. Ale ma też znaczenie praktyczne dla kryptografii kwantowej. Warszawskim i gdańskim fizykom udało się bowiem wyprowadzić nierówność, która pozwala dokładnie oszacować ilość informacji wyciekającej z układu pomiarowego.

Badania sfinansowano z 7. Programu Ramowego Unii Europejskiej oraz projektu TEAM Fundacji na rzecz Nauki Polskiej finansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

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 niemal 80 pracowników z tytułem profesora. Na Wydziale Fizyki UW studiuje ok. 1000 studentów i ponad 140 doktorantów.

KONTAKTY DO NAUKOWCÓW:

prof. dr hab. **Konrad Banaszek**
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
tel. +48 22 5532306
email: konrad.banaszek@fuw.edu.pl

prof. dr hab. **Paweł Horodecki**
Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Gdańskiej
tel. +48 58 3486069
email: pawel@mif.pg.gda.pl

prof. dr hab. **Czesław Radzewicz**
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
tel. +48 22 5532243, +48 22 6254738
email: czeslaw.radzewicz@fuw.edu.pl

dr **Michał Karpiński**
Department of Physics, University of Oxford
tel. +44 1865 273623
email: michal.karpinski@physics.ox.ac.uk

POWIĄZANE STRONY WWW:

<http://www.mif.pg.gda.pl/>
Strona Wydziału Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Gdańskiej

<http://www.fuw.edu.pl/>
Strona Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

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

MATERIAŁY GRAFICZNE:

FUW131028b_fot01s.jpg

HR: http://www.fuw.edu.pl/press/images/2013/FUW131028b_fot01.jpg

Nawet pojedynczy foton może biec przez oba ramiona interferometru jednocześnie. Gdy nie wiadomo, którą drogę wybrał, dochodzi do interferencji i tworzą się prążki interferencyjne. Silny sygnał jest wtedy widoczny w miejscach, gdzie spotykają się grzbiety fal świetlnych, słaby – tam, gdzie grzbiet fali natrafia na dolinę. Jeśli informacja z interferometru wycieknie i będzie można określić, którym ramieniem poruszał się foton, prążki interferencyjne znikną. (Źródło: NLTK/Tentaris/Maciej Frolow)