



Warszawa, 30 września 2022

Anihilacja punktów wyjątkowych, pochodzących z różnych punktów degeneracji zaobserwowana po raz pierwszy na świecie.

Zespół badaczy z Uniwersytetu Warszawskiego, Wojskowej Akademii Technicznej, francuskiego CNRS i brytyjskiego University of Southampton pokazał, że w rezonatorze optycznym możliwe jest sterowanie tzw. punktami wyjątkowymi. Fizycy po raz pierwszy na świecie zaobserwowali też anihilację punktów wyjątkowych, pochodzących z różnych punktów degeneracji. O odkryciu, które może przyczynić się do powstania nowoczesnych urządzeń optycznych, przeczytać można na łamach najnowszego „Nature Communications.”

Wszechświat wokół nas zbudowany jest z cząstek elementarnych, z których większość ma swoje antycząstki. Gdy cząstka i antycząstka, czyli materia i antymateria spotkają się ze sobą, to dochodzi do anihilacji. Fizycy od dawna potrafią wytworzyć kwazicząstki i kwaziantycząstki – elementarne wzbudzenia: ładunku, drgań, energii – uwięzione w materii: najczęściej w kryształach lub cieczach. – Świat kwazicząstek potrafi być bardzo skomplikowany, chociaż paradoksalnie same kwazicząstki pomagają uprościć opis zjawisk kwantowych – wyjaśnia dr hab. Jacek Szczętko, prof. UW z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, jeden z autorów publikacji. – Bez kwazicząstek trudno by było zrozumieć działanie tranzystora, diody świecącej, nadprzewodnika i niektórych komputerów kwantowych. Kwazicząstkami mogą być nawet abstrakcyjne matematyczne pojęcia, o ile uda się je zrealizować w układach fizycznych.

Jednymi z takich abstrakcyjnych pojęć są punkty wyjątkowe. – Są to szczególne parametry układu prowadzące do uwspólnienia dwóch różnych rozwiązań, które mogą istnieć tylko w układach tłumionych, to jest takich w których oscylacje powoli zanikają w czasie. Punkty wyjątkowe można wykorzystać do tworzenia ultraczułych sensorów, laserowania jednomodowego czy transportu jednokierunkowego – wyjaśnia prof. Guillaume Malpuech z francuskiego Institute Pascal, CNRS. – Każdy punkt wyjątkowy charakteryzuje się także niezerowym ładunkiem topologicznym, pewną matematyczną cechą, która opisuje fundamentalne właściwości geometryczne i pozwala określić który punkt wyjątkowy będzie antycząstką dla innego punktu wyjątkowego – dodaje prof. Dmitry Solnyshkov z Institute Pascal, CNRS.

Naukowcy z Uniwersytetu Warszawskiego oraz Wojskowej Akademii Technicznej we współpracy z badaczami z francuskiego CNRS i brytyjskiego University of Southampton analizowali rezonator optyczny wypełniony ciekłym kryształem. Ciekłe kryształy są fazą pośrednią pomiędzy dwoma stanami skupienia materii – ciekłym i stałym. W ciekłych kryształach, mimo ich płynnej postaci można wyróżnić kierunki, tzw. osie optyczne. Można

je zaobserwować przy pomocy światła, które zachowuje się różnie w zależności od kierunku padania względem tych osi. Cecha ta, połączona z łatwą przestrajalnością zewnętrznym polem elektrycznym, jest podstawą działania wyświetlaczy ciekłokrystalicznych LCD. Światło spolaryzowane, czyli o określonym kierunku drgań pola elektrycznego fali elektromagnetycznej, doskonale „czuje” kierunek osi optycznych, a te są związane z kierunkiem ułożenia wydłużonych molekuł ciekłego kryształu.

W przeprowadzonych badaniach warstwę ciekłego kryształu umieszczono pomiędzy dwoma płaskimi zwierciadłami. – Całość tworzy wnękę optyczną, przez którą może przejść jedynie światło, dla którego odległość pomiędzy zwierciadłami stanowi wielokrotność połowy długości fali – tłumaczy współautor badania, dr hab. Wiktor Piecek z Wojskowej Akademii Technicznej.

Warunek ten jest spełniony dla tak zwanych modów rezonansowych wnęki, czyli światła o określonym kolorze (energii), polaryzacji i kierunku propagacji. Odpowiada to sytuacji, gdy foton, który wpada do wnęki, może się swobodnie wielokrotnie odbijać pomiędzy dwoma lustrami. Obecność ciekłego kryształu, którego orientację można zmieniać przez przyłożenie napięcia, pozwala na strojenie energii modów wnękowych. Dodatkowo warunek rezonansu zmienia się, gdy światło pada na wnękę pod kątem, co może prowadzić w szczególności do sytuacji, w której różne mody wnękowe mogą się ze sobą przecinać, czyli mieć tę samą energię pomimo różnej polaryzacji światła.

W rozpatrywanej w artykule orientacji ciekłego kryształu, dwa różne mody wnękowe powinny przecinać się jedynie dla czterech konkretnych kątów padania światła. Takie założenie pozwoliłoby na uzyskanie idealnej struktury bez żadnych strat światła. W rzeczywistości światło uwięzione we wnęce może wydostać się przez nieidealne zwierciadła lub ulec rozproszeniu. Średni czas przebywania fotonu wewnątrz mikrownęki można wyznaczyć na podstawie pomiarów spektroskopowych. Co więcej, ze względu na wyróżnianie kierunków przez warstwę ciekłokrystaliczną zaobserwowano różnicę w rozpraszaniu światła spolaryzowanego wzdłuż i prostopadle do osi ciekłego kryształu. Na skutek tego w miejscu każdego punktu degeneracji (punktu, w którym dla idealnej, bezstratnej wnęki różne mody wnękowe mają taką samą energię) zaobserwowano parę tak zwanych punktów wyjątkowych, dla których zarówno energia jak i czas życia fotonu we wnęce jest taki sam.

– W badanym układzie zaobserwowano, że położeniem punktów wyjątkowych można sterować przez zmianę napięcia przykładanego do wnęki – wyjaśnia Mateusz Król z Wydziału Fizyki UW, pierwszy autor publikacji. – Wraz ze zmniejszaniem napięcia punkty wyjątkowe powstałe z różnych punktów degeneracji zbliżają się do siebie, a dla odpowiednio niskiego napięcia nachodzą na siebie. Jako że przybliżające się punkty charakteryzują się przeciwnym do siebie ładunkiem topologicznym w momencie spotkania anihilują, nie pozostawiając żadnego punktu wyjątkowego. - Tego typu zachowanie topologicznych kwazicząstek, czyli anihilacja punktów wyjątkowych pochodzących z różnych punktów degeneracji, zostało zaobserwowane po raz pierwszy – dodaje Ismael Spetembre, doktorant w CNRS. Wcześniejsze prace pokazywały anihilację punktów wyjątkowych, ale były to kwazicząstki, które pojawiały się i znikwały dokładnie w tych samych punktach degeneracji.

Punkty wyjątkowe są w ostatnich latach szczególnie intensywnie badane w różnych dziedzinach fizyki. – Nasze odkrycie może pozwolić na powstanie urządzeń optycznych, których właściwościami topologicznymi będzie można sterować za pomocą napięcia – podsumowuje dr hab. Barbara Piętka z Wydziału 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 Instytut: 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 900 studentów i ok. 170 doktorantów. Uniwersytet Warszawski w rankingu szanghajskim dla poszczególnych dziedzin (Shanghai's Global Ranking of Academic Subjects) znajduje się wśród 75 najlepszych na świecie jednostek, kształcących w dziedzinie fizyki.

PUBLIKACJA NAUKOWA:

M. Król, I. Septembre, P. Oliwa, M. Kędziora, K. Łempicka-Mirek, M. Muszyński, R. Mazur, P. Morawiak, W. Piecek, P. Kula, W. Bardyszewski, P. G. Lagoudakis, D. D. Solnyshkov, G. Malpuech, B. Piętka & J. Szczytko
Annihilation of exceptional points from different Dirac valleys in a 2D photonic system

Nature Communications 13, 5340 (2022)
<https://doi.org/10.1038/s41467-022-33001-9>

KONTAKTY:

Jacek Szczytko
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
email: Jacek.Szczytko@fuw.edu.pl
tel. +48 22 55 32 764

POWIĄZANE STRONY WWW:

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

<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:

FUW220930b_fot01
https://www.fuw.edu.pl/tl_files/press/images/2022/FUW220930b_fot01.png
"Trajektoria punktów wyjątkowych na części rzeczywistej spektrum światła" (wizualizacja: Mateusz Król, źródło Wydział Fizyki UW).

Międzynarodowy zespół naukowców prowadził badania wspierane m.in. przez program Unii Europejskiej FET-Open Horyzont 2020 i grant „TopoLight” (964770).