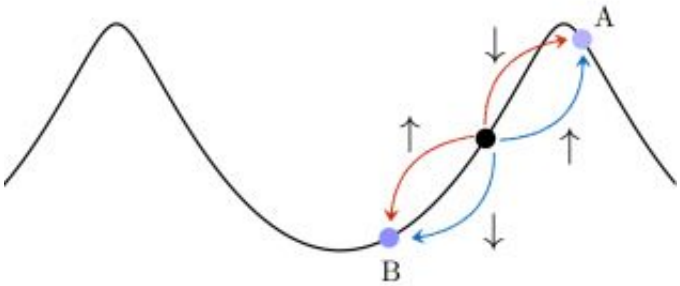
Kwantowa nielokalność w zimnych gazach atomowych

2018-06-20



Schemat rozpraszania par atomowych przedstawiony wraz z falą świetlną. Gaz atomowy to czarna kropka, obszary A i B odpowiadają dwóm rozdzielonym pudełkom z butami. (Źródło: Wydział Fizyki UW)

Nielokalność, czyli „upiorne działanie na odległość" Alberta Einsteina, udało się już zaobserwować między obiektami kwantowymi oddalonymi nawet o ponad kilometr. Postęp nie powinien zaskakiwać: poszukiwania układów, w których można dostrzec ślady nielokalności, nabrały w ostatnich latach rozpędu. Kolejnym krokiem ku lepszemu poznaniu nielokalności jest publikacja naukowców z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (FUW), zamieszczona w czasopiśmie „Physical Review Letters". Przedstawiono tu kompletny opis teoretyczny zjawiska nielokalności w wielociałowym układzie kwantowym: kondensacie Bosego-Einsteina. Szczególnie istotnym elementem publikacji jest opisana krok po kroku procedura wykrywania nielokalności. Ponieważ wszystkie etapy procedury są osiągalne za pomocą współczesnych technik doświadczalnych, zaobserwowanie tego subtelnego nieklasycznego zjawiska w układzie wielociałowym wkrótce powinno stać się faktem.

Mechanika kwantowa to teoria sformułowana w pierwszej połowie XX wieku. Jej przewidywania potwierdzono w licznych doświadczeniach, a zastosowania rozciągają się od procesorów komputerowych po lasery medyczne.

„Teoria kwantów jest powszechnie uznana, lecz jej niektóre aspekty wciąż budzą kontrowersje. Na przykład superpozycja, czyli taki opis układu, jakby znajdował się on w wielu miejscach naraz. Superpozycja nie ma odpowiednika w świecie klasycznym, przysparza też dużo trudności interpretacyjnych. Splątanie – czyli kwantowa korelacja między obiektami fizycznymi – to kolejne zjawisko, którego nie sposób sprowadzić do doświadczeń życia codziennego", tłumaczy dr hab. Jan Chwedeńczuk (FUW).

Dla wielu badaczy najistotniejszym aspektem mechaniki kwantowej, z punktu widzenia filozoficznego i poznawczego, jest jej nielokalność. Przywykliśmy, że zachowanie obiektów fizycznych wynika z tego, co się dzieje wokół nich i raczej nie dopuszczamy myśli, że jakieś zdarzenie z odległej galaktyki może nieskończenie szybko wpłynąć na to, co się dzieje na naszej planecie. Tymczasem teoria kwantów dopuszcza, żeby zjawiska zachodzące w jednym miejscu miały wpływ na to, co się dzieje w innym.

Wyobraźmy sobie parę butów, dwa pudełka i maszynę decydującą w sposób przypadkowy, do którego pudełka trafi który but. Po losowaniu i podziale, jedno pudełko wysyłamy na Marsa, drugie pozostawiamy na Ziemi. Jeszcze zanim sprawdzimy, który but znajduje się w pudełku na Ziemi, możemy powiedzieć, że jeśli na Ziemi jest but lewy, to na Marsie jest już prawy – bądź na odwrót. W świecie opisywanym prawami klasycznej fizyki układ jest określony już w momencie losowania i podziału. W kwantowej rzeczywistości układ opisujemy inaczej, jakby przed zajrzeniem do pudełka obie możliwości współbytowały. Co więcej, to co będziemy robić z jednym z pudełek przed pomiarem będzie miało wpływ na stan drugiego, niezależnie od tego, jak bardzo oba pudełka są od siebie odległe. Mówimy zatem, że mechanika kwantowa jest teorią nielokalną. Zgodnie z takim opisem na Ziemi i Marsie znajdują się buty „lewoprawe". Dopiero gdy zajrzymy do jednego pudełka, stan butów zostanie określony, przy czym w drugim pudełku „upiornie" pojawi się but dopełniający do znalezionego w pierwszym.

Powyższy przykład jest wyłącznie obrazową ilustracją. W rzeczywistości tak subtelnych zjawisk kwantowych nie obserwujemy w dużej skali. Można je dostrzec wyłącznie w skali atomowej. Niemniej sama możliwość „sterowania" jednego układu drugim, bez żadnego bezpośredniego oddziaływania, skłoniła Einsteina i jego współpracowników, do napisania artykułu, którego sugestywny tytuł brzmi: „Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?" („Czy kwantowy opis fizycznej realności można uznać za kompletny?").

Niecałe 30 lat po publikacji o „upiornym działaniu" północnoirlandzki teoretyk John Bell wykazał, że istotnie przewidywania teorii kwantów stoją w sprzeczności z postulatami „lokalnego realizmu" zakładającego, że ciała mają określone obiektywne własności (co świadczy o realizmie), a na ich zachowanie wpływa tylko to, co się dzieje w ich bezpośrednim otoczeniu (co świadczy o lokalności). Bell podał przepis na wykrywanie nielokalności prostych układów fizycznych. Metoda jest dziś znana jako nierówności Bella.

W swojej najnowszej publikacji dr Tomasz Wasak i dr hab. Jan Chwedeńczuk opisali znacznie bardziej złożony wielociałowy układ kwantowy, w którym można badać nielokalność za pomocą specjalnie skonstruowanych dla tego układu nierówności Bella. Układ ten składa się z bardzo zimnego gazu atomów helu oświetlonego dwiema przeciwbieżnymi wiązkami światła laserowego, tworzącymi biegnącą falę. Atomy helu zderzają się i wylatują w przeciwnych kierunkach, wyznaczonych przez lasery.

„Rozproszone atomy są odpowiednikami pary butów. Analogicznie do przedstawionego przed chwilą przykładu z butami, można na nich wykonywać lokalne operacje i pomiary, by wykryć – poprzez łamanie stosownej nierówności Bella – nielokalność układu kwantowego", mówi dr hab. J. Chwedeńczuk.

Badania warszawskich teoretyków sfinansowano z grantów Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz Narodowego Centrum Nauki.

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 wchodzą Instytuty: 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 ok. 200 nauczycieli akademickich, wśród których jest 88 pracowników z tytułem profesora. Na Wydziale Fizyki UW studiuje ok. 1000 studentów i ponad 170 doktorantów.

PUBLIKACJE NAUKOWE:

„Bell Inequality, Einstein-Podolsky-Rosen Steering, and Quantum Metrology with Spinor Bose-Einstein Condensates”
Tomasz Wasak, Jan Chwedeńczuk
Physical Review Letters Volume 120, p. 140406 – 6th of April 2018; DOI: https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.120.140406

KONTAKTY:

dr hab. Jan Chwedeńczuk
Instytut Fizyki Teoretycznej Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
tel. +48 22 5532922
email: jan.chwedenczuk@fuw.edu.pl

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:

FUW180620b_fot01.jpg http://www.fuw.edu.pl/press/images/2018/FUW180620b_fot01.jpg
Schemat rozpraszania par atomowych przedstawiony wraz z falą świetlną. Gaz atomowy to czarna kropka, obszary A i B odpowiadają dwóm rozdzielonym pudełkom z butami. (Źródło: Wydział Fizyki UW)

FUW180620a - kwantowa_nielokalnosc.pdf (348.3 kB)