



Warszawa, 10 października 2025

Fizycy z UW i Emory University pokazali, że oddziaływania między atomami mogą wzmocnić emisję światła

*Zespół fizyków z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, Centrum Nowych Technologii UW i Uniwersytetu Emory (Atlanta, USA) przeanalizował, jak wzajemne oddziaływania atomów zmieniają sposób w jaki oddziałują one ze światłem. W artykule opublikowanym w *Physical Review Letters*, naukowcy wykazali, że bezpośrednie oddziaływania atom-atom mogą wzmocnić nadpromienistość – kwantowy efekt optyczny, polegający na kolektywnym rozbłyску światła. Otwiera to nowe możliwości dla technologii kwantowych.*

W układach światło-materia można umieścić wiele emiterów (np. atomów) w tym samym modzie optycznym wnęki. Mod to wiązka światła zamknięta pomiędzy ustawionymi blisko siebie zwierciadłami. Kolektywne sprzężenie tego typu umożliwia efekty nieobecne w przypadku pojedynczych, niezależnych atomów. Dobrym przykładem jest nadpromienistość, gdzie wiele atomów promieniuje w tej samej fazie, interferując konstruktywnie i wzmacniając impuls. W modelach tego zjawiska zakłada się zazwyczaj dominację sprzężenia światło-materia. Cały układ jest jednorodnie sprzężony z polem wnęki, które efektywnie pośredniczy w oddziaływaniach o nieskończonym zasięgu. „Fotony działają jak mediatory, które sprzęgają każdy emiter ze wszystkimi innymi wewnątrz wnęki” – mówi João Pedro Mendonça, pierwszy autor artykułu, który doktoryzował się na Wydziale Fizyki UW i aktualnie pracuje w Centrum Nowych Technologii UW. Jednak w rzeczywistych materiałach, atomy wpływają na siebie nawzajem poprzez krótkozasięgowe oddziaływania dipol-dipol, zazwyczaj pomijane. Obliczenia pokazały, że oddziaływania te mogą albo konkurować z interakcjami zachodzącymi za pośrednictwem fotonów, albo je wzmacniać. Zrozumienie tej równowagi jest niezbędne do interpretacji eksperymentów w warunkach, w których światło i materia znacząco na siebie wpływają.

U podstaw skomplikowanych własności układów światło-materia leżą kwantowe korelacje zwane splątaniem. Jednak wiele podejść numerycznych i analitycznych traktuje światło i materię jako niezależne, co skutecznie zaciera to powiązanie. „Modele półklasyczne znacznie upraszczają problem kwantowy, ale kosztem utraty kluczowych informacji; skutecznie ignorują możliwe splątanie między fotonami i atomami, a my stwierdziliśmy, że w niektórych przypadkach nie jest to dobre przybliżenie” – wyjaśniają autorzy publikacji. Praca wprowadza podejście obliczeniowe, które utrzymuje korelacje zarówno w obrębie podsystemów, jak i między nimi. Stosując tę metodę, autorzy pokazali, że interakcje między pobliskimi emiterami mogą na przykład obniżyć próg wystąpienia nadpromienistości, ale też prowadzą do nieznanych wcześniej stanów uporządkowania materii z nadpromienistymi właściwościami.

Uzyskane wyniki mają szansę znaleźć w przyszłości zastosowania praktyczne. Układy pojedynczych atomów kontrolowanych światłem stanowią podstawę rozwijających się technologii kwantowych. Świetnym przykładem są baterie kwantowe - urządzenia, które dzięki korelacjom kwantowym i efektom kolektywnym mogą ładować i rozładowywać się szybciej i wydajniej. Wpływ oddziaływań pomiędzy emiterami na dynamikę ładowania baterii może stać się kluczowy jeśli wywołane zostanie zjawisko nadpromienistości. Wewnętrzne oddziaływania mogą być regulowane w eksperymencie w dynamiczny sposób, co pozwoli na projektowanie optymalnych warunków ładowania w rzeczywistych materiałach i wnękach. „Gdy w modelu zachowa się splątanie światło-materia, można przewidzieć, kiedy urządzenie będzie się szybko ładować, a kiedy nie. Uwzględnienie subtelного efektu kwantowego może prowadzić do praktycznych wskazówek dla inżynierów kwantowych” – mówi João Pedro Mendonça. Kontrola nad korelacjami światło-materia jest istotna również dla innych platform technologicznych jak sieci kwantowe i sensory.

Kluczową rolę w realizacji projektu odegrała międzynarodowa współpracy badaczy z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, Centrum Nowych Technologii UW Uniwersytetu Warszawskiego i Uniwersytetu Emory. João Pedro Mendonça odbył liczne wizyty w Stanach Zjednoczonych, wspierany przez program Uniwersytetu Warszawskiego „Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza” (IDUB) oraz Narodową Agencję Wymiany Akademickiej (NAWA). „To doskonały przykład tego, jak międzynarodowa mobilność i współpraca mogą prowadzić do przełomowych rezultatów” – zauważa zespół.

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 1000 studentów i ok. 150 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:

João Pedro Mendonça, Krzysztof Jachymski, and Yao Wang
Role of Matter Interactions in Superradiant Phenomena
Phys. Rev. Lett. 135, 133601 – Published 23 September, 2025
DOI: <https://doi.org/10.1103/z8gv-7yyk>

KONTAKT:

João Pedro Vieira de Mendonca Santos
Centrum Nowych Technologii Uniwersytetu Warszawskiego
j.mendonca@cent.uw.edu.pl

dr hab. Krzysztof Jachymski, prof. UW
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
krzysztof.jachymski@fuw.edu.pl
tel. + 22 55 32 932

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:

FUW251010b_img01

https://www.fuw.edu.pl/tl_files/press/images/2025/FUW251010b_img01.tif

Wizualizacja atomów we wnęce optycznej oddziałujących ze sobą oraz jednocześnie ze światłem.

(Źródło: Yao Wang @ Emory University)

FUW251010b_fot02

https://www.fuw.edu.pl/tl_files/press/images/2025/FUW251010b_fot02.jpg

Grupa badaczy z Uniwersytetu Warszawskiego, od lewej: K. Jachymski, J.P. Mendonça. (Źródło: J.P. Mendonça)