

Pierwsza kwantowa rewolucja, do której doszło niemal sto lat temu, całkowicie odmieniła nasze postrzeganie mikroświata i pozwoliła zrozumieć prawa nim rządzące. Druga, u której progu właśnie stoimy, może zmienić technologie, którymi będziemy się posługiwać w przyszłości. Zbudowano już łącza, którymi dzięki zjawiskom kwantowym można generować poufne klucze kryptograficzne sposobem całkowicie uniemożliwiający dostęp do nich osobom niepowołanym. Powstały pierwsze konstrukcje komputerów kwantowych, które pozwolą w przyszłości na prowadzenie obliczeń dziś jeszcze niewykonalnych. Zademonstrowano również, w jaki sposób zjawiska kwantowe mogą poprawić dokładność pomiarów i umożliwić postęp w dziedzinach opierających się na ultraprecyzyjnych pomiarach. O ile jednak bardzo dużo osiągnięto już w dziedzinach kwantowej telekomunikacji, informacji i metrologii, to wiele pytań dotyczących oddziaływania kwantowych stanów światła z materią pozostaje wciąż bez odpowiedzi. Dotyczy to głównie materii skondensowanej (kryształów, roztworów, polimerów), tymczasem to właśnie z materii skondensowanej buduje się urządzenia do praktycznych zastosowań. Z tego względu zdecydowaliśmy się połączyć naszą wiedzę i doświadczenie w zakresie badania dynamiki zjawisk zachodzących w materii i budowy źródeł splątanych par fotonów, by rozpocząć systematyczne badania oddziaływań stanów kwantowych światła z materią skondensowaną.

Jednym z najbardziej niezwykłych zjawisk kwantowych jest tzw. splątanie. Występuje ono w układach składających się z dwóch lub więcej obiektów, np. fotonów. Jeśli dwa fotony są splątane, to ich własności są ze sobą powiązane w taki sposób, że pomiar jakiejś własności jednego z nich (nieznanej przed dokonaniem pomiaru) natychmiast ustala tę własność dla drugiego. Modele teoretyczne i wstępne prace doświadczalne wskazują, że takie pary splątane inaczej oddziałują z materią niż klasyczne światło. Na przykład proces, w którym dwa fotony są jednocześnie absorbowane przez atom lub cząsteczkę (tzw. absorpcja dwufotonowa) jest o wiele bardziej prawdopodobny, gdy absorbowana jest para fotonów splątanych niż dwa niezależne fotony. Zamierzamy zbudować źródła par fotonów splątanych, które pozwolą zbadać zjawisko absorpcji dwufotonowej w dużo większej liczbie materiałów niż było to możliwe dotychczas, w tym w różnych związkach organicznych i tzw. centrach barwnych w diamentach. Znacząco rozszerzymy wiedzę o absorpcji dwufotonowej par fotonów splątanych, co pozwoli na praktyczne wykorzystanie tego zjawiska.

Pary fotonów splątanych mają też inną niezwykłą właściwość: pozwalają na obserwację przebiegu w czasie procesów zachodzących w materii po wzbudzeniu jej światłem, na przykład przeniesienia elektronu lub protonu w cząsteczkach organicznych. Jest to możliwe w układzie, w którym jeden foton z pary wzbudza badaną cząsteczkę, a prawdopodobieństwo oddziaływania drugiego z nich (opóźnionego względem pierwszego) z cząsteczką zależy od tego, jakie zmiany zaszły w cząsteczce pomiędzy oddziaływaniem z pierwszym i drugim fotonem. Przy wykorzystaniu klasycznych metod takie doświadczenia są możliwe jedynie dzięki wykorzystaniu laserów generujących silne, bardzo krótkie impulsy światła. Efekt splątania powinien jednak umożliwić obserwację przebiegu zjawiska przy użyciu zaledwie pary fotonów wytwarzanych w specjalnym kryształcie oświetlanym laserem małej mocy o pracy ciągłej.

W ramach projektu zajmiemy się więc również badaniami przebiegu procesów zachodzących w cząsteczkach chemicznych po absorpcji fotonu i wpływem tych procesów na oddziaływanie par fotonów z cząsteczkami. Jedne z cząsteczek, które wykorzystamy w naszych doświadczeniach mają tę interesującą własność, że w ich strukturze występują dwa atomy wodoru mogące przenosić się pomiędzy dwoma równoważnymi położeniami. Zmiana położenia tych atomów wodoru nie zmienia struktury chemicznej cząsteczki, ale wpływa na jej sposób oddziaływania ze światłem. Prawdopodobieństwo oddziaływania takiej cząsteczki z parą fotonów będzie zależało zarówno od szybkości przeniesienia atomów wodoru jak i odstępu czasu pomiędzy fotonami z pary. Będą to pionierskie doświadczenia, w których zmiana własności pary fotonów splątanych zostanie wykorzystana do kontroli prawdopodobieństwa ich oddziaływania z materią.

Wynikiem naszych pionierskich prac będzie opracowanie nowych metod doświadczalnych do badania oddziaływań kwantowych stanów światła z materią skondensowaną i wykorzystanie ich w celu udzielenia odpowiedzi na wiele pytań dotyczących tych oddziaływań. Zbadamy też możliwość kontrolowania oddziaływań kwantowych stanów światła z materią poprzez modyfikację tych stanów. Nasze prace przybliżą perspektywę praktycznych zastosowań technologii kwantowych w mikroskopii.