

Murányi Ferenc

**A MgB_2 SZUPRAVEZETŐ SPINDINAMIKÁJÁNAK
VIZSGÁLATA MÁGNESES REZONANCIA MÓDSZERREL**

PhD téziszfüzet

Témavezető: Dr. Jánossy András

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Fizikai Intézet
Kísérleti Fizika Tanszék

**BME
2005**

A kutatások előzménye

A magnézium-borid (MgB_2) szupravezetésének 2001-es felfedezése [Nagamatsu *et al.*, 2001] új irányvonalakat jelölt ki a kutatások számára. Az anyagon megfigyelhető izotópeffektus [Hinks *et al.*, 2001] erős indikáció arra nézve, hogy fononok közvetítésével jön létre az elektronok között a vonzó kölcsönhatás. Magas átalakulási hőmérséklete ($T_c \sim 39$ K) illetve normál körülmények közötti (szobahőmérséklet, légköri nyomás) fémes viselkedése előrevetíti azt a lehetőséget, hogy már a közeljövőben a kutatások szolgálatába lehessen állítani (szupravezető mágnes készítése). A MgB_2 két *gap*-el leírható szupravezetése, egzotikus Fermi-felülete [Choi *et al.*, 2002] a tanulmányozható jelenségek gazdag tárházát nyitja meg. A BCS elmélet két *gap*-re való kiterjesztése már korábban felmerült az irodalomban [Suhl *et al.*, 1959], a MgB_2 az első példa, melyen keresztül ezt tanulmányozni lehet.

Az elektron spin-rács relaxációs idő (T_1) közvetlen mérésének lehetőségét 1960-ban vetette fel Herve *et al.* [Herve *et al.*, 1960], a kivitelezés nehézsége miatt ennek megvalósításáról eddig nagyon kevés közlemény látott napvilágot [Atsarkin *et al.*, 1995]. A MgB_2 spin-rács relaxációs ideje 40 K alatt a 4-20 ns tartományba esik, ez ismert és elterjedt mágneses rezonancia módszerekkel (pl. spin-echo, *Electron-Nuclear Double Resonance*: ENDOR) közvetlenül nem mérhető.

Célkitűzések

A PhD munkám során a MgB_2 szupravezető állapotosságának hőmérséklet és mágneses tér függését vizsgáltam Elektron Spin Rezonancia módszerrel. Az elektronok spin-szuszeptibilitását 3.8, 9.4 és 35 GHz mikrohullámú gerjesztéssel vizsgáltuk. A mérések eredményei alapján megállapítható, hogy az állapotosság nagy részét alacsony hőmérsékleten 1 Teslánál kisebb mágneses térrel vissza lehet állítani normál állapotba. A spin-szuszeptibilitás mérések célja az elméleti modell [Choi *et al.*, 2002] eredményeinek vizsgálata, összehasonlítása kísérleti eredményekkel.

Az általunk megvalósított eljárás [Murányi *et al.*, 2004] a szokásos mágneses rezonancia módszerektől eltérően alkalmas a vizsgált anyag spin-rács relaxációs idejének mérésére a 2-80 ns tartományban. A MgB_2 szupravezető állapotának elektron spin-rács relaxációs ideje ebbe a tartományba esik, lehetőségünk van a relaxációs idő mérésére.

Vizsgálati módszerek

PhD munkám során a MgB_2 szupravezető vizsgálatában a spin-szuszeptibilitás mérésekben Elektron Spin Rezonancia módszert alkalmaztam. A spin-rács relaxációs idő mérések kivitelezéséhez egy új, kevésbé elterjedt módszert, longitudinálisan detektált ESR berendezést használtam.

Új tudományos eredmények

I. Longitudinális detektálású elektron spin rezonancia berendezést építettem 9, 35 és 75 GHz frekvenciájú gerjesztéssel. A megépített berendezés segítségével lehetővé vált az elektronok spin-rács relaxációs idejének közvetlen mérése a 2 és 80 ns közötti tartományban, 2 és 300 K között. A mérőfejek lehetővé teszik az ESR mérést illetve a longitudinális detektálást. A berendezést ismert spinrelaxációjú Rb_1C_{60} fullerid polimeren teszteltem.

[1] Murányi, F., F. Simon, F. Fülöp, A. Jánossy, J. Magn. Res. **167**, 221 (2004)

[2] Simon, F., F. Murányi, J. Magn. Res. In Press; *cond-mat/0409051* (2004)

II. A szupravezető anyagok kutatásában korábban nem alkalmazott módszert használtam a MgB_2 szupravezető vizsgálatára. ESR méréseket végeztem a MgB_2 szupravezető anyagon 3 és 300 K között, 0,14 és 8,1 T között különböző mágneses terekben, 3,8 és 225 GHz közötti gerjesztő frekvenciákon mind a fémes, mind a szupravezető állapotban. A rezonancia helyének, szélességének és intenzitásának hőmérséklet- illetve mágneses térfüggése igazolta, hogy a rezonancia a vezetési elektronok spinrezonanciájától származik.

[3] Simon, F., A. Jánossy, T. Fehér, F. Murányi, S. Garaj, L. Forró, C. Petrovic, S. L. Bud'ko, G. Lapertot, V. G. Kogan, P. C. Canfield, Phys. Rev. Lett. **87**, 047002 (2001)

[4] Simon, F., A. Jánossy, T. Fehér, F. Murányi, S. Garaj, L. Forró, C. Petrovic, S. Bud'ko, R. A. Ribeiro, P. C. Canfield, *cond-mat/0302620* (2003)

III. A vezetési elektron spin rezonancia kísérletek alapján megállapítottam, hogy a MgB_2 kritikus mágneses tere (H_{c2}) a külső mágneses tér és a kristálytani irányok egymáshoz viszonyított helyzetétől függően széles határok között változik, minimális értéke ~ 2.5 T, maximális értéke legalább 13 T.

[3] Simon, F., A. Jánossy, T. Fehér, F. Murányi, S. Garaj, L. Forró, C. Petrovic, S. L. Bud'ko, G. Lapertot, V. G. Kogan, P. C. Canfield, Phys. Rev. Lett. **87**, 047002 (2001)

IV. A vezetési elektron spin rezonancia intenzitásának mágneses térfüggése alapján megállapítható, hogy a szupravezetés két-*gap* modellje csak kvalitatív módon magyarázza a megfigyelt viselkedést. A szupravezető állapotban az állapotsűrűség mágneses térfüggő viselkedésének leírására pontosabb, a mágneses teret is figyelembe vevő modell szükséges.

[4] Simon, F., A. Jánossy, T. Fehér, F. Murányi, S. Garaj, L. Forró, C. Petrovic, S. Bud'ko, R. A. Ribeiro, P. C. Canfield, *cond-mat/0302620* (2003)

V. A megvalósított új eljárást (Longitudinálisan Detektált ESR) sikeresen alkalmaztam a MgB_2 spin-rács relaxációs idejének (T_1) mérésére a normál és a szupravezető állapotban. A spin-rács relaxációs idő mérések alapján a π -Fermi-felületeken a kritikus tér értéke $H_{c2}^\pi \leq 0,34$ T. $T < T_c$ hőmérsékleteken a spin-rács relaxációs idő lényegesen hosszabb, mint a normál állapotban. Ezt a megfigyelést egyszerű kvalitatív megfontolások, amelyek a vortexeket normál állapotú fémként kezelik, nem magyarázzák.

A doktori értekezés tézispontjaihoz kapcsolódó publikációk:

- [1] Murányi, F., F. Simon, F. Fülöp, A. Jánossy: *A longitudinally detected high-field ESR spectrometer for the measurement of spin-lattice relaxation times*, J. Magn. Res. **167**, 221 (2004)
- [2] Simon, F., F. Murányi: *ESR spectrometer with a loop-gap resonator for cw and time resolved studies in a superconducting magnet*, J. Magn. Res. In Press; *cond-mat/0409051* (2004)
- [3] Simon, F., A. Jánossy, T. Fehér, F. Murányi, S. Garaj, L. Forró, C. Petrovic, S. L. Bud'ko, G. Lapertot, V. G. Kogan, P. C. Canfield: *Anisotropy of Superconducting MgB₂ as Seen in Electron Spin Resonance and Magnetization Data*, Phys. Rev. Lett. **87**, 047002 (2001)
- [4] Simon, F., A. Jánossy, T. Fehér, F. Murányi, S. Garaj, L. Forró, C. Petrovic, S. Bud'ko, R. A. Ribeiro, P. C. Canfield: *Magnetic Field Induced Density of States in MgB₂: Spin Susceptibility Measured by Conduction Electron Spin Resonance*, *cond-mat/0302620* (2003)

A doktori értekezéshez kapcsolódó eredményeket az alábbi konferenciákon ismertettem:

- [1] F. Murányi, F. Simon, F. Fülöp, A. Jánossy :**Development of a longitudinally detected high-field ESR spectrometer for the measurement of spin-lattice relaxation times** AMPERE 2002, 31st Congress Ampere Magnetic Resonance and Related Phenomena, Adam Mickiewicz University, Poznan, Poland, 14-19 July 2002
- [2] F. Murányi, F. Simon, F. Fülöp, A. Jánossy: **Longitudinally detected high-field ESR spectrometer for the measurement of spin-lattice relaxation times, application to Rb₁C₆₀ and MgB₂** EPR and NMR at High Field: Applications to Magnetic Systems and Superconductors, Satellite Conference of the ICM 2003: Pisa, Italy, 23-25 July 2003

- [3] F. Murányi, F. Simon, F. Fülöp, A. Jánossy: **Spin relaxation in the superconductor, MgB₂** Electron Paramagnetic Resonance at High Field and High Frequency: Technology and Applications, Leiden, Lorentz Center, 10-12 May 2004
- [4] F. Murányi, F. Simon, F. Fülöp, A. Jánossy: **Spin-lattice relaxation time, T₁, in the superconductor, MgB₂** Study of non-common metals of practical interest: ESR investigations, Workshop, EPF Lausanne, 10-11 June 2004
- [5] F. Murányi, F. Simon, F. Fülöp, A. Jánossy: **Spin relaxation in the superconductor, MgB₂** LEES 2004, Kloster Banz, Germany, 18-23 July 2004
- [6] F. Murányi, F. Simon, A. Jánossy: **Spin susceptibility (χ_s) and spin-lattice relaxation time (T₁) in the superconductor, MgB₂** "Electron-Electron Interactions in Solids" Seminar 2004, Ráckeve, Hungary, 29 August-2 September 2004

Egyéb publikációk:

- [1] F. Simon, A. Jánossy, F. Murányi, T. Fehér: *Magnetic resonance in the antiferromagnetic and normal state of $NH_3K_3C_{60}$* , *Phys. Rev. B* **61**, 3826 (2000)
- [2] F. Fülöp, T. Fehér, F. Simon, F. Murányi, A. Kiss, G. Oszlányi, S. Pekker, A. Jánossy, L. Korecz, A. Rockenbauer: *High frequency electron spin resonance spectroscopy* *Research News, Technical University of Budapest* **2**, 27 (1999)

Irodalomjegyzék:

- Atsarkin, V. A., V. V. Demidov, G. A. Vasneva, *Phys. Rev. B* **52**, 1290 (1995)
- Bardeen, J., L. N. Cooper, J. R. Schrieffer, *Phys. Rev.* **108**, 1175 (1957)
- Choi, H. J., D. Roundy, H. Sun, M. L. Cohen, S. G. Louie, *Nature* **418**, 758 (2002)
- Herve, J., J. Pesca, *C. R. Acad. Sci.* **251**, 665 (1960)
- Hinks, D. G., H. Claus, J. D. Jorgensen, *Nature* **411**, 457 (2001)
- Murányi, F., F. Simon, F. Fülöp, A. Jánossy, *J. Magn. Res.* **167**, 221 (2004)
- Nagamatsu, J., N. Nakagawa, T. Muranaka, Y. Zenitani, J. Akimitsu, *Nature* **410**, 63 (2001)
- Suhl, H., B. T. Matthias, L. R. Walker, *Phys. Rev. Lett.* **3**, 552 (1959)