

## Электронный магнитный резонанс и его моделирование в системах со сложными типами магнитных взаимодействий

- Электронный магнитный резонанс в композитных магнитных наноструктурах (гранулярные, многослойные и др.).
- Моделирование магниторезонансного поглощения в электронной спиновой системе магнитоупорядоченных структур.

Ответственные Калмыкова Т.В., к.ф.-м.н., Вакула А.С. (м.н.с.), Недух С.В. (к.ф.-м.н.), Тарапов С.И. (чл.-корр. НАНУ)

### Результаты исследований

**1..Модернизирована и оптимизирована методика** экспериментального исследования двумерных гранулированных магнитных наноструктур, на радиоспектрометре "БУРАН" и "КВАРК"- разработана экспериментальная ячейка Электронного Магнитного Резонанса (ЭМР/ЭПР) для радиоспектрометр БУРАН – на основе Дискового Диэлектрического Резонатора (ДДР)

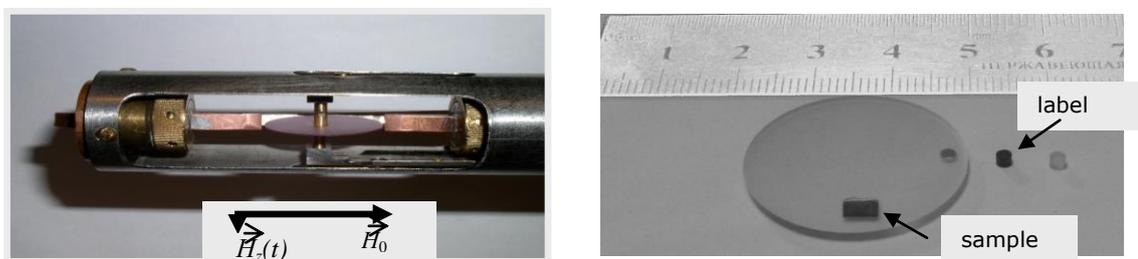


Рис. 1. Дисковый диэлектрический резонатор (ДДР) для ЭПР спектроскопии в области 30-100 ГГц: а) ячейка ЭПР для радиоспектрометр БУРАН с рубиновым ДДР, б) сапфировый ДДР с регулируемой реперной меткой для ячейки радиоспектрометр "БУРАН", "КВАРК".

**2.. Разработана феноменологическая модель магниторезонансного поглощения в электронной спиновой системе гранулированных магнитных наноструктур,**

которая эффективно описывает высокочастотные магниторезонансные процессы вблизи области перколяции, где наблюдаются максимальные величины эффектов гигантского магнитного сопротивления (импеданса) ГМС/ГМИ. Модель позволила исследовать высокочастотные свойства гранулированных магнитных наноструктур  $(SiO_2)_{100-x}Co_x/GaAs$ ,  $Co_x(NbLiO_3)_{100-x}$ ,  $Co_x(Al_2O_3)_{1-x}$ ,  $(CoFeZr)_xSiO$ ,  $Co_x(TiO_2)_{1-x}$ ,  $Co+SiO_2/quartz$ , со спин зависимыми эффектами в широком диапазоне температур и в миллиметровом диапазоне длин волн.

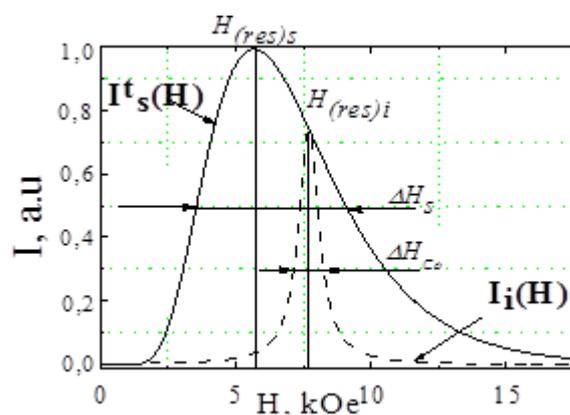


Рис. 1 Расчетная интегральная МР - линия  $I_s^t(H)$ :  $H_{(рез)}$  значение резонансного магнитного поля интегральной линии;  $\Delta H$  полуширина интегральной линии;  $I_i(H)$  МР линия  $i$ -го магнитного кластера.

### 3. Радиоспектроскопия левосторонних магнетиков:

В манганитах-перовскитах  $La_xSr_{1-x}MnO_3$  ( $x=0.1-1$ ) для частотной области, соответствующей левостороннему состоянию обнаружено левостороннее поведения структуры:

Исследовано положение зоны левосторонней прозрачности в зависимости от приложенного магнитного поля. Показано, что при повышении температуры в диапазоне вблизи температуры Кюри температурная зависимость зоны левосторонней прозрачности (ДО-пик, DNG-peak) и намагниченности совпадают. Предложенная модель [4] позволяет получить независимый способ определения намагниченности магнитных наноконпозитов.

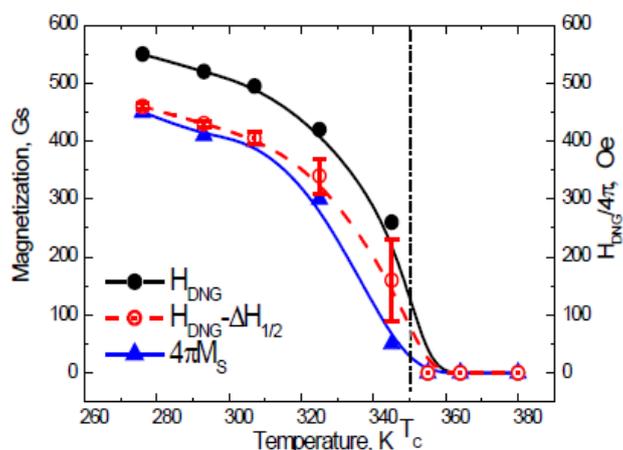


Рис. 3 Температурная зависимость намагниченности перовскита–манганита  $La_{0.775}Sr_{0.225}MnO_3$ : открытые круги – намагниченность образца, определенная с помощью DNG-пика; треугольники – намагничивание определенная независимым методом; закрытые круги - положение DNG-пика. [4,3]

#### Подробное изложение результатов представлено в публикациях:

1. T. V. Kalmykova, S.V.Nedukh, S.T.Roschenko, I.G.Shipkova, S.I.Tarapov Granule size and shape influence on static and dynamic properties of magnetic nanocomposites Journal of Magnetism and Magnetic Materials 302 (2006) 334—339.
2. S. Tarapov, V. Derkach, S.V.Nedukh, F. Yildiz, K. Sinan, T. V. Kalmykova Extra high frequency features of nanogranular magnets with GMI. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 300 (2006) e78—e81.
3. M.K. Khodzitsky, T. V. Kalmykova, S. I. Tarapov, D. P. Belozorov, A. M. Pogorily, A. I. Tovstolytkin, A. G. Belous, S. A. Solopan Left-handed behavior of strontium-doped lanthanum

manganite in the millimeter waveband, Applied Physics Letters. - 2009. - Vol. 95, №8. - pp. 082903-082905.

4. D. P. Belozorov, S. I. Tarapov, A. M. Pogorily, A. I. Tovstolytkin, T. V. Kalmykova, Temperature curve of magnetization and left-handed properties of  $\text{La}_{0.775}\text{Sr}_{0.225}\text{MnO}_3$ , Journal of Applied Physics Letters 100, 171104 (2012).
5. T. V. Kalmykova, S. I. Tarapov, S. V. Nedukh, V. N. Krivoruchko, I. A. Danilenko, V. V. Burchovetckii, D. G. Gurtovoj, Peculiarities of electromagnetic waves absorption in polymer magnetic nanocomposites  $(\text{La,Sr})\text{MnO}_3$ , Functional Materials, vol.19, 14, (2012) Academic journal.
6. Т. В. Калмыкова, С. В. Недух, С. Ю Полевой, А. А. Харченко, С. И. Тарапов, Д. П. Белозоров, А. Н. Погорельый, Т. И. Полек, В. А. Пащенко, А. Н. Блудов, Магниторезонансные свойства манганита  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  ( $x = 0.15, 0.225, 0.3, 0.45, 0.6$ ), Физика низких температур, 2015, т. 41, № 4, с. 355–362