



Warszawa, 31 marca 2020

Czy względność leży u źródeł kwantowej egzotyki?

Od swych początków mechanika kwantowa nie przestaje zadziwiać trudną do zrozumienia niezwykłością. Dlaczego jedna cząstka wydaje się przechodzić przez dwie szczeliny jednocześnie? Dlaczego zamiast konkretnych przewidywań możemy mówić tylko o ewolucji prawdopodobieństw? Zdaniem teoretyków z uniwersytetów w Warszawie i Oksfordzie, najważniejsze cechy świata kwantów mogą wynikać ze szczególnej teorii względności, która do tej pory z mechaniką kwantową wydawała się nie mieć wiele wspólnego.

Od czasu pojawienia się mechaniki kwantowej i teorii względności fizykom spędza sen z powiek niekompatybilność tych trzech konstrukcji (trzech, bowiem teorie względności są dwie: szczególna i ogólna). Powszechnie przyjmowano, że opis mechaniki kwantowej jest bardziej fundamentalny i to teorię względności trzeba będzie do niego dopasować. Dr hab. Andrzej Dragan z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (FUW) oraz prof. Artur Ekert z Uniwersytetu w Oksfordzie (UO) właśnie zaprezentowali rozumowanie prowadzące do innego wniosku. W artykule „Kwantowa zasada względności”, opublikowanym w czasopiśmie „New Journal of Physics”, dowodzą oni, że cechy mechaniki kwantowej decydujące o jej unikatowości i tak nieintuicyjnej egzotyce, na dodatek przyjmowane w niej „na wiarę” (jako aksjomaty), można wyjaśnić w ramach szczególnej teorii względności. Trzeba się tylko zdecydować na pewien dość nieortodoksyjny krok.

Albert Einstein zbudował szczególną teorię względności na dwóch postulatach. Pierwszy jest znany jako zasada względności Galileusza (która, *nota bene*, jest szczególnym przypadkiem zasady kopernikańskiej). Mówi ona, że fizyka jest taka sama w każdym układzie inercyjnym (czyli albo pozostającym w spoczynku, albo poruszającym się ruchem jednostajnym prostoliniowym). Drugi postulat, zbudowany na wyniku słynnego eksperymentu Michelsona-Morleya, narzucał wymóg stałości prędkości światła w każdym układzie odniesienia.

„Einstein uważał drugi postulat za kluczowy. W rzeczywistości kluczowa jest zasada względności. Już w 1910 roku Władimir Ignatowski pokazał, że bazując tylko na niej można odtworzyć wszystkie zjawiska relatywistyczne szczególnej teorii względności. Efektownie proste rozumowanie, prowadzące bezpośrednio od zasady względności do relatywistyki, przedstawił też w 1992 roku profesor Andrzej Szymacha z naszego wydziału”, mówi dr Dragan.

Szczególna teoria względności to spójna struktura, która dopuszcza trzy matematycznie poprawne rodzaje rozwiązań: świat cząstek poruszających się z prędkościami podświetlnymi, świat cząstek poruszających się z prędkością światła i świat cząstek poruszających się z prędkościami nadświetlnymi. Ten trzeci wariant zawsze odrzucano jako niemający nic wspólnego z rzeczywistością.

„Postawiliśmy pytanie: co się stanie gdy – na razie bez wnikania w fizyczność czy нефизyczność rozwiązań – potraktujemy serio nie część szczególnej teorii względności, lecz ją całą, razem z reżimem nadświetlnym? Spodziewaliśmy się paradoksów przyczynowo-skutkowych. Tymczasem zobaczyliśmy dokładnie te efekty, które tworzą najgłębszy rdzeń mechaniki kwantowej”, mówią dr Dragan i prof. Ekert.

Początkowo obaj teoretycy rozważali przypadek uproszczony: czasoprzestrzeń ze wszystkimi trzema rodzinami rozwiązań, ale składającą się tylko z jednego wymiaru przestrzennego i jednego czasowego (1+1). Częstka pozostająca tu w spoczynku w jednym reżimie rozwiązań, w drugim wydaje się poruszać nadświatlinie, co oznacza, że sama nadświatłość jest względna.

W tak skonstruowanej czasoprzestrzeni w naturalny sposób pojawiają się wydarzenia niedeterministyczne. Jeśli bowiem w jednym reżimie w punkcie A dochodzi do nawet całkowicie przewidywalnego wygenerowania cząstki nadświatłowej emitowanej ku punktowi B, gdzie informacji o powodach emisji po prostu nie ma, to z punktu widzenia obserwatora w drugim reżimie wydarzenia przebiegają od punktu B do punktu A, a więc zaczynają się od wydarzenia zupełnie nieprzewidywalnego. Okazuje się, że analogiczne efekty pojawiają się także w przypadku emisji cząstek podświatlnych.

Obaj teoretycy wykazali ponadto, że po uwzględnieniu rozwiązań nadświatlnych naturalnie pojawia się ruch cząstki po wielu torach jednocześnie, a opis przebiegu zdarzeń wymaga wprowadzenia sumy zespolonych amplitud prawdopodobieństwa świadczących o istnieniu superpozycji stanów, zjawiska dotychczas kojarzonego wyłącznie z mechaniką kwantową.

W przypadku czasoprzestrzeni z trzema wymiarami przestrzennymi i jednym czasowym (3+1), czyli odpowiadającej naszej fizycznej rzeczywistości, sytuacja jest bardziej skomplikowana. Zasada względności w swojej oryginalnej postaci nie jest zachowywana, reżimy podświatłowy i nadświatłowy są rozróżnialne. Jednak badacze zauważyli, że gdy zmodyfikuje się zasadę względności do postaci: *„Możliwość opisu zdarzenia w sposób lokalny i deterministyczny nie powinna zależeć od wyboru inercjalnego układu odniesienia”*, ograniczy ona rozwiązania do tych, w których wszystkie wnioski z rozważań w czasoprzestrzeni (1+1) pozostają ważne.

„Zwróciliśmy przy okazji uwagę na możliwość ciekawej interpretacji roli poszczególnych wymiarów. W reżimie wyglądającym dla obserwatora na nadświatłowy niektóre wymiary czasoprzestrzenne wydają się zmieniać swoje fizyczne role. Tylko jeden wymiar świata nadświatłowego ma charakter przestrzenny: ten, wzdłuż którego porusza się cząstka. Pozostałe trzy wymiary wydają się wymiarami czasowymi”, mówi dr Dragan.

Charakterystyczną cechą wymiarów przestrzennych jest to, że cząstka może się w nich przemieszczać w każdą stronę lub pozostawać w spoczynku, podczas gdy w wymiarze czasowym zawsze propaguje się w jedną stronę (co w potocznym języku nazywamy starzeniem). Trzy wymiary czasowe reżimu nadświatłowego przy jednym przestrzennym (1+3) oznaczałyby więc, że cząstki w nieuchronny sposób starzeją się w trzech czasach jednocześnie. Proces starzenia się cząstki w reżimie nadświatłowym (1+3), obserwowany z reżimu podświatłowego (3+1), wyglądałby tak, jakby cząstka przemieszczała się jak fala kulista, prowadząc ku słynnej zasadzie Huygensa (każdy punkt ośrodka, do którego dotarło czoło fali, można traktować jako źródło nowej fali kulistej) oraz ku dualizmowi korpuskularno-falowemu.

„Cała dziwność, która pojawia się przy rozważaniu rozwiązań odnoszących się do reżimu wyglądającego na nadświatłowy, okazuje się nie być dziwniejsza od tego, co od dawna mówi powszechnie akceptowana i doświadczalnie zweryfikowana teoria kwantowa. Przeciwnie, uwzględniając reżim nadświatłowy można – przynajmniej teoretycznie – wyprowadzić ze szczególnej teorii względności część postulatów mechaniki kwantowej, które zazwyczaj przyjmowano jako niewynikające z innych, bardziej fundamentalnych przyczyn”, podsumowuje dr Dragan.

Niemal od stu lat mechanika kwantowa czeka na głębszą teorię, która pozwoliłaby wyjaśnić naturę jej zagadkowych zjawisk. Gdyby rozumowanie zaprezentowane przez fizyków z FUW i UO oparło się próbie czasu, historia okrutnie zakpiłaby ze wszystkich fizyków. Poszukiwana od dekad „nieznana” teoria, wyjaśniająca niezwykłość mechaniki kwantowej, byłaby bowiem strukturą znaną już od pierwszych prac nad teorią kwantów.

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 87 pracowników z tytułem profesora. Na Wydziale Fizyki UW studiuje ok. 1000 studentów i ponad 170 doktorantów.

KONTAKT:

dr hab. **Andrzej Dragan**
Instytut Fizyki Teoretycznej Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
tel.: +48 22 5532926
email: dragan@fuw.edu.pl

prof. **Artur Ekert**
University of Oxford; National University of Singapore
email: artur.ekert@maths.ox.ac.uk

PUBLIKACJE NAUKOWE:

„Quantum principle of relativity”
A. Dragan, A. Ekert
New Journal of Physics, 22 (2020) 033038
DOI: <https://doi.org/10.1088/1367-2630/ab76f7>

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 GRAFICZNE:

FUW200330b_fot01s.jpg
https://www.fuw.edu.pl/tl_files/press/images/2020/FUW200330b_fot01.jpg
Ewolucja prawdopodobieństw i „niemożliwe” zjawiska mechaniki kwantowej mogą mieć źródła w szczególnej teorii względności, sugerują fizycy z uniwersytetów w Warszawie i Oxfordzie. (Źródło: FUW)