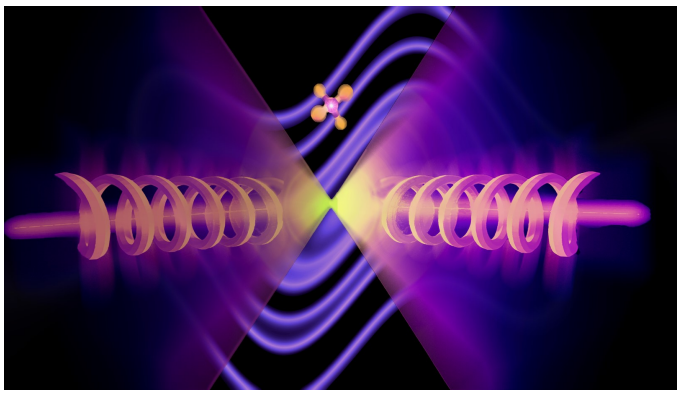
Wiązki światła jak bumerang

2023-11-20



Superpozycja dwóch wiązek światła o różnych amplitudach niosących tylko ujemny orbitalny moment pędu (OAM) powoduje powstanie lokalnie dodatniego OAM w ciemnych obszarach. Ten sprzeczny z intuicją efekt nazywany jest "azymutalnym przepływem wstecznym". (Wizualizacja: Anat Daniel, Wydział Fizyki UW).

Naukowcy z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego nałożyli na siebie dwie wiązki światła "skręcone" w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara, tworząc w niewielkich obszarach skręcenia przeciwne do ruchu wskazówek zegara. Zjawisko to nosi nazwę przepływu wstecznego. Wyniki badań zostały opublikowane w prestiżowym czasopiśmie „Optica". Odkrycie to może mieć wpływ na badania nad oddziaływaniem światła z materią i stanowi krok w kierunku obserwacji kwantowego przepływu wstecznego.

– Wyobraź sobie, że rzucasz piłką tenisową. Piłka zaczyna poruszać się do przodu z dodatnim pędem. Jeśli piłka nie napotka przeszkody, nie spodziewasz się, że nagle zmieni kierunek i wróci do ciebie jak bumerang – zauważa mgr Bohnishikha Ghosh, doktorantka na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. – Kiedy taką piłką zakręcisz np. zgodnie z ruchem wskazówek zegara, również oczekujesz, że będzie się ona kręcić w tym samym kierunku.

Wszystko jednak komplikuje się, gdy zamiast piłki mamy do czynienia z cząstkami w mechanice kwantowej. – W mechanice klasycznej obiekt ma ustalone położenie. Tymczasem w mechanice kwantowej i optyce może on być w tzw. superpozycji stanów, co oznacza, że dany obiekt w tym samym czasie może być równocześnie w dwóch lub więcej położeniach – tłumaczy dr Radek Łapkiewicz, kierownik Laboratorium Obrazowania Kwantowego na Wydziale Fizyki UW. Zdarza się, że cząstki w superpozycji zachowują się zupełnie inaczej, niż wspomniana piłka tenisowa, mogą one nagle zmienić kierunek i przez chwilę poruszać się do tyłu, lub chwilowo kręcić się w odwrotnym do zadanego kierunku. – Fizycy takie zjawisko nazywają przepływem wstecznym – precyzuje Bohnishikha Ghosh.

Przepływ wsteczny w optyce

Przepływ wsteczny w układach kwantowych nie został dotychczas zaobserwowany doświadczalnie. Udało się natomiast zaobserwować go w optyce. Teoretyczne prace Yakira Aharonova, Michaela V. Berry'ego i Sandu Popescu badały związki między przepływem wstecznym w mechanice kwantowej, a nietypowym zachowaniem wiązek światła. Yaniv Eliezer wraz ze współpracownikami zaobserwował przepływ wsteczny syntezując skomplikowany front falowy. Badacze z grupy Radka Łapkiewicza, zaobserwowali liniowy przepływ wsteczny w bardzo prostym przypadku, nakładając dwie wiązki światła. – Dla mnie fascynujące jest jak nieoczekiwanie zachowuje się światło kiedy dokładniej mu się przyjrzeć – mówi dr Anat Daniel. W obecnej publikacji "Azimuthal backflow in light carrying orbital angular momentum", która ukazała się w prestiżowym czasopiśmie "Optica" naukowcy z Wydziału Fizyki UW pokazali efekt przepływu wstecznego w dwóch wymiarach. – Nałożyliśmy na siebie dwie wiązki światła skręcone w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara i lokalnie zaobserwowaliśmy skręcenia przeciwne do ruchu wskazówek zegara – wyjaśnia dr Łapkiewicz. Do pomiaru zjawiska badacze wykorzystali czujnik frontu falowego Shacka-Hartmana. Układ składający się z matrycy mikrosoczewek umieszczonej przed matrycą CMOS (complementary metal-oxide semiconductor), zapewnia wysoką czułość dwu wymiarowych pomiarów przestrzennych – – Zbadaliśmy nałożenie dwóch wiązek niosących tylko ujemny orbitalny moment pędu i zaobserwowaliśmy, w ciemnych obszarach wzoru interferencyjnego, dodatni lokalny orbitalny moment pędu. To właśnie azymutalny przepływ wsteczny – mówi Bernard Gorzkowski, doktorant w Laboratorium Obrazowania Kwantowego na Wydziale Fizyki UW.

Warto dodać, że wiązki światła z azymutalną (spiralną) zależnością fazową, które niosą orbitalny moment pędu zostały po raz pierwszy wygenerowane eksperymentalnie przez zespół Marco Beijersbergena w 1993 r. przy użyciu soczewek cylindrycznych. Od tego czasu znalazły one liczne zastosowania – mogą być wykorzystywane do komunikacji optycznej, mikroskopii, czy do wytwarzania pęsety optycznej, narzędzia, pozwalającego na chwytanie i manipulację obiektami w mikro- i nanoskali, którego twórca Arthur Ashkin został uhonorowany w 2018 roku Nagrodą Nobla z fizyki. Pęsety optyczne wykorzystywane są obecnie do badania właściwości mechanicznych błon komórkowych, nici DNA czy oddziaływań między komórkami zdrowymi a nowotworowymi.

Gdy fizyk gra Beethovena

Jak podkreślają naukowcy, opisane przez nich zjawisko może być interpretowane jako superoscylacje. Związek między przepływem wstecznym w mechanice kwantowej a superoscylacjami fal został po raz pierwszy opisany w 2010 roku przez profesora Michaela Berry'ego, fizyka z Uniwersytetu w Bristolu.

O superoscylacjach mówimy kiedy nakładając fale o częstościach ograniczonych z góry, możemy w powstałej fali znaleźć lokalnie częstości wyższe niż najwyższa, której użyliśmy syntezując nasz pakiet fal. Superoscylacje zostały po raz pierwszy opisane w 1990 roku przez Yakira Aharonova i Sandu Popescu. Później Michael Berry w swojej publikacji "Faster than Fourier" zilustrował moc superoscylacji, pokazując, że teoretycznie możliwe jest odtworzenie „IX Symfonii Beethovena" jedynie z wykorzystaniem fal dźwiękowych o częstościach poniżej 1 herca - tak niskich, że nie byłyby słyszalne dla człowieka. Jest to jednak bardzo niepraktyczne, gdyż amplituda (głośność) takich akustycznych superoscylacji byłaby bardzo mała.

– Zaprezentowany przez nas przepływ wsteczny jest przejawem szybkich zmian fazy, które mogą mieć znaczenie w zastosowaniach obejmujących oddziaływania światła z materią, takich jak pułapkowanie optyczne czy ultraprecyzyjne zegary optyczne – mówi Bohnishikha Ghosh. Publikacja grupy badaczy z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego jest także krokiem w kierunku obserwacji kwantowego przepływu wstecznego w dwóch wymiarach, który teoretycznie powinien być silniejszy, niż

jednowymiarowy przepływ wsteczny.

Badania zostały sfinansowane przez Fundację na rzecz Nauki Polskiej w ramach projektu FIRST TEAM “Spatiotemporal photon correlation measurements for quantum metrology and super-resolution microscopy”, współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego (POIR.04.04.00-00-3004/17-00).

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 wchodzą 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 150 najlepszych na świecie jednostek, kształcących w dziedzinie fizyki.

PUBLIKACJA NAUKOWA:

Bohnishikha Ghosh, Anat Daniel, Bernard Gorzkowski, Radek Lapkiewicz, *Azimuthal backflow in light carrying orbital angular momentum*
Optica Vol. 10, Issue 9, pp. 1217-1222 (2023)
DOI:10.1364/OPTICA.495710

KONTAKT:

Mgr Bohnishikha Ghosh
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
bohnishikha.ghosh@fuw.edu.pl
tel. 22 55 32 747

Dr Radek Łapkiewicz
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
radek.lapkiewicz@fuw.edu.pl
tel. 22 55 32 740

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

http://quantumimaging.fuw.edu.pl/
Laboratorium Obrazowania Kwantowego, Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

MATERIAŁY GRAFICZNE:

FUW231120b_img01
https://www.fuw.edu.pl/tl_files/press/images/2023/FUW231120b_fot01.jpg
Superpozycja dwóch wiązek światła o różnych amplitudach niosących tylko ujemny orbitalny moment pędu (OAM) powoduje powstanie lokalnie dodatniego OAM w ciemnych obszarach. Ten sprzeczny z intuicją efekt nazywany jest "azymutalnym przepływem wstecznym". (Wizualizacja: Anat Daniel, Wydział

Fizyki UW).

FUW231120a - Wiązki_światła_jak_bumerang.pdf (187.3 kB)