
Czy względność leży u źródeł kwantowej egzotyki?¹

Jarosław Chrostowski

Streszczenie. 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 fizyków 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, jak wiadomo teorii względności są dwie: szczególna i ogólna). Powszechnie przyjmowano, że opis mechaniki kwantowej jest bardziej fundamentalny i to teorię względności trzeba będzie do niego dopasować. Dwaj fizycy – dr hab. Andrzej Dragan z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (FUW) oraz prof. Artur Ekert z Uniwersytetu w Oksfordzie (UO)² właśnie zaprezentowali rozumowanie prowadzące do innego wniosku. W artykule „Quantum principle of relativity” („Kwantowa zasada względności”), opublikowanym 24,03,2020 w wolnym dostępie,³ 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 inercjalnym (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. Efektowne proste rozumowanie, prowadzące bezpośrednio od zasady względności do relatywistyki, przedstawił też w 1992 roku profesor Andrzej Szymacha z Wydziału Fizyki UW”, 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 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 metafizyczność 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). Cząstka pozostająca tu w spoczynku w jednym reżimie rozwiązań, w drugim wydaje się poruszać

1. Źródło: informacja zaczerpnięta z serwisu prasowego Wydziału Fizyki UW <http://www.fuw.edu.pl/informacje-prasowe.html>

2. Kontakt z autorami:

dr hab. Andrzej Dragan Instytut Fizyki Teoretycznej Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, e-mail: dragan@fuw.edu.pl

prof. Artur Ekert University of Oxford,

e-mail: artur.ekert@maths.ox.ac.uk

Obaj autorzy pracują także w Centre for Quantum Technologies, National University of Singapore.

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

nadświatlnie, 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 nadświatlnej 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 podświatlne i nadświatlne 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 nadświatlne niektóre wymiary czasoprzestrzenne wydają się zmieniać swoje fizyczne role. Tylko jeden wymiar świata nadświatlnego 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 nadświatlnego

przy jednym przestrzennym (1 + 3) oznaczałyby więc, że cząstki w nieuchronny sposób starzeją się w trzech czasach jednocześnie. Proces starzenia się cząstki w reżimie nadświatlnym (1 + 3), obserwowany z reżimu podświatlnego (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 nadświatlne, okazuje się nie być dziwniejsza od tego, co od dawna mówi powszechnie akceptowana i doświadczalnie zweryfikowana teoria kwantowa. Przeciwnie, uwzględniając reżim nadświatlne 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 autorów wspomnianego artykułu 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.



Ewolucja prawdopodobieństw i „niemożliwe” zjawiska mechaniki kwantowej mogą mieć źródła w szczególnej teorii względności, sugerują fizycy z uniwersytetów w Warszawie i Oxfordzie (źródło: FUU).