



Kraków, 11 października 2018

## ***Czy to on, fundament kwantowej rzeczywistości?***

*Za pomocą prostych teoretycznych modeli można budować układy działające ściśle według reguł klasycznej fizyki, a mimo to wiernie odtwarzające przewidywania mechaniki kwantowej dla pojedynczych cząstek – nawet te najbardziej paradoksalne! Co zatem jest prawdziwą oznaką kwantowości?*

Świat kwantów jest pełen paradoksów niepojętych dla ludzkiej intuicji i niewytłumaczalnych dla klasycznej fizyki. Tezę tę można usłyszeć niemal zawsze, gdy mowa o mechanice kwantowej. Oto kilka przykładów zjawisk powszechnie uznawanych za typowo kwantowe: pojedynczy elektron generujący prążki interferencyjne za dwiema szczelinami, jakby przechodził przez obie jednocześnie; cząstki przebywające w tym samym czasie w wielu różnych stanach, by w chwili obserwacji „magicznie” pojawić się w jednym wybranym; pomiary bez oddziaływania; wymazywanie przeszłości za pomocą kwantowej gumki czy wreszcie nielokalność, sprawiająca wrażenie, jakby splecione cząstki natychmiastowo oddziaływały na dowolnie duży dystans. Tylko czy wszystkie te zjawiska koniecznie muszą być czysto kwantowe?

We właśnie opublikowanym artykule dr hab. Paweł Błasiak z Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie pokazał, jak z „cegiełek” klasycznej fizyki konstruować szeroko pojęte optyczne układy interferometryczne, wiernie odtwarzające najdziwniejsze przewidywania mechaniki kwantowej w odniesieniu do pojedynczych cząstek. Zaprezentowany model pomaga lepiej zrozumieć, dlaczego mechanika kwantowa jest potrzebna oraz co naprawdę nowego mówi o otaczającej nas rzeczywistości. Jeśli bowiem jakiś efekt kwantowy ma proste klasyczne wytłumaczenie, nie należy upatrywać w nim specjalnej tajemnicy. Publikacja jasno wskazuje granicę, poza którą teoria kwantów jest już niezbędna: prawdziwa kwantowa „magia” zaczyna się dopiero dla wielu cząstek.

„Kontrowersji wokół mechaniki kwantowej jest naprawdę sporo. Są one tak silne, że nawet dziś, gdy teoria ta liczy sobie już niemal sto lat, większość fizyków woli ją po prostu używać, unikając niewygodnych pytań o interpretację”, mówi dr Paweł Błasiak i dodaje: „Nasze problemy wynikają tu z faktu, że... byliśmy zbyt zdeterminowani. Wcześniej najpierw obserwowaliśmy pewne zjawiska i żeby je tłumaczyć, budowaliśmy aparat matematyczny na bazie dobrze ugruntowanych fizycznych intuicji. W przypadku mechaniki kwantowej zdarzyła się rzecz odwrotna: zaledwie paru poszlak eksperymentalnych odgadliśmy wysoce abstrakcyjny, matematyczny formalizm, świetnie opisujący wyniki pomiarów w laboratorium, ale najmniejszego pojęcia nie mamy, czym jest kryjąca się za nim fizyczna rzeczywistość”.

Richard Feynman, znakomity fizyk amerykański, był głęboko przekonany, że zjawiskiem absolutnie niemożliwym do wyjaśnienia przez fizykę klasyczną jest kwantowa interferencja, odpowiedzialna między innymi za prążki widoczne za dwiema szczelinami, przez które przechodzi pojedynczy obiekt kwantowy. Erwin Schrödinger, współtwórca mechaniki kwantowej, miał innego faworyta: splątanie kwantowe, mogące na odległość wiązać cechy dwóch i więcej cząstek kwantowych. Spore grono fizyków do dziś się zastanawia, do jakiego stopnia te nieintuicyjne zjawiska mechaniki kwantowej są jedynie wynikiem naszych ograniczeń poznawczych, czyli sposobów, w jaki badamy świat. To nie przyroda, lecz nasz brak pełnej wiedzy o układzie miałby powodować, że obserwowane w nim zjawiska nabierałyby cech niewytłumaczalnej egzotyki. Tego typu podejście to próba spojrzenia na mechanikę kwantową jako teorię z dobrze określoną ontologią, prowadząca ku odpowiedzi na pytanie, co tak naprawdę odróżnia teorię kwantów od teorii klasycznych.

W artykule na łamach czasopisma „Physical Review A” zademonstrowano zasady budowy modeli dowolnie skomplikowanych układów optycznych, skonstruowanych z elementów pracujących wedle zasad klasycznej fizyki, dodatkowo uwzględniając istnienie pewnych lokalnych zmiennych ukrytych, do których eksperymentator ma jedynie pośredni dostęp. Dr Błasiak wykazał, że dla pojedynczych cząstek przedstawiony model wiernie odtwarza wszystkie zjawiska powszechnie uznawane za ewidentną oznakę kwantowości, w tym kolaps funkcji falowej, interferencję kwantową czy kontekstualność. Co więcej, klasyczne analogie tych zjawisk okazują się całkiem proste. Model ten nie może jednak odtworzyć charakterystycznych cech splątania kwantowego, którego zaistnienie wymaga co najmniej dwóch cząstek kwantowych. Zdaje się to wskazywać, że splątanie oraz związana z nią nielokalność mogą być bardziej fundamentalną własnością świata kwantów niż kwantowa interferencja.

„Tego typu podejście pozwala unikać fatalnej praktyki polegającej na wymijających odpowiedziach i machaniu rękami w dyskusjach o podstawach oraz interpretacji mechaniki kwantowej. Mamy narzędzia, aby takie pytania formułować i precyzyjnie rozstrzygać. Skonstruowany model ma na celu pokazać, że modele ontologiczne z ograniczonym dostępem do informacji mają przynajmniej potencjalną możliwość wyjaśnienia większości egzotycznych zjawisk kwantowych w ramach szeroko pojętej fizyki klasycznej. Prawdziwą kwantową tajemnicą pozostawałoby jedynie kwantowe splątanie”, wyjaśnia dr Błasiak.

Splątanie kwantowe trafia zatem w samo sedno mechaniki kwantowej, wskazując na to “coś”, co wymusza odejście od klasycznie rozumianej rzeczywistości i przesuwania granicę tajemniczości w kierunku zjawisk wielocząstkowych. Okazuje się bowiem, że efekty kwantowe dla pojedynczych cząstek mogą być z powodzeniem odtwarzane w ramach klasycznych (tzn. lokalnych) modeli ontologicznych z ograniczonym dostępem do informacji. Gdyby więc pominąć zjawiska wielocząstkowe, moglibyśmy w zasadzie obejść się bez mechaniki kwantowej i jej „upiornej” nielokalności. Opisany lokalny model, odtwarzający kwantowe zjawiska dla pojedynczej cząstki, bardzo wyraźnie definiuje granicę, poza którą stwierdzenia dotyczące nielokalności tracą swoją zasadność.

Zatem Feynman czy Schrödinger? Wydaje się, że to jednak Schrödinger trafił w samo serce mechaniki kwantowej. Ale cichym zwycięzcą może być... Albert Einstein, który nigdy nie był zadowolony z powszechnie obowiązującej interpretacji mechaniki kwantowej. Bez jego uporczywych pytań nie mielibyśmy dziś ani twierdzenia Bella, ani kwantowej informacji.

„Dlatego właśnie badania w dziedzinie podstaw mechaniki kwantowej są tak fascynujące. Rozciągają się one od wciąż powracającego pytania o naturę naszej rzeczywistości, po istotę prawdziwej kwantowości, której zawdzięczamy przewagę technologii kwantowych nad ich klasycznymi odpowiednikami”, podsumowuje z uśmiechem dr Błasiak.

Instytut Fizyki Jądrowej PAN (IFJ PAN) w Krakowie zajmuje się strukturą materii i własnościami oddziaływań fundamentalnych od skali kosmicznej po wnętrza cząstek elementarnych. Wyniki badań – obejmujących fizykę i astrofizykę cząstek, fizykę jądrową i oddziaływań silnych, fazy skondensowanej materii, fizykę medyczną, inżynierię nanomateriałów, geofizykę, biologię radiacyjną i środowiskową, radiochemię, dozymetrię oraz fizykę i ochronę środowiska – są każdego roku przedstawiane w ponad 600 artykułach publikowanych w recenzowanych czasopismach naukowych. Częścią Instytutu jest nowoczesne Centrum Cyklotronowe Bronowice, unikalny w skali europejskiej ośrodek obok badań naukowych zajmujący się terapią protonową nowotworów. IFJ PAN jest członkiem Krakowskiego

Konsorcjum Naukowego „Materia-Energia-Przyszłość” o statusie Krajowego Naukowego Ośrodka Wiodącego (KNOW) na lata 2012-2017. Instytut zatrudnia ponad pół tysiąca pracowników. W kategoryzacji MNiSW Instytut został zaliczony do kategorii naukowej A+ w grupie nauk ścisłych i inżynierskich.

#### **KONTAKT:**

dr hab. **Paweł Błasiak**, prof. IFJ PAN  
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk  
email: [pawel.blasiak@ifj.edu.pl](mailto:pawel.blasiak@ifj.edu.pl)  
tel.: +48 12 6628270

#### **PUBLIKACJE NAUKOWE:**

1. „Local model of a qudit: Single particle in optical circuits”  
P. Błasiak  
Physical Review A 98, 012118 (2018)  
DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.98.012118>

#### **POWIĄZANE STRONY WWW:**

<http://www.ifj.edu.pl/>  
Strona Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk.

<http://press.ifj.edu.pl/>  
Serwis prasowy Instytutu Fizyki Jądrowej PAN.

#### **MATERIAŁY GRAFICZNE:**

IFJ181011b\_fot01s.jpg **HR:** [http://press.ifj.edu.pl/news/2018/10/11/IFJ181011b\\_fot01.jpg](http://press.ifj.edu.pl/news/2018/10/11/IFJ181011b_fot01.jpg)  
Splątanie czy kwantowa interferencja? – oto jest pytanie o fundament kwantowej rzeczywistości! (Źródło: IFJ PAN)