

Popularnonaukowe streszczenie projektu

Mechanika kwantowa, w popularnym odbiorze, kojarzy się, poprzez słynną zasadę nieoznaczoności Heisenberga, z trudnościami jakie sprawiają układy kwantowe w sytuacji próby precyzyjnego pomiaru ich własności fizycznych. Metrologia Kwantowa jest dziedziną nauki, która stara się odwrócić ten sposób myślenia i pokazać, że w rzeczywistości właściwe wykorzystanie unikalnych cech układów kwantowych pozwala nam na wykonanie ultra-precyzyjnych pomiarów jakie nie są możliwe gdy światło lub materię traktujemy w sposób klasyczny.

Podstawową techniką stosowaną w metrologii kwantowej jest interferometria. Niezależnie od tego czy mamy do czynienia ze światłem czy z atomami, interferometria sprowadza się do przygotowania układów fizycznych w superpozycji dwóch stanów (np. dwóch dróg którymi porusza się foton, atom czy też dwóch stanów wewnętrznych atomu), ewolucję tego układu, w trakcie której stan ewoluuje w sposób zależny od parametru który pragniemy zmierzyć, a następnie wykonania pomiaru. Najprostszym a zarazem najistotniejszym przykładem takiej dynamiki jest interferometr optyczny typu Macha-Zehndera gdzie fotony znajdując się w superpozycji bycia w dwóch ramionach interferometru niosą ze sobą informacje o względnej różnicy dróg optycznych dwóch ramion interferometru.

Najbardziej spektakularnym przykładem zastosowania idei metrologii kwantowej jest modyfikacja standardowego schematu interferometrii optycznej, gdzie każdy z fotonów interferuje sam ze sobą, do sytuacji gdzie pomiędzy fotonami występują unikalne kwantowe korelacje, zwane splątaniem kwantowym, powodujące, że fotony interferują w interferometrze w sposób kolektywny zwiększając precyzję urządzenia. Idea ta jest w tej chwili wdrażana w słynnym detektorze fal grawitacyjnych LIGO, który jest de facto gigantycznym interferometrem optycznym mającym za zadanie rejestrować zmiany długości swoich ramion, powstałe w wyniku przejścia fali grawitacyjnej. Oczekuje się, że dzięki wykorzystaniu splątania kwantowego możliwe będzie dwukrotne zwiększenie czułości pomiarowej bez konieczności zwiększania mocy laserów.

Niniejszy projekt skupia się na rozwijaniu teoretycznych narzędzi metrologii kwantowej, które pozwolą na precyzyjniejszy ilościowy opis bardziej złożonych sytuacji spotykanych w takich zastosowaniach jak magnetometria i grawitometria opartych o interferometrię zimnych gazów atomowych i kondensatów Bosego-Einsteina czy też obrazowanie wspomagane kwantowo. Narzędzia teoretyczne, konieczne do pełnego opisu tych układów, muszą z jednej strony być w stanie uwzględniać efekty oddziaływań atomowych prowadzących do pojawiania się pewnych nie-liniowych członów w dynamice układu, a z drugiej strony być w stanie w efektywny sposób opisać zagadnienia jednoczesnego estymowania wielu parametrów na raz. Ten ostatni punkt ściśle wiąże się z wspomnianą już wcześniej zasadą nieoznaczoności Heisenberga, gdyż w problemach wieloparametrowej estymacji konieczność pomiaru wielu parametrów na raz nie pozwala w ogólności na pomiar ich z taką precyzją jaka byłaby osiągalna gdybyśmy się skupili jedynie na jednym z nich.

Ponadto w ramach projektu poszukiwane będą związki pomiędzy dziedziną metrologii kwantowej a kwantową termodynamiką, opisującą fizykę mikroskopowych układów kwantowych w kontakcie z rezerwuarami ciepła. Wynikiem tych badań ma być uzyskanie nowych odpowiedzi na problem jednoczesnego pozyskiwania pracy i informacji z układów kwantowych, ograniczeń na moc silników kwantowych jak również minimalnego kosztu energetycznego realizacji protokołów metrologicznych.