



Kraków, 20 listopada 2019

Przeptywy fal magnetycznych od teraz pod lepszą kontrolą

Jeszcze szybsze procesory, o jeszcze mniejszych rozmiarach? Tam, gdzie z wydajnością i miniaturyzacją nie poradzą sobie ani elektronika, ani spintronika, na ratunek przyjdzie magnonika. Lecz zanim to się stanie, naukowcy muszą się nauczyć, jak dokładnie symulować przeptywy fal magnetycznych przez kryształy magnoniczne. W Instytucie Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie właśnie wykonano ważny krok w tym kierunku.

Można się kłócić, czy liczba dziur w serze ma związek z jego jakością czy nie. Fizycy zajmujący się materiałami magnonicznymi nie mają takich dylematów: im więcej dziur w materiale, tym jego właściwości magnetyczne stają się ciekawsze, ale i radykalnie trudniejsze do opisanie i modelowania. W artykule opublikowanym w czasopiśmie „Scientific Reports” grupa fizyków doświadczalnych i teoretycznych z Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie zaprezentowała nowy, doświadczalnie zweryfikowany model, który po raz pierwszy pozwala z dużą dokładnością symulować lokalne zmiany właściwości magnetycznych kryształów magnonicznych. Pod tą egzotyczną nazwą kryją się cienkie, wielowarstwowe struktury metaliczne zawierające regularną siatkę mniejszych lub większych, mniej lub bardziej stykających się ze sobą okrągłych dziur. Krakowskie analizy sugerują ponadto, że zjawiska magnetyczne zachodzące w kryształach magnonicznych są bardziej złożone niż dotychczas przewidywano.

„Wielowarstwowe struktury metaliczne o regularnej siatce okrągłych dziur są badane od niedawna – i nie bez problemów. Rzecz w tym, że owa sieć dziur w dramatyczny sposób zmienia właściwości magnetyczne układu, zwłaszcza sposób, w jaki propagują się w nim fale magnetyczne. Zjawiska stają się tak skomplikowane, że dotychczas nikt nie potrafił ich dobrze opisać i symulować”, mówi dr inż. Michał Krupiński (IFJ PAN).

Elektronika to przetwarzanie informacji za pomocą ładunków elektrycznych elektronów przepływających przez układ. Spintronika, typowana na następczynię elektroniki, również korzysta ze strumieni elektronów, zwraca jednak uwagę nie na ich ładunek elektryczny, lecz na spin (innymi słowy: na właściwości magnetyczne). Na tle obu tych dziedzin magnonika wyróżnia się w sposób zasadniczy. W urządzeniach magnonicznych nie ma żadnych zorganizowanych przepływów nośników. Tym, co przepływa przez układ, są bowiem fale magnetyczne.

Różnice między wspomnianymi dziedzinami łatwiej zrozumieć dzięki analogii ze światem sportu. Gdy stadion zapełnia się lub opróżnia, w jego obrębie płyną strumienie ludzi. Gdyby działała tu elektronika, zwracałaby uwagę na liczbę ludzi wchodzących lub wychodzących ze stadionu. Spintronika także przyglądałaby się przepływowi ludzi, ale interesowałaby ją ruchy osób o włosach ciemnych bądź jasnych. W tej analogii magnonika zajmowałaby się przepływem... meksykańskich fal. Takie fale potrafią okrążyć cały stadion mimo faktu, że żaden kibic nie oddala się od swojego fotela.

Swoje kryształy magnoniczne fizycy z Krakowa wytwarzali z użyciem metody wynalezionej przez prof. Michaela Giersiga z Freie Universität Berlin, a rozwiniętej w IFJ PAN przez dr. Krupińskiego. Pierwszy krok polega tu na naniesieniu nanocząstek z polistyrenu na niemagnetyczne podłoże (np. krzem). Kulki samoczynnie się porządkują, przy czym w zależności od warunków mogą to robić w różny sposób. Podłoże pokryte uporządkowanymi kulkami zostaje następnie poddane w komorze próżniowej działaniu plazmy, co pozwala w kontrolowany sposób zmniejszać średnicę kulek. Na tak przygotowaną próbkę nanosi się cienkie warstwy odpowiednich metali, jedna po drugiej. Po naniesieniu wszystkich warstw materiał przemywa się rozpuszczalnikami organicznymi w celu usunięcia kulek. Efektem końcowym jest periodyczna struktura przypominająca mniej lub bardziej gęste sito, trwale przyklejone do krzemowego podłoża (potencjalnie nie musi być ono sztywne, grupa z IFJ PAN potrafi wytwarzać również podobne struktury np. na podłożach z elastycznych polimerów).

„Badane przez nas układy składały się z 20 naprzemiennie ułożonych warstw kobaltu i palladu. Są to struktury bardzo cienkie. Ich grubość wynosi zaledwie 12 nanometrów, co odpowiada mniej więcej 120 atomom”, informuje dr Krupiński.

W zależności od rozmiarów dziur, między miejscami ich styku tworzą się większe lub mniejsze obszary o kształtach zbliżonych do trójkąta. Atomy w obrębie tych obszarów można namagnesować w ten sam sposób, tworząc tzw. bąble magnetyczne. Bąble mogą służyć do przechowywania informacji, a zmiany ich namagnesowania pozwalają na propagowanie się fal magnetycznych w układzie.

Model teoretyczny, zbudowany w IFJ PAN pod kierunkiem dr. inż. Pawła Sobieszczyka, opisuje zjawiska magnetyczne zachodzące w kryształach o wielkości dwa na dwa mikrometry. W skali mikroświata rozmiary te są ogromne: liczba atomów jest tak duża, że symulowanie zachowań pojedynczych atomów przestaje być możliwe. Jednak z uwagi na wzajemne oddziaływanie magnetyczne, momenty magnetyczne sąsiadnych atomów zwykle są zorientowane w prawie tym samym kierunku. Spostrzeżenie to pozwoliło pogrupować atomy w małe objętości (woksele), które można było traktować jak pojedyncze objekty. Zabieg ten radykalnie obniżył złożoność obliczeniową modelu i umożliwił przeprowadzenie symulacji numerycznych, które zrealizowano w Akademickim Centrum Komputerowym Cyfronet AGH w Krakowie.

„Kluczem do sukcesu okazał się pomysł uwzględnienia w modelu niedoskonałości spotykanych w rzeczywistych kryształach magnonicznych”, mówi dr Sobieszczyk i wylicza: „Przed wszystkim rzeczywiste struktury nigdy nie są idealnymi kryształami. Zwykle to zlepki wielu kryształków zwanych krystalitami. W zależności od rozmiarów i kształtu, krystality mogą mieć różne właściwości magnetyczne. Co więcej, w układzie mogą się pojawić zanieczyszczenia chemiczne. Powodują one, że pewne obszary materiału tracą właściwości magnetyczne. Wreszcie, poszczególne warstwy metaliczne mogą być miejscami cieńsze, miejscami grubsze. Nasz model działa tak precyzyjnie, ponieważ uwzględnia wszystkie te efekty”.

Zaprezentowany model przewiduje istnienie ciekawego, dotychczas nieobserwowanego zjawiska. Gdy dwa sąsiednie bąble są namagnesowane przeciwnie, momenty magnetyczne atomów między nimi mogą zmieniać swoją orientację albo obracając się równoległe do płaszczyzny warstwy, albo prostopadle. Między bąblami tworzy się wówczas coś w rodzaju ścian, w pierwszym przypadku nazywanych ścianami Blocha, w drugim – ścianami Néela. Dotychczas zakładano, że w danym kryształach magnonicznych mogą występować tylko ściany jednego rodzaju. Model opracowany przez fizyków z IFJ PAN sugeruje, że w tym samym kryształach możliwe jest występowanie ścian magnetycznych obu rodzajów.

Magnonika dopiero raczkuje. Droga do złożonych procesorów – mniejszych, szybszych, na dodatek o strukturze logicznej, którą można byłoby przeprogramowywać zależnie od potrzeb – jest jeszcze daleka. Pamięci magnoniczne i nowatorskie czujniki, zdolne wykrywać niewielkie ilości substancji, wydają się bardziej realne. Zrozumienie mechanizmów odpowiedzialnych za własności magnetyczne kryształów magnonicznych i sposoby przepływu fal magnetycznych przybliży nas ku tego typu urządzeniom. To ważny krok, po którym z pewnością przyjdą następne.

Instytut Fizyki Jądrowej PAN (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 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 klasyfikacji MNiSW Instytut został zaliczony do kategorii naukowej A+ w grupie nauk ścisłych i inżynierskich.

KONTAKT:

dr inż. **Michał Krupiński**
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk
tel.: +48 12 6628244
email: michal.krupinski@ifj.edu.pl

dr inż. **Paweł Sobieszczyk**
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk
tel.: +48 12 6628481
email: pawel.sobieszczyk@ifj.edu.pl

PUBLIKACJE NAUKOWE:

1. „Magnetic reversal in perpendicularly magnetized antidot arrays with intrinsic and extrinsic defects”
M. Krupiński, P. Sobieszczyk, P. Zieliński, M. Marszałek
Scientific Reports vol. 9, 13276 (2019)
DOI: 10.1038/s41598-019-49869-5

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:

IFJ191120b_fot01s.jpg

HR: http://press.ifj.edu.pl/news/2019/11/20/IFJ191120b_fot01.jpg

Bąble magnetyczne, czyli miejsca o takim samym namagnesowaniu, tworzą się na „trójkątnych” wyspach między dziurami kryształu magnonicznego (strzałki w kolorze zielonym). Badacze z Instytutu Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie zbudowali model, który po raz pierwszy pozwala dokładnie przewidywać zmiany namagnesowania takich bąbli. (Źródło: IFJ PAN)