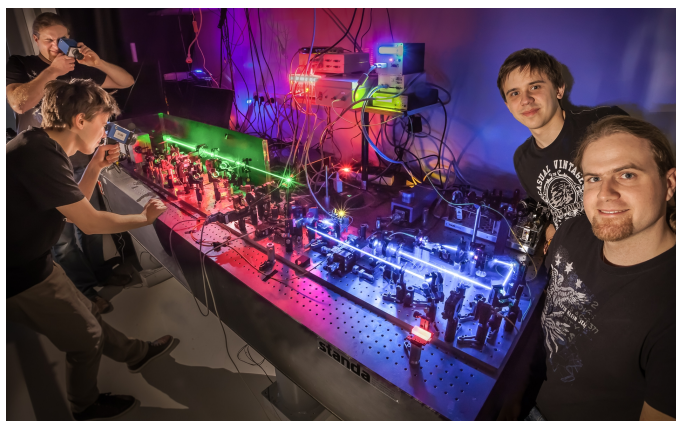


## Sfilmowaliśmy, jak pojedyncze fotony łączą się w pary

2015-04-22



W pewnych warunkach dwa pojedyncze, nierozróżnialne fotony wskutek interferencji połączą się w pary. Ten subtelny efekt kwantowy został po raz pierwszy sfilmowany przez doktorantów Michała Jachurę i Radosława Chrapkiewicza z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (oba na zdjęciu, powieleni i zgrupowani w pary po obu stronach aparatury pomiarowej). (Źródło: FUW, R. Chrapkiewicz)

*W świecie kwantów światła ekscentrycy są skazani na samotność. Tylko nierozróżnialne fotony z pewnością połączą się tu w pary w wyniku zjawiska nazywanego efektem Hong-Ou-Mandela. Ten subtelny efekt kwantowy po raz pierwszy udało się sfilmować dwóm doktorantom z naszego Wydziału.*

Od dawna było wiadomo, że fotony mogą się grupować. Wskutek ograniczeń technologicznych zjawisko to nigdy jednak nie zostało zaobserwowane bezpośrednio. Dopiero ostatnio sztuki tej dokonało dwóch naszych doktorantów. W artykule, właśnie opublikowanym w renomowanym czasopiśmie optycznym „Optics Letters”, Michał Jachura i Radosław Chrapkiewicz zaprezentowali film, na którym wyraźnie widać, jak fotony „sklejają się” w pary.

„Jako pierwsi sfilmowaliśmy pojedyncze fotony w bardzo ciekawej sytuacji, gdy wskutek zjawiska znanego jako dwufotonowa interferencja Hong-Ou-Mandela łączą się w pary”, mówi doktorant Michał Jachura i z przymrużeniem oka dodaje: „Wykonując nasz eksperyment czuliśmy się trochę jak operatorzy filmu dokumentalnego, z tą różnicą że to fotony były naszymi bohaterami, a scenariusz filmu napisała mechanika kwantowa”.

Zjawisko interferencji można obserwować m.in. w słynnym eksperymencie Thomasa Younga, gdy fala – świetlna, dźwiękowa lub jakakolwiek inna – przechodzi przez przesłonę z więcej niż jedną szczeliną. Każda szczelina zaczyna wtedy działać jak źródło nowej fali i za przesłoną tworzy się charakterystyczny układ prążków interferencyjnych. Tam, gdzie grzbiety fal się wzmacniają, w przypadku światła widać jasne prążki, podczas gdy miejsca, gdzie fale się tłumią, pozostają ciemne.

Obiekty świata kwantów mają zadziwiającą właściwość: w zależności od sposobu, w jaki je obserwujemy, zachowują się albo jak cząstki, albo jak fale. Jeśli pojedynczy foton zachowuje się jak fala, może przejść przez dwie szczeliny jednocześnie i za przesłoną utworzą się prążki interferencyjne (co oznacza, że pojedynczy foton interferuje sam ze sobą). Interferencja będzie jednak widoczna tylko pod warunkiem, że układ pomiarowy nie pozwala stwierdzić, przez którą szczelinę przeszedł foton. Jeśli rozróżnienie jest możliwe (bo np. za jedną ze szczelin umieszczona jest płytką zmieniająca polaryzację światła), wtedy foton natychmiast zachowuje się jak cząstka i prążki interferencyjne znikają.

W 1987 roku grupa fizyków z University of Rochester (UR) przewidziała i zaobserwowała subtelny efekt kwantowy w układzie doświadczalnym z płytką światłodziącą – a więc płytką, która część padającego na nią światła przepuszcza, a część odbija. Parametry płytki można tak dobrać, aby prawdopodobieństwo odbicia fotonu równało się prawdopodobieństwu jego przepuszczenia. Jeśli ku jednej stronie takiej płytki wyśle się pojedynczy foton, a ku drugiej drugi, możliwe są cztery warianty rozwoju wydarzeń: albo oba fotony jednocześnie się odbiją, albo oba zostaną przepuszczone, albo foton z jednej strony będzie przepuszczony, a z drugiej odbity – bądź *vice versa*. Obliczenia kwantowo-mechaniczne fizyków z UR wskazywały, że takie warianty rzeczywiście wystąpią, lecz tylko wtedy, gdy fotony dolatujące do płytki będą rozróżnialne, a więc gdy będą się zachowywać jak cząstki. Jeśli fotony pozostaną nierozróżnialne, dojdzie między nimi do interferencji. W jej wyniku oba fotony zgrupują się w parę i pojawią się zawsze razem albo po jednej, albo po drugiej stronie płytki.

„Zjawisko Hong-Ou-Mandela było wcześniej obserwowane, ale tylko za pomocą fotodiod, które po prostu sygnalizowały detekcję fotonu wysyłając impuls elektryczny. My mieliśmy do dyspozycji dużo więcej: wyrafinowaną kamerę zbudowaną w naszej grupie, która umożliwiła nam sfilmowanie kwantowej interferencji. Kamera ta, podobna do noktowizora, składała się z ultranowoczesnego wzmacniacza obrazu oraz bardzo czułego i szybkiego sensora sCMOS o niskim poziomie szumów. Przyrząd okazał się tak dobry, że pozwolił nam na zbadanie zachowania pojedynczych cząstek światła”, mówi doktorant Radosław Chrapkiewicz i podkreśla, że w konstruowaniu kamery brali udział także dr Wojciech Wasilewski i inż. Jarosław Iwaskiewicz.

Za pomocą kamery ze wzmacniaczem obrazu nasi naukowcy sfilmowali zachowanie fotonów w dwóch sytuacjach: gdy fotony wysyłane ku płytce światłodziącej były rozróżnialne oraz gdy były one nierozróżnialne. W pierwszym przypadku na klatkach nagrania można zobaczyć, że pojedyncze zielone plamki, odpowiadające zarejestrowanym pojedynczym fotonom, pojawiają się przypadkowo, po jednym fotonie z każdej strony płytki bądź razem po jednej z jej stron. W drugim przypadku, gdy rozróżnialność została zlikwidowana, widać, że fotony połączyły się w pary: płytkę opuszczają zawsze po jednej ze stron, nigdy osobno.

„Sfilmowanie interferencji dwufotonowej to bardzo ważny wynik dla optyki kwantowej, oznacza bowiem, że fizycy mogą od teraz bezpośrednio obserwować przestrzenne zjawiska optyczne zachodzące z udziałem pojedynczych fotonów”, podkreśla prof. dr hab. Tomasz Matulewicz, dyrektor Instytutu Fizyki Doświadczalnej naszego Wydziału.

Wyniki badań, finansowanych z grantu PRELUDIUM Narodowego Centrum Nauki, stanowią ważny wkład w opracowanie wydajnych metod detekcji kwantowych stanów światła oraz w budowę superrozdzielczych mikroskopów optycznych nowego typu zdolnych rejestrować obrazy za pomocą niewielkiej liczby fotonów, a więc w sposób w pełni bezpieczny dla nawet bardzo delikatnych próbek.

## **PUBLIKACJE NAUKOWE:**

„Shot-by-shot imaging of Hong-Ou-Mandel interference with an intensified camera”; M. Jachura, R. Chrapkiewicz; *Optics Letters*, Vol. 40, Issue 7, pp. 1540-1543 (2015); DOI: <http://dx.doi.org/10.1364/OL.40.001540>

## **KONTAKTY:**

mgr **Radosław Chrapkiewicz**  
Instytut Fizyki Doświadczalnej Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego  
tel. +48 22 55 32 529  
email: [radoslaw.chrapkiewicz@fuw.edu.pl](mailto:radoslaw.chrapkiewicz@fuw.edu.pl)

mgr **Michał Jachura**  
asystent naukowy, Instytut Fizyki Teoretycznej Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego  
tel. +48 22 55 32 529  
email: [michal.jachura@fuw.edu.pl](mailto:michal.jachura@fuw.edu.pl)

## **POWIĄZANE STRONY WWW:**

<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 FILMOWE:**

<https://www.youtube.com/watch?v=BFIM5pHyd1k>  
Naukowcy z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego po raz pierwszy sfilmowali, jak fotony łączą się w pary. (Źródło: F UW)

## **MATERIAŁY GRAFICZNE:**

**FUW150422b\_fot01s.jpg** HR: [http://www.fuw.edu.pl/press/images/2015/FUW150422b\\_fot01.jpg](http://www.fuw.edu.pl/press/images/2015/FUW150422b_fot01.jpg)  
W pewnych warunkach dwa pojedyncze, nierozróżnialne fotony wskutek interferencji połączą się w pary. Ten subtelny efekt kwantowy został po raz pierwszy sfilmowany przez doktorantów Michała Jachurę i Radosława Chrapkiewicza z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (obaj na zdjęciu, powieleni i zgrupowani w pary po obu stronach aparatury pomiarowej). (Źródło: F UW, R. Chrapkiewicz)

**FUW150422b\_fot02s.jpg** HR: [http://www.fuw.edu.pl/press/images/2015/FUW150422b\\_fot02.jpg](http://www.fuw.edu.pl/press/images/2015/FUW150422b_fot02.jpg)  
Pionowa sekwencja klatek filmu (pasków) po lewej przedstawia dwa pojedyncze, rozróżnialne fotony (zielone plamki) pojawiające się przypadkowo po jednej, drugiej lub obu stronach płytki światłodzielącej (zobrazowanej pośrodku każdego paska jako linia oddzielająca obszary odpowiadające stronom płytki). Na sekwencji klatek po prawej oba fotony były nierozróżnialne i wskutek interferencji połączyły się w pary. (Źródło: F UW)

 [FUW150422a - Pary fotonow.pdf \(114.5 kB\)](#)

