



Kraków, 17 czerwca 2020

Kwantowe pierścienie w ryzach laserowego światła

Ultradźwięczne atomy, uwięzione w odpowiednio przygotowanych pułapkach optycznych, mogą się układać w zaskakująco złożone, dotychczas nieobserwowane struktury, twierdzą naukowcy z Instytutu Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie. Zgodnie z ich najnowszymi przewidywaniami, materia w sieciach optycznych powinna w kontrolowany sposób formować rozciągłe i niejednorodne kwantowe pierścienie.

Sieć optyczna to struktura zbudowana ze światła, czyli z fal elektromagnetycznych. Kluczową rolę przy budowie takich sieci odgrywają lasery. Każdy laser generuje bowiem falę elektromagnetyczną o ściśle określonych, stałych parametrach, które mogą być praktycznie dowolnie zmieniane. Przy odpowiednim dopasowaniu paru wiązek lasera można tworzyć sieci o dobrze przewidzianych cechach. Poprzez nakładanie się fal, uzyskuje się minima potencjału, których ułożenie umożliwia symulowanie układów i modeli dobrze znanych z fizyki ciała stałego. Zaletą tak przygotowanych układów jest możliwość dowolnego kształtowania m.in. położenia tych minimów, co w praktyce oznacza możliwość budowy różnych rodzajów sieci.

„Jeśli w tak przygotowany obszar przestrzeni wprowadzimy odpowiednio dobrane atomy, ulokują się one tam, gdzie są minima potencjału. Jest jednak istotny warunek: atomy muszą być schłodzone do ultraniskich temperatur. Tylko wtedy ich energia będzie dostatecznie mała, by nie wyrwały się z subtelnie przygotowanej pułapki”, wyjaśnia dr hab. Andrzej Ptok z Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie.

Struktury formowane przez atomy (lub ich grupy) uwięzione w węzłach sieci optycznej przypominają sieci krystaliczne. W zależności od konfiguracji wiązek laserowych, mogą być one jedno-, dwu- lub trójwymiarowe. W przeciwieństwie do kryształów, są przy tym pozbawione defektów. Co więcej, o ile w kryształach możliwości modyfikowania struktury sieci są znikome, o tyle sieci optyczne można dość łatwo konfigurować. Wystarczy w tym celu odpowiednio zmienić własności światła laserowego lub kąty przecięcia wiązek. Cechy te powodują, że sieci optyczne są chętnie używane w charakterze symulatorów kwantowych. Można za ich pomocą odtwarzać różne konfiguracje przestrzenne atomów lub ich grup, w tym nawet takie, które nie istnieją w przyrodzie.

W swoich badaniach naukowcy z IFJ PAN zajmowali się pułapkowanymi atomami w sieci optycznej. W węzłach takiej sieci umieszczano grupy fermionów, czyli atomów o spinach o wartościach połówkowych (spin jest cechą kwantową opisującą obroty cząstek). W każdym węźle pewna liczba atomów miała spin zorientowany w jednym kierunku („w górę”), a pozostała – w przeciwnym („w dół”). Modyfikowanie oddziaływania między atomami tak, aby było przyciągające, umożliwi utworzenie par atomów będących odpowiednikami par Coopera w nadprzewodnikach – par cząstek o przeciwnych spinach w tym samym węźle.

„Za pomocą parametrów sieci optycznej można wpływać na oddziaływanie między atomami o różnych spinach, uwięzionymi w poszczególnych węzłach. Dodatkowo można w sposób efektywny wyprodukować stan, który odpowiada umieszczeniu układu w zewnętrznym polu magnetycznym. Uzyskuje się to poprzez 'dosypanie' do układu więcej lub mniej atomów o takiej a nie innej orientacji spinu. W ten sposób kontrolujemy proporcje między liczbami atomów o różnych spinach”, mówi dr Konrad J. Kaptcia z IFJ PAN i zauważa, że tak przygotowane układy mogą odtwarzać efekty działania silnych pól magnetycznych – i to bez konieczności używania tych pól. „Jest to możliwe, ponieważ wiemy, jak dane pole magnetyczne wpłynęłoby na różnicę liczby atomów z przeciwnymi spinami”, wyjaśniają naukowcy.

Zgodnie z przewidywaniami krakowskich fizyków, w tak spreparowanych układach powinno dojść do ciekawej separacji faz. W jej efekcie samoczynnie utworzy się rdzeń z par atomów jednej fazy, otoczony pierścieniem par atomów drugiej fazy.

„Całą sytuację można przedstawić za pomocą smakowitego przykładu. Wyobraźmy sobie talerz z ryżem i gęstym sosem. Poprzez odpowiedni dobór talerza, możemy wpływać na ułożenie ryżu względem sosu. Dla przykładu możemy przygotować układ tak, aby ryż ulokował się w środku, a sos utworzył pierścień wokół niego. Z tych samych składników umiemy też skonstruować układ odwrotny: w środku talerza będzie sos otoczony pierścieniem ryżu. Ba, jest też możliwa jeszcze bardziej wyrafinowana konstrukcja: ryż w środku, pierścień sosu, całość otoczona kolejnymi pierścieniami z ryżu. W naszym przypadku talerzem jest pułapka ograniczająca atomy oraz ich pary, a ryż i sos to wspomniane dwie fazy, grupujące różne typy par atomów”, opisuje dr hab. A. Ptok.

Prace fizyków z IFJ PAN, opublikowane w czasopismach „Scientific Reports” oraz „Journal of Physics Communications”, mają charakter teoretyczny. Z uwagi na swą prostotę opisane układy ultrazimnych atomów w pułapkach optycznych mogą jednak zostać szybko zweryfikowane w eksperymentach laboratoryjnych.

Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie zajmuje się strukturą materii i własnościami oddziaływań fundamentalnych od skali kosmicznej po wnętrza cząstek elementarnych. Wyniki badań – obejmujących fizykę i astrofizykę cząstek, fizykę jądrową i oddziaływań silnych, fazy skondensowanej materii, fizykę medyczną, inżynierię nanomateriałów, geofizykę, biologię radiacyjną i środowiskową, radiochemię, dozymetrię oraz fizykę i ochronę środowiska – są każdego roku przedstawiane w ponad 600 artykułach publikowanych w recenzowanych wysoko punktowanych czasopismach naukowych. Częścią Instytutu jest nowoczesne Centrum Cyklotronowe Bronowice, unikalny w skali europejskiej ośrodek obok badań naukowych zajmujący się terapią protonową nowotworów. IFJ PAN jest członkiem Krakowskiego Konsorcjum Naukowego „Materia-Energia-Przyszłość” o statusie Krajowego Naukowego Ośrodka Wiodącego (KNOW) na lata 2012-2017. Instytut zatrudnia ponad pół tysiąca pracowników. W 2017 roku Komisja Europejska przyznała IFJ PAN prestiżowe wyróżnienie „HR Excellence in Research” jako instytucji stosującej zasady „Europejskiej Karty Naukowca” i „Kodeksu Postępowania przy rekrutacji pracowników naukowych”. W klasyfikacji MNiSW Instytut został zaliczony do kategorii naukowej A+ w grupie nauk ścisłych i inżynierskich.

KONTAKT:

dr hab. Andrzej Ptok
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk
tel: +48 12 6628408
email: andrzej.ptok@ifj.edu.pl

PUBLIKACJE NAUKOWE:

1. „Superfluidity of fermionic pairs in a harmonic trap. Comparative studies: Local Density Approximation and Bogoliubov-de Gennes solutions”
A. Cichy, A. Ptok
Journal of Physics Communications 4, 055006 (2020)
DOI: 10.1088/2399-6528/ab8f02 <https://doi.org/10.1088/2399-6528/ab8f02>
2. „Phase separations induced by a trapping potential in one-dimensional fermionic systems as a source of core-shell structures”
A. Cichy, K. J. Kaptcia, A. Ptok
Scientific Reports 9, 6719 (2019)
DOI: 10.1038/s41598-019-42044-w <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42044-w>

POWIĄZANE STRONY WWW:

<http://www.ifj.edu.pl/>

Strona Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk.

<http://press.ifj.edu.pl/>

Serwis prasowy Instytutu Fizyki Jądrowej PAN.

MATERIAŁY GRAFICZNE:

IFJ200617b_fot01s.jpg

HR: http://press.ifj.edu.pl/news/2020/06/17/IFJ200617b_fot01.jpg

Ultrazimne atomy uwięzione w pułapkach optycznych układają się w zaskakująco złożone struktury. W zależności od wzajemnego oddziaływania cząstek o przeciwnych spinach realizowane są lokalnie fazy o różnych właściwościach. (Źródło: IFJ PAN)