

Wydajne źródło precyzyjnie kontrolowanych fotonów

2012-02-29



Na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego zbudowano wydajne źródło pojedynczych fotonów o dobrze kontrolowanych parametrach. Na zdjęciu doktorant Michał Karpiński, główny autor publikacji opisującej nowy przyrząd. (Źródło: Grzegorz Krzyżewski/FUW)

Fotony o dokładnie ustalonych cechach są niezbędne w niemal wszystkich pracach eksperymentalnych z zakresu optyki kwantowej, a także w jej coraz liczniejszych zastosowaniach. Naukowcy z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego skonstruowali urządzenie pozwalające generować takie fotony łatwiej i taniej.

Liczne doświadczenia z optyki kwantowej wymagają użycia źródeł pojedynczych fotonów o precyzyjnie kontrolowanych własnościach. Na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (FUW) udało się

zbudować źródło znacznie wydajniejsze od dotychczasowych. „Skonstruowany przez nas przyrząd nie tylko ma większą wydajność, ale także zapewnia lepszą kontrolę parametrów wytwarzanych fotonów. Eksperymenty kwantowe mogą być teraz prowadzone szybciej, łatwiej i, co także bardzo ważne, za mniejsze pieniądze”, mówi prof. dr hab. Czesław Radzewicz, kierownik Laboratorium Procesów Ultraszybkich Instytutu Fizyki Doświadczalnej FWW

Źródła fotonów, stosowane w doświadczeniach z optyki kwantowej, wykorzystywały dotychczas spontaniczną przemianę częstości w kryształach nieliniowych i nie były wydajne. Nawet oświetlając kryształ wiązką laserową o mocy kilkudziesięciu miliwatów, stosunkowo dużą jak na potrzeby eksperymentów kwantowych, w każdej sekundzie udawało się wytworzyć zaledwie kilkanaście-kilkadziesiąt tysięcy odpowiednich fotonów.

Mniej więcej od dekady fizycy próbowali generować pojedyncze fotony nie tylko w kryształach, ale także w falowodach nieliniowych, z użyciem zjawiska fluorescencji parametrycznej. Wbrew nazwie, fluorescencja parametryczna nie ma wiele wspólnego ze zwykłą fluorescencją, polegającą na stopniowym wyświecaniu energii przez wcześniej wzbudzone atomy. „Podczas fluorescencji parametrycznej wyświecanie zachodzi natychmiast i wynika nie z uprzedniego wzbudzenia atomu, a ze specyficznych, nieliniowych cech potencjału elektrycznego, w którym poruszają się elektrony w atomach”, wyjaśnia doktorant Michał Karpiński z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, główny autor publikacji w czasopiśmie „Optics Letters”, gdzie opisano nowe źródło fotonów

W wyniku fluorescencji parametrycznej foton początkowy, z wiązki pompującej, dzieli się w falowodzie na dwa fotony o energii dwukrotnie mniejszej. Oznacza to, że jeśli foton pompujący był fotonem światła niebieskiego, o długości fali 400 nm, to wskutek fluorescencji parametrycznej powstaną dwa fotony światła czerwonego, o długości fali bliskiej 800 nm.

Własności obu tak powstałych fotonów są ze sobą skorelowane, np. jeśli jeden jest spolaryzowany w jednej płaszczyźnie, drugi będzie miał polaryzację prostopadłą. Dysponując taką parą fotonów, fizycy mogą skierować ją na kryształ rozdzielający fotony o różnych polaryzacjach. Jeśli teraz w jednym ramieniu układu pomiarowego zostanie zarejestrowany foton o pewnej polaryzacji, natychmiast wiadomo, że w drugim ramieniu był jego brat-bliźniak, spolaryzowany prostopadłe. Wiedzę tę wykorzystuje się m.in. w eksperymentach ze splątaniem kwantowym.

W źródle skonstruowanym na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego wykorzystano komercyjnie dostępny falowód nieliniowy. W przeciwieństwie do tradycyjnych światłowodów mikrofalowych nie jest to elastyczne włókno, lecz kryształ o rozmiarach kilku milimetrów. Na jego powierzchni znajduje się ścieżka światłowodząca, w którą wprowadza się wiązkę pompującą.

„Kluczem do sukcesu było dokładne poznanie fizyki zjawisk dyspersyjnych zachodzących w naszym falowodzie nieliniowym. Badamy podobne układy od kilku lat, a w 2009 roku byliśmy autorami pierwszej eksperymentalnej pracy z tego zakresu. Wiedzieliśmy więc dokładnie, jakie parametry powinna mieć wiązka wprowadzana do falowodu, jakie filtry widmowe powinniśmy postawić przed i za falowodem i co otrzymamy na wyjściu”, podkreśla dr hab. Konrad Banaszek, profesor UW.

Liczba fotonów emitowanych przez nowe źródło jest ok. sto razy większa w stosunku do dotychczasowych typowych źródeł. Oznacza to, że wiązka pompująca, wprowadzana do falowodu, może mieć mniejszą moc i pochodzić nawet ze zwykłego lasera diodowego. Dodatkową korzyścią jest tu fakt, że skoro światło wiązki pompującej jest słabsze, będzie się mniej rozpraszało w układzie eksperymentalnym i słabiej zaburzy wyniki pomiarów.

Badania były finansowane z funduszy Unii Europejskiej w ramach programu TEAM Fundacji na rzecz Nauki Polskiej oraz z grantu promotorskiego Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Wyniki

będzie można wykorzystać w pracach eksperymentalnych związanych z optyką kwantową oraz w jej zastosowaniach: szyfrowaniu kwantowym, pamięciach kwantowych czy w metrologii kwantowej, w której użycie kwantowych stanów światła pozwala prowadzić pomiary z wyjątkową precyzją.