

## Hidrosztatikus nyomással kiváltott elektronszerkezeti változások szilárd testekben

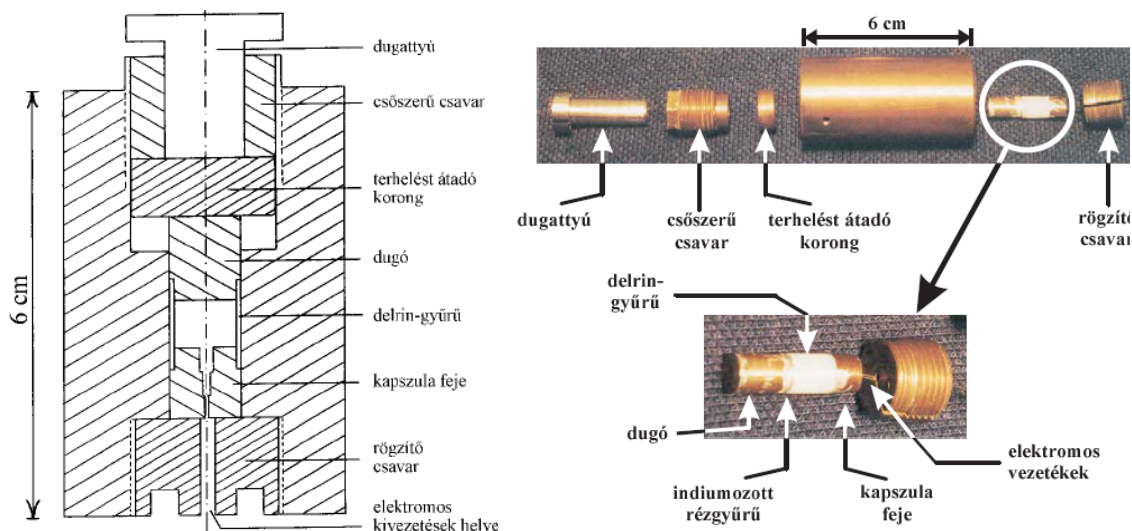
### A kutatás célkitűzései:

A szilárd testek elektromos és mágneses tulajdonságait az alkotó atomok elektronhullámfüggvényeinek átfedése, a lehetséges elektronállapotok közti korrelációk, valamint az elektronrendszer és a kristályszerkezet kölcsönhatásai határozzák meg.

A pályázat célkitűzése volt fázisátalakuláshoz közeli rendszerek paramétereinek finom hangolása hidrosztatikus nyomás alkalmazásával, valamint az egyes fázisok jellemzése nyomás alatt végzett elektromos és mágneses mérésekkel. A vizsgált anyagok olyan d-elektron rendszerek, melyekben a spin- és pályaeffektusok fontos szerepet játszanak, valamint híg mágneses félvezetők, ahol a mágneses csatolást a töltéshordozó lyukak közvetítik.

A nyomás elsődleges hatása az átfedési integrálok módosítása, különösen az általunk vizsgált rendszerek irányított pályái esetén. Ennek az egyik alapvető következménye a korrelált elektronrendszerek nyomás által indukált fém-szigetelő átmenete. Nyomás hatására erősödik a mágneses félvezetők lokalizált momentumai közti csatolás, így a nyomás függvényében végzett kísérletek egyedülálló lehetőséget biztosítanak a ferromágneses fázis kialakulásának megértéséhez.

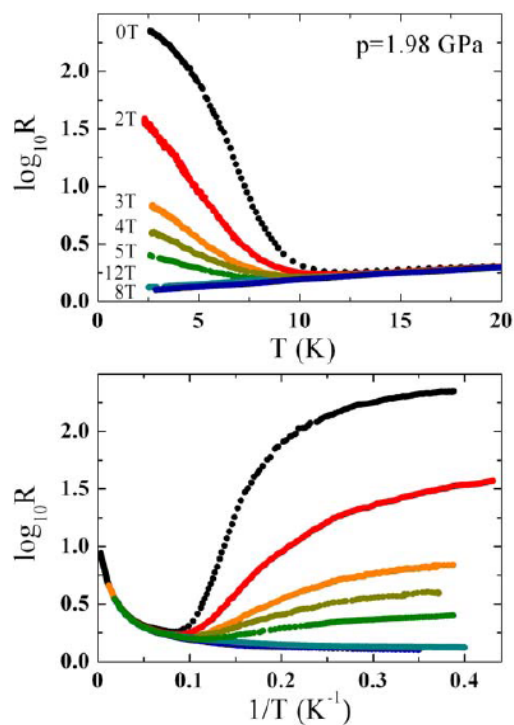
A fenti jelenségeket a magnetotranszport tulajdonságok és a Hall effektus széles hőmérséklet-tartományban, nagy mágneses terekben (14T-ig) és nagy nyomásokon (30 kbar = 3 Gpa-ig) történő mérésével vizsgáltuk. A kísérletekben alkalmazott saját készítésű nyomáscella felépítését az alábbi ábra mutatja:



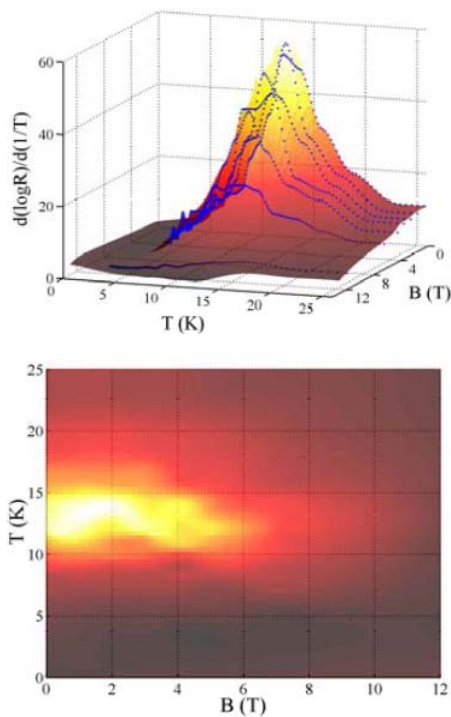
**Kutatási eredmények:**

Hidrosztatikus nyomás alkalmazásával a kritikus nyomás közelében végeztünk alacsony hőmérsékletű magnetotranszport méréseket  $\text{BaVS}_3$  egykristályokon. Közvetlenül a kritikus nyomás alatt a d-elektronrendszer fém-szigetelő fázisátalakulási hőmérséklete már 10 K alá csökken. Megmutattuk, hogy ebben a tartományban a szigetelő fázis mágneses tér alkalmazásával megszüntethető. A mágneses tér által indukált szigetelő-fém átmenet nem egyszerűen a véges hőmérsékletű fém-szigetelő fázisátalakulás hőmérsékletének további eltolódása, hanem a fázisátalakulás szokatlan mértékű elkenődése. A jelenséget a mágneses és a szerkezeti rendeződés versengésének tulajdonítjuk [3,4,5].

a)

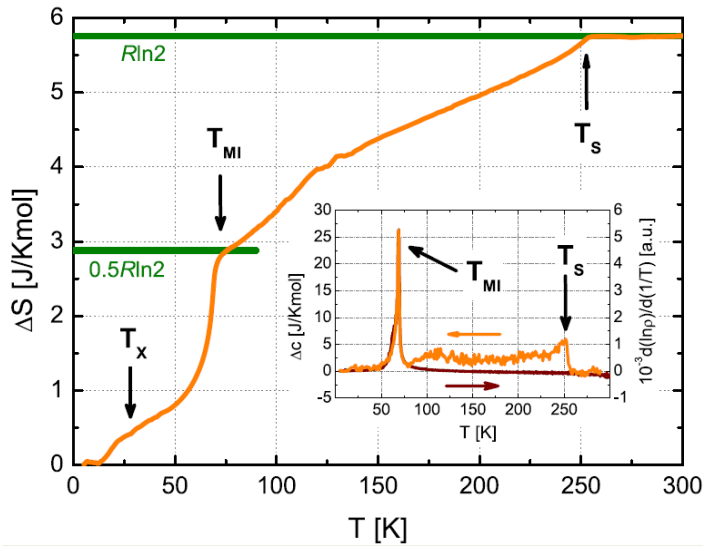


b)



A mágneses tér indukált fém-szigetelő átalakulás: a nyomás hatására az alapállapotú szigetelő fázis stabilitása megszűnik, és a rendszer pusztán mágneses tér alkalmazásával is fémes állapotba vihető [3].

- A  $\text{BaVS}_3$  ellenállásának hőmérsékletfüggése a kritikus nyomáshoz közeli tartományban.
- Az ellenállás logaritmikus deriváltja a mágneses tér – hőmérséklet fázissíkon  $p=1.8$  GPa nyomáson (a melegebb szín magasabb értéket jelöl).



Az elektronrendszer entrópiájának hőmérsékletfüggése BaVS<sub>3</sub>-ban.

A nagy pontossággal  $S = R \ln 2$  entrópia-változásnak pontosan a fele az  $e_g$  elektronok a pálya szabadsági fokaitól ( $T_{MI} < T < T_S$ ), míg másik fele ugyanezen elektronok spin szabadsági fokaitól származik ( $T < T_{MI}$ ).

Az entrópiához a sávot formáló  $a_{1g}$  elektronok nem adnak mérhető járulékot.

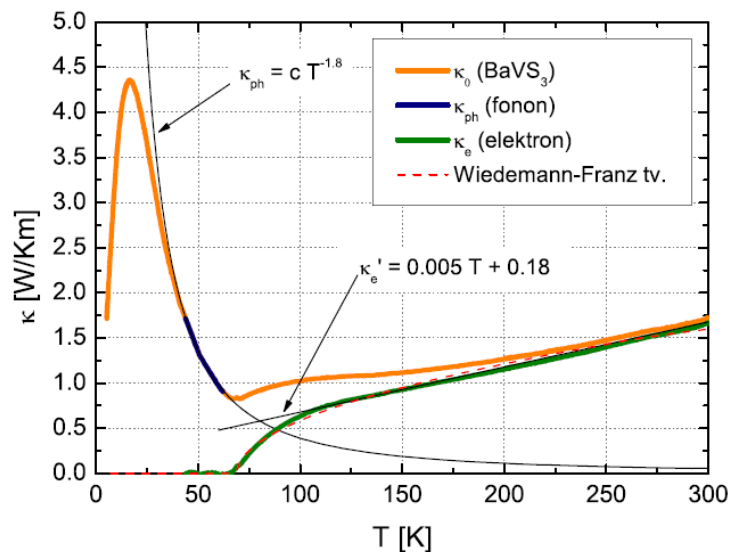
[Demkó László – PhD értekezés]

A BaVS<sub>3</sub> korrelált elektronrendszerére vonatkozó termodinamikai mérésekből meghatároztuk az elektronikus entrópia hőmérsékletfüggését [közlés alatt]. Ez lehetőséget adott a spin- és pálya szabadsági fokok szétválasztására, az orbitális rendeződés és a spin-szinglet formálódás fázisainak azonosítására. Megmutattuk, hogy míg az elektron-fajhöz a lokalizált  $e_g$  elektronok adnak járulékot, az elektron-hővezetést a V láncok mentén kiterjedt  $a_{1g}$  elektronok határozzák meg. A hővezetés kísérletekben megfigyelt anomális Lorentz-szám az erős elektron-fonon csatolásra szolgáltat bizonyítékot [10].

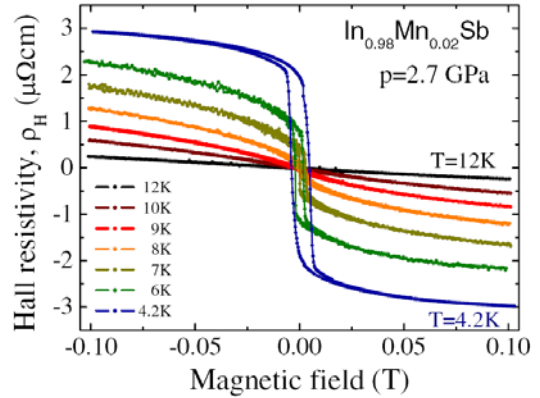
Az elektromos- és a hőtranszport összehasonlítása a BaVS<sub>3</sub> fémes fázisában [10].

A Wiedeman-Franz törvénynek megfelelően a  $T_{MI} = 69$  K-es fázisátalakulás felett a teljes vizsgált hőmérséklet-tartományban összekálázható a hővezetés a vezetőképesség hőmérséklettel vett szorzatával. A skálázásból meghatározott Lorentz-szám közel kétszerese a fémekre jellemző tipikus értéknek.

A hővezetéshez a lokalizált  $e_g$  elektronok nem adnak járulékot.

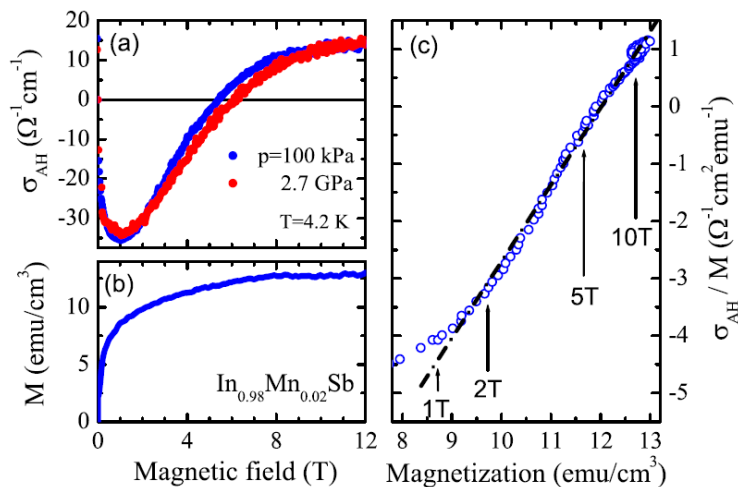


Különböző Mn tartalmú (In,Mn)Sb mágneses félvezető minták ferromágneses fázisában meghatároztuk az anomális Hall jelenség (AHE) nyomás- és mágneses térfüggését [6]. A nyomásfüggés alapján megállapított skálatörvények arra utalnak, hogy az AHE több sáv összes állapotának járulékától származik (Berry-phase), azaz nem csupán Fermi-felületi paraméterek határozzák meg (skew scattering, side jump). A mágneses térfüggést a kicserélődési kölcsönhatás miatt felhasadt sávok térfüggő eltolódásával értelmeztük.



A 2 % Mn iont tartalmazó (In,Mn)Sb minta Hall-ellenállása  $p = 2.7$  GPa nyomáson [6].

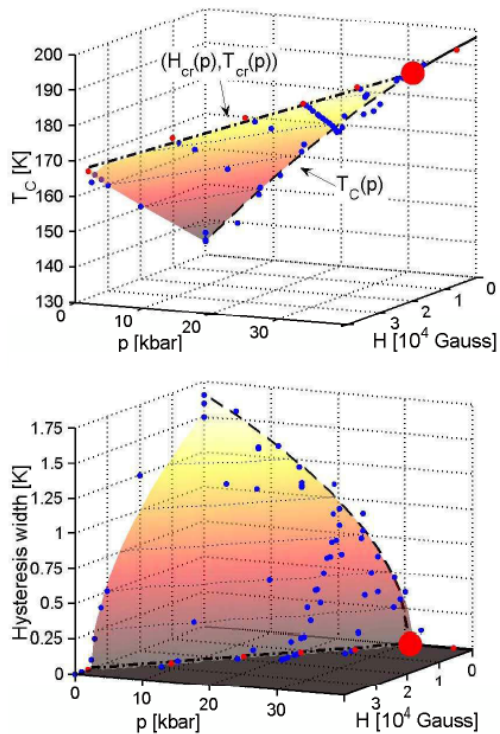
Nagy mágneses terű mágneszettség mérésekhez építettük egy olyan – saját tervezésű – magnetooptikai Kerr-effektuson alapuló mérőrendszert, amely illeszkedik laboratóriumunk kriotechnikai berendezéseivel. A MOKE kísérletekben  $T = 4\text{--}200$  K hőmérséklet és  $B = \pm 12$  T mágneses tér tartományban a Kerr-szöveget 0,002 fok pontossággal tudjuk mérni. Ez a mágneszettségben  $10^{-9}$  emu érzékenységnek felel meg, és lehetővé teszi a 10-200 nm vastag mágneses félvezető rétegek mágneszettségének meghatározását. Az (In,Mn)Sb és (In,Mn)As mintákon végzett méréseink pontossága meghaladja a hasonló mintákon publikált (kis terű,  $B = 0,6$  T alatti !) SQUID mérések pontosságát.



Az anomális Hall jel és a mágneszettség között kísérletileg kimutatott skálatörvény azt jelzi, hogy az anomális Hall jel térfüggése a mágnesesen felhasadt sávok eltolódásától származik.

[Csontos Miklós – PhD értekezés,  
Bodács Sándor – diplomamunka]

Kolosszális mágneses ellenállást (CMR) mutató manganátokban tanulmányoztuk a töltés- és orbitális fluktuációk hatását a d-elektronrendszerek fázisdiagramjára. Megmutattuk, hogy nyomás alkalmazásával a sávzélesség folyamatosan hangolható és a ferromágneses fázisátalakulás jellege is megváltoztatható: egy kritikus nyomás felett a korábban elsőrendű átalakulás másodrendűvé válik. Meghatároztuk a  $p - T - B$  fázisdiagramot (nyomás – hőmérséklet – mágneses tér), a kritikus mágneses tér nyomásfüggését, valamint az elsőrendű fázisátalakulás multi-kritikus végpontját. A CMR jelenségében megfigyelt változásokat a fluktuációs effektusok nyomás hatására történő lecsökkentésével értelmeztük.



*(Sm<sub>x</sub>Nd<sub>1-x</sub>)<sub>0.55</sub>Sr<sub>0.45</sub>MnO<sub>3</sub> fém-szigetelő fázisátalakulása a nyomás – mágneses tér – hőmérséklet [9].*

### **Tudományos közlemények:**

Az eredményeket **10** tudományos közleményben publikáltuk, összesített impakt-faktoruk: **41.770**.

A publikációk pdf formában letölthetők erről az internet címről: <http://dept.phy.bme.hu/K62441>

- |     |                              |  |
|-----|------------------------------|--|
| 1.  | I. Kézsmárki <i>et al.</i> , | Physical Review Letters <b>96</b> , 186402 (2006).                               |
| 2.  | I. Kézsmárki <i>et al.</i> , | Physical Review B <b>74</b> , 201101 (2006).                                     |
| 3.  | P. Fazekas <i>et al.</i> ,   | Physical Review B <b>75</b> , 035128 (2007).                                     |
| 4.  | I. Kézsmárki <i>et al.</i> , | Physical Review B <b>76</b> , 205114 (2007).                                     |
| 5.  | P. Fazekas <i>et al.</i> ,   | J. Magnetism and Magnetic Materials <b>310</b> , 928 (2007).                     |
| 6.  | G. Mihály <i>et al.</i> ,    | Physical Review Letters <b>100</b> , 107201 (2008).                              |
| 7.  | I. Kézsmárki <i>et al.</i> , | Applied Physics Letters <b>93</b> , 130104 (2008).                               |
| 8.  | I. Kézsmárki <i>et al.</i> , | Physical Review B <b>77</b> , 751171 (2008).                                     |
| 9.  | L. Demkó <i>et al.</i> ,     | Physical Review Letters <b>101</b> , 37206 (2008).                               |
| 10. | L. Demkó <i>et al.</i> ,     | European Physical Journal B, nyomdában (2010)<br>DOI: 10.1140/epjb/e2010-00055-0 |

Csontos Miklós – PhD. értekezés (2007), <http://dept.phy.bme.hu/phd/>

Demkó László – PhD. értekezés (2010), <http://dept.phy.bme.hu/phd/>