

Syntetyczne hamiltoniany spin-orbita ze sztucznym polem magnetycznym w ciekłokrystalicznych wnękach optycznych

Naukowcy z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (FUW) razem z naukowcami z Wojskowej Akademii Technicznej (WAT) stworzyli cienką wnękę optyczną wypełnioną ciekłym kryształem, w której uwięzili światło. W tych warunkach fotony zachowują się jakby miały masę, a więc inaczej niż gdyby poruszały się w próżni. Takie zachowanie fotonów w cienkich wnękach optycznych obserwowano już wcześniej, jednak trudno było nimi manipulować gdyż światło nie reaguje na pole elektryczne lub magnetyczne. Opisywana wnęka różni się jednak od zwykłych wnęk optycznych. Jej wyjątkowość polega na tym, że jest wypełniona dwójłomnym materiałem ciekłokrystalicznym, którym można manipulować. Sterowanie orientacją molekuł ciekłego kryształu odbywa się poprzez przyłożenie pola elektrycznego do elektrod umieszczonych we wnęcie. Mody wnęki (stojące fale światła we wnęcie) mają inną energię (częstotliwość drgań), gdy pole elektryczne fali (polaryzacja) jest skierowane w poprzek molekuł i inną dla polaryzacji wzdłuż ich osi. Takie zjawisko nazywa się anizotropią optyczną. To nie jest jednak jedyna ciekawa właściwość tego systemu. Zauważono również, że podczas zmiany orientacji molekuł ciekłego kryształu, fotony uwięzione we wnęcie zachowywały się jak kwazicząstki obdarzone momentem magnetycznym (spinem), poddane działaniu sztucznego pola magnetycznego. Okazało się, że to niezwykle zachowanie światła najłatwiej wyjaśnić posługując się analogią do zachowania się elektronów w materii skondensowanej. Równania opisujące ruch fotonów uwięzionych we wnęcie (tzw. równania Hamiltona) przypominają równania ruchu elektronów (które są obdarzone spinem). Udało się zatem zbudować układ fotoniczny, który doskonale imituje właściwości elektronowe i prowadzi do wielu zaskakujących efektów fizycznych. Prace prezentujące wyniki tych badań ukazały się niedawno w czasopiśmie *Light: Science and Applications* (2018 r.) oraz magazynie *Science* (2019 r.).

Przedmiotem badań proponowanych w projekcie jest wykorzystanie możliwości strojenia modów światła we wnęcie optycznej do kontroli kierunku i polaryzacji światła emitowanego z bądź transmitowanego przez wnękę. Przewiduje się, że takie światło będzie miało zaskakujące właściwości wynikające z symetrii ośrodka, w którym się propaguje: pojawią się wzory polaryzacji przypominające kwazicząstki magnetyczne (tzw. pół-skyrmiony), trwałe helisy spinowe odkryte w półprzewodnikach, jednokierunkowe mody propagacji światła, a także różnego rodzaju efekty topologiczne – np. punkty w przestrzeni stanów nazwane przez naukowców „diabolicznymi” (ich okrążenie zmienia fazę funkcji falowych układu na przeciwne i trzeba je okrążyć dwa razy, żeby układ wrócił do wyjściowego stanu). Opracowane na FUW i WAT ciekłokrystaliczne mikrownęki mogą realizować wiele takich pomysłów – w jednej wnęcie optycznej można płynnie przechodzić pomiędzy równaniami Hamiltona opisującymi różne zjawiska w materii skondensowanej, które są związane ze sprzężeniem ruchu i spinu elektronów (tzw. hamiltoniany spin-orbita). Będziemy mogli zbadać tekstury spinowe fotonów w reżimie spinowego optycznego efektu Halla (obserwowanego w półprzewodnikach) i zaobserwować jak wraz ze zmianą orientacji molekuł ciekłego kryształu płynnie przechodzą do sytuacji, w której we wnęcie propagują się mody światła o polaryzacji kołowej tworząc na powierzchni próbki pasy spolaryzowane liniowo (wspomniane trwałe helisy spinowe). Za pomocą dwóch lub więcej wiązek sprawdzimy w jaki sposób oddziałują ze sobą pół-skyrmiony i czy uda się z nich zbudować symulatory kwantowe.

Dodatkową zaletą mikrownęk ciekłokrystalicznych jest możliwość umieszczenia w nich emiterów światła. Takie wnęki pobudzone do świecenia będą wtedy emitować światło spontanicznie – badając energię i polaryzację światła emitowanego będziemy mogli dowiedzieć się bezpośrednio o modach fotonowych preferowanych przez wnękę (tzw. stanach własnych). Do tej pory nikt jeszcze takiej wnęki nie zbudował i nasza grupa ma szansę być pierwszą, która pokaże emisję światła ze stanów topologicznych – ujawniających się na granicy pomiędzy obszarami o nieco odmiennej symetrii wynikającej z równań ruchu (Hamiltona). Mamy pomysł jak stworzyć taki układ i wykorzystać strojenie światłem do bezpośredniej obserwacji stanów chronionych topologicznie. Na razie nie wiemy, jaki emiter będzie się najlepiej sprawdzał w strojonych wnękach – musimy przetestować kilku kandydatów, skupiamy się na kolorowych barwnikach oraz świecących białkach. Nie ma dużo miejsca na emiter, bo nasze wnęki są bardzo cienkie – mają mniej niż 4 mikrony grubości. Najlepszy barwnik powinien nie tylko wydajnie świecić w temperaturze pokojowej, ale też nie powinien się niszczyć pod wpływem światła („fotodegradować”), powinien dać się wbudować we wnękę jako element jednej z warstw lub rozpuścić się w ciekłym kryształe.

Projekt będzie realizowało konsorcjum UW (lider) i WAT. Możliwości technologiczne WAT i doświadczenia UW doskonale się uzupełniają, a kilkuletnia współpraca zaowocowała już wynikami opublikowanymi w doskonałych czasopismach naukowych.