

Új optikai jelenségek multiferro anyagokban és mágneses nanoszerkezetekben

A projekt keretében a következő területeken végeztünk kutatásokat:

- A multiferro, azaz egyszerre ferromágneses és ferroelektromos, rendeződést mutató anyagok a mágneses információtárolás egy új generációja előtt nyithatják meg az utat, ahol a mágneses bitek elektromos térrel írhatók. Vizsgálataink azt mutatják, hogy ezen anyagok az optikai kommunikációban is kiválóan alkalmazhatók lehetnek optikai diódaként, mivel különböző mértékben nyelik el az egymással ellentétes irányban terjedő fénynyalábokat. Ezen vizsgálatokat kiterjesztettük a multiferro rendeződést mutató anyagok széles körére, szisztematikusan feltárva az optikai egyenirányításért felelős anyagi paramétereiket.
- A kutatócsoportunk által kifejlesztett magneto-optikai elven működő maláriadiagnosztikai eszközt több lépcsőben teszteltük, az eszköz sikeres klinikai validálásával bezárólag. Az MTA-TTK-val együttműködésben létrehoztunk egy maláriakutató laboratóriumot, ahol a fenti magneto-optikai diagnosztikai eszközzel végezzük antimaláriás hatóanyagok tesztelését parazitakultúrákon illetve újabb, fizikai elven működő diagnosztikai módszereket fejlesztünk ki.
- Új fajta, mezoszkopikus mágneses részecskék, az ún. mágneses skyrmionok megjelenését és tulajdonságait kutattuk inverziós szimmetriát sértő kristályokban. A mágneses skyrmionok mérete jóval kisebb lehet a mai mágneses merevlemezekben bitként funkcionáló ferromágneses doméneknél, azaz a skyrmion-bit alapú mágneses adathordozók információsűrűsége nagyságrendekkel meghaladhatja a napjainkban használt merevlevezekét. Az általunk elsőként megfigyelt Néel-típusú skyrmionok a mágneses mintázat mellett elektromos polarizációt is hordoznak. Az ehhez kapcsolódó magnetoelektromos effektust és lehetséges alkalmazásait is vizsgáltuk számos anyag esetén.

A projekt keretében eddig 33 közlemény jelent referált nemzetközi folyóiratokban.

Kiemelkedő kutatási eredmények

- Két alacsony hőmérsékleten multiferro rendeződést mutató anyag, a $\text{CaBaCo}_4\text{O}_7$ és a LiCoPO_4 esetén megmutattuk, hogy a bennük ellentétes irányban terjedő fénynyalábok elnyelődésében fellépő különbség oly mértékű lehet, hogy ezen anyagok egyik irányból átlátszóak, míg az ellentétes irányból nézve átlátszatlanok és ezen optikai egyenirányító funkció mágneses tér segítségével kapcsolható. A LiCoPO_4 további érdekessége, hogy az optikai egyenirányító funkció nem csak mágneses, hanem elektromos térrel is kapcsolható és ez az állapot memóriként fennmarad az elektromos és mágneses terek kikapcsolását követően is. A jelenséget megvizsgáltuk a már szobahőmérsékleten multiferro rendeződéssel bíró BiFeO_3 kristályok esetén is. Azt találtuk, hogy alacsony hőmérsékleten ezen anyag is optikai egyenirányítóként viselkedik a gigahertz-terahertz frekvenciatartományban és a jelenség szobahőmérsékleten is jelen van. Elméleti modelleket dolgoztunk ki a dinamikus magnetoelektromos effektus leírására, mely a multiferro rendeződést mutató anyagok optikai egyenirányításáért felelős. Az optikai tulajdonságok mellett vizsgáltuk a multiferro rendeződést kísérő mágneses és kristályszerkezeti változásokat $\text{CaBaCo}_4\text{O}_7$, $\text{Ca}_2\text{CoSi}_2\text{O}_7$, $\text{Ba}_2\text{CoGe}_2\text{O}_7$, $\text{Sr}_2\text{CoGe}_2\text{O}_7$ és $\text{TbFe}_3(\text{BO}_3)_4$ kristályokban. Egy új mágneses kristályt, a $\text{CaBaFe}_4\text{O}_7$ -ot állítottuk elő, melyről azt találtuk, hogy szobahőmérséklet közelében multiferro rendeződést mutat.

Új optikai jelenségek multiferro anyagokban és mágneses nanoszerkezetekben

- Megtörtént a maláriadiagnosztikai eszköz validálása parazita sejt kultúrákon és egérkísérletekben. Mindkét vizsgálat a módszer kiváló érzékenységét bizonyította, miszerint már a fiatal kórokozók kimutathatók a vérben alacsony fertőzöttségi szint, már 0.0008% parazitémia esetén. Az egérkísérletek azt is megmutatták, hogy a hamis pozitív diagnosis mindössze a gyógyulást követő 3-5 napra korlátozott. A sejt kultúrákon végzett kísérletek azt is megmutatták, hogy a diagnosztikai alkalmazás mellett az eszköz kiválóan alkalmas maláriaellenes gyógyszerek tesztelésére is. A diagnózis szempontjából perdöntő klinikai tesztek (Mahidol Vivax Research Center of Mahidol University in Bangkok, Thaiföld) azt mutatták, hogy módszerünk képes diagnosztizálni olyan betegeket is, ahol egy millió vörösvértestből mindössze 1-2 fertőzött, vagyis a módszerünk érzékenysége meghaladja a *gold standard*-ként használt optikai mikroszkópos kimutatását. Ezt megerősítették egy Pápua Új-Guineában gyűjtött nagyobb humán mintakészleten végezett diagnosztikai méréseink, melyek az Országos Epidemiológiai Központban folytak. Vizsgáltuk más új maláriadiagnosztikai módszerek potenciálját is. A maláriakutatás csoportunk egyik kiemelt kutatási vonala lett. Ehhez kapcsolódóan létrehoztunk az MTA TTK-n Prof. Vértessy Beátával közösen egy Közép-Európában egyedülálló maláriakutató labort, ahol a magneto-optikai diagnosztikai eszközzel végezzük antimaláriás hatóanyagok tesztelését parazitakultúrákon illetve újabb, fizikai elven működő diagnosztikai módszereket fejlesztünk ki. A malária diagnosztikán kívül két más biológiai irányultságú témában, spektroszkópiai fehérje szerkezetmeghatározás és optikai csipeszek alkalmazása terén értünk el eredményeket.
- Mezoszkopikus periodicitású mágneses vortexrács, ún. skyrmion kristály, megjelenését figyeltük meg a multiferro GaV_4S_8 kristályokban. Az anyag sajátja, hogy az általunk megfigyelt ún. Néel-típusú skyrmion kristály létezését eddig csak elméletileg jósolták meg, valós anyagokban nem tudták kimutatni. Ezen vizsgálatokat kiterjesztettük az anyagcsalád másik két tagjára, GaV_4Se_8 és $GaMo_4S_8$, ahol a skyrmion rács állapot zérus hőmérséklet közelében is stabil marad. Elektron spin rezonancia spektroszkópiával meghatároztuk a Néel-típusú skyrmion rács kollektív mágneses gerjesztéseit és a kristály mágneses anizotrópiáját. A mágneses tulajdonságok feltérképezésén túl azt találtuk, hogy ezen anyagok ferroelektromosak és a mágneses skyrmionok lokális elektromos polarizációt hordoznak. A mágneses és elektromos rendeződés összekapcsolódása magnetoelektromos effektust eredményez, hasonlóan az általunk neutron szórással vizsgált, skyrmion fázisú Cu_2SeO_3 kristályokhoz. Az anyagcsalád két tagjának (GaV_4S_8 és GeV_4S_8) elektronszerkezetét és rácsdinamikáját optikai spektroszkópia mérésekkel tanulmányoztuk. Elméleti modellel vizsgáltuk, hogy az általunk elsőként megfigyelt Néel-típusú skyrmionok hogyan deformálhatók a tengelyükkel nem prhuzamosan mutató mágneses terekkel.

Infrastrukturális fejlesztések

- Csoportunk új optikai laboratóriumot kapott hélium visszatérő rendszerrel felszerelve. A magneto-optikai spektrométer rendszer bővítéséhez vásároltunk egy nagyméretű optikai asztalt és egy infravörös bolométer detektort. Egy másik optikai asztal is elhelyezésre került az új laboratóriumban.
- Elkészítettük és a portugál együttműködő félnél (Instituto de Medicina Molecular) illetve az amerikai együttműködő csoportnál (Tulane University) üzembe helyeztük a magneto-optikai maláriadiagnosztikai eszköz egy-egy új példányát, melyekkel parazita kultúrákon

Új optikai jelenségek multiferro anyagokban és mágneses nanoszerkezetekben

és egérkísérletekben folytak/folynak tesztmérések. A Portugáliában használt eszközt használtuk a thaiföldön folyó klinikai tesztekhez.

- A projekt első évében üzembe helyezett időfelbontásos terahertz spektrométert, mely által lefedett spektrális tartomány 0.1–5.5 THz, sikeresen teszteltük mágneses térben végzett mérések során. Ezen kombinált rendszer a projekt során kulcsfontosságú szereppel bír az optikai egyenirányítás vizsgálatában multiferro rendeződést mutató anyagok mágneses gerjesztéseinél. Egy új antenna párt is beszereztünk, mellyel ugyanezt az eszközt fogjuk használni szerves minták mérésére.
- Kialakítottunk egy új mérőrendszert, mellyel multiferroikus rendet mutató anyagokban tudjuk tanulmányozni a sztatikus magnetoelektromos effektust.
- Az MTA-TTK épületében Prof. Vértessy Beáta csoportjával együttműködésben kialakítottunk egy Közép-Európában egyedülálló maláriakutató laboratóriumot diagnosztikai módszerek és maláriaellenes hatóanyagok tesztelésére.

Tudománykommunikáció

Az optikai egyenirányító anyagok, a mágneses skyrmionok és a maláriakutatás terén elért eredményeink népszerűsítő formában, számos alkalommal megjelentek az MTA és a BME honlapján és más hazai illetve nemzetközi hírportálokon.

A maláriakutatásban elért eredményeinkért csoportunk kapta a Gran Prize 2016 interdiszciplináris innovációs díjat. Kutatásainkról a *Duna televízió* (Novum az innováció, a tudomány és a technológia magazinműsora), az *Innotéka* és az *Élet és tudomány* folyóiratok számoltak be.

A mágneses skyrmionok kutatása terén elért eredményeket a *Nature Physics News* rovata is kiemeli illetve az *Institut Laue Langevin* éves beszámolója 2015. legsikeresebb projektjei közé sorolja.

Kutatóink az ország több gimnáziumában, hazai diákkonferenciákon és nyári iskolákon tartottak népszerűsítő előadást kutatásainkról. Több mint 80 tudományos és tudomány népszerűsítő előadást tartottunk hazai és nemzetközi rendezvényeken.

Nemzetközi kapcsolatok

- A kutatás és a doktori képzés terén történő együttműködés kialakítása az Augsburgi Egyetem és a BME között. Ennek keretében került megrendezésre 2014. július 21-28. között az Augsburgi Egyetemen a 1st Grandmaster PhD workshop in Physics.
<http://magnetooptics.phy.bme.hu/augsburg-budapest-phd-workshop-in-physics/>
- E rendezvény folytatásaként rendeztük meg a BME-n 2015. szeptember 6-11. között a 2nd Grandmaster PhD Workshop in Physics nemzetközi diákkonferenciát, melyen a résztvevő hallgatókon kívül neves kutatók tartottak plenáris előadásokat a skyrmionok fizikájáról. <http://magnetooptics.phy.bme.hu/2nd-grandmaster/>
- Hosszútávú együttműködés kialakítása Prof. H. M. Ronnow (École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Svájc), Prof. L. Eng (Technische Universität Dresden, Németország), Dr. U. K. Roessler (Institute for Theoretical Solid State Physics, Dresden, Németország), Dr. R. S. Fishman (Oak Ridge National Laboratory, USA),

Új optikai jelenségek multiferro anyagokban és mágneses nanoszerkezetekben

Prof. H. Nakamura (University of Kyoto), Prof. M. Poggio (University of Basel, Svájc), Prof. B. Büchner (Institute for Solid State Research, Németország), Dr. Jiri Hlinka (Institute of Physics, Czech Academy of Sciences, Csehország) csoportjával mágneses kristályok kutatásának területén.

- Hosszútávú együttműködés kialakítása Prof. Tim St. Pierre (University of Western Australia, Ausztrália), Dr. A. Aly (Tulane University, USA), Dr. Jetsumon Prachumsri (Mahidol Vivax Research Center of Mahidol University in Bangkok, Thaiföld) csoportjával maláriakutatás témában.

Hazai és nemzetközi pályázatok illetve díjak

- DAAD 152294 német-magyar bilaterális pályázatot nyertünk el *Static and dynamic properties of Néel-type skyrmions in multiferroic lacunar spinel compounds* témában (2017-2018).
- Szaller Dávid elnyerte az Új Nemzeti Kiválósági Program doktorjelölti ösztöndíját (2016).
- Ausztrál résztvevőkkel (Prof. Tim St. Pierre, University of Western Australia; Prof. I. Mueller, Dr. S. Karl, Walter and Eliza Hall Institute, Melbourne) közösen elnyertük a National Health and Medical Research Council APP1127356 kutatási támogatását *Field-based evaluation of a novel magneto-optical technique to diagnose malaria* témában (2017-2019).
- Farkas Dániel a 2017-es Országos Tudományos Diákköri Konferencián kiemelt különdíjat nyert a Fizika, Földtudományok és Matematika Szekcióban.
- Orbán Ágnes elnyerte a Pro Progressio doktorjelölti ösztöndíját (2016).
- Dr. Bordács Sándor vezetésével OTKA NNA122879 pályázatot nyertünk el *Electric control of the optical magnetoelectric effect* témában (2017-2020).
- Dr. Pukáncsik Mária posztdoktor kutatóként csatlakozott csoportunkhoz 2015. szeptemberétől, elnyerve az MTA posztdoktori program támogatását (2015-2017).
- Szaller Dávid elnyerte a Pro Progressio doktorjelölti ösztöndíját (2015).
- Farkas Dániel a 2015-ös BME Tudományos Diákköri Konferencián első díjat és rektori különdíjat nyert a Fizika-matematika szekcióban.
- A kutatócsoport egyik szenior kutatója, Dr. Bordács Sándor, OTKA PD 111756 posztdoktori ösztöndíjat nyert el (2014-2017)
- Dr. Bordács Sándor Junior Prima díjban részesült (2015).
- Dr. Bordács Sándor Bolyai ösztöndíjat nyert el, Bolyai 00565/14/11 (2014-2016).
- Dr. Stephan Karllal közösen elnyertük University of Western Australia Research Collaboration Award kutatási támogatást *Validation and optimization of a portable magneto-optical device for malaria diagnosis* témában (2014)