

Otoczający nas świat charakteryzuje się jednym wymiarem czasowym i trzema wymiarami przestrzennymi. Fizycy badający materię skondensowaną od dawna badają systemy o niższej wymiarowości, w tym dwuwymiarowe (2D) studnie kwantowe, jednowymiarowe (1D) druty kwantowe i zerowymiarowe (0D) kropki kwantowe. Układy 2D znalazły szerokie zastosowanie technologiczne. Zmniejszone wymiary umożliwiają pracę wydajnych diod LED, diod laserowych, szybkich tranzystorów w układach scalonych oraz wzmacniaczy radiowych WiFi. Elektrony uwięzione w dwóch wymiarach mogą wykazywać zachowania zasadniczo różniące się od zachowań elektronów swobodnych. Na przykład w grafenie, dwuwymiarowej strukturze węgla o symetrii plastra miodu, elektrony zachowują się tak, jakby były bezmasowe, podobnie jak cząstki światła zwane fotonami.

W niniejszym projekcie to fotony zostaną zmuszone do tego, aby zachowywały się jak bezładunkowe elektrony. Zostanie to osiągnięte poprzez wytworzenie okresowych struktur fotonicznych przez samoorganizację i spontaniczne tworzenie wzorów. W ten sposób powstaną fotoniczne kwazicząstki, które będą naśladowały zachowanie elektronów w układach półprzewodnikowych. Aby to osiągnąć, zastosuję mikrownękę optyczną wypełnioną ośrodkiem dwójłomnym: ciekłym kryształem. Mikrownęka składa się z dwóch luster, tworzących wewnątrz niej stojącą falę elektromagnetyczną. Przykładając napięcie elektryczne do mikrownęki, cząsteczki ciekłego kryształu można obracać, przez co zmienia się energię modów światła liniowo spolaryzowanej fali płaskiej przechodzącej przez wnękę. Proces ten może nawet umożliwić wytwarzanie elementów optycznych o polaryzacji kołowej prawoskrętnej i lewoskrętnej, jak wykazała moja grupa w artykule naukowym w Science z 2019 r. Matematyczny opis tego zjawiska jest powiązany z tak zwanym oddziaływaniem spin-orbita, gdzie polaryzacja światła pełni rolę spinu.

Dzięki tym urządzeniom fonicznym wyposażonym w różne struktury okresowe 1D i 2D będę w stanie stworzyć np. ultracieńkie lub ultralekkie kwazicząstki foniczne, podobne do tych występujących w kryształach w fizyce ciała stałego. Będę badał, w jaki sposób oddziaływanie spin-orbita modyfikuje tzw. strukturę pasmową i wpływa na rozkład fotonów we wnęce. Poprzez staranne projektowanie struktur krystalicznych i wykorzystanie możliwości przestrajania właściwości optycznych ciekłych kryształów, oraz wprowadzając barwniki laserowe, będę mógł modyfikować energię i polaryzację emitowanego światła.

Kontrolowane rozszczepianie modów elektromagnetycznych wnęki można zrozumieć w kategoriach sztucznego pola magnetycznego i syntetycznych Hamiltonianów. Będę rozwijać analityczne i numeryczne metody modelowania zachowania światła w niskowymiarowych okresowych strukturach fonicznych.

Chciałbym także zastosować przestrajalne wnęki optyczne w optyce kwantowej. W ramach tego projektu przeprowadzone zostaną eksperymenty na pojedynczych fotonach na tzw. nieseparowalnych stanach optycznych odkrytych przez moją grupę w latach 2021 i 2022 oraz sprawdzone zostaną nierówności Bella. Bozonowa natura fotonów, która pozwala im zajmować ten sam stan kwantowy, powinna powodować destrukcyjną interferencję, gdy napotkają stan foniczny w mikrownęce. Taka destrukcyjna interferencja prowadzi z kolei do powstania specyficznego stanu kwantowego zwanego „dwufotonowym stanem NOON” na wyjściu. Stan ten reprezentuje wysoce splątaną konfigurację dwóch fotonów, która może mieć zastosowanie w optyce kwantowej i kwantowym przetwarzaniu informacji.

Podsumowując, projekt ten nie tylko obiecuje postęp technologiczny w fotonice, ale także poszerza granice naszej wiedzy w fizyce materii skondensowanej i optyce kwantowej. Może potencjalnie zmienić sposób, w jaki wykorzystujemy i rozumiemy światło, co będzie miało dalekosiężne konsekwencje w różnych dziedzinach nauki i technologii.