



Warszawa, 16 stycznia 2019

Pierwszy kwantowy obraz próbki biologicznej

Rozdzielczość, określająca zdolność rozróżniania blisko położonych obiektów, jest jednym z kluczowych parametrów technik mikroskopowych. Naukowcy z Instytutu Naukowego Weizmanna w Izraelu oraz Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego zaproponowali i zademonstrowali nową metodę mikroskopii – Quantum Image Scanning Microscopy – opartą na dwóch znanych już technikach i łączącą ich zalety. Jest to pierwsze wykorzystanie kwantowych własności światła fluorescencji do obrazowania próbek biologicznych. Zastosowanie Q-ISM prowadzi do istotnej poprawy rozdzielczości otrzymywanych obrazów względem standardowych metod.

Mikroskop optyczny umożliwia tworzenie powiększonych obrazów badanych przedmiotów, co czyni go jednym z podstawowych narzędzi nauk przyrodniczych. Biologów często interesują obserwacje bardzo małych obiektów, nawet mniejszych niż mikrometr, co stanowi wyzwanie, gdyż rozdzielczość klasycznego mikroskopu jest ograniczona – obiekty będące bliżej niż połowa długości fali światła (ok. 250 nm dla światła zielonego) przestają być rozróżnialne. Jedną z podstawowych technik mikroskopowych używanych w naukach przyrodniczych jest mikroskopia fluorescencyjna. Wykorzystuje ona specjalne znaczniki, takie jak białko zielonej fluorescencji (green fluorescent protein, GFP), za którego odkrycie i badanie przyznano w 2008 roku Nagrodę Nobla w dziedzinie chemii. Użycie znaczników fluorescencyjnych pozwala obserwować wyłącznie interesujące części badanego obiektu. Jak się okazuje, umiejętne wykorzystanie własności znaczników fluorescencyjnych pozwala też przekroczyć ograniczenia rozdzielczości w klasycznej mikroskopii, za co również przyznano Nagrodę Nobla w dziedzinie chemii w roku 2014.

Obecnie istnieje wiele technik pozwalających ominąć ograniczenie dyfrakcyjne, z którego wynika ograniczona rozdzielczość mikroskopu optycznego. Jedną z nich jest mikroskopia konfokalna, w której obraz powstaje poprzez przeskanowanie obiektu i rejestrację natężeń w każdym punkcie skanu za pomocą detektora bez rozdzielczości przestrzennej (np. 1 piksela kamery). Zmniejszając rozmiar detektora można poprawić rozdzielczość kosztem ilości zarejestrowanego światła, w praktyce uzyskując rozdzielczość ok. 1,5 raza większą niż w klasycznym mikroskopie. Mikroskop konfokalny można zmodyfikować, zastępując pojedynczy detektor wieloma detektorami małych rozmiarów. Dzięki temu uzyskuje się wiele przesuniętych względem siebie obrazów o wyższej rozdzielczości, które następnie nakłada się na siebie. Ta metoda, nazwana Image Scanning Microscopy (ISM) pozwala uzyskać obraz o wyższej rozdzielczości bez zbędnej utraty sygnału, w przeciwieństwie do mikroskopu konfokalnego, w którym poprawa rozdzielczości jest uzyskiwana kosztem poziomu sygnału.

Każdy ze znaczników fluorescencyjnych, wzbudzony krótkim błyskiem światła, może wyemitować tylko jeden foton. Prowadzi to do antygrupowania fotonów (ang. photon antibunching). Ten kwantowomechaniczny efekt jest podstawą mikroskopii korelacji kwantowych, którą intuicyjnie rozumieć można jako wykrywanie brakujących (względem klasycznego światła) par fotonów w

danym punkcie. Detekcja pary może być traktowana podobnie do detekcji pojedynczego fotonu o dwukrotnie mniejszej długości fali, co przekłada się na dwukrotnie wyższą rozdzielczość przestrzenną. Możliwe jest wykorzystanie korelacji wyższych rzędów, co prowadzi do n-krotnej poprawy rozdzielczości dla korelacji n-tego rzędu.

Naukowcy z Instytutu Naukowego Weizmanna w Izraelu oraz Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego zaproponowali i zademonstrowali nową metodę nazwaną Quantum Image Scanning Microscopy (Q-ISM), opartą na połączeniu ISM oraz mikroskopii korelacji kwantowych i łączącą zalety obu technik. Rejestracja informacji o brakujących parach wymaga detektorów zdolnych do wykrywania pojedynczych fotonów, których nie wykorzystywano dotychczas w standardowym ISM. Mikroskopia korelacji kwantowych liczy brakujące pary fotonów w każdym punkcie skanu przy pomocy detektora bez rozdzielczości przestrzennej. Zastosowanie wielopikselowego detektora oraz adaptacja metody analizy danych do mikroskopii korelacji kwantowych umożliwiła pomiary korelacji w przestrzeni, zwiększając rozdzielczość układu.

Mikroskopia korelacji kwantowych dostarcza informacji komplementarnych do tych otrzymywanych z ISM, co pozwala poprawić rozdzielczość i jakość otrzymywanych obrazów. W opublikowanej w prestiżowym czasopiśmie „Nature Photonics” pracy naukowcy porównali między innymi rozdzielczość przestrzenną metod ISM oraz Q-ISM, otrzymując poprawę rozdzielczości odpowiednio o czynnik 1,3 oraz 1,8 względem standardowego mikroskopu szerokiego pola. Zgodnie z wiedzą autorów jest to pierwsze wykorzystanie kwantowych własności światła fluorescencji do obrazowania próbek biologicznych. Połączenie wysokiej rozdzielczości Q-ISM z wysokim stosunkiem sygnału do szumu standardowej ISM może prowadzić do metody obrazowania znacznie przekraczającej możliwości każdej z osobna.

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 ponad 200 nauczycieli akademickich, wśród których jest 77 pracowników z tytułem profesora. Na Wydziale Fizyki UW studiuje ok. 1000 studentów i ponad 170 doktorantów.

PUBLIKACJE NAUKOWE:

[“Super-resolution enhancement by quantum image scanning microscopy”](#)

Ron Tenne, Uri Rossman, Batel Rephael, Yonatan Israel, Alexander Krupinski-Ptaszek, Radek Łapkiewicz, Yaron Silberberg & Dan Oron,

Nature Photonics (2018)

<https://doi.org/10.1038/s41566-018-0324-z>

KONTAKT:

dr **Radek Łapkiewicz**

Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

tel.: +48 22 5532740

email: radek.lapkiewicz@fuw.edu.pl

POWIĄZANE STRONY WWW:

<https://www.weizmann.ac.il/complex/DOron/>

<http://www.weizmann.ac.il/complex/silberberg/>

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

<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:

FUW190116b_fot01.png

http://www.fuw.edu.pl/press/images/2019/FUW190116b_fot01.png

Próbka biologiczna: mikrotubule znakowane kropkami kwantowymi; od lewej obraz uzyskany: w standardowym mikroskopie, metodą ISM, metodą Q-ISM. Ilustracja wykonana na podstawie danych przedstawionych w suplemencie do publikacji ["Super-resolution enhancement by quantum image scanning microscopy"](#) w „Nature Photonics”. (Źródło: Alexander Krupiński-Ptaszek, Wydział Fizyki UW)

FINANSOWANIE BADAŃ:

ERC consolidator grant ColloQuanto, ERC advanced grant QUAMI, the ERC-POC project 'SFICAM', the ICore program of the ISF, the Crown Photonics Center and the Israeli ministry of science Tashtiyot program.

Fundacja na rzecz Nauki Polskiej: projekt [„Spatiotemporal photon correlation measurements for quantum metrology and super-resolution microscopy” realizowany w ramach programu FIRST TEAM](#) współfinansowanego przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego; Narodowe Centrum Nauki: granty Sonata 9 (2015/17/D/ST2/03471) i Fuga 4 (2015/16/S/ST2/00424); Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.