



Warszawa, 25 czerwca 2025

Nowa platforma fotoniczna opracowana przez polski zespół badawczy

Zespół naukowców z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, Wojskowej Akademii Technicznej oraz Institut Pascal przy Université Clermont Auvergne opracował nowatorską metodę wykorzystania cholesterycznych ciekłych kryształów w mikrownękach optycznych. Stworzona przez badaczy platforma umożliwia formowanie oraz dynamiczne przestrajanie kryształów fotonicznych z wbudowanym sprzężeniem spin-orbita (SOC) i kontrolowaną emisją laserową. Wyniki tych przełomowych badań zostały opublikowane w renomowanym czasopiśmie „Laser & Photonics Reviews”.

– We wnęce optycznej ułożono jednorodną strukturę helikalną (ang. uniform lying helix - ULH), ciekłego kryształu w fazie cholesterycznej. Samoorganizująca się struktura helisy z osią leżącą w płaszczyźnie wnętrza działa jako jednowymiarowa, okresowa sieć fotoniczna. Jest to możliwe dzięki wyjątkowym właściwościom ciekłych kryształów, które są wydłużonymi molekułami, przypominającymi ołówki – wyjaśnia prof. Jacek Szczytko z Wydziału Fizyki UW, gdzie prowadzone są badania nad nowatorskimi mikrownękami optycznymi. – Struktura cholesteryczna, to spiralna struktura zbudowana z warstw niemal równolegle zorientowanych molekuł, leżących w jednej płaszczyźnie. Z warstwy na warstwę, kierunek ułożenia molekuł jest delikatnie skręcony, co w sumie buduje strukturę spiralną (helikalną) przypominającą helisy DNA lub makaron typu „świderki”. Kierunek prostopadły do warstw molekuł wyznacza oś utworzonej helisy. Okazuje się, że gdy w odpowiednim oświetleniu obserwujemy taką strukturę w kierunku prostopadłym do osi helisy, to zauważymy wyraźne pasy o szerokości równej skokowi helisy. Wykorzystanie ciekłych kryształów reagujących na pole elektryczne umożliwia precyzyjne sterowanie tym skokiem, a więc i strukturą pasm fotonicznych, otwierając nowe perspektywy w inżynierii fotonicznej – dodaje prof. Szczytko.

Opisywane efekty są możliwe dzięki zastosowaniu mikrownęk optycznych, które ograniczają ruch światła w jednym wymiarze, nadając mu właściwości podobne do cząstek obdarzonych masą. Fotony, które nie mają masy spoczynkowej, we wnęce zaczynają zachowywać się jak cząstki masywne. Dodanie powtarzającego się w przestrzeni potencjału o zadanym okresie związanym ze skokiem helisy, rozszerza tę analogię i umożliwia dalsze manipulowanie tymi właściwościami. – Celem naszych badań jest odkrywanie, w jaki sposób światło może nabywać właściwości przypisywane zwykle materii, zachowując jednocześnie swoje unikalne cechy. W naszej grupie, wykorzystując ciekłokrystaliczne mikrownęki optyczne wytwarzane we współpracy z zespołem Wojskowej Akademii Technicznej, od lat badamy optyczne analogie efektów znanych dotychczas z fizyki ciała stałego – dodaje prof. Jacek Szczytko.

Mikrownęki optyczne zostały wykonane przez naukowców z Wojskowej Akademii Technicznej, w grupie prof. Wiktora Piecka, z wykorzystaniem struktur helikalnych wykreowanych przez prof. Evę Oton we wnękach wytwarzanych przez dr. inż. Przemysława Morawiaka i dr. inż. Rafała Mazura. –Opracowanie odpowiedniej mieszaniny ciekłokrystalicznej oraz warunków umożliwiających formowanie dobrze uporządkowanej

jednorodnej helisy na dużej powierzchni wnętrza optycznej stanowi złożone wyzwanie z zakresu inżynierii materiałowej i technologii ciekłokrystalicznej. Nasz zespół ma wieloletnie doświadczenie w kontrolowaniu samoorganizujących się struktur ciekłokrystalicznych – podkreśla prof. Wiktor Piecek z WAT.

– Naukowcy od lat opracowują nano- i mikrostruktury modulujące właściwości światła, które z nimi oddziałuje. Szczególne miejsce zajmują tu kryształy fotoniczne – powtarzalne struktury o okresach porównywalnych z długością fali światła, które prowadzą do powstania struktur pasmowych i przerw wzbronionych, uniemożliwiających fotonom przyjmowanie określonych energii, podobnie jak ma to miejsce w przypadku elektronów w półprzewodnikach – wyjaśnia Marcin Muszyński, pierwszy autor pracy i doktorant realizujący badania na Wydziale Fizyki UW. – Typowe technologie wytwarzania kryształów fotonicznych mają jednak wiele wad: ich wytworzenie jest złożone technologicznie, przez to kosztowne i czasochłonne. Same sieci mają ograniczony rozmiar, a parametry gotowych struktur, takie jak okres czy „głębokość” raz zbudowanej pułapki, trudno zmienić. Nasza praca rozwiązuje te problemy – struktury powstałe dzięki samoorganizacji mają powierzchnię rzędu setek mikrometrów kwadratowych, a dzięki reakcji molekuł ciekłego kryształu na pole elektryczne możemy dynamicznie kontrolować strukturę pasmową światła uwięzionego w mikrownęce.

– Unikalność naszego układu polega na tym, że powstaje w wyniku samoorganizacji molekuł ciekłego kryształu, a samo medium zachowuje właściwości cieczy. Przyłożenie napięcia elektrycznego pozwala nam w czasie rzeczywistym obserwować za pomocą kamery, jak struktura ewoluuje, zachowując jednocześnie periodyczny porządek – dodaje Marcin Muszyński.

– Molekuły ciekłych kryształów mają kształt elipsoidy wydłużonej w jednym kierunku. Ta charakterystyczna cecha prowadzi do wytworzenia dużej dwójłomności, która jest kluczowa w prowadzonych badaniach. Dzięki niej światło o różnej polaryzacji oddziałuje z siecią w odmienny sposób, tworząc niezależne pasma energetyczne. Zaobserwowaliśmy, że wprowadzenie nachylenia molekuł względem osi helisy prowadzi do uzyskania oddziaływania między niektórymi z podpasem energetycznych dla dwóch sieci. Efekt ten nazwaliśmy międzypasmowym sprzężeniem spin-orbita (ang. interband spin-orbit coupling, ISOC) - mówi Przemysław Oliwa, drugi autor artykułu oraz doktorant realizujący badania na Wydziale Fizyki UW. Interpretację i dokładny opis teoretyczny tego efektu zasugerowali współpracujący z naszym zespołem prof. Guillaume Malpuech oraz prof. Dmitry Solishkov, naukowcy z Institut Pascal, Université Clermont Auvergne we Francji.

– Bazując na naszych doświadczeniach z poprzednich prac, również do tej ciekłokrystalicznej periodycznej struktury wprowadziliśmy organiczny barwnik. Ten nowy system pozwolił na zaobserwowanie laserowania z dwóch stanów o różnej energii, czyli podwójnego laserowania. Co więcej, w związku z istnieniem oddziaływania spin-orbita między pasmami w periodycznej strukturze zaobserwowaliśmy laserowanie zarówno w polaryzacji liniowej jak i kołowej. Te ostatnie wyniki pokazują, że nasze badania mają zarówno charakter fundamentalny, jak i aplikacyjny – dodaje dr inż. Piotr Kapuściński z Wydziału Fizyki UW, współautor pracy.

– Nasze wyniki otwierają drzwi do zastosowań w dziedzinie fotoniki topologicznej i nowoczesnych technologii laserowych. Pokazujemy nowe możliwości łączenia efektów SOC z periodycznymi strukturami fonicznymi, a także wskazujemy kierunki dalszych badań nad takimi zjawiskami jak topologiczne przejścia fazowe, model Su-Schrieffer-Heeger czy nieabelowe pola cechowania – podsumowuje prof. Jacek Szczytko.

Badania przeprowadzone przez naukowców z UW były współfinansowane przez Narodowe Centrum Nauki oraz projekt „TopoLight”, wyłoniony w konkursie European Innovation Council (EIC) Future and Emerging Technologies (FET-Open) H2020, którego koordynatorem jest Wydział Fizyki UW.

Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

Fizyka i astronomia na Uniwersytecie Warszawskim pojawiły się w 1816 roku w ramach ówczesnego Wydziału Filozofii. W roku 1825 powstało Obserwatorium Astronomiczne. Obecnie w skład Wydziału Fizyki UW wchodzi Instytuty: Fizyki Doświadczalnej, Fizyki Teoretycznej, Geofizyki, Katedra Metod Matematycznych Fizyki oraz Obserwatorium Astronomiczne. Badania pokrywają niemal wszystkie dziedziny współczesnej fizyki, w skalach od kwantowej do kosmologicznej. Kadra naukowo-dydaktyczna Wydziału składa się z ponad 250 nauczycieli akademickich. Na Wydziale Fizyki UW studiuje ponad 1100 studentów i ok. 170 doktorantów. Uniwersytet Warszawski w rankingu szanghajskim dla poszczególnych dziedzin (Shanghai's Global Ranking of Academic Subjects) znajduje się wśród 300 najlepszych na świecie jednostek, kształcących w dziedzinie fizyki.

PUBLIKACJA NAUKOWA:

Marcin Muszyński, Przemysław Oliwa, Pavel Kokhanchik, Piotr Kapuściński, Eva Oton, Rafał Mazur, Przemysław Morawiak, Wiktor Piecek, Przemysław Kula, Witold Bardyszewski, Barbara Piętka, Daniil Bobylev, Dmitry Solnyshkov, Guillaume Malpuech, Jacek Szczytko *Electrically Tunable Spin-Orbit Coupled Photonic Lattice in a Liquid Crystal Microcavity*, Laser Photonics Rev. 19(7)/2025)

<https://doi.org/10.1002/lpor.202570027> (okładka)

<https://doi.org/10.1002/lpor.202400794> (artykuł)

KONTAKT:

dr hab. Jacek Szczytko, prof. UW
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
jacek.szczytko@fuw.edu.pl
tel. +48 22 55 32 543

Mgr Marcin Muszyński
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
marcin.muszynski@fuw.edu.pl
tel. + 48 22 55 32 769

POWIĄZANE STRONY WWW:

<http://polariton.fuw.edu.pl/>
Strona Grupy Polaritonowej

<https://www.fuw.edu.pl>
Strona Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

<https://www.fuw.edu.pl/informacje-prasowe.html>
Serwis prasowy Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

MATERIAŁY GRAFICZNE:

FUW250625b_01
https://www.fuw.edu.pl/tl_files/press/images/2025/FUW250625b_01.jpg

Artykuł został zaprezentowany na okładce czasopisma Laser & Photonics Reviews (rys. Marcin Muszyński, Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego), <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/lpor.202400794>

FUW250625b_02

https://www.fuw.edu.pl/tl_files/press/images/2025/FUW250625b_02.jpg

Przestrzalny kryształ fotoniczny oparty na samoorganizującej się strukturze ciekłego kryształu w mikrownęce optycznej (rys. Marcin Muszyński, Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego).