



Laserowe tornado w syntetycznym polu magnetycznym

Czy światło może zachowywać się jak wir powietrza? Okazuje się, że tak - i właśnie takie „optyczne tornado” udało się wytworzyć w niezwykle małej strukturze naukowcom z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, Wojskowej Akademii Technicznej oraz Institut Pascal CNRS przy Université Clermont Auvergne. Odkrycie otwiera nową drogę do tworzenia miniaturowych źródeł światła o złożonej strukturze, umożliwiając w przyszłości budowę prostszych i bardziej skalowalnych urządzeń fotonicznych, np. do komunikacji optycznej czy technologii kwantowych.

– Nasze rozwiązanie łączy kilka dziedzin fizyki: od mechaniki kwantowej, przez inżynierię materiałową, po optykę i fizykę ciała stałego – wyjaśnia prof. Jacek Szczytko z Wydziału Fizyki UW, lider grupy badawczej. – Inspiracją były układy znane z atomów, gdzie elektrony mogą zajmować różne stany energetyczne. W fotonice podobną rolę pełnią pułapki optyczne, które zamiast elektronów więżą światło.

– Można to sobie wyobrazić jako optyczny wir – tłumaczy dr Marcin Muszyński z Wydziału Fizyki UW oraz City College of New York, pierwszy autor badań. – Fala świetlna skręca wokół swojej osi, a jej faza zmienia się spiralnie. Co więcej, nawet polaryzacja, czyli kierunek drgań pola elektrycznego, zaczyna rotować.

Takie struktury światła są bardzo obiecujące – mogą znaleźć zastosowanie m.in. w komunikacji kwantowej czy manipulowaniu mikroskopijnymi obiektami. Problem polega jednak na tym, że ich wytwarzanie zwykle wymaga skomplikowanych nanostruktur lub dużych układów eksperymentalnych.

Zespół badaczy obrał inną drogę. – Zamiast budować złożone układy, wykorzystaliśmy ciekły kryształ, czyli materiał o właściwościach pośrednich między cieczą a ciałem stałym. Choć można go przelewać jak ciecz, jego cząsteczki układają się w uporządkowany sposób, zachowując kierunek i wzajemne położenie, podobnie jak w kryształach – mówi inż. Joanna Mędrzycka, studentka nanoinżynierii na Wydziale Fizyki UW, która wraz z dr Evą Oton z Wojskowej Akademii Technicznej przygotowała próbki ciekłokrystaliczne.

W takiej strukturze można wywołać defekty zwane toronami. – Można je sobie wyobrazić jako ciasno skręconą spiralę – podobną do DNA – wzdłuż której układają się cząsteczki ciekłego kryształu. Jeśli taką spiralę zamknijemy, łącząc jej końce w pierścień przypominający pączek, otrzymamy właśnie toron – wyjaśnia Joanna Mędrzycka. – Struktury te działają jak mikroskopijne pułapki dla światła. Kluczowym krokiem było stworzenie dla fotonów odpowiednika pola magnetycznego. Choć światło nie reaguje na pole magnetyczne tak jak elektrony, możliwe jest odtworzenie jego efektu innymi metodami.

– Zmienna w przestrzeni dwójłomność, czyli różnica w propagacji różnych polaryzacji światła, działa jak syntetyczne pole magnetyczne – tłumaczy dr Piotr Kapuściński z

Wydziału Fizyki UW. – Nazywamy je „syntetycznym”, ponieważ jego matematyczny opis przypomina działanie pola magnetycznego, choć fizycznie go tam nie ma. W efekcie światło zaczyna „zakręcać”, podobnie jak elektrony poruszające się po orbitach cyklotronowych.

Aby wzmocnić to zjawisko, toron umieszczono w mikrowęcie optycznej – strukturze złożonej z luster, w której światło wielokrotnie się odbija i pozostaje uwięzione przez dłuższy czas. – Dzięki temu pole działa znacznie silniej – mówi dr Muszyński. – Dodatkowo możemy kontrolować rozmiar pułapki, a więc i właściwości światła, za pomocą zewnętrznego napięcia elektrycznego.

Najważniejszy wynik okazał się jednak jeszcze bardziej zaskakujący. – W typowych układach światło z orbitalnym momentem pędu pojawia się w stanach wzbudzonych – wyjaśnia prof. Guillaume Malpuech z Université Clermont Auvergne i CNRS, który wraz z prof. Dmitryjem Solnyshkovem i Daniilem Bobylevem opracowali model teoretyczny zjawiska. – Nam po raz pierwszy udało się uzyskać taki efekt w stanie podstawowym, czyli najniższym energetycznie. To istotne, ponieważ stan podstawowy jest najbardziej stabilny i najłatwiej się w nim gromadzi energia.

– Dzięki temu znacznie łatwiej uzyskać laserowanie – podkreśla prof. Szczytko. – Światło naturalnie „wybiera” ten stan, ponieważ wiąże się on z najmniejszymi stratami.

Aby to potwierdzić, badacze dodali do układu barwnik laserowy. – Otrzymaliśmy światło, które nie tylko wiruje, ale także zachowuje się jak światło laserowe: jest spójne, ma dobrze określoną energię i kierunek emisji – mówi dr Marcin Muszyński.

- Co ciekawe, nasze podejście czerpie inspirację z bardzo zaawansowanych teorii dotyczących tak zwanego ładunku wektorowego – dodaje prof. Dmitry Solnyshkov - W pewnym sensie udało nam się sprawić, że fotony zachowują się już nawet nie jak elektrony, ale jak kwarki, naładowane cząstki, z których składają się protony.

Odkrycie otwiera nową drogę do tworzenia miniaturowych źródeł światła o złożonej strukturze. – To pokazuje, że zamiast skomplikowanej nanotechnologii można wykorzystać materiały samoorganizujące się – podsumowuje prof. Wiktor Piecek. – W przyszłości może to umożliwić budowę prostszych i bardziej skalowalnych urządzeń fotonicznych, na przykład do komunikacji optycznej czy technologii kwantowych.

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 oraz Katedra Metod Matematycznych Fizyki. Badania pokrywają niemal wszystkie dziedziny współczesnej fizyki, w skalach od kwantowej do kosmologicznej. Kadra naukowo-dydaktyczna Wydziału składa się z ponad 260 nauczycieli akademickich. Na Wydziale Fizyki UW studiuje ponad 1300 studentów i ok. 150 doktorantów. Uniwersytet Warszawski w rankingu szanghajskim dla poszczególnych dziedzin (Shanghai's Global Ranking of Academic Subjects) znajduje się wśród 200 najlepszych na świecie jednostek, kształcących w dziedzinie fizyki.

PUBLIKACJA NAUKOWA:

Marcin Muszyński, Daniil Bobylev, Piotr Kapuściński, Przemysław Oliwa, Joanna Mędrzycka, Eva Oton, Rafał Mazur, Przemysław Morawiak, Wiktor Piecek, Przemysław Kula, Dmitry Solnyshkov, Guillaume Malpuech, Jacek Szczytko *Ground-state orbital angular momentum lasing from liquid crystal torons*

embedded in a microcavity, Science Advances 12, eaeb6167 (2026) 13 March 2026 DOI:
<https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aeb6167>

KONTAKT:

dr hab. Jacek Szczykto, prof. UW
Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski
tel. +48 22 55 32 543
email: jacek.szczytko@fuw.edu.pl

POWIĄZANE STRONY WWW:

<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:

FUW260327b_fot01
https://www.fuw.edu.pl/tl_files/press/images/2026/FUW260327b_fot01.png
Sieć toronów, samoorganizujących się defektów w ciekłych kryształach, których wewnętrzna struktura umożliwia generację światła laserowego niosącego orbitalny moment pędu (wizualizacja Marcin Muszyński, Wydział Fizyki UW).