

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 537.32

© 1994

ОСОБЕННОСТИ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ
НОВОЙ КОНДО-РЕШЕТКИ CeFe_2Al_3

М.Д.Котерлин, Б.С.Мороховский, Н.Г.Бабич, Н.И.Захаренко

Одним из важнейших направлений в исследовании природы состояний с промежуточной валентностью (СПВ) и тяжелыми фермионами является поиск новых материалов, для которых характерна повышенная чувствительность свойств основного состояния к изменениям состава или внешних условий. Именно под таким углом зрения были исследованы явления переноса в новых соединениях типа CeM_2X_8 с $\text{M} = \text{Fe}, \text{Co}$ и $\text{X} = \text{Al}, \text{Ga}$ [1,2] (ромбическая сингония, пространственная группа $R\bar{3}m$ [3]). Обнаружено, что в зависимости от элементов M и X в данных соединениях реализуются переходы Се от магнитного состояния (CeCo_2Ga_8) до СПВ (CeFe_2Al_3). При этом особая чувствительность состояния Се к атомным замещениям наблюдается только в CeFe_2Al_3 [1].

В данном сообщении приведены исследования магнитных свойств поликристаллических образцов CeFe_2Al_3 и его аналога с La .

Подготовка образцов и методика их измерений аналогичны описанным в [1,4]. Измерения удельного электросопротивления ρ проводились в интервале температур 1.7–300 К, а коэффициента дифференциальной термоэдс α и магнитной восприимчивости χ — в интервале температур 4.2–300 К.

На рис. 1 приведены температурные зависимости магнитной составляющей сопротивления ρ_m , определяемой соотношением $\rho_m = \rho(\text{CeFe}_2\text{Al}_3) - \rho(\text{LaFe}_2\text{Al}_3)$, и α соединений RFe_2Al_3 ($\text{R} = \text{Ce}, \text{La}$). Качественно зависимости $\rho_m(T)$ и $\alpha(T)$ подобны наблюдаемым в системах с СПВ Се [4,5]. Отличительной особенностью ρ_m являются появление резкого спада при $T < 6$ К, наличие аномального широкого плато в области температур $8 < T < 40$ К и отсутствие фермижидкостного участка роста в нижнем интервале температур ($\rho_m = \rho_0 + AT^3$ для $40 < T < 80$ К с $A = 1.3 \cdot 10^{-4} \mu\Omega \cdot \text{cm} \cdot \text{K}^{-3}$). Поведение $\rho(T)$ LaFe_2Al_3 не обнаруживает заметных особенностей в измеряемом интервале температур и качественно соответствует закону Блоха–Грюнайзена. Особенности поведения ρ_m в области температур $40 < T < 80$ К коррелируют с дополнительным отрицательным вкладом в α для CeFe_2Al_3 и его

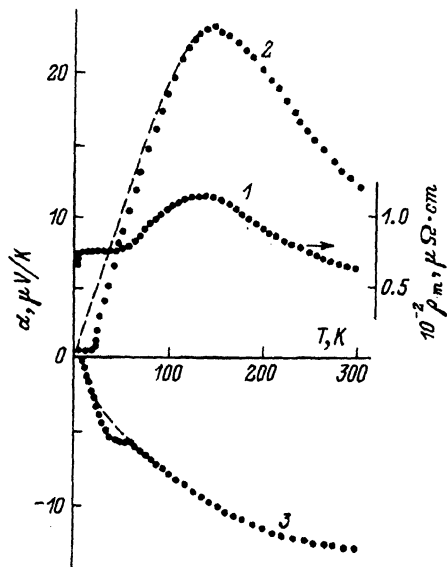


Рис. 1. Температурные зависимости магнитной составляющей удельного электросопротивления ρ_m CeFe_2Al_8 (1) и термоэдс α $R\text{Fe}_2\text{Al}_8$ ($R = \text{Ce}$ (2), La (3)).

аналога с La (на рис. 1 пунктиром качественно обозначена типичная для таких систем зависимость $\alpha(T)$ [4]).

Приведенные данные указывают на возможность существования в CeFe_2Al_8 двух магнитных фазовых переходов в подрешетке Fe при температурах $\sim 4 \div 6$ и $\sim 40 \div 60$ К. В LaFe_2Al_8 низкотемпературный фазовый переход, по-видимому, отсутствует.

На рис. 2 приведены результаты измерений магнитной восприимчивости. Как видно, для LaFe_2Al_8 зависимость $\chi(T)$ соответствует закону Кюри-Вейсса в области температур $45 < T < 300$ К и $T < 10$ К. Откло-

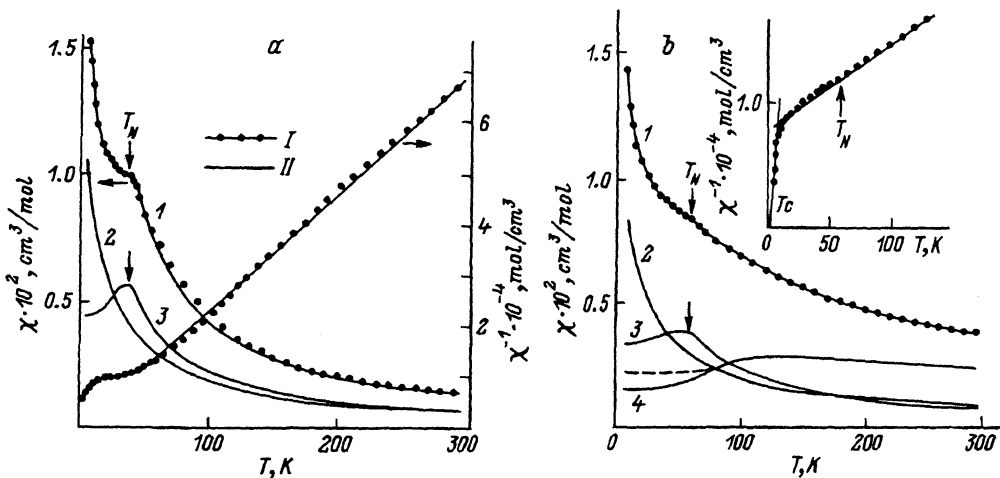


Рис. 2. Экспериментальные (I) и расчетные (II) температурные зависимости магнитной восприимчивости χ (1) и ее составляющих χ_{Fe1} (2), χ_{Fe2} (3), χ_{Ce} (4) для LaFe_2Al_8 (a) и CeFe_2Al_8 (b).

$T_N = 40$ (a) и 60 К (b), $T_C = 4$ К.

нение зависимости $\chi^{-1}(T)$ от прямой при $T < 40$ К можно связывать с наличием антиферромагнитного перехода (АТФП) при части ионов Fe. В случае CeFe_2Al_8 предполагаемый переход выражен менее четко и сдвинут в область $\sim 50 \div 60$ К. Резкое возрастание χ при $T < 10$ К хорошо коррелирует со спадом ρ_m и может соответствовать магнитному упорядочению ионов Fe с $T_c \approx 4$ К. Определенные из линейных участков $\chi^{-1}(T > 60 \text{ К})$ эффективные магнитные моменты, отнесенные на формальную единицу вещества, составляют ~ 1.9 и $3.7 \mu_B$ соответственно для соединений с La и Ce, что указывает на магнитное состояние ионов Ce в данном интервале температур. Для количественного определения магнитных характеристик ионов Ce и Fe необходимо рассмотреть особенности кристаллической структуры $R\text{Fe}_2\text{Al}_8$.

Из анализа структурных данных [3] следует, что в $R\text{Fe}_2\text{Al}_8$ элементы R и Fe образуют одномерные цепочки вдоль оси C с межатомным расстоянием в цепочке $\sim 4 \text{ \AA}$. Цепочки хорошо экранированы друг от друга большим количеством атомов Al в их ближайшем окружении (9–12 атомов Al в координационной сфере R и Fe радиусом $r \leq 3.2 \text{ \AA}$). В структуре можно выделить два типа Fe-цепочек (Fe1 и Fe2). Для Fe1-цепочки характерны большие межцепочечные расстояния ($d(\text{Fe1}-\text{Fe1}) \simeq 7.6 \text{ \AA}$, $d(\text{Fe1}-\text{Fe2}) \simeq 4.7 \text{ \AA}$), а для Fe2-цепочки — сильное их попарное сближение ($d(\text{Fe2}-\text{Fe2}) \simeq 2.8 \text{ \AA}$), что приводит к образованию в $R\text{Fe}_2\text{Al}_8$ гантелеобразных фрагментов структуры «Fe2–Fe2». На формульную единицу вещества $R\text{Fe}_2\text{Al}_8$ приходится по одному атому Fe1 и Fe2, и их ближайшее окружение почти одинаково.

Исходя из проведенного анализа, можно предположить, что для LaFe_2Al_8 $\mu_{\text{eff}}(\text{Fe1}) = \mu_{\text{eff}}(\text{Fe2}) \simeq 1.9/\sqrt{2} \mu_B$, и общую восприимчивость представить в виде двух составляющих восприимчивостей Fe1- и Fe2-подрешеток ($\chi_{\text{LaFe}_2\text{Al}_8} = \chi_{\text{Fe1}} + \chi_{\text{Fe2}}$), пренебрегая паулиевским и ван-Флековским температурно-независимым вкладом. Согласие χ_{exp} с расчетным достигается для

$$\chi_{\text{Fe1}} = C/(T - \theta_1), \quad 4 < T \leq 300 \text{ К},$$

$$\chi_{\text{Fe2}} = C/(T - \theta_2), \quad 40 < T \leq 300 \text{ К}$$

при $\theta_1 = -18 \text{ К}$, $\theta_2 \simeq 0 \text{ К}$, $C = 0.245 \text{ см}^3/\text{mol} \cdot \text{К}$ и $\mu_{\text{eff}}(\text{Fe1}) = \mu_{\text{eff}}(\text{Fe2}) = 1.4 \mu_B$. Предполагая наличие АТФП в подрешетке Fe2 при $T_N = 40 \text{ К}$, поведение χ_{Fe2} при $T < 40 \text{ К}$ определяли из разности $\chi_{\text{exp}} - \chi_{\text{Fe1}}$. В случае CeFe_2Al_8 магнитное упорядочение при $T_c \simeq 4 \text{ К}$ логично отнести к Fe1-подрешетке и учесть для Fe2-подрешетки возрастание T_N до 60 К. Это согласуется с уменьшением расстояний $d(\text{Fe1}-\text{Fe1})$ в Fe1-цепочке ($\sim 5\%$) и $d(\text{Fe2}-\text{Fe2})$ ($\sim 1\%$) между Fe2-цепочками при замене $\text{La} \rightarrow \text{Ce}$, вычисленных на основании данных [3]. Полученные характеристики подрешеток Fe1 и Fe2 использовались при вычислении вклада Ce в общую χ ионов Ce в области температур $T_c < T < 300 \text{ К}$ ($\chi_{\text{Ce}} = \chi_{\text{CeFe}_2\text{Al}_8} - \chi_{\text{Fe1}} - \chi_{\text{Fe2}}$). При этом температура АТФП в Fe2-подрешетке принималась $T'_N = 60 \text{ К}$. Некоторая произвольность в определении χ_{Ce} появляется при $T < T'_N$. В связи с тем что χ_{Ce} обнаруживает максимум, характерный для систем с СПВ Ce $T(\chi_{\text{Ce}}^{\text{max}}) \simeq T(\rho_m^{\text{max}}) \simeq T(\alpha^{\text{max}}) \simeq 140 \text{ К}$, при $T < T'_N$ χ_{Ce} принималась постоянной.

Кривая χ_{Ce} хорошо описывается в рамках примесной модели Кокблена-Шриффера [6] с характеристической температурой $T_K \simeq 285$ К и $\chi_{\text{Ce}}(0) \simeq 2.7 \cdot 10^{-3}$ см³/mol (пунктирная кривая), за исключением крутого спада при $T < 140$ К. Учитывая в CeFe_2Al_3 высокую чувствительность $T(\alpha^{\text{max}})$ к составу [11], можно считать, что такое расхождение может быть вызвано изменением валентного состояния Се в области температур $40 < T < 80$ К. Качественно это согласуется с большим плато ρ_m ($T < 40$ К), отсутствием ферми-жидкостного участка роста ρ_m ($40 < T < 80$ К) и значительным отклонением термоэдс от линейности при $T < 60$ К. Аналогичное поведение ρ_m обнаружено ранее в YbCu_4In , в котором отклонение от фермижидкостного участка роста ρ_m связано с резким валентным переходом Yb в области температур 40–60 К [7].

Таким образом, по совокупности приведенных данных в CeFe_2Al_3 при температурах 40–80 К наблюдается, по-видимому, сосуществование АТФП в подрешетке ионов железа ($T'_N \simeq 60$ К) и электронного фазового перехода с изменением валентности Се, которые существенно влияют на транспортные свойства соединения.

Однако для более полного выяснения взаимосвязи обнаруженных фазовых переходов необходимы температурные спектроскопические исследования магнитной структуры Fe-подрешеток и валентности Се в CeFe_2Al_3 .

Список литературы

- [1] Котерлин М.Д., Мороховский Б.С., Лапунова Р.В., Сичевич О.М. // ФТТ. 1989. Т. 31. № 10. С. 297–299.
- [2] Котерлин М.Д., Мороховский Б.С., Гринь Ю.Н., Сичевич О.М. // Докл. АН УССР. А. 1988. № 11. С. 68–71.
- [3] Гринь Ю.Н., Гладышевский Р.Е. Галлиды: Справочное издание. М.: Металлургия, 1989. 304 с.
- [4] Котерлин М.Д., Бабич О.И., Луцив Р.В., Немошкаленко В.В., Николаев Р.И., Ющенко А.В. // Препринт ИМФ. Киев, 1986. № 11. 24 с.
- [5] Луцив Р.В., Котерлин М.Д., Бабич О.И. // ФТТ. 1984. Т. 26. № 6. С. 1781–1785.
- [6] Rajan T.V. // Phys. Rev. Lett. 1983. V. 51. P. 308–311.
- [7] Котерлин М.Д., Мороховский Б.С., Шерба И.Д., Сыса Л.В., Калычак Е.М., Луцив Р.В. // Докл. АН УССР. А. 1991. № 5. С. 56–58.

Львовский государственный университет
им. И.Франко

Поступило в Редакцию
20 апреля 1993 г.