

## TISKOVÁ ZPRÁVA

Praha 15. února 2024

Akademie věd ČR  
Národní 1009/3, 110 00 Praha 1  
www.avcr.cz

## VĚDCI EXPERIMENTÁLNĚ POTVRDILI ALTERMAGNETISMUS

**Mezinárodní tým vědců boří v článku publikovaném v časopise *Nature* tradiční představu o dělení magnetismu na dvě větve – několik tisíciletí známou feromagnetickou a antiferomagnetickou, objevenou přibližně před sto lety. Výzkumníkům se nyní podařilo experimentálně prokázat třetí altermagnetickou větev teoreticky předpovězenou vědci z Prahy a Mohuče před několika lety.**

Pod pojmem magnet si obvykle představíme feromagnet, který má silné magnetické pole, díky němuž udrží nákupní seznam na lednici nebo umožní funkci elektromotoru v elektrickém automobilu. Magnetické pole feromagnetu vzniká, když je magnetické pole milionů jeho atomů sladěno ve stejném směru. Toto magnetické pole lze také využít k modulaci elektrického proudu v součástkách IT.

### Omezení dosud známých magnetických větví pro IT

Feromagnetické pole zároveň ale představuje vážné omezení prostorové a časové škálovatelnosti součástek. Významná pozornost výzkumu posledních let se tak upjala k druhé, antiferomagnetické větvi. Antiferomagnety jsou méně známé, ale v přírodě mnohem běžnější materiály, ve kterých se směry atomových magnetických polí na sousedních atomech střídají podobně jako bílá a černá barva na šachovnici. Antiferomagnety tedy jako celek nevytvářejí nežádoucí magnetická pole, ale bohužel jsou natolik antimagnetické, že zatím nenašly uplatnění v IT.

### Altermagnety kombinují „neslučitelné“ přednosti

*„Nedávno předpovězené altermagnety kombinují přednosti feromagnetů a antiferomagnetů, které byly považovány za principiálně neslučitelné, a navíc mají také další jedinečné přednosti, jež se v ostatních větvích nevyskytují,“* říká Tomáš Jungwirth z Fyzikálního ústavu Akademie věd ČR.

Altermagnety si můžeme představit jako magnetické uspořádání, kde se střídají nejen směry magnetických polí na sousedních atomech, ale také se střídá prostorová orientace atomů v krystalu. Nicméně vnitřní magnetická pole modulují elektrický proud obdobně jako u feromagnetů. Tato kombinace vlastností je potenciálně velmi atraktivní právě pro aplikace v budoucí ultraškálovatelné nanoelektronice.

Kontakt pro média: **Markéta Růžičková**  
Divize vnějších vztahů AV ČR  
press@avcr.cz  
+420 777 970 812

**Petra Köppl**  
Fyzikální ústav AV ČR  
koppl@fzu.cz  
+420 603 706 597

Vědci navíc identifikovali více než 200 materiálových kandidátů na altermagnetismus s vlastnostmi pokrývajícími izolanty, polovodiče, kovy, a dokonce supravodiče. Výzkumné skupiny mnohé z těchto materiálů v minulosti zkoumaly, ale jejich altermagnetická povaha jim zůstala ukryta.

### **Teoretici předpověděli altermagnetickou větev před pěti roky**

Od roku 2019 [zveřejnil](#) tým z Fyzikálního ústavu AV ČR v Praze a Gutenbergovy univerzity v Mohuči sérii článků, v nichž teoreticky identifikoval nekonvenční magnetické materiály. V roce 2021 teoretici [předpověděli](#), že tyto materiály tvoří třetí fundamentální typ magnetu, které označili jako altermagnety. Jejich krystalová a magnetická struktura je zcela odlišná od konvenčních feromagnetů a antiferomagnetů (slovy fyziků altermagnety mají zcela jiné symetrie než feromagnety nebo antiferomagnety).

Vzhledem k tomu, že altermagnetismus otevírá široké a nebývalé možnosti výzkumu a využití, téměř okamžitě po teoretické předpovědi přišla vlna následných studií výzkumných skupin z celého světa. Pak už bylo jen otázkou času, kdy se podaří přinést první přímé experimentální důkazy.

### **Důkazy na „klasickém“ antiferomagnetu**

Mezinárodní tým nyní takové důkazy přináší ve studii publikované v časopise [Nature](#). Vědci prozkoumali krystaly jednoduchého dvouprvkového altermagnetického kandidáta – teluridu manganatého (MnTe). Tradičně byl tento materiál považován za jeden z klasických antiferomagnetů, protože magnetická pole na sousedních atomech manganu míří opačně, a tak kolem materiálu nevytvářejí vnější magnetické pole.

V časopisu [Nature](#) nyní vědci ale poprvé přímo prokázali altermagnetismus v MnTe. Vědci využili teoretických předpovědí, aby mohli navigovat, jakým směrem si mají ve fotoemisním experimentu „posvítit“ na vysoce kvalitní krystaly MnTe.

Tým na synchrotronu naměřil pásové struktury (mapy, které fyzici používají k popisu vlastnosti elektronů v krystalech), s jejichž pomocí byl schopen dokázat, že navzdory absenci vnějšího magnetického pole jsou elektronické stavy v MnTe silně spinově rozštěpené. Škála a tvar spinového štěpení přesně odpovídá předpovězenému altermagnetickému štěpení pomocí kvantově mechanických výpočtů. To je přímý důkaz, že MnTe není ani konvenční antiferomagnet, ani konvenční feromagnet, ale patří do nové, altermagnetické větve magnetických materiálů.

Studie využila expertizu vědců Fyzikálního ústavu AV ČR ve spolupráci s vědci ze Západočeské univerzity v Plzni, Univerzity Karlovy, Institutu Paula Scherrera ve Švýcarsku, Gutenbergovy univerzity v Mohuči v Německu, Univerzity Johannese Keplera v Linci v Rakousku a Univerzity v Nottinghamu ve Velké Británii.

### **Nové směry světového výzkumu**

*„Po prvních předpovědích a s rychle rostoucím celosvětovým zájmem o altermagnetismus a vzhledem k tomu, že mnoho teoreticky identifikovaných kandidátů na materiály bylo dobře známých a široce dostupných, jsme věděli, že je jen otázkou času, kdy budou provedeny první přímé experimentální důkazy. Jsme rádi, že jsme mohli být součástí i koordinátorem této úvodní práce, kterou jsme uskutečnili společně s kolegy z českých, švýcarských, rakouských, německých a britských laboratoří,“* říká Tomáš Jungwirth z Fyzikálního ústavu AV ČR a dodává: *„Objev altermagnetismu nastartoval nové směry světového výzkumu v oblasti nových fyzikálních a materiálových principů vysoce škálovatelných a energeticky úsporných IT součástí.“* Objev altermagnetismu v MnTe je tedy teprve začátek nového směru v magnetismu.

Více informací: prof. **Tomáš Jungwirth**, Ph.D.  
Fyzikální ústav AV ČR  
jungw@fzu.cz

**Libor Šmejkal**, Ph.D.  
Fyzikální ústav AV ČR  
smejkal@fzu.cz

Publikace: <https://www.nature.com/articles/s41586-023-06907-7>

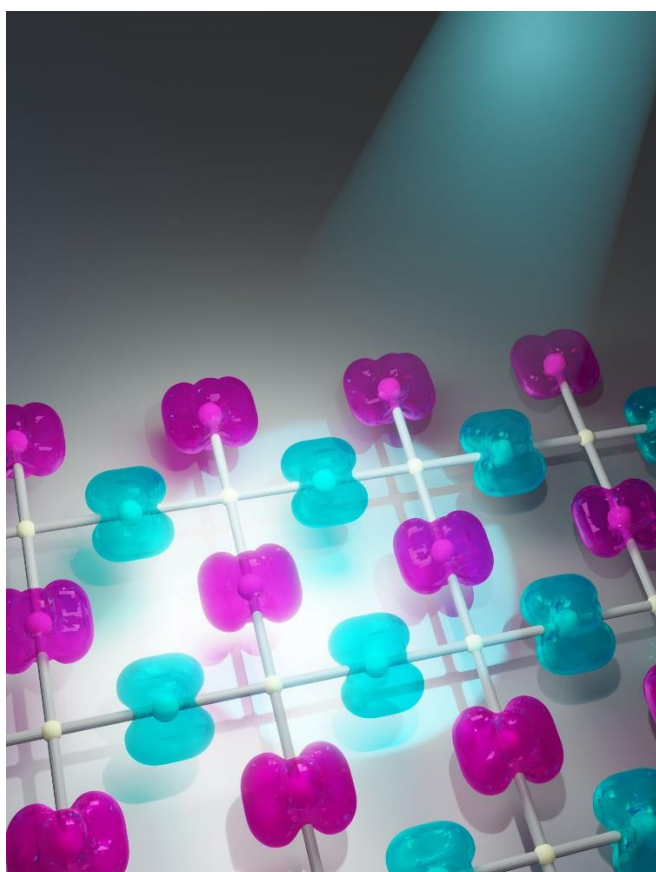
#### O autorech článku:

**Libor Šmejkal**, hlavní autor teorie zveřejněné v článku v časopise *Nature* a bývalý doktorand v Praze a Mohuči, je vítězem soutěže *Falling Walls Science Breakthroughs of the Year 2023* za teoretickou práci v oblasti altermagnetismu a nedisipativní nanoelektroniky.

**Dominik Kriegner**, spoluautor experimentů z Prahy, získal prémii *Lumina quaeruntur* Akademie věd ČR na rozvoj materiálového portfolia altermagnetismu.

**Helena Reichlová**, další pražská experimentátorka podílející se na článku v *Nature*, založila centrum *Dioscuri* Společnosti Maxe Plancka pro výzkum spinkaloritroniky a magnoniky v oblasti altermagnetismu.

**Tomáš Jungwirth** zahájil svůj druhý ERC Advanced Grant zaměřený na aplikace altermagnetismu ve spintronických IT. Altermagnetismus patří také mezi ústřední témata nedávno oceněného projektu 20 MEUR koordinovaného Tomášem Jungwirthem a financovaného z prostředků EU v rámci Operačního programu Jana Amose Komenského.



*V altermagnetech na sousedních magnetických atomech alternují nejen směry spinové polarizace (znázorněné fialovou a modrou barvou), ale také samotné tvary atomu (znázorněné nakloněním činkovitě tvarovaných elektronových hustot do dvou různých směrů). Modrý paprsek znázorňuje fotoemisní experiment na synchrotronu, který byl použit k prokázání altermagnetismu.*

*Kredit: Libor Šmejkal, Anna Birk Hellenes*