



Kraków, 14 lutego 2019

I kwantowe, i klasyczne – stany z pogranicza światów

Własności kwantowe wydają się nam niezwykle egzotyczne nie bez powodu: naszymi zmysłami po prostu nie dostrzegamy ich w otaczającym nas świecie. Okazuje się jednak, że granica między egzotyczną rzeczywistością kwantową a tą klasyczną wcale nie musi być tak ostra, jak mogłoby się wydawać. Krakowscy naukowcy pokazali, że mogą istnieć stany kwantowe, które z jednej strony wykazują najbardziej charakterystyczne cechy kwantowe, a z drugiej są tak bliskie stanom klasycznym, jak tylko jest to możliwe w ramach mechaniki kwantowej.

Świat codzienny, klasyczny, dramatycznie różni się od świata kwantów. W tym pierwszym w zasadzie wszystko da się precyzyjnie zmierzyć i przewidzieć. Każdy obiekt klasyczny istnieje tu w konkretnym miejscu przestrzeni, w konkretnym stanie, i nie jest zdolny do natychmiastowej reakcji na to, co się dzieje z innymi, oddalonymi od niego obiektami. Tymczasem w świecie kwantów zamiast pewności mamy tylko prawdopodobieństwo, obiekty mogą przebywać w różnych miejscach i stanach jednocześnie, a dzięki zjawisku splątania kwantowego wydają się natychmiast reagować na to, co się stało z ich dowolnie odległymi partnerami. Współpraca teoretyków z Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie oraz matematyka z Instytutu Matematyki Uniwersytetu Jagiellońskiego (IM UJ) pozwoliła jednak wykazać, że oba światy mogą mieć ze sobą więcej wspólnego niż można byłoby przypuszczać. W publikacji zamieszczonej w zbiorze artykułów „Coherent States and Their Applications: A Contemporary Panorama” opisali oni wyjątkowe stany kwantowe układu dwóch cząstek, wykazujące jednocześnie cechy i klasyczne, i kwantowe.

Powszechnie uważa się, że w świecie klasycznym efekty kwantowe są niezauważalne i opisując układ klasyczny można je bezpiecznie pominąć. Takie myślenie prowadzi do naiwnego poglądu, że jeśli coś zachowuje się klasycznie, to nie zachowuje się kwantowo – i odwrotnie. W rzeczywistości tak nie jest. Świat klasyczny jest światem układów złożonych z ogromnej liczby obiektów kwantowych, a jego obserwowalne na co dzień własności są, jak głosi zasada korespondencji, granicznym przypadkiem własności tych ostatnich. Zrozumienie natury tego przejścia granicznego nie jest proste i fizycy wciąż mają na tym polu wiele do zrobienia.

„W naszych rozważaniach zajęliśmy się problemem postawionym ponad 80 lat temu przez jednego ze współtwórców mechaniki kwantowej, Erwina Schrödingera. Chodzi o możliwość współistnienia w jednym układzie kwantowym własności oddzielnie uważanych za kwantowe bądź klasyczne. Spróbowaliśmy znaleźć odpowiedź na pytanie, czy mogą one występować naraz, czy też się wzajemnie wykluczają. Wspólnie z prof. dr. hab. Franciszkiem Szafrąncem z Instytutu Matematyki UJ wykazaliśmy, że w układzie dwóch cząstek kwantowych pewne cechy klasyczne i kwantowe rzeczywiście mogą pokojowo koegzystować”, mówi dr hab. Katarzyna Górka (IFJ PAN).

Sztandarową ilustracją nieintuicyjności świata kwantów jest słynna zasada nieoznaczoności Heisenberga. Mówi ona, że dla żadnej cząstki (dla prostoty o ustalonej masie) nie można jednocześnie zmierzyć z dowolną precyzją położenia i prędkości. Jeśli znamy dokładnie położenie cząstki, nie będziemy wiedzieli nic o jej prędkości; jeśli znamy dokładnie prędkość, nie będziemy potrafili wskazać położenia. Co więcej, niepewność pomiarów zależy od stanu, w którym znajduje się cząstka, a ponieważ cząstki kwantowe mogą być w różnych stanach, to i niepewności mogą być różne. Stany, w których zasada nieoznaczoności Heisenberga jest zminimalizowana, są nazywane koherentnymi i wykazują bardzo duże podobieństwo do stanów obserwowanych w układach klasycznych.

Podstawową – i jednocześnie niezwykle ciekawą – własnością układów kwantowych jest ich zdolność do superpozycji, czyli przebywania w stanie będącym mieszaniną (kombinacją) pewnych szczególnych (a przy tym obserwowalnych) stanów zwanych bazowymi. W świecie klasycznym taka kwantowa superpozycja nie występuje, można ją jednak próbować sobie wyobrazić za pomocą dość intuicyjnego przykładu: monety wirującej na stole. Moneta jest tu w stanie przypominającym superpozycję dwóch stanów bazowych: orła i reszki. Możemy nawet dokonać „pomiaru”, czyli docisnąć wirującą monetę do blatu (lub poczekać, aż zrobi to za nas grawitacja). Niszczymy wtedy superpozycję i moneta przeskakuje do jednego z dwóch, jak najbardziej klasycznych, stanów: leży ku górze albo orłem, albo reszką.

„Powyższa analogia jest dalece niepełna. Moneta jest obiektem klasycznym i gdy wiruje, orzeł i reszka cały czas istnieją niezmiennie, moneta zaś jedynie nie potrafi wybrać między nimi. W układzie mamy więc tak naprawdę trzy istotnie różne stany”, wyjaśnia dr hab. Andrzej Horzela (IFJ PAN). „Tymczasem w superpozycji kwantowej jest tylko jeden stan. Przywołując analogię do wirującej monety powinniśmy w nim widzieć jakąś formę orłoreszki, a może reszkoorła. Coś, co umyka naszym wyobrażeniom, klasycznej intuicji, a może nawet zdrowemu rozsądkowi. A co zrobić, jeżeli nasz stan kwantowy jest na dodatek stanem koherentnym, a więc uważanym za najbliższy stanom klasycznym, w których zawsze mamy albo orła, albo reszkę?”

Splątanie jest uważane za najważniejszą oznakę kwantowości układu, koherentność – za cechę sygnalizującą bliskość klasyczności. Stany znalezione przez krakowskich fizyków są, przynajmniej w sensie matematycznym, jednocześnie i koherentne, i splątane w odniesieniu do całego układu obu cząstek.

„Stany kwantowe o podobnej naturze były rozważane już wcześniej. Wytwarzano je nawet doświadczalnie, zaczynając od dwóch stanów koherentnych, które następnie plątano. Tak otrzymany stan jest splątany, ale jako całość nie musi być koherentny. Nasze stany są skonstruowane w sposób zapewniający, że pozostają one jednocześnie koherentne (czyli minimalizują zasadę nieoznaczoności) i splątane. Zatem można je interpretować jako obiekty, które przejawiają własności z jednej strony bliskie klasyczności, a z drugiej uważane za typowo kwantowe. Przejawem ich kwantowości jest to, że opisują układ dwóch cząstek, których nie można rozdzielić nawet wtedy, kiedy cząstki te nie oddziałują ze sobą”, tłumaczy dr Horzela.

Wynik krakowskich naukowców ma charakter matematyczny. Pozostaje otwarte pytanie, czy znalezione stany można wytworzyć w laboratorium. Wydaje się, że nie istnieją żadne przeciwwskazania, które mogłyby uniemożliwić ich istnienie. Ostateczną odpowiedź przyniesie jednak tylko doświadczenie. Eksperymentatorzy, zwłaszcza optycy kwantowi, mają więc szerokie pole do popisu.

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 500 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 klasyfikacji MNiSW Instytut został zaliczony do kategorii naukowej A+ w grupie nauk ścisłych i inżynierskich.

KONTAKT:

dr hab. **Katarzyna Górka**
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk
tel.: +48 12 6628161
email: katarzyna.gorska@ifj.edu.pl

dr hab. **Andrzej Horzela**
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk
tel.: +48 12 6628383
email: andrzej.horzela@ifj.edu.pl

PUBLIKACJE NAUKOWE:

1. „Coherence, Squeezing and Entanglement: An Example of Peaceful Coexistence”
K. Górka, A. Horzela, F. H. Szafraniec
Coherent States and Their Applications. Springer Proceedings in Physics, vol 205. Springer, Cham
DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-76732-1_5

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:

IFJ190214b_fot01s.jpg

HR: http://press.ifj.edu.pl/news/2019/02/14/IFJ190214b_fot01.jpg

W określonych warunkach pewne stany kwantowe (reprezentowane przez wirujące monety) mogą współistnieć ze stanami klasycznymi (monety leżące na stole), wykazali naukowcy z Instytutu Fizyki Jądrowej PAN i Uniwersytetu Jagiellońskiego. (Źródło: IFJ PAN)