

Ogromna ilość badań naukowych poświęconych przetwarzaniu informacji kwantowej motywowana jest przez wspaniałe perspektywy, jakie oferuje ta dziedzina. Na czele stoi stworzenie komputerów kwantowych o niezmiernych mocach obliczeniowych, które gdy już powstaną, najprawdopodobniej zrewolucjonizują naszą cywilizację. Na drodze ku realizacji tego celu metodami optycznymi stoi problem skalowalności: obecnie eksperymenty kwantowo-optyczne odbywają się na znacznej wielkości stołach. Brakuje tanich technologii zwiększania rozmiarów układu. Celem projektu jest inżynieria miniaturowych elementów optycznych (płytki światłodzielące, światłowody) opartych o nanotechnologie takie jak plazmonika i użycie ich do demonstracji podstawowych eksperymentów kwantowo-optycznych w skali nano. W ten sposób MIODEQ wpisuje się w pionierską dziedzinę plazmoniki kwantowej, która ma na celu integrację tego rodzaju badań i eksperymentów kwantowo-optycznych opartych o sterowanie stanem pojedynczych fotonów, czyli pojedynczych cząstek światła - najsłabszych sygnałów jakie mogą być wysłane. Właśnie o pojedyncze fotony oparte są zastosowania do obliczeń kwantowych, bezpiecznego kodowania czy teleportacji. W perspektywie jest sprowadzenie takich eksperymentów do nanoskali i budowa miniaturowych, stabilnych, zintegrowanych urządzeń optycznych, które nie wymagałyby żmudnej kalibracji i zapewniały wysoką wydajność. Wreszcie, zminiaturyzowane rozmiary układów będą pożądane do zastosowań na skalę przemysłową.

W szczególności, zjawiska jakie zbadamy w ramach projektu MIODEQ, obejmą interferencję pojedynczych cząstek kwantowych i ich par na metapowierzchniach. Metapowierzchnia, to periodyczna struktura złożona z drobinek metalu, na których wzbudzane są kwazicząstki zwane powierzchniowymi polarytonami plazmonowymi. Cząstki te stanowią hybrydy fotonów i kolektywnych drgań elektronów walencyjnych metalu i mogą pełnić rolę fotonów w zminiaturyzowanych doświadczeniach kwantowo-optycznych. Ponadto, planujemy szczegółowe opracowanie metod pomiaru tzw. przestrzennej funkcji falowej pojedynczego fotonu. Funkcja ta zapisuje wszystkie informacje o rozchodzeniu się fotonu. Wypracowane techniki umożliwią badanie kwantowej siły dośrodkowej doświadczanej przez pojedyncze fotony podczas propagacji poprzez światłowody o zakrzywionej geometrii. Celem jest pierwsza na świecie obserwacja przewidzianych w literaturze i symulacjach numerycznych fikcyjnych sił kwantowych, które wpływają na trajektorię fotonu.

Każde z zadań projektu będzie łączyło części teoretyczno-numeryczną i doświadczalną. Część teoretyczno-numeryczna będzie związana głównie z projektowaniem zminiaturyzowanych elementów optycznych (metapowierzchni lub zakrzywionego światłowodu) i charakteryzacją ich właściwości. Część doświadczalna ma na celu obserwację wyżej wymienionych efektów kwantowych, po raz pierwszy w proponowanych układach. We wszystkich proponowanych doświadczeniach pojedyncze fotony będą pochodzić ze źródeł opartych o proces spontanicznego parametrycznego dzielenia częstości. W tym zjawisku wykorzystuje się specjalne kryształy, które zasilane wiązką laserową generują w sposób skorelowany pary fotonów o charakterystykach użytecznych w zastosowaniach komercyjnych i laboratoryjnych. Ponieważ w procesie zawsze generowane są pary fotonów, jeden z nich może być użyty do tzw. obwieszczenia drugiego fotonu, na którym zostanie wykonany właściwy pomiar, co znacznie poprawia stosunek sygnału do szumu.

Projekt MIODEQ będzie realizowany w Krajowym Laboratorium Fizyki Atomowej, Molekularnej i Optycznej oraz w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, we współpracy z ośrodkami w Europie i na świecie specjalizującymi się zarówno w nanotechnologiach, jak i w optyce kwantowej.