



Kraków, 3 czerwca 2020 r.

Anizotropia relaksacji spin-sieć w magnetykach molekularnych

Zespół uczonych z Zakładu Magnetyzmu Molekularnego Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk we współpracy z naukowcami z Źeńskiego Uniwersytetu w Narze (Japonia) i Uniwersytetu Jagiellońskiego wykonał kolejny ważny krok w kierunku zbudowania funkcjonalnego komputera kwantowego. Wykorzystując materiał zawierający jony terbu oraz specjalny układ pomiarowy, badacze dokonali szczegółowej analizy dynamicznych właściwości magnetycznych w pojedynczych magnesach molekularnych w zależności od ich orientacji w polu magnetycznym. Odkryta wyraźna anizotropia tych własności będzie mieć kluczowe znaczenie przy konstruowaniu podzespołów elektroniki molekularnej.

Jednym z największych wyzwań stojących przed współczesną nauką jest zbudowanie komputera kwantowego, który zrewolucjonizuje technologię informatyczną. Obecnie poszukuje się różnych rozwiązań mogących prowadzić do skonstruowania takiego urządzenia. Wśród nich można wymienić układy nadprzewodzące, kropki kwantowe oraz fotony we wnęce rezonansowej. Prowadzone są również intensywne badania nad wykorzystaniem do tego celu magnesów molekularnych zbudowanych z pojedynczych cząsteczek o rozmiarach rzędu 1 nm (SMM – Single Molecular Magnets). W tym celu należy nie tylko znaleźć materiały o odpowiednich cechach, ale również dokładnie zrozumieć zachowanie molekuł magnetycznych. Jednym z kluczowych kierunków badań w tym zakresie okazuje się być dynamika właściwości magnetycznych. Te tak zwane relaksacje magnetyczne informują o tym, w jaki sposób zmieniają się w czasie właściwości magnetyczne danej substancji. W świecie kwantowym taka dynamika jest bogatym i skomplikowanym zjawiskiem, dlatego naukowcy intensywnie analizują różne jej aspekty.

Dotychczasowe badania ujawniły możliwość użycia magnetyków molekularnych przy tworzeniu komórek pamięci lub tranzystora spinowego. Naukowcy potrafią też umieszczać pojedyncze molekuly na odpowiednim podłożu i budować z nich proste układy elektroniczne. Pomiar potwierdza, że relaksacje magnetyczne odgrywają kluczową rolę w działaniu układów molekularnych. Z drugiej strony wiadomo, że dynamika właściwości magnetycznych zależy od anizotropii statycznych właściwości magnetycznych. Jednak w większości dotychczasowych badań nad molekułami magnetycznymi albo nie sprawdzano wpływu orientacji badanej molekuly na jej dynamiczne właściwości magnetyczne, albo dokonywano tego jedynie w ograniczonym zakresie.

Dlatego też zespół naukowców z Zakładu Magnetyzmu Molekularnego Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk pod kierunkiem dra inż. Piotra Koniecznego postanowił sprawdzić, w jaki sposób dynamiczne właściwości magnetyczne pojedynczych magnesów molekularnych zmieniają się w zależności od orientacji tych cząsteczek. Zdecydowana większość badań nad relaksacjami magnetycznymi jest prowadzona na materiale w formie proszku, czyli chaotycznie zorientowanych kryształitach lub polikryształach, co uniemożliwia analizę sposobu zmian tych właściwości w zależności od orientacji molekuly. Grupa z Krakowa postanowiła zatem zbadać pojedynczy kryształ – monokryształ – w którym wszystkie molekuly są zorientowane w identyczny sposób. Takie założenie umożliwiło przyjrzenie się efektom występującym w pojedynczej molekule. Aby tego dokonać, należało również zbudować odpowiedni układ pomiarowy, który pozwoli zbadać relaksacje magnetyczne w zależności od orientacji badanej substancji.

Poszukiwaliśmy materiału spełniającego odpowiednie wymogi, czyli charakteryzującego się silną anizotropią magnetyczną i posiadającego możliwość syntezy odpowiedniej jakości kryształu, a jednocześnie prowadziliśmy prace nad układem pomiarowym, który umożliwi badanie dynamiki magnetycznej przy pomocy zmiennoprądowej podatności magnetycznej – wyjaśnia dr inż. Konieczny. – Odpowiedni kryształ udało nam się znaleźć dopiero w Japonii, w laboratorium prof. Takashiego Kajiwary z Źeńskiego Uniwersytetu w Narze. W międzyczasie prowadziliśmy badania różnych polimerów, które miały zostać użyte do konstrukcji układu pomiarowego. Tworzywa sztuczne wykazujące najsłabszy sygnał magnetyczny oraz dobrze znoszące niskie temperatury (2,0 K) zostały użyte do budowy w pełni działającego prototypu urządzenia. Wykonane pomiary potwierdziły nasze przypuszczenia: relaksacje magnetyczne zależą od orientacji molekuly, a zatem wykazują anizotropię. Zaskoczyło nas, że zależność ta była aż tak silna. Jednak analiza teoretyczna pozwoliła nam na ilościowe wytłumaczenie zaobserwowanego efektu.

Badania przeprowadzono z wykorzystaniem komercyjnego magnetometru typu SQUID. W celu przeanalizowania magnetycznej dynamiki rzędu 0,1–1000 Hz należało posłużyć się metodą zmiennoprądowej podatności magnetycznej. Ta technika jest powszechnie używana do badania relaksacji magnetycznych. Natomiast innowacją było zastosowanie aparatury pomiarowej, która umożliwiła badanie anizotropii dynamicznych właściwości magnetycznych (czyli relaksacji magnetycznych). Odpowiedni układ został zbudowany w IFJ PAN na potrzeby opisywanych badań. Pozwala obracać kryształ wewnątrz magnetometru w bardzo niskich temperaturach (2 K), wysokich polach magnetycznych (7 T) i w szerokim zakresie częstotliwości pola elektromagnetycznego (od 0,1 Hz do 1500 Hz). Urządzenie zostało zaprojektowane i skonstruowane w taki sposób, aby niepożądany sygnał tła był jak najniższy. Dzięki temu istnieje możliwość badania dynamiki magnetycznej nawet niewielkich kryształów.

Materiał badawczy – magnetyk molekularny na bazie jonu terbu – został zsyntetyzowany i zbadany strukturalnie przez grupę prof. Kajiwary, natomiast większość analiz teoretycznych i doświadczalnych przeprowadzono w IFJ PAN. Badania potwierdziły, że molekuly magnetyczne mogą wykazywać anizotropię dynamicznych właściwości magnetycznych. W wyselekcjonowanej molekułe, przypominającej kształtem śrubę okrętową, relaksacje magnetyczne ulegają czterokrotnemu przyśpieszeniu, gdy obróci się ją o 80 stopni.

Dzięki opisanym badaniom naukowcy dowiedzieli się, jak mogą się zmieniać relaksacje magnetyczne w pojedynczych molekułach w zależności od ich orientacji. Wiedza ta pozwoli lepiej projektować układy molekularne do zastosowań w spintronice oraz komputerach kwantowych. Dziś już wiadomo, że sposób zorientowania molekuł ma istotny wpływ na działanie tego rodzaju mechanizmów. Udało się również zbudować układ pomiarowy, który pozwoli na bardziej szczegółowe badanie magnetycznej dynamiki materiałów.

Nasze badania pozwalają lepiej zrozumieć zachowanie pojedynczych molekuł magnetycznych – mówi dr inż. Konieczny. – Teraz wiemy, że, budując na przykład tranzystor molekularny, musimy zwrócić szczególną uwagę na orientację cząsteczki w konstruowanym układzie. Przypadkowa orientacja molekuł spowoduje chaotyczne działanie układów elektronicznych lub spintronicznych. Natomiast identyczne ułożenie cząsteczek zapewni ich harmonijne współdziałanie i lepszą kontrolę.

Wyniki uzyskane przez naukowców z IFJ PAN są szczególnie istotne dla inżynierów, którzy projektują i budują układy elektroniczne nowej generacji wykorzystujące molekuly magnetyczne. *Nasze dalsze prace badawcze będą nadal koncentrować się na dynamicznych właściwościach magnetycznych magnesów molekularnych – podsumowuje dr inż. Konieczny. – Wierzymy, że dogłębne poznanie zachodzących w nich zjawisk przybliży nas do stworzenia w pełni funkcjonalnego molekularnego komputera kwantowego.*

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 kategoryzacji MNiSW Instytut został zaliczony do kategorii naukowej A+ w grupie nauk ścisłych i inżynierskich.

KONTAKT:

dr inż. Piotr Konieczny
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk
tel. +48 12 662 8019
e-mail: piotr.konieczny@ifj.edu.pl

PUBLIKACJE NAUKOWE:

1. Piotr Konieczny, Robert Pelka, Yuka Masuda, Shiomi Sakata, Saori Kayahara, Natsumi Irie, Takashi Kajiwara, Stanisław Baran „Anisotropy of Spin–Lattice Relaxations in Mononuclear Tb³⁺ Single-Molecule Magnets”
The Journal of Physical Chemistry C 124 (2020) 7930-7937
DOI: 10.1021/acs.jpcc.9b11057

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:

IFJ20200603_foto1s.jpg

HR: http://press.ifj.edu.pl/news/2020/06/03/IFJ20200603_foto1s.jpg

Kątowo-rozdzielcza magnetyczna podatność zmiennoprądowa pomaga zrozumieć dynamikę właściwości magnetycznych w pojedynczych magnesach molekularnych (SMM). (Źródło: IFJ PAN)