



Warszawa, 7 kwietnia 2010

Ekstremalny pomiar: kwanty zwiększają precyzję

Polsko-brytyjska grupa naukowców przeprowadziła w Toruniu eksperyment, który pozwoli zwiększyć dokładność pomiarów do granic wyznaczonych fundamentalnymi cechami rzeczywistości.

Rozwój współczesnej nauki i inżynierii ściśle zależy od naszych możliwości przeprowadzania coraz precyzyjniejszych pomiarów. Grupa naukowców z Uniwersytetu Warszawskiego, Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu i Uniwersytetu w Oksfordzie zaprezentowała doświadczenie pozwalające przesunąć dokładność pomiarów do granic wyznaczonych fundamentalnymi cechami rzeczywistości. „Wykorzystaliśmy efekty kwantowe i zmusiliśmy fotony, za pomocą których dokonujemy pomiarów, aby współpracowały ze sobą” – mówi dr Rafał Demkowicz-Dobrzański z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, instytucji członkowskiej Narodowego Laboratorium Technologii Kwantowych. Wyniki eksperymentu zostały opublikowane w najnowszym wydaniu prestiżowego czasopisma naukowego „Nature Photonics”.

Aby przeprowadzić pomiar – odległości, temperatury lub innej wielkości fizycznej – w kierunku badanego obiektu trzeba zawsze wysłać sondę, na przykład falę świetlną. W wyniku oddziaływania z obiektem fala zmienia się w pewien sposób. Analizując zmiany fali, naukowcy potrafią wydobyć informację o cechach badanego obiektu.

Zmiany zachodzące w falach świetlnych można precyzyjnie obserwować dzięki zjawisku interferencji. Gdy dwie fale tej samej długości się nakładają, ich grzbiety mogą się ze sobą regularnie spotykać. Dochodzi wówczas do wyraźnego wzmocnienia sygnału. Gdy z kolei grzbiet jednej fali trafi w dolinę drugiej, obie fale się zniosą i obserwator nie zobaczy nic. W rezultacie tego procesu powstaje układ jasnych i ciemnych pasków – słynne prążki interferencyjne. Ich wygląd zmieni się wyraźnie, gdy jedna z fal spóźni się względem drugiej, np. wskutek przebycia odrobiny dłuższej drogi (co może być spowodowane choćby delikatnym przesunięciem lustra, od którego się wcześniej odbijała, wzrostem temperatury próbki itp.).

Za pomocą interferencji można zarejestrować nawet niewielkie przesunięcia grzbietów fal względem siebie. „Oznacza to, że możemy obserwować zmiany odległości znacznie mniejsze od długości samej fali” – mówi prof. UW Konrad Banaszek z Wydziału Fizyki UW. Szczególną popularnością na świecie cieszy się interferometria optyczna, która wykorzystuje światło widzialne. Jest ono doskonałym narzędziem badawczym, bo stosunkowo łatwo je rejestrować, a długość fal jest bardzo mała, rzędu ułamków mikrometra (10^{-6} m).

Problemy przy pomiarach sprawia jednak kwantowa natura światła. Kwanty światła, czyli fotony, są emitowane w sposób przypadkowy. Gdy jest ich bardzo dużo, detektory interferometrów rejestrują sygnał o mniej więcej stałej sile. Ale gdy fotonów jest mało, może się zdarzyć, że do detektora raz dotrze trochę więcej fotonów, raz trochę mniej. Z tego powodu w rejestrowanym sygnale pojawiają się fluktuacje nazywane szumem śrutowym. W praktyce szum śrutowy jest jedną z największych przeszkód w zwiększaniu dokładności pomiarów.

Okazuje się, że pomiary stają się precyzyjniejsze, jeśli można wykorzystać splątanie kwantowe. Splątanie to pojawia się, gdy w jednym procesie fizycznym powstają lub oddziałują pary obiektów kwantowych, np. fotonów. Dwa fotony są splątane, gdy nie jest możliwy pełny opis jednego z nich bez odwoływania się do drugiego. Taka para fotonów ma zdefiniowany swój stan globalny mimo faktu, że stany obu cząstek składowych pozostają nieokreślone. Układ splątanych fotonów zachowuje się więc jako całość nawet wtedy, gdy tworzące go cząstki są rozdzielone przestrzennie.

„Wykorzystaliśmy splątanie w celu wytworzenia specjalnych stanów światła” – wyjaśnia dr Rafał Demkowicz-Dobrzański. „Zamiast jednego fotonu, który przelatuje obiema drogami w interferometrze, używamy dwóch splątanych fotonów, tworzących nierozłączną parę”. Taka para w pewien sposób zachowuje się jak jeden foton i interferuje sama ze sobą. Obliczenia wskazują, że dokładność pomiaru jest wówczas lepsza od ograniczenia wynikającego z istnienia szumu śrutowego. Wytworzone stany światła są przy tym stosunkowo odporne na zaburzenia często pojawiające się podczas rzeczywistych pomiarów, np. na gubienie fotonów, które niekiedy są absorbowane wewnątrz badanej próbki.

Teoretycznie precyzyjny pomiar można przeprowadzić bez sięgania po subtelne efekty kwantowe, pod warunkiem, że światło będzie bardzo mocne. Silna wiązka świetlna może jednak zniszczyć badany obiekt i doprowadzić do rozgrzania, stopienia, a nawet spalenia elementów układu pomiarowego. Wykorzystanie efektów kwantowych pozwala zwiększyć precyzję pomiarów bez konieczności sięgania po duże ilości energii.

Eksperyment, wykorzystujący femtosekundowe impulsy podczerwone wytwarzane przez laser tytanowo-szafirowy, został przeprowadzony w Krajowym Laboratorium Fizyki Atomowej, Molekularnej i Optycznej FAMO w Toruniu. „To nie jest technologia, którą można od razu wykorzystać” – podkreśla prof. Banaszek. „Pokazujemy zasadę fizyczną pozwalającą poprawić dokładność pomiarów. Dopiero przyszłe badania wykażą, w jakim stopniu efekt ten będzie można wykorzystać w praktyce i jak zwiększy się dokładność pomiarów”.

Wyniki doświadczenia będzie można zastosować m.in. przy tworzeniu dokładniejszych wzorców długości, precyzyjniejszych zegarów atomowych i w interferometrach grawitacyjnych – wyrafinowanych przyrządach pomiarowych, za pomocą których fizycy starają się wykryć fale grawitacyjne.

Narodowe Laboratorium Technologii Kwantowych (nltk.fuw.edu.pl) to konsorcjum złożone z wiodących w kraju jednostek naukowych zajmujących się badaniami w zakresie technologii kwantowych, w tym informatyki kwantowej, inżynierii kwantowej oraz dziedzin pokrewnych. W skład NLTK wchodzi: Uniwersytet Warszawski, Politechnika Wrocławska, Instytut Fizyki PAN, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Uniwersytet Jagielloński, Uniwersytet Gdański, Uniwersytet Łódzki i Centrum Fizyki Teoretycznej PAN. W pięciu spośród ośmiu instytucji tworzących konsorcjum NLTK (UW, PWr, IF PAN, UMK, UJ) jest realizowany projekt o tej samej nazwie, którego celem jest utworzenie i wyposażenie członkowskich jednostek naukowych w sprzęt niezbędny do prowadzenia wspólnych badań naukowych oraz badawczo-rozwojowych na światowym poziomie. Projekt Narodowe Laboratorium Technologii Kwantowych jest współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, lata 2007-2013, Priorytet 2. Infrastruktura sfery B+R, Działanie 2.2 „Wsparcie tworzenia wspólnej infrastruktury badawczej jednostek naukowych”.

KONTAKTY DO NAUKOWCÓW:

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

dr **Rafał Demkowicz-Dobrzański**
Instytut Fizyki Teoretycznej Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
tel. + 48 22 5532306
email: rafal.demkowicz-dobrzanski@fuw.edu.pl

POWIĄZANE STRONY WWW:

<http://nltk.fuw.edu.pl/>

Strona Narodowego Laboratorium Technologii Kwantowych.

MATERIAŁY GRAFICZNE:

NLTK100407b_fot01s.jpg

HR: http://nltk.fuw.edu.pl/pliki/NLTK100407b_fot01.jpg

Doktorant Marcin Kacprowicz w Krajowym Laboratorium FAMO w Toruniu przy układzie wytwarzającym splecione pary fotonów. (Źródło: NLTK/LBC Studio)

NLTK100407b_fot02s.jpg

HR: http://nltk.fuw.edu.pl/pliki/NLTK100407b_fot02.jpg

Poglądowy schemat eksperymentu. Foton z niebieskiej wiązki światła laserowego trafia do kryształu nieliniowego i tu rozszczepia się na dwa fotony o dwukrotnie mniejszej energii – w kolorze czerwonym. Każdy z fotonów wędruje własną gałęzią interferometru. Oba fotony spotykają się w płytce światłodzielącej, gdzie dochodzi do ich kwantowego splecia. Płytke opuszcza jedna para splecionych fotonów, która wędruje oboma gałęziami interferometru jednocześnie (fakt jedności symbolizuje fioletowa poświata). W jednej z odnóg para splecionych fotonów trafia w badany obiekt (tu w kolorze zielonym); opóźnia on fale, wpływając na sygnał interferencyjny. Wstawka przedstawia istotę interferencji: silny sygnał powstaje w miejscach, gdzie spotykają się grzbiety fal świetlnych, słaby – w miejscach zetknięcia grzbietu fali z doliną. (Źródło: NLTK/Tentaris/Maciej Frołow)

NLTK100407b_fot03s.jpg

HR: http://nltk.fuw.edu.pl/pliki/NLTK100407b_fot03.jpg

Poglądowy schemat eksperymentu. Foton z niebieskiej wiązki światła laserowego trafia do kryształu nieliniowego i tu rozszczepia się na dwa fotony o dwukrotnie mniejszej energii – w kolorze czerwonym. Każdy z fotonów wędruje własną gałęzią interferometru. Oba fotony spotykają się w płytce światłodzielącej, gdzie dochodzi do ich kwantowego splecia. Płytke opuszcza jedna para splecionych fotonów, która wędruje oboma gałęziami interferometru jednocześnie (fakt jedności symbolizuje fioletowa poświata). W jednej z odnóg para splecionych fotonów trafia w badany obiekt (tu w kolorze zielonym); opóźnia on fale, wpływając na sygnał interferencyjny. (Źródło: NLTK/Tentaris/Maciej Frołow)

NLTK100407b_fot04s.jpg

HR: http://nltk.fuw.edu.pl/pliki/NLTK100407b_fot04.jpg

Grafika przedstawia istotę interferencji: silny sygnał powstaje w miejscach, gdzie spotykają się grzbiety fal świetlnych, słaby – w miejscach zetknięcia grzbietu fali z doliną. (Źródło: NLTK/Tentaris/Maciej Frołow)

WIZUALIZACJE:

<http://demonstrations.wolfram.com/ConstructiveAndDestructiveInterference/>

Wizualizacja przedstawiająca zasadę interferencji. Interaktywne odtworzenie wymaga pobrania odtwarzacza Mathematica Player, dostępnego pod podanym linkiem.

PRACE NAUKOWE:

„Experimental quantum-enhanced estimation of a lossy phase shift”, M. Kacprowicz, R. Demkowicz-Dobrzański, W. Wasilewski, K. Banaszek, I. A. Walmsley, Nature Photonics, kwiecień 2010, preprint dostępny pod adresem: <http://arxiv.org/abs/0906.3511>



INNOWACYJNA GOSPODARKA
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO

