

Nový typ magnetu zanechává otisk v rentgenovém spektru

20.1.2026 - | Matematicko-fyzikální fakulta UK

Vědecká skupina z Matfyzu ukázala, že v nově objevené třídě magnetických materiálů, tzv. altermagnetech, lze rozlišit „pravotočivost“ a „levotočivost“ magnetických vln pomocí rentgenového záření. V naměřeném spektru se to projeví jako měřitelný rozdíl v intenzitě signálu, který se s orientací krystalu pravidelně mění, a vytváří tak dobře rozpoznatelný „otisk“ symetrie materiálu.

V časopise *Nature Communications* vědci publikovali studii, ve které popisují, že magnony, kvanta spinových vln, které popisují kolektivní chvění magnetických momentů v materiálu, mohou vykazovat „pravotočivost/levotočivost“ neboli chiralitu, která zanechává v rezonančním nepružném rentgenovém spektru altermagnetu výrazný měřitelný otisk. Zatímco u feromagnetických materiálů, např. těch používaných v ledničkových magnetech, elektromotorech či větrných turbínách, se takové jevy běžně pozorují, u anti-feromagnetických materiálů nejsou charakteristické a obvykle se navzájem ruší. Nedávno byla na Fyzikálním ústavu Akademie věd ČR identifikována nová třída materiálů, již zmíněné altermagnety, které sdílejí některé vlastnosti feromagnetů, a tím otevírají nové možnosti výzkumu i aplikací.

Metoda

Tým použil špičkovou měřicí techniku zvanou rezonanční nepružný rentgenový rozptyl (RIXS - Resonant Inelastic X-ray Scattering). Při měření se střídalo pravotočivě a levotočivě kruhově polarizované rentgenové světlo a zároveň se vzorek postupně otáčel. Ukázalo se, že krystal reaguje na různé polarizace nepatrně odlišně. Tomuto rozdílu v intenzitě rozptýleného záření se říká kruhový dichroismus.

„Zachytili jsme jednoznačný, měřitelný projev chirálních magnonů, takže jejich chování lze pomocí poměrně jednoduchého měření využít jako nástroj ke zkoumání altermagnetických vlastností,“ říká Petr Čermák z Univerzity Karlovy, který studii vedl. V oblasti magnonového signálu se tento rozdíl při otáčení krystalu mění přesně v souladu s jeho trojčetnou symetrií a výsledný vzor v datech tak představuje charakteristický „otisk“ chování magnonů v altermagnetu.

Pozadí výzkumu

Výzkumný projekt Petra Čermáka Magnetoelastic Materials beyond Born-Oppenheimer Approximation (MaMBA) byl podpořen prestižním grantem GAČR JUNIOR STAR. Vědci se do studia altermagnetů pustili ihned poté, co byla v roce 2022 teoreticky předpovězena jejich existence, ale brzy se dostali do slepé uličky. Vývoj projektu rozhodně nebyl přímočarý.

„Jako výzkumník specializující se na neutronový rozptyl jsem plánoval zkoumat rozštěpení magnonové energie pomocí neutronů, protože jsou mimořádně citlivé na magnetické vlastnosti,“ vysvětluje Nikolaos Biniskos, první autor studie. Tato cesta se však ukázala jako obtížná a první rozštěpení bylo nakonec detekováno v materiálu MnTe jiným vědeckým týmem z Japonska (*Physical Review Letters* 133, 156702 (2024)).

Výzkumná skupina Petra Čermáka následně zkusila pracovat se sloučeninou CrSb, která se ukázala být také mimořádně slibným kandidátem: je kovová, patří mezi první identifikované altermagnety a

udržuje své magnetické uspořádání i při pokojové teplotě. To ale zároveň znamená, že magnonové stavy v CrSb leží ve velmi vysokých energiích. „*V této energetické oblasti jsou neutronová měření v praxi nedostupná, takže požadované jevy pomocí neutronů prostě neuvidíme,*“ upozorňuje Biniskos. Aby on a jeho kolegové tyto experimentální výzvy překonali, připravili návrh na provedení rentgenových měření na synchrotronu Diamond Light Source poblíž Oxfordu.

Experiment probíhal při pokojové teplotě, bez potřeby chlazení či magnetického pole, na přístroji s označením I21, který nabízí vysoké energetické i prostorové rozlišení. K úspěchu navíc přispěla i vlastnost zkoumaného krystalu: magnetické domény v CrSb jsou dostatečně velké, takže se rentgenový paprsek mohl mezi nimi snadno přesouvat. Důležitou roli sehrál doktorand MFF UK David Sviták, který strávil hodiny pečlivým skenováním vzorku, aby identifikoval sousedící domény s opačnou chiralitou, u nichž se dichroický signál opravdu převracel.

Zjištění

Vědecký tým ukázal, že síla kruhového dichroismu magnonů se mění spolu se směrem Néelova vektoru, což je směr, který popisuje magnetické uspořádání uvnitř materiálu. Detekovaný vzor signálu přesně odpovídá tomu, co teorie předpovídá. „*Jde o praktickou metodu, jak zjistit, v jakém magnetickém stavu se systém nachází, i v případech, kdy jednotlivé magnonové signály nelze v energetickém spektru samostatně rozlišit,*“ dodává Biniskos.

Teoretickou oporu výzkumu poskytl Manuel dos Santos Dias, spoluautor studie, který provedl analýzu v laboratoři STFC Daresbury. Jeho modely potvrdily všechna naměřená data. Zatímco u MnTe bylo možné přímo rozlišit energetické rozštěpení magnonů, kruhově polarizované RIXS dokáže rozeznat i signály s podobnou energií, protože se pro pravotočivé a levotočivé světlo chovají opačně. Na světě je pouze několik přístrojů, které mohou provádět tento typ měření, v Evropě je tato možnost v současnosti dostupná jen na již zmíněném přístroji I21.

Autoři výzkumu na závěr dodávají, že tento přístup lze snadno přenést i na jiné altermagnety a může pomoci zmapovat, kdy a jak se v jejich spektrech magnonů chiralita projevuje. „*Jde o jednoduchý postup, který mohou převzít i další laboratoře. Symetrií určený magnonový signál doplňuje dosavadní elektronové studie a zároveň otevírá cestu k systematickému zkoumání chirálních magnonů v celé řadě dalších materiálů,*“ uzavírá Petr Čermák.

<https://www.mff.cuni.cz/cs/verejnost/aktuality/novy-typ-magnetu-zanechava-otisk-v-rentgenovem-spektru>