

Popularnonaukowy opis prowadzonych badań w ramach rozprawy doktorskiej

Metrologia kwantowa to prężnie rozwijająca się dziedzina fizyki. U jej podstaw leży pytanie: w jakim stopniu zjawiska kwantowe mogą się przyczynić do poprawy dokładności urządzeń pomiarowych. Wydawać by się mogło, że jest to zagadnienie czysto techniczne, to znaczny, w tym przypadku, takie, które zainteresuje wyłącznie fizyków zajmujących się pracą w laboratorium, i tylko tych spośród nich, którzy stawiają sobie za cel zmierzenia pewnych wielkości z ogromną precyzją. Na przykład pomiar wysokości człowieka z dokładnością do milionowych części metra (większość ludzi podaje wzrost z dokładnością do centymetra). Innymi słowy, w tak postawionym problemie trudno się doszukiwać istotnych związków między fundamentami mechaniki kwantowej a wynikami dociekań. Jest jednak przeciwnie, współczesna metrologia, a w szczególności jej interferometryczny aspekt okazują się wiele wnosić w nasze zrozumienie podstaw teorii kwantów.

Okazuje się, że kluczową rolę w metrologii kwantowej odgrywa *splątanie kwantowe*. Dzięki splątaniu kwantowemu możliwe jest przekroczenie klasycznej granicy precyzji pomiaru, czyli tak zwanej granicy szumu śrutowego, na rzecz fundamentalnego ograniczenia precyzji—granicy Heisenberga. Pojęcie splątania kwantowego zostało wprowadzone przez jednego z twórców mechaniki kwantowej, Erwina Schrödingera w odpowiedzi na paradoks Einsteina-Podolskiego-Rosena—eksperyment myślowy, mający na celu ukazanie niekompletności mechaniki kwantowej. Paradoks ten nie został rozwiązany przez blisko 30 lat, aż do momentu, w którym John Bell zaproponował eksperyment (tak zwany test Bella) pozwalający na sprawdzenie poprawności mechaniki kwantowej i splątania kwantowego. Od tego momentu testy Bella zostały przeprowadzone na wielu różnych układach i jak dotąd każdy potwierdza słuszność mechaniki kwantowej.

O splątaniu kwantowym mówimy, wtedy kiedy pary bądź grupy cząsteczek są tworzone lub oddziałują w taki sposób, że stan kwantowy, w jakim znajduje się każda z nich, nie da się opisać niezależnie od pozostałych. Z tego powodu używa się czasami stwierdzenia, że stany splątane nie są separowalne. Pomiar fizycznych wielkości takich jak pozycja, pęd, spin, polaryzacja dokonywane na splątanych cząsteczkach okazują się odpowiednio *skorelowane*. Innymi słowy, pomiary nie są niezależne od siebie. Na przykład, jeśli w jakimś procesie została wygenerowana para cząsteczek o całkowitym spinie 0, i spin jednej cząsteczki z pary został zmierzony jako spin do góry względem pewnego układu odniesienia, wtedy automatycznie wiemy, że spin drugiej cząsteczki jest skierowany w dół względem tego samego układu odniesienia. Wygląda to tak jakby jedna ze splątanych cząsteczek *wiedziała* jaki pomiar został przeprowadzony na drugiej z cząsteczek i jaki był wynik tego pomiaru. Właśnie ten przedziwny fakt został ochrzczone przez Alberta Einsteina jako „upiorne działanie na odległość”.

Splątanie kwantowe to obszar niezwykle intensywnych badań, a efekty tego zjawiska zostały zademonstrowane eksperymentalnie z fotonami, elektronami, atomami, molekułami, a nawet bardzo małymi diamentami. Jest ono zwykle wytwarzane poprzez bezpośrednie oddziaływanie pomiędzy cząsteczkami. W powyższym zestawieniu na odrebnej pozycje zasługują atomy, a w szczególności kondensaty atomowe, w których wszystkie atomy znajdują się w tym samym stanie kwantowym. W tych układach fizycznych zwykle zawierających tysiące atomów występują naturalne zderzenia pomiędzy atomami, co stanowi doskonałe narzędzie do tworzenia wieloatomowych stanów splątanych takich jak stany ściśnięte czy „koty Schrödingera”. Co więcej, zderzenia te da się kontrolować eksperymentalnie na przykład za pomocą pola magnetycznego, co sprawia, że kondensaty są idealnym kandydatem do przeprowadzania bardzo dokładnych pomiarów.

Celem mojej pracy doktorskiej jest teoretyczny opis metod wytwarzania stanów splątanych materii i światła oraz wykorzystania ich w interferometrii w celu poprawy precyzji pomiaru. Badania te mogą w przyszłości pozwolić na opracowanie bardziej wydajnych technik wytwarzania stanów splątanych a w konsekwencji doprowadzić do powstania nowych typów niezwykle precyzyjnych urządzeń pomiarowych.