

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА КОНДО-РЕШЕТКИ $\text{CeCo}_2\text{Al}_8$

© М.Д.Котерлин, В.С.Мороховский, Н.Г.Бабич,  
Н.И.Зазаренко, Р.Р.Кутянский

Львовский государственный университет,  
290005 Львов, Украина  
(Поступила в Редакцию 21 марта 1996 г.  
В окончательной редакции 16 июля 1996 г.)

Сравнительно недавно обнаружено, что кондо-решетки (КР) типа  $\text{CeM}_2\text{X}_8$  ( $M = \text{Fe}, \text{Co}$ ;  $X = \text{Al}, \text{Ga}$ ; ромбическая сингония, пространственная группа  $P_{bam}$  [1]) обладают рядом нетривиальных низкотемпературных свойств, обусловленных особенностями кристаллической структуры и наличием магнитоактивного элемента  $\text{Fe}$  [2,3]. В зависимости от типа элемента  $M$  и  $X$  в подрешетке  $\text{Ce}$  реализуется переход от обычного магнитного состояния ( $\text{CeCo}_2\text{Ca}_8$ ) до температурно-неустойчивого состояния с промежуточной валентностью ( $\text{CeFe}_2\text{Al}_8$ ). При этом интересным представляется случай промежуточной стабилизации состояния  $\text{Ce}^{3+}$  ( $\text{CeCo}_2\text{Al}_8$ ), которому соответствуют особенно четко выраженные кондовские аномалии удельного электросопротивления и термоэдс [2,3]. Однако по существующим данным трудно определенно судить о характере кондовского состояния подрешетки  $\text{Ce}$  в  $\text{CeCo}_2\text{Al}_8$ .

В данном сообщении приведены исследования электрических и магнитных свойств поликристаллических образцов  $R\text{Co}_2\text{Al}_8$  ( $R = \text{La}, \text{Ce}$ ) и твердых растворов замещения  $\text{La}_x\text{Ce}_{1-x}\text{Co}_2\text{Al}_8$  ( $0 < x \leq 1.0$ ) и  $\text{CeCo}_2(\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x)_8$  ( $0 < x \leq 0.5$ ).

Подготовка образцов и методики их измерений аналогичны описанным в [4].

На рис. 1, 2 приведены температурные зависимости удельного электросопротивления  $\rho$  и термоэдс  $S$  для  $R\text{Co}_2\text{Al}_8$  и твердых растворов на его основе. Зависимости  $\rho(T)$  и  $S(T)$  для  $\text{CeCo}_2\text{Al}_8$  подобны для немагнитных КР, за исключением низкотемпературного участка  $\rho$  ( $\rho \sim T$  при  $T < 20$  К вместо ожидаемого ферми-жидкостного поведения  $\rho \sim T^2$ ). Магнитная составляющая электросопротивления  $\rho_m$ , полученная вычитанием  $\rho(T)$  аналога  $\text{LaCo}_2\text{Al}_8$ , обнаруживает характерный максимум (рис. 1, вставка) с  $T_{\rho_{m\max}} \simeq T_{S_{\max}}$ . Замещение  $\text{Ce} \rightarrow \text{La}$  приводит к возрастанию остаточного сопротивления и появлению низкотемпературного участка кондовского роста  $\rho(T)$  уже при  $x = 0.3$ . В шкале

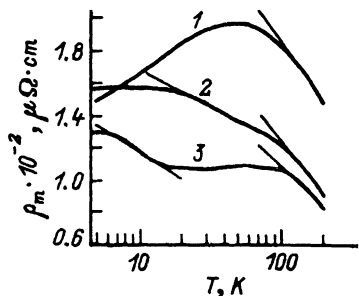
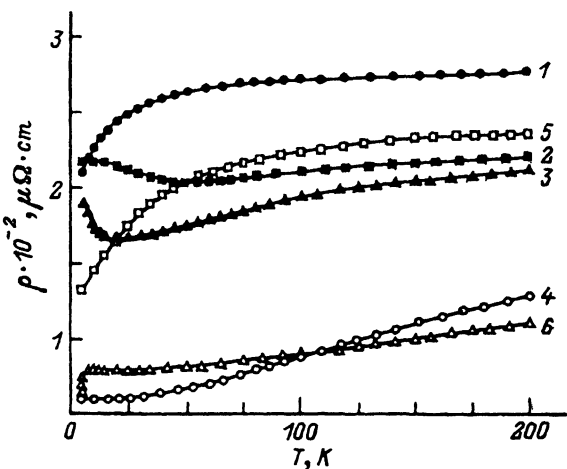


Рис. 1. Температурные зависимости электросопротивления  $\text{La}_x\text{Ce}_{1-x}\text{Co}_2\text{Al}_8$  (1-4) и  $\text{CeCo}_2(\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x)_8$ .  $x$ : 1 — 0; 2, 5 — 0.3; 3, 6 — 0.5; 4 — 1.0. На вставке приведены зависимости магнитной составляющей электросопротивления соответствующих составов в логарифмической шкале температур.

температур  $\ln T$  по мере замещения  $\text{Ce} \rightarrow \text{La}$  на магнитной составляющей  $\rho_m$  проявляется двугорбная структура с линейными участками. Абсолютные значения термоэдс при этом несколько уменьшаются, сохраняя почти неизменным  $T_{S_{\max}}$ . Такое поведение  $\rho$  и  $S$  характерно для КР с проявлением эффектов расщепления  $4f$ -уровня кристаллическим полем (КП) [5,6]. При этом  $T_{S_{\max}}$  определяется энергией расщепления  $4f$ -уровня  $\Delta_{CF}$  ( $T_{S_{\max}} \sim \Delta_{CF}$  [6]). Отношение наклона прямых участков  $\rho_m(\ln T)$  при высоких и низких температурах отражает изменение количества  $4f$ -подуровней, принимающих участие в кондовском рассеянии носителей заряда, с ростом  $T$  [5]. Такое отношение коэф-

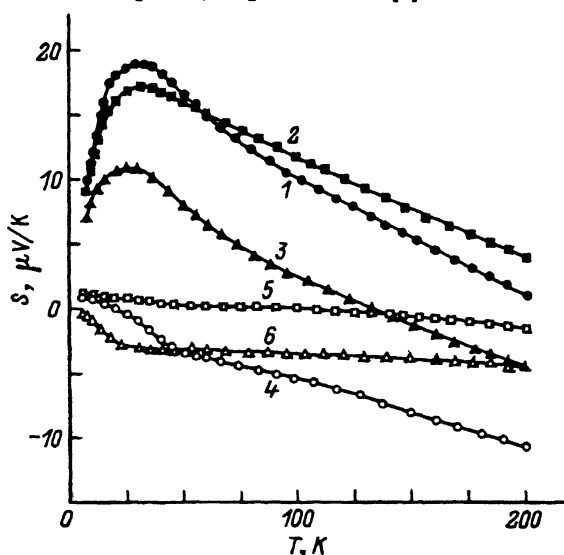
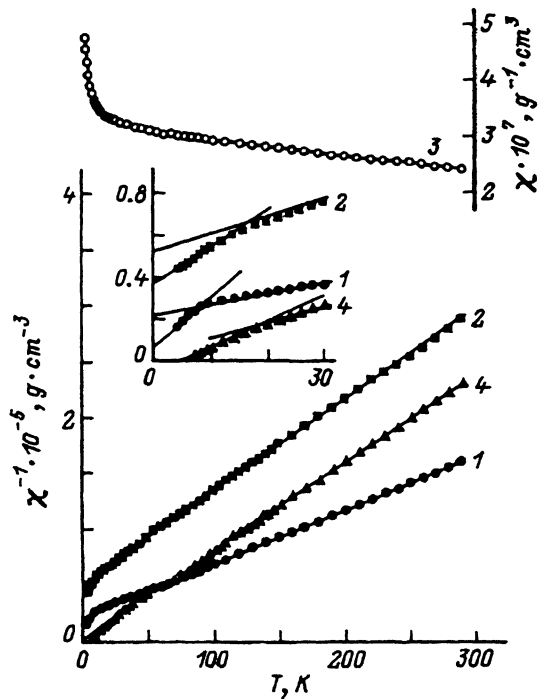


Рис. 2. Температурные зависимости термоэдс  $\text{La}_x\text{Ce}_{1-x}\text{Co}_2\text{Al}_8$  (1-4) и  $\text{CeCo}_2(\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x)_8$  (5, 6).  $x$ : 1 — 0; 2, 5 — 0.3; 3, 6 — 0.5; 4 — 1.0.

коэффициент наклона в случае  $\text{La}_x\text{Ce}_{1-x}\text{Co}_2\text{Al}_8$  с  $x = 0.3$  и  $0.5$  составляет  $\sim 2$ , что, согласно [5], может указывать на изменение количества таких подуровней при  $T \sim 80$  К с четырех до шести.

При замещении  $\text{Al} \rightarrow \text{Ga}$  наблюдается быстрое уменьшение кондовских вкладов в  $\rho$  и  $S$ , сопровождающееся переходом подрешетки Се в магнитоупорядоченное состояние для состава  $x = 0.5$  при  $T_C = 5$  К.

Температурное поведение магнитной восприимчивости  $\chi$  (рис. 3) для образцов всех исследуемых составов с Се соответствует закону Кюри–Вейсса с характерными изломами прямых  $\chi^{-1}(T)$ , отражающих расщепление  $4f$ -уровня Се КП. Для  $\text{LaCo}_2\text{Al}_8$  поведение  $\chi(T)$  описывается соотношением  $\chi = \chi_0 + A \cdot T + C/T$  ( $\chi_0 = 3.1 \cdot 10^{-7} \text{ g}^{-1} \cdot \text{cm}^3$ ,  $A = -2 \cdot 10^{-10} \text{ g}^{-1} \cdot \text{cm}^3 \cdot \text{K}^{-1}$ ,  $C = 7.2 \cdot 10^{-7} \text{ g}^{-1} \cdot \text{cm}^3 \cdot \text{K}$ ). Это указывает на паулиевский парамагнетизм  $\text{LaCo}_2\text{Al}_8$  со слабой температурной зависимостью и наличием магнитной примеси  $\sim 3 \cdot 10^{-2} \text{ at.}\%$  в расчете на магнитный момент иона  $\text{Ce}^{+3}$  ( $\mu_{ef} = 2.54 \mu_B$ ). Из приведенных данных видно, что в  $\text{CeCo}_2\text{Al}_8$  локализованным магнитным моментом (ЛММ) обладают только ионы Се. Оценки эффективного ЛММ и парамагнитной температуры  $\theta_P$  из высокотемпературного участка  $\chi^{-1}(T)$  дают  $\mu_{ef}^{HT} = 2.52 \mu_B$  и  $\theta_P^{HT} = -50$  К. В области температур  $T < 20$  К поведение  $\chi(T)$  для  $\text{CeCo}_2\text{Al}_8$  можно описать законом Кюри–Вейсса с  $\mu_{ef}^{LT} = 1.3 \mu_B$  и  $\theta_P^{LT} = -6$  К. Согласно [7], отрицательные парамагнитные температуры могут служить качественной характеристикой кон-



**Рис. 3.** Температурные зависимости магнитной восприимчивости  $\text{La}_x\text{Ce}_{1-x}\text{Co}_2\text{Al}_8$  (1-3) и  $\text{CeCo}_2(\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x)_8$  (4).  
 $x$ : 1 — 0, 2 — 0.2, 3 — 1.0, 4 — 0.5. На вставке приведены начальные участки кривых 1, 2, 4.

ковского взаимодействия электронов зоны проводимости с основным состоянием примесного  $f$ -центра ( $T_K^{LT} \simeq |\theta_P^{LT}|/3 \simeq 2$  К) и возмущенного КП ( $T_K^{HT} \simeq |\theta_P^{HT}|/3| \simeq 17$  К). Атомные замещения  $\text{La} \rightarrow \text{Ce}$  и  $\text{Al} \rightarrow \text{Ga}$  почти не влияют на магнитное состояние  $\text{Ce}$  при  $T > 20$  К ( $\mu_{ef}^{HT} \simeq 2.5\mu_B$  для образцов всех составов). В области  $T < 20$  К замещение  $\text{Al} \rightarrow \text{Ga}$  вызывает ферромагнитное упорядочение подрешетки  $\text{Ce}$  при  $T \leq 5$  К для состава  $x = 0.5$ , что хорошо коррелирует с резким спадом  $\rho$  в области  $T < 10$  К.

Из совокупности приведенных данных следует, что кондовское взаимодействие в  $\text{CeCo}_2\text{Al}_8$  заметно не экранирует ЛММ  $\text{Ce}$  в основном состоянии (отсутствие ферми-жидкостного участка  $\rho(T)$  и насыщения  $\chi(T)$  в области низких  $T$ ). Состояние подрешетки  $\text{Ce}$  при температурах, сравнимых с кондовской, парамагнитно, но является особенно чувствительным к атомным замещениям типа  $\text{Al} \rightarrow \text{Ga}$ , которые приводят обычно в таких системах [2,8] к ослаблению одноцентрового кондовского взаимодействия.

### Список литературы

- [1] О.М. Сичевич, Р.В. Лапунова, Ю.Н. Гринь, Я.П. Ярмолюк. Изв. АН СССР. Металлы, 6, 117 (1985).
- [2] М.Д. Котерлин, Б.С. Мороховский, Р.В. Лапунова. О.М. Сичевич. ФТТ 31, 10, 297 (1989).
- [3] М.Д. Котерлин, Б.С. Мороховский, Н.Г. Бабич, Н.И. Захаренко. ФТТ 36, 4, 1162 (1994).
- [4] М.Д. Котерлин, О.И. Бабич, Б.С. Мороховский, Л.И. Николаев, А.В. Ющенко. Препринт ИМФ. № 15. Киев (1987). 28 с.
- [5] В. Cornut, P. Coqblin. Phys. Rev. B5, 11, 4541 (1972).
- [6] A.K. Bhattacharjii, V. Coqblin. Phys. Rev. B13, 8, 3441 (1976).
- [7] J. Lawrence. Phys. Rev. 20, 9, 3770 (1979).
- [8] М.Д. Котерлин, О.И. Бабич, Б.С. Мороховский, М.Б. Конык. Р.В. Луцив. ФТТ 30, 5, 1512 (1988).