



Warszawa, 12 listopada 2019

Masywne fotony w sztucznym polu magnetycznym

Naukowcy z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego i studenci Inżynierii Nanostruktur UW razem z naukowcami z Wojskowej Akademii Technicznej, Instytutu Fizyki PAN oraz Uniwersytetu w Southampton i Instytutu Skolkovo pod Moskwą stworzyli dwuwymiarowy układ – cienką wnękę optyczną wypełnioną ciekłym kryształem, w której uwięzili fotony. W tych warunkach nabierają one zadziwiających właściwości – zachowują się jak cząstki obdarzone masą. Takie kwazicząstki obserwowano już wcześniej, jednak trudno było nimi manipulować, gdyż światło nie reaguje na pole elektryczne lub magnetyczne. Tym razem zauważono, że podczas sterowania orientacją molekuł materiału ciekłokrystalicznego we wnękę uwięzione tam fotony zachowywały się tak jak kwazicząstki obdarzone momentem magnetycznym, czyli spinem, poddane działaniu sztucznego pola magnetycznego. Praca prezentująca wyniki badań ukazała się w magazynie Science 8 listopada 2019 r.

Świat wokół nas ma trzy wymiary przestrzenne i jeden czasowy. Fizycy badający materię skondensowaną od dawna zajmują się układami o niższej wymiarowości przestrzennej – dwuwymiarowymi studniami kwantowymi (2D), jednowymiarowymi drutami kwantowymi (1D) i zerowymiarowymi kropkami kwantowymi (0D). Najszerze zastosowania techniczne znalazły układy 2D – dzięki obniżeniu wymiarowości działają wydajne diody świecące i laserowe, szybkie tranzystory w układach scalonych, czy wzmacniacze radiowe WiFi. Elektrony uwięzione w dwóch wymiarach mogą nabierać właściwości zupełnie innych niż elektrony swobodne. Na przykład w grafenie, dwuwymiarowej strukturze węgla o symetrii plastra miodu, elektrony zachowują się jak obiekty pozbawione masy, czyli jak cząstki światła zwane fotonami.

Ściśle mówiąc, elektrony w kryształach oddziałują ze sobą i siecią krystaliczną, tworząc skomplikowany układ, którego opis jest możliwy dzięki wprowadzeniu pojęcia tzw. kwazicząstek. Właściwości takich obiektów: ładunek elektryczny, moment magnetyczny i inne zależą od symetrii kryształu oraz od jego wymiaru przestrzennego. Fizycy tworząc ośrodki o zredukowanej wymiarowości, odkrywają „kwazi-wszechświaty” pełne egzotycznych kwazicząstek. Wspomniany wcześniej bezmasowy elektron w dwuwymiarowym grafenie jest jedną z nich.

Odkrycia te zainspirowały naukowców do podjęcia badań światła uwięzionego w dwuwymiarowych strukturach – tak zwanych wnękach optycznych. Autorzy pracy opublikowanej w magazynie Science stworzyli wnękę optyczną, w której uwięzili fotony pomiędzy dwoma doskonałymi lustrami. Oryginalność ich pomysłu polega na wypełnieniu wnęki materiałem ciekłokrystalicznym, spełniającym rolę ośrodka optycznego. Molekuły tego ośrodka pod wpływem zewnętrznego napięcia mogą się obracać, co powoduje zmianę drogi optycznej światła. Dzięki temu udało się wytworzyć we wnękę fale stojące światła, których energia (częstotliwość drgań) była inna, gdy pole elektryczne fali (polaryzacja) było skierowane w poprzek molekuł, a inna dla polaryzacji wzdłuż ich osi (takie zjawisko nazywa się anizotropią optyczną). W trakcie badań prowadzonych na

Uniwersytecie Warszawskim stwierdzono unikatowe właściwości fotonów uwięzionych we wnęce – zachowywały się one jak kwazicząstki obdarzone masą. Takie obiekty obserwowano już wcześniej, jednak trudno było nimi manipulować, gdyż światło nie reaguje na pole elektryczne lub magnetyczne. Tym razem zauważono, że podczas sterowania anizotropią optyczną materiału ciekłokrystalicznego wnęki uwięzione tam fotony zachowywały się tak jak kwazicząstki obdarzone momentem magnetycznym, (czyli spinem) poddane działaniu sztucznego pola magnetycznego. Rolę „spinu” dla światła we wnęce odgrywała polaryzacja fali elektromagnetycznej. Zachowanie światła najłatwiej wyjaśnić posługując się analogią do zachowania elektronów w materii skondensowanej, gdyż równania opisujące ruch fotonów uwięzionych we wnęce przypominają równania ruchu elektronów ze spinem. Udało się zatem zbudować układ fotoniczny, który doskonale imituje właściwości elektronowe i prowadzi do wielu zaskakujących efektów fizycznych.

Odkrycie nowych zjawisk towarzyszących uwięzieniu światła w anizotropowych optycznie wnękach będzie umożliwiało realizację nowych urządzeń optoelektronicznych np. optycznych sieci neuronowych, a także wykonywanie obliczeń neuromorficznych. Szczególnie obiecująca jest perspektywa wytworzenia we wnękach unikalnego kwantowego stanu materii – tzw. kondensatu Bosego Einsteina. Będzie go można zastosować do obliczeń i symulacji kwantowych, czyli rozwiązywania problemów, które są zbyt czasochłonne dla współczesnych komputerów. Badane zjawiska będą podstawą nowych rozwiązań technicznych i źródłem dalszych odkryć naukowych.

Warto podkreślić ważną rolę współpracy naukowej, jaka nawiązała się pomiędzy instytucjami naukowymi o różnych specjalnościach. Odkrycia dokonali studenci Inżynierii Nanostruktur na Wydziale Fizyki UW: mgr Katarzyna Rechcińska, mgr Mateusz Król, mgr Rafał Mirek i mgr Karolina Łempicka, pracujący w nowym Laboratorium Polarytonowym, pod kierunkiem dr hab. Barbary Piętki i dr. hab. Jacka Szczytko. Wnęka optyczna wypełniona ciekłym kryształem została wykonana na Wydziale Nowych Technologii i Chemii Wojskowej Akademii Technicznej (WAT) przez dr. Rafała Mazura i dr. Przemysława Morawiaka, pracujących w zespole dr. hab. inż. Wiktora Piecka, prof. WAT. Materiał ciekłokrystaliczny o wysokiej anizotropii optycznej został opracowany i zsyntetyzowany w grupie chemików, kierowanej przez dr. hab. inż. Przemysława Kulę, prof. WAT. Opis teoretyczny obserwowanych zjawisk możliwy był dzięki współpracy z prof. dr. hab. Witoldem Bardyszewskim z Wydziału Fizyki UW i dr. hab. Michałem Matuszewskim z Instytutu Fizyki PAN. Zespołowi pomagał prof. Pavlos Lagoudakis pracujący na Uniwersytecie w Southampton i Instytucie Skolkovo pod Moskwą.

Badania wspólnie wsparły: Narodowe Centrum Nauki (granty OPUS), Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego (Diamentowe Granty), Ministerstwo Obrony Narodowej (grant badawczy).

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 oraz Obserwatorium Astronomiczne. Badania pokrywają niemal wszystkie dziedziny współczesnej fizyki, w skalach od kwantowej do kosmologicznej. Kadra naukowo-dydaktyczna Wydziału składa się z ponad 200 nauczycieli akademickich, wśród których jest 77 pracowników z tytułem profesora. Na Wydziale Fizyki UW studiuje ok. 1000 studentów i ponad 170 doktorantów.

PUBLIKACJE NAUKOWE:

K. Rechcińska, M. Król, R. Mazur, P. Morawiak, R. Mirek, K. Łempicka, W. Bardyszewski, M. Matuszewski, P. Kula, W. Piecek, P.G. Lagoudakis, B. Piętka, and J. Szczytko, *Photonic Engineering of Spin-Orbit Synthetic Hamiltonians in Liquid Crystal Cavities*, Science 08 Nov 2019, DOI: 10.1126/science.aay4182
<https://science.sciencemag.org/content/366/6466/727>

KONTAKTY:

dr hab. Jacek Szczytko
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
tel. +48 225532764
email: Jacek.Szczytko@fuw.edu.pl

dr hab. Barbara Piętka
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

tel. +48 225532764
email: Barbara.Pietka@fuw.edu.pl

POWIĄZANE STRONY WWW:

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

<http://polariton.fuw.edu.pl>
Strona Laboratorium Polarytonowego Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

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

MATERIAŁY GRAFICZNE:

FUW191112b_fot01

https://www.fuw.edu.pl/tl_files/press/images/2019/FUW191112b_fot01.png

Zależność energii (pionowa oś) od kąta pod którym wychodzi spolaryzowane światło z anizotropowej wnęki optycznej (pozioma oś).
(Źródło: Mateusz Król, Wydział Fizyki UW)

FUW191112b_fot02

https://www.fuw.edu.pl/tl_files/press/images/2019/FUW191112b_fot02.png

Tomografia spolaryzowanego kołowo światła odbitego od wnęki optycznej wypełnionej ciekłym kryształem. (Źródło: Mateusz Król, Wydział Fizyki UW)

FUW191112b_fot03

https://www.fuw.edu.pl/tl_files/press/images/2019/FUW191112b_fot03.png

Schemat doświadczenia – polaryzacja kołowa światła (zaznaczona czerwonym i niebieskim kolorem) przechodzącego przez wnękę wypełnioną ciekłym kryształem zależy od kierunku propagacji. (Źródło: Mateusz Król, Wydział Fizyki UW)