

РОЛЬ ФЕРРОМАГНИТНЫХ КОРРЕЛЯЦИЙ В ГЕНЕЗИСЕ ЭЛЕКТРОННОГО СПИНОВОГО РЕЗОНАНСА В СИСТЕМЕ $Ce_{1-x}La_xB_6$.

А.В. Семенов, А.В. Богач, В.Н. Краснорусский, М.И. Гильманов,
А.Н. Самарин, С.В. Демишев.
Институт Общей физики РАН, Москва, Россия

В.Б. Филипов, Н.Ю. Шицевалова
Институт проблем материалов НАН, Киев, Украина



ЭСР в конденсированных Кондо-системах.

2003:

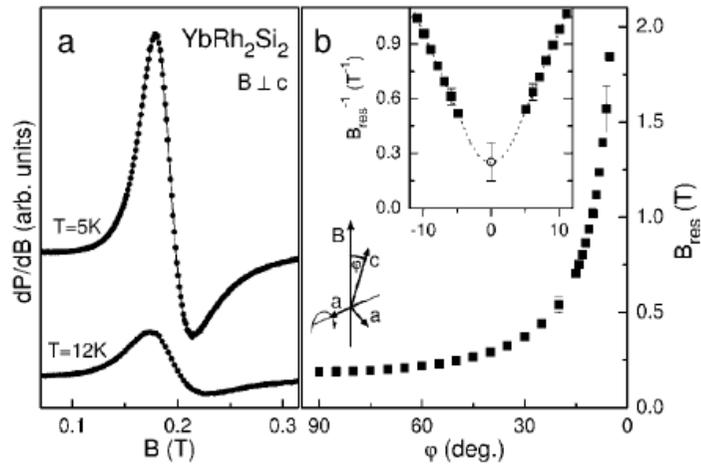
VOLUME 91, NUMBER 15

PHYSICAL REVIEW LETTERS

week ending
10 OCTOBER 2003

Low Temperature Electron Spin Resonance of the Kondo Ion in a Heavy Fermion Metal: YbRh_2Si_2

J. Sichelschmidt,¹ V. A. Ivanshin,² J. Ferstl,¹ C. Geibel,¹ and F. Steglich¹
¹Max Planck Institute for Chemical Physics of Solids, D-01187 Dresden, Germany
²MRS Laboratory, Kazan State University, 420008 Kazan, Russia
 (Received 12 May 2003; published 6 October 2003)



Dense Kondo system YbRh_2Si_2
Kondo temperature $T_K = 25\text{ K}$
The line width should be
 $\Delta B \sim k_B T K / \mu_B \sim 37\text{ T}$

Krellner et al., PRL 100, 2008:

Compound	AFM	FM	KL	ESR signal	
CeRuPO	-	✓	✓	Yes	[2008]
CeOsPO	✓	-	✓	No	
YbRh	-	✓	-	Yes	[2008]
YbRh_2Si_2	-	✓	✓	Yes [3]	[2003]
YbIr_2Si_2 (I-type)	-	✓	✓	Yes [4]	[2005]
YbIr_2Si_2 (P-type)	✓	-	✓	No	
$\text{Yb}_4\text{Rh}_7\text{Ge}_6$	✓	-	-	No	
$\text{YbNi}_2\text{B}_2\text{C}$	✓	-	✓	No	
CeCu_2Si_2 (S/A)	✓	-	✓	No	
CeNi_2Ge_2	✓	-	✓	No	
$\text{CeCu}_{6-x}\text{Au}_x$ ($x = 0, 0.1$)	✓	-	✓	No	

CeB_6 ✓ - ✓ YES

Demishev et. al. 2004

$$T_{\text{rel}} \propto \chi_0$$

$$\chi_0 = C / (T + \Theta)$$



$$\Theta \sim 100\text{ mK}$$

$$T.e. m \sim 10^5 m_e$$

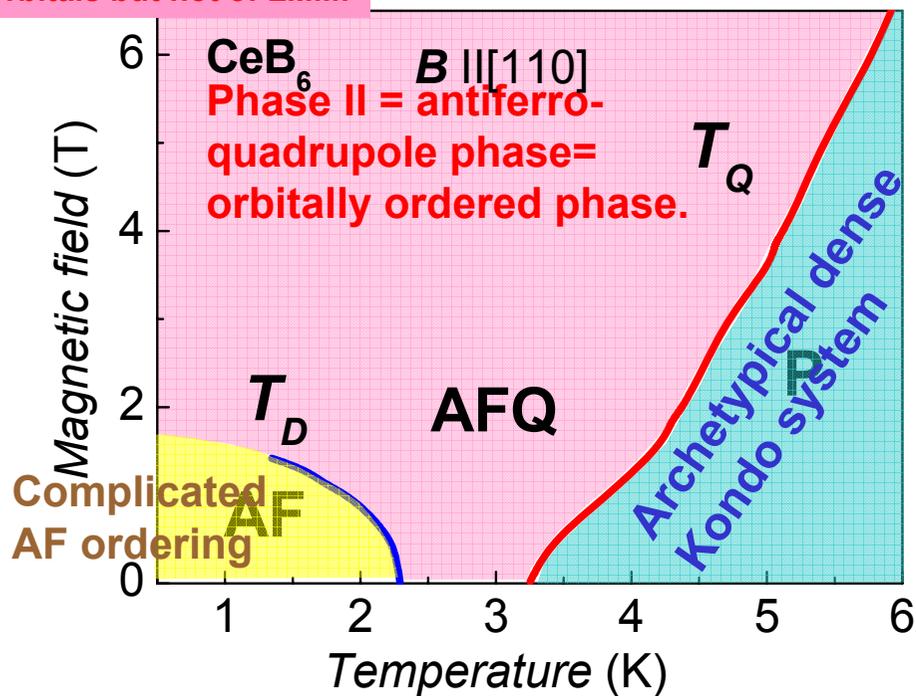
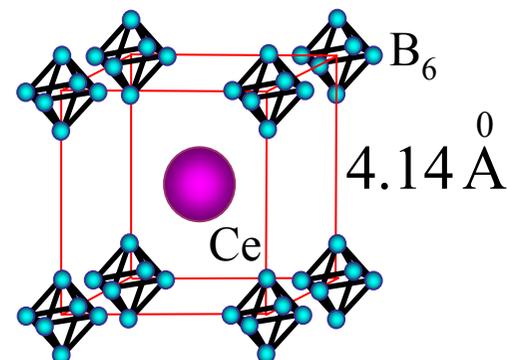
Или

$$\Theta < 0$$

Schlottmann, PRB, 2012

CeB_6 as a heavy fermion dense Kondo system with peculiar magnetic phase diagram:

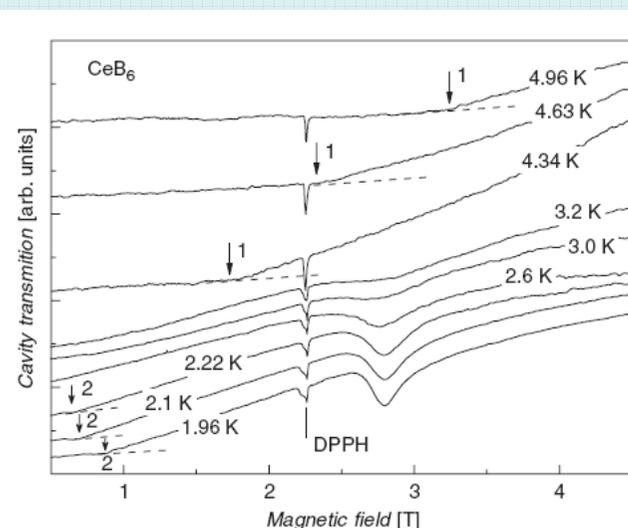
Field induced AF vector $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})$. Ordering of f-orbitals but not of LMM!



$T_K \sim 1K, m \sim 100m_0$



ЭСР в АФК фазе



Demishev et al.,
Phys. Stat. Sol., 2005

Теория ЭСР в CeB_6 .

PHYSICAL REVIEW B **86**, 075135 (2012)

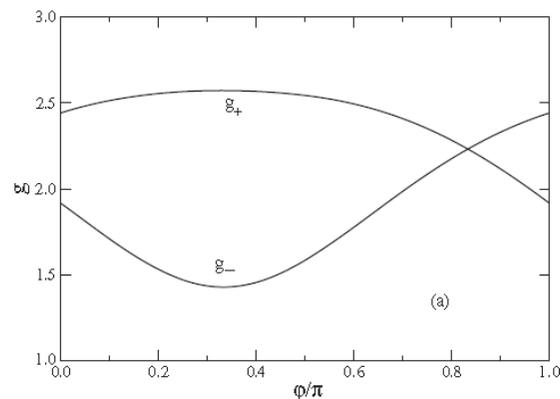
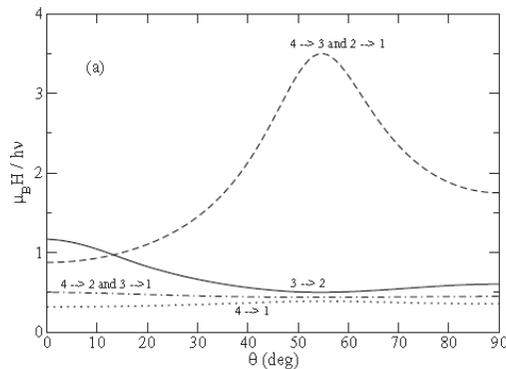
Electron spin resonance in antiferro-quadrupolar-ordered CeB_6

P. Schlottmann

Department of Physics, Florida State University, Tallahassee, Florida 32306, USA

(Received 17 May 2012; revised manuscript received 19 July 2012; published 21 August 2012)

*-ЭСР на носителях, не на ЛММ
-ЭСР существует при всех температурах. При низких температурах линия сужается и становится наблюдаемой.*



- Основное состояние Γ_8 иона Ce^{3+} предполагает возможность наблюдения 4-х анизотропных резонансных мод.
- Антиферроквадрупольное упорядочение $T < T_Q$ с двумя подрешетками приводит к редуцированию числа резонансных мод до двух, по одной для каждой подрешетки.
- Обобщение результата, полученного для одного иона на всю решетку с подвижными 4f электронами приводит к редуцированию числа мод до одной с усредненным g-фактором.
- Ферромагнитные спиновые корреляции обусловлены квадрупольными корреляциями, что позволяет наблюдать резонансную моду экспериментально.

Ферромагнетизм в CeB_6

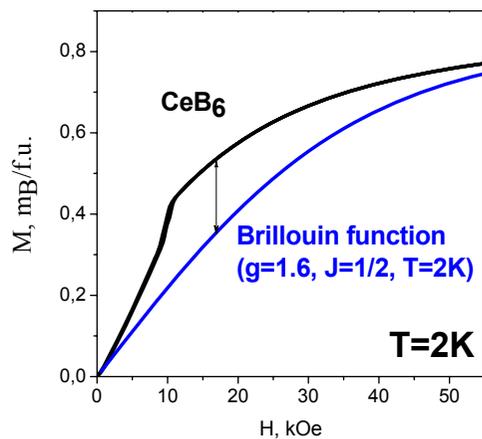
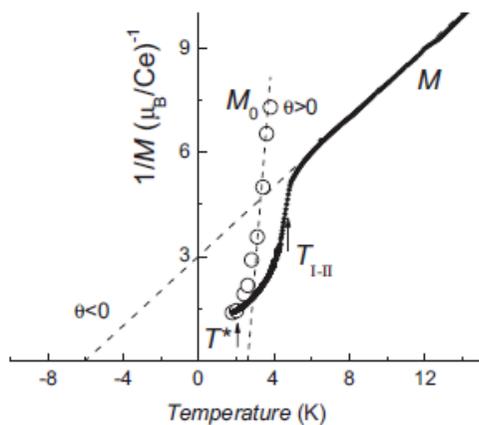
Первая гипотеза (2009)

PHYSICAL REVIEW B 80, 245106 (2009)

Magnetic spin resonance in CeB_6

S. V. Demishev,¹ A. V. Semeno,¹ A. V. Bogach,¹ N. A. Samarin,¹ T. V. Ishchenko,¹ V. B. Filipov,² N. Yu. Shitsevalova,²
and N. E. Sluchanko¹

DEMISHEV *et al.*



Подтверждение (2014)

nature
materials

LETTERS

PUBLISHED ONLINE: 11 MAY 2014 | DOI: 10.1038/NMAT3976

Intense low-energy ferromagnetic fluctuations in the antiferromagnetic heavy-fermion metal CeB_6

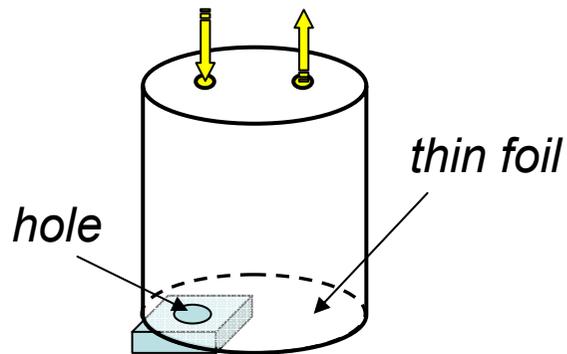
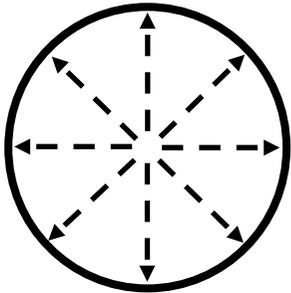
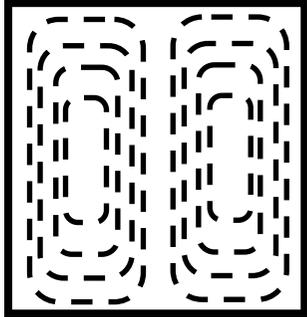
Hoyoung Jang^{1,2}, G. Friemel¹, J. Ollivier³, A. V. Dukhnenko⁴, N. Yu. Shitsevalova⁴, V. B. Filipov⁴,
B. Keimer¹ and D. S. Inosov^{1,5*}

Конкуренция 2-х механизмов:

-Сильной ФМ моды

-Мод спиновых АФМ волн

TE₀₁₁



Микроволновые потери металлического образца:

$$1/Q_{\text{sample}} \sim \text{Re}\{(1-i)(\mu/\sigma)^{1/2}\},$$

$$\mu = \mu_1 + i\mu_2, \quad \sigma = \sigma_1 + i\sigma_2$$

σ влияет на форму резонансной линии

Пример:

Модель Друде: $\sigma = \sigma_0 / (1 + i\omega\tau)$

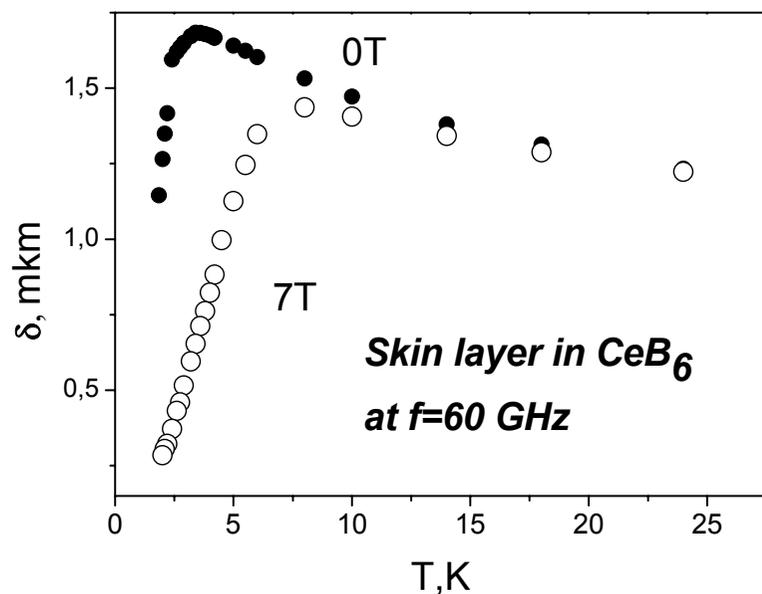
$$1/Q_{\text{sample}} \sim \text{Re}\{(1-i)[\mu(1+i\omega\tau)/\sigma_0]^{1/2}\},$$

При $\chi_1, \chi_2 \ll 1$: $1/Q_{\text{sample}} \sim 1 + A\chi_1 + B\chi_2$ ($A > B$,
 $A = B = 2\pi$ при $\omega\tau \ll 1$)



Свойства поверхности в $\text{Ce}_{1-x}\text{La}_x\text{B}_6$

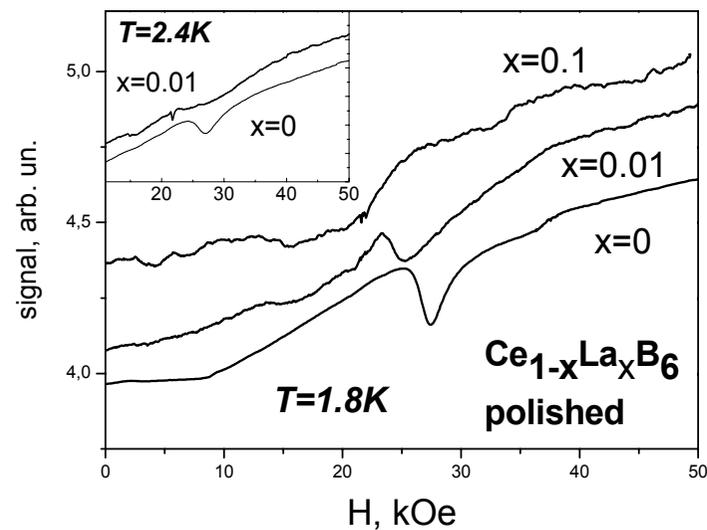
Микроволновых измерения чувствительны к поверхности образца (скин-слой).



В CeB_6 свойства поверхности не зависят от обработки (травления) и соответствуют объемным.

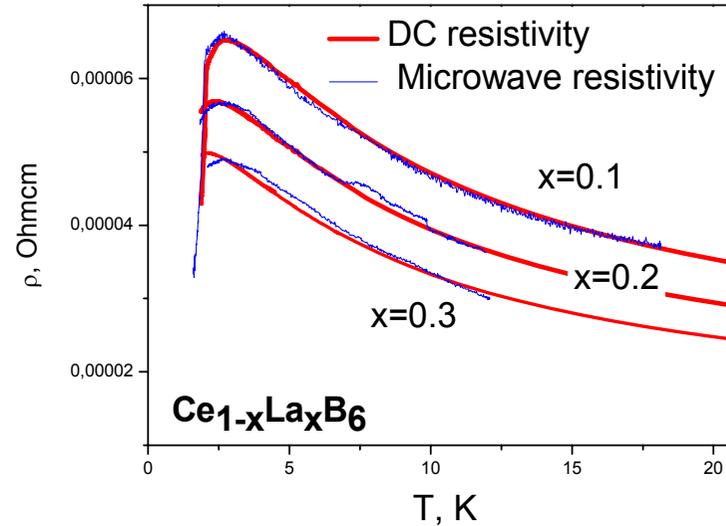
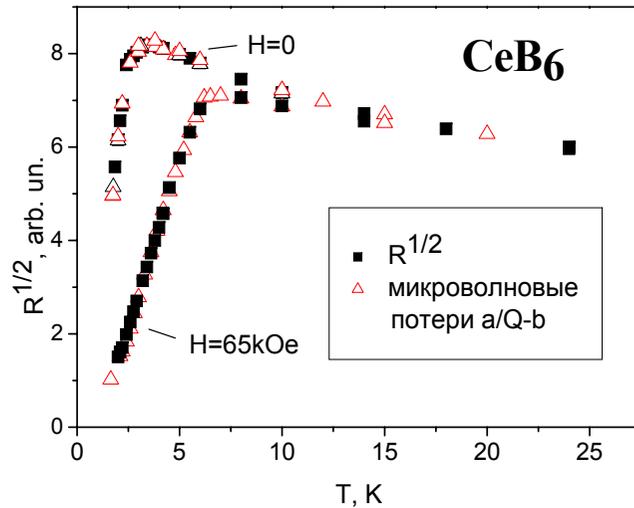
Demishev et.al., Phys.Stat.Sol., 2005

В $\text{Ce}_{1-x}\text{La}_x\text{B}_6$ свойства поверхности сильно зависят от обработки (травления). Необходимо сопоставление с объемными свойствами.

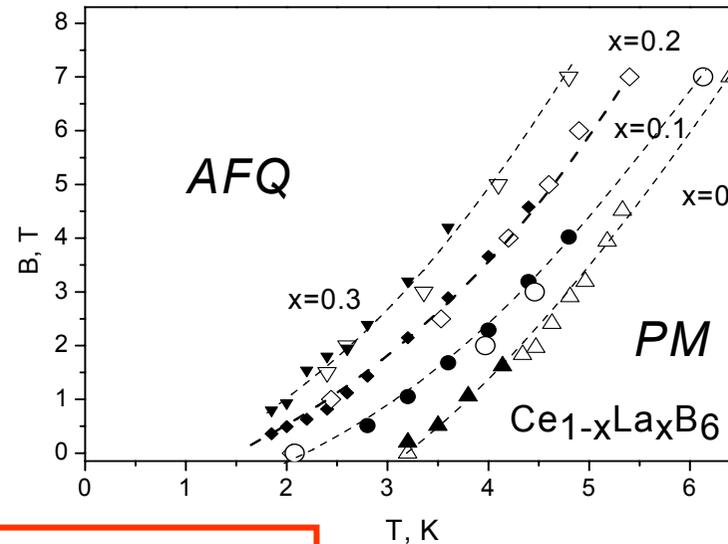
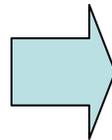


Образцы $\text{Ce}_{1-x}\text{La}_x\text{B}_6$ после травления

Микроволновые потери металла при $\mu=1$ and σ -действительная:
 $1/Q_{\text{sample}} \sim 1/\sigma^{1/2} \sim \rho^{1/2}$



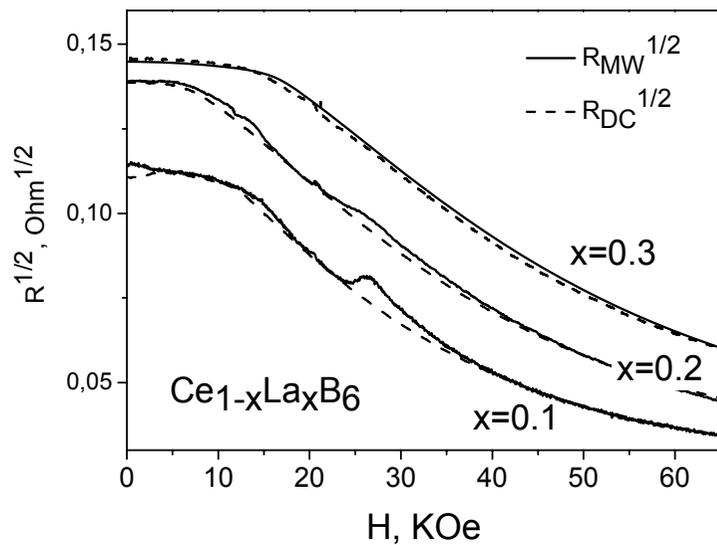
Фазовая диаграмма



Свойства скин-слоя соответствуют объемным.

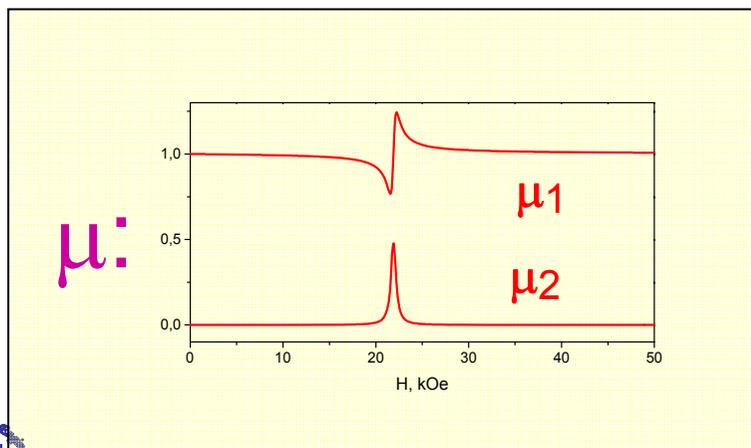


Экспериментальная линия поглощения в $\text{Ce}_{1-x}\text{La}_x\text{B}_6$

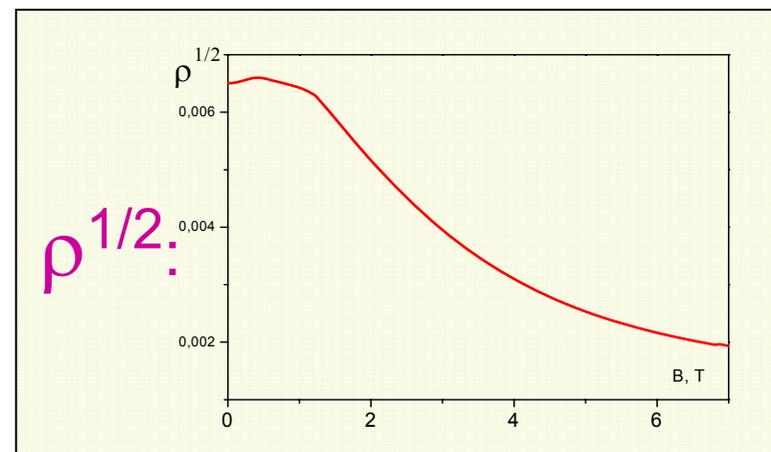


$$1/Q_{\text{sample}} \sim \text{Re}\{(1-i)\mu^{1/2}\} * \rho^{1/2},$$

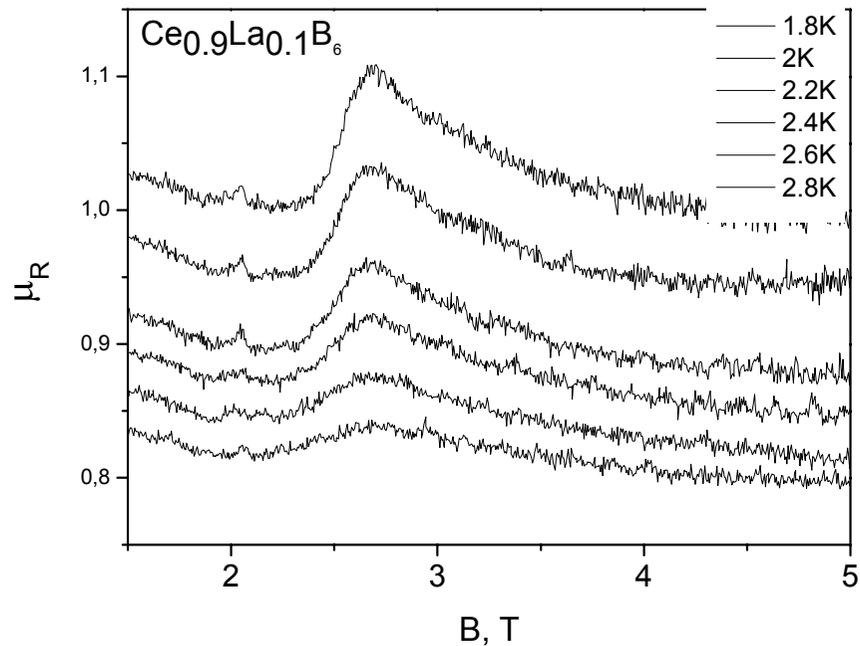
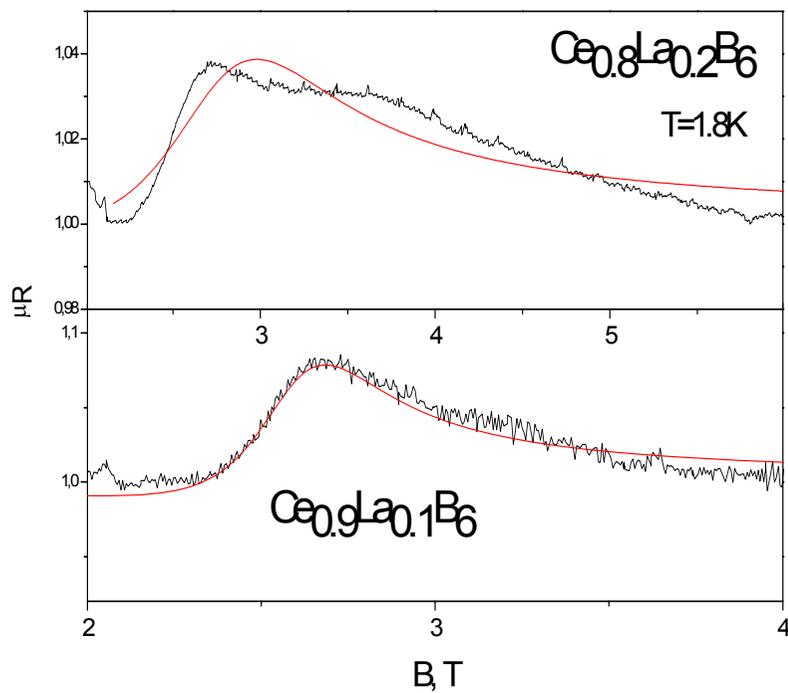
в системе $\text{Ce}_{1-x}\text{La}_x\text{B}_6$ σ -действительная



×



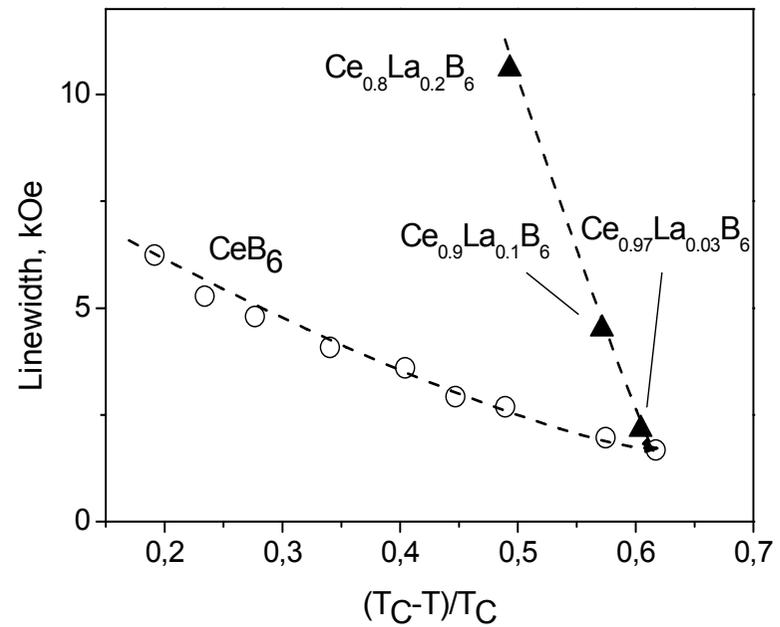
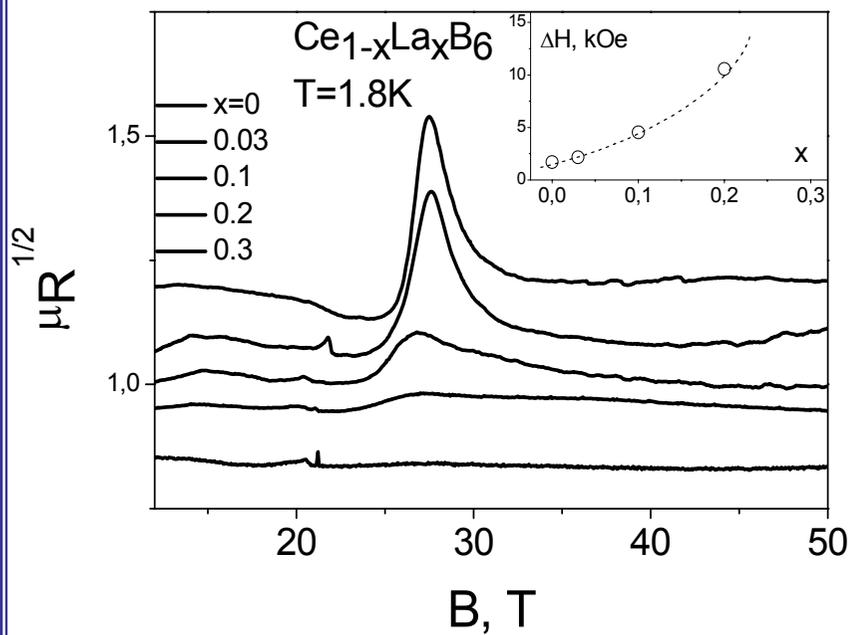
ЭСР в $Ce_{1-x}La_xB_6$



- Сильное уширение резонансной линии при легировании лантаном
- Сложный спектр резонанса при концентрации лантана 30%



ЭСР в $Ce_{1-x}La_xB_6$



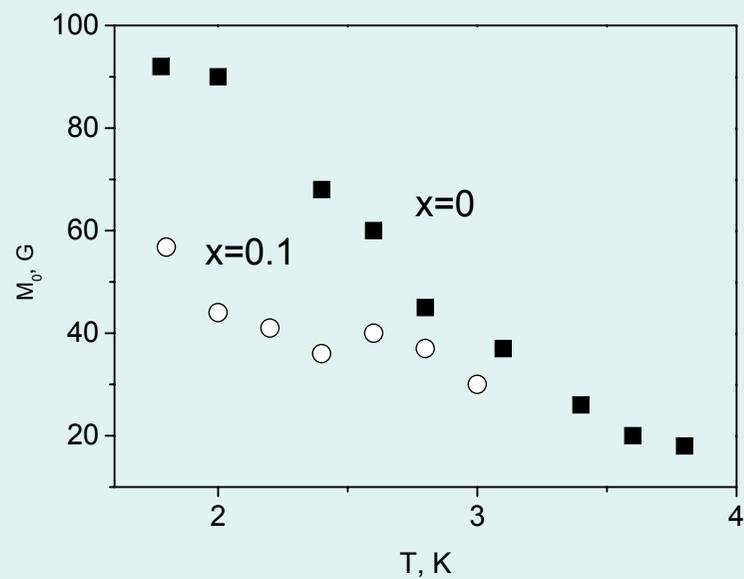
Уширение линии ЭСР не обусловлено близостью к границе АФК-ПИМ фазового перехода.



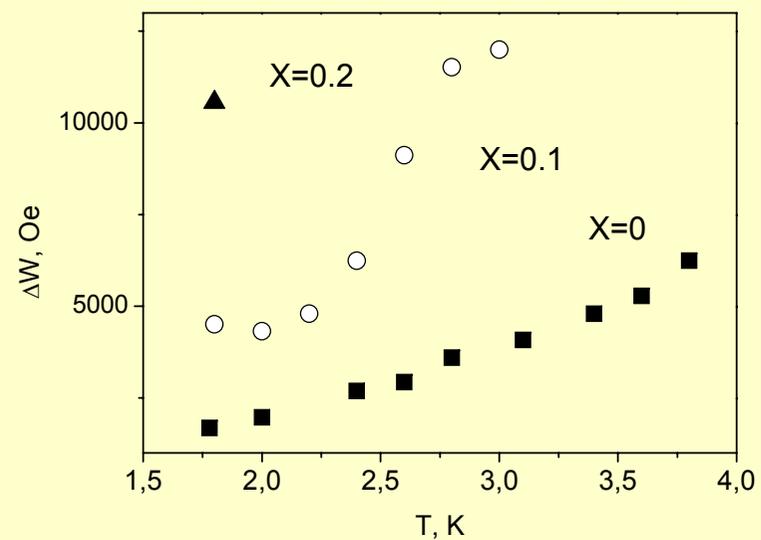
Параметры линии ЭСР

Как и в случае CeV_6 в $\text{Ce}_{0.9}\text{La}_{0.1}\text{V}_6$ g -фактор $g \approx 1.6$

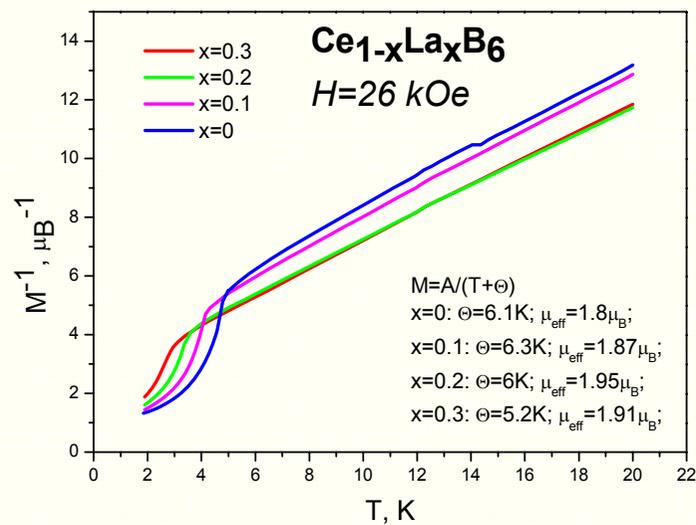
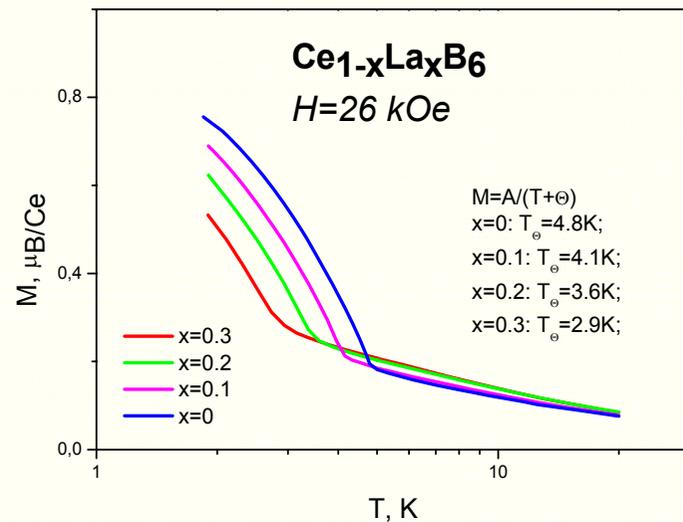
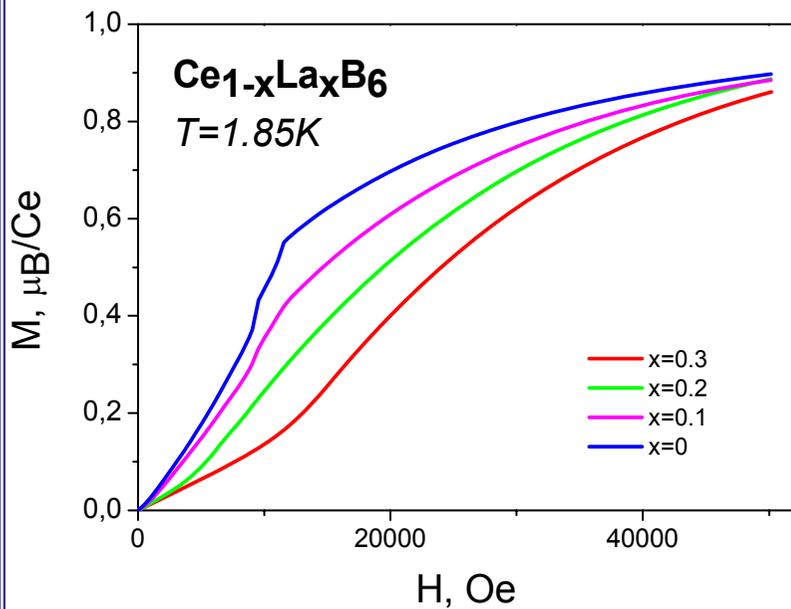
Осциллирующая намагниченность



Ширина линии ЭСР

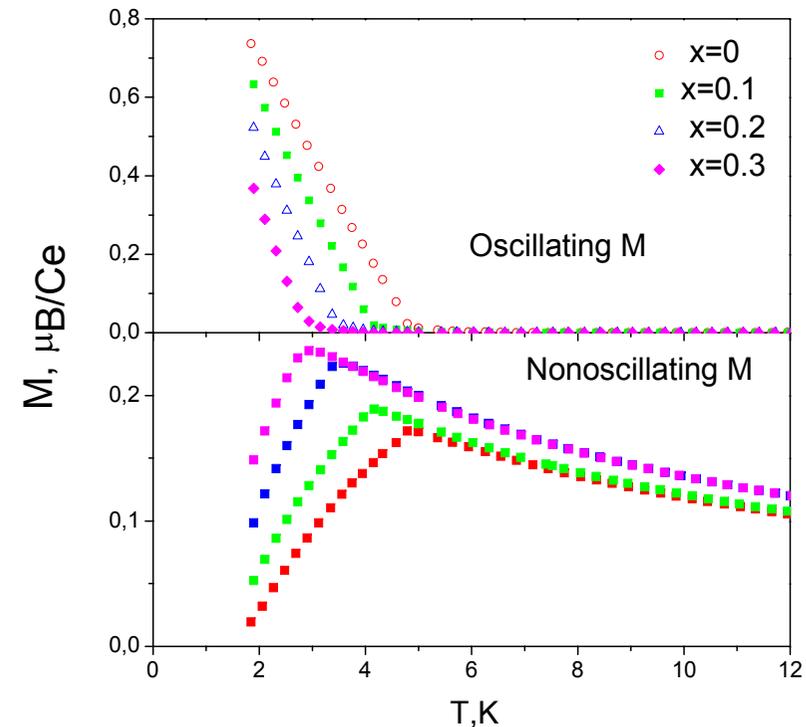
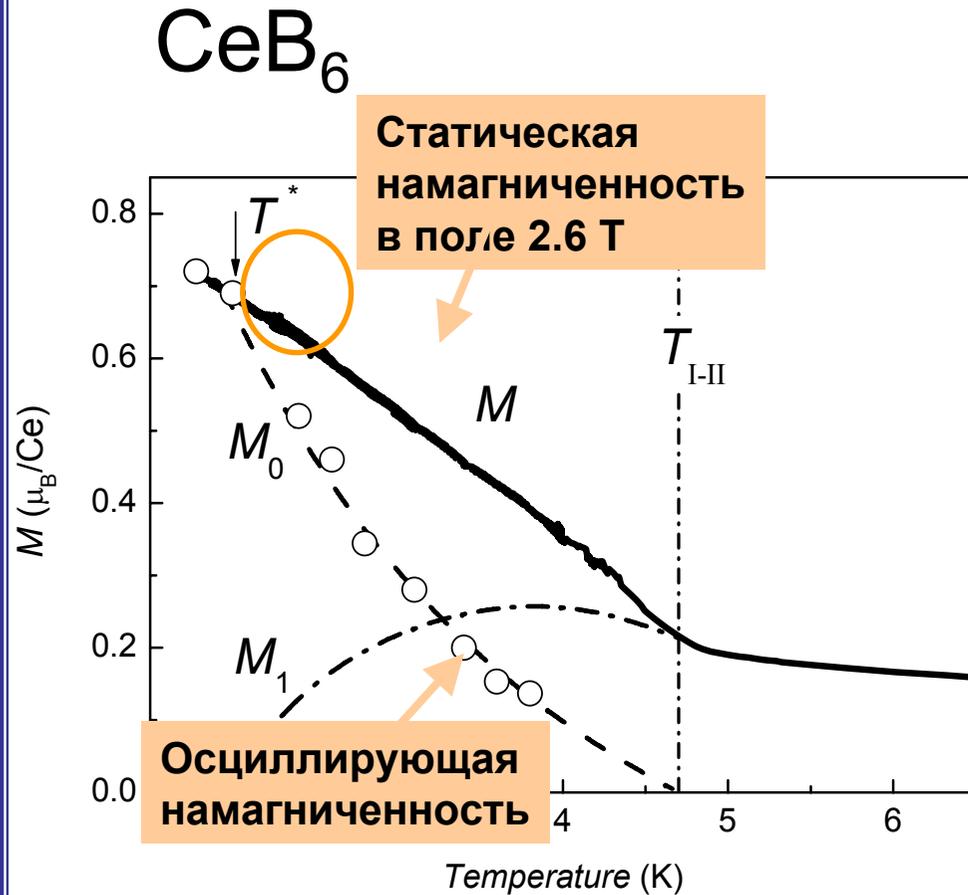


Магнитные характеристики $\text{Ce}_{1-x}\text{La}_x\text{B}_6$



Осциллирующая намагниченность (CeV_6).

Два вклада в намагниченность !



Ниже $T_{\text{I-II}}$ появляются ЭСР-активные центры
 Ниже T^* величины статической и осциллирующей намагниченностей совпадают.



Основные результаты.

-Магнитный резонанс – свойство объема образца. Фазовая диаграмма
Подтверждается в микроволновых экспериментах.

-Наблюдение магнитного резонанса в квадрупольно-упорядоченной
фазе обусловлено формированием ЭПР-активных
магнитных моментов.

-Уширение линии ЭСР с увеличением степени легирования $\text{Ce}_{1-x}\text{La}_x\text{V}_6$
необусловлено близостью к фазовой границе ПМ-АФК.

-Подтверждается идея о ключевой роли ферромагнитных
корреляций для наблюдения ЭСР в $\text{Ce}_{1-x}\text{La}_x\text{V}_6$.

