

$f-d$ -ОБМЕН И КРИВЫЕ НАМАГНИЧИВАНИЯ ЗОННЫХ МЕТАМАГНЕТИКОВ $Y_{1-t}R_t(Co_{0.92}Al_{0.08})_2$ ($R = Pr, Nd$)

© Т. Гото,* И. С. Дубенко, Н. П. Колмакова, К. Коуи,*
Р. З. Левитин, М. Ю. Некрасова

Брянский институт транспортного машиностроения,
241035 Брянск, Россия

* Institute for Solid State Physics, University of Tokyo, Tokyo, Japan
(Поступила в Редакцию 2 августа 1995 г.)

Измерены кривые намагничивания зонных метамангнетиков $Y_{1-t}R_t(Co_{0.92}Al_{0.08})_2$ с легкими редкими землями Pr и Nd в импульсных полях до 42 Т при $T = 4.2$ К. Численное моделирование метамангнитных кривых намагничивания в приближении молекулярного поля позволило определить параметр $f-d$ -обменного взаимодействия A ($A = -25 \cdot 10^{-23}$ и $-23 \cdot 10^{-23}$ Дж для Pr и Nd соответственно).

Интерметаллические соединения на основе кобальта $Y(Co_{1-x}Al_x)_2$ являются зонными метамангнетиками: магнитное поле индуцирует в них переход из парамагнитного (или слабомангнитного при $x \geq 0.12$) в сильномагнитное состояние [1]. Поле метамангнитного перехода H_m сильно зависит от концентрации алюминия [2]. В редкоземельных интерметаллических соединениях $Y_{1-t}R_t(Co_{1-x}Al_x)_2$ (R — редкая земля, (РЗ)), которые также являются кубическими фазами Лавеса, магнитные свойства определяются уже двумя магнитными подсистемами. Кроме магнитно-нестабильной зонной подсистемы имеется также магнитная подсистема, образованная локализованными $4f$ -электронами. В случае легких РЗ $f-d$ -обменное взаимодействие приводит к параллельной ориентации магнитных моментов обеих подсистем, и эффективное поле, действующее со стороны f -подсистемы на d -подсистему, направлено одинаково с внешним полем. Таким образом, суммарное поле, действующее на d -подрешетку, равно

$$H_d = H + \lambda_{fd} t M_f, \quad \lambda_{fd} > 0, \quad (1)$$

где λ_{fd} — параметр $f-d$ -обмена, M_f — магнитный момент РЗ-иона. Следовательно, можно ожидать уменьшения полей метамангнитного перехода H_m^R в соединениях $Y_{1-t}R_t(Co_{1-x}Al_x)_2$ с легкими РЗ по сравнению с аналогичными соединениями без РЗ. Смещение поля метамангнитного перехода и изменение вида кривой намагничивания определяется величиной $f-d$ -обмена и зависит от РЗ и ее концентрации. Поэтому исследования магнитных свойств соединений $Y_{1-t}R_t(Co_{1-x}Al_x)_2$

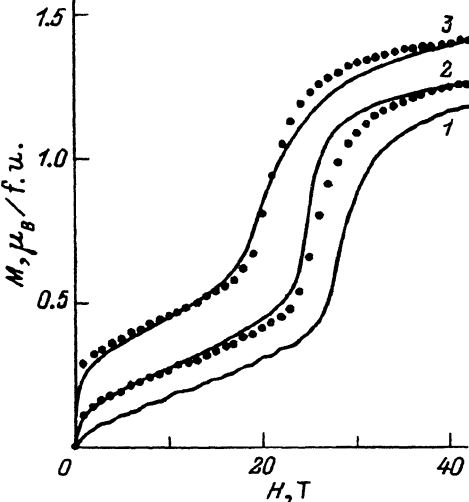


Рис. 1. Кривые намагничивания $Y_{1-t}Pr_t(Co_{0.92}Al_{0.08})_2$ при $T = 4.2$ К. t : 1 — 0, 2 — 0.02, 3 — 0.06. Сплошные линии — эксперимент, точки — расчет.

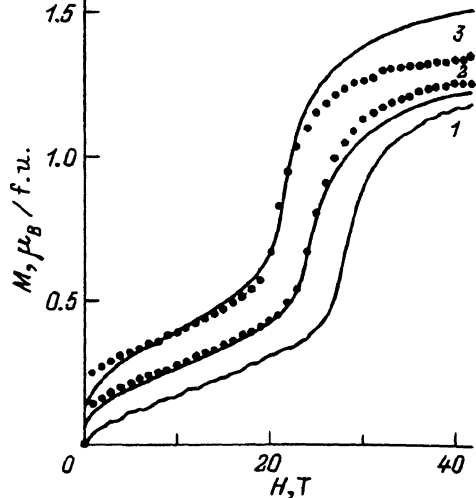


Рис. 2. Кривые намагничивания $Y_{1-t}Nd_t(Co_{0.92}Al_{0.08})_2$ при $T = 4.2$ К. t : 1 — 0, 2 — 0.02, 3 — 0.04. Сплошные линии — эксперимент, точки — расчет.

с разными концентрациями РЗ позволяют определить величину обменного $f-d$ -взаимодействия в соединениях типа RCO_2 . В данной работе в качестве объекта исследований были выбраны соединения $Y_{1-t}R_t(Co_{0.92}Al_{0.08})_2$ с $R = Pr$ и Nd .

Образцы синтезировались по стандартной технологии из исходных компонент в электродуговой печи с последующим гомогенизирующим отжигом. Поскольку магнитные свойства соединений $Y_{1-t}R_t(Co_{1-x}Al_x)_2$ весьма чувствительны к изменению концентрации алюминия, производилось исследование состава образцов с помощью локального структурного макроанализатора фирмы «Сameбах» (Франция) и для измерений выбирались только образцы, в которых концентрация алюминия отличалась не более чем на 3% от заданной. Измерения кривых намагничивания в импульсных полях до 42 Т (длительность импульса 9 ms) при температуре 4.2 К производились индукционным методом.

На рис. 1,2 приведены кривые намагничивания соединений $Y_{1-t}Pr_t(Co_{0.92}Al_{0.08})_2$ и $Y_{1-t}Nd_t(Co_{0.92}Al_{0.08})_2$ соответственно. Видно, что наличие РЗ качественно характера кривых (ср. кривые 2 и 3 с кривой 1), но величины полей метамангнитного перехода, крутизна перехода и другие детали кривых намагничивания изменяются существенно и по-разному для Pr и Nd . На рис. 3 приведены концентрационные зависимости поля метамангнитного перехода H_m^R $Y_{1-t}R_t(Co_{0.92}Al_{0.08})_2$ для $R = Pr$ и Nd , определенные из экспериментальных кривых намагничивания: Из (1) следует, что в случае магнитного насыщения РЗ-подсистемы, имеющего место в полях вблизи метамангнитного перехода, H_m^R уменьшается с ростом t по линейному закону

$$H_m^R = H_m - \lambda_{fd} t M_f. \quad (2)$$

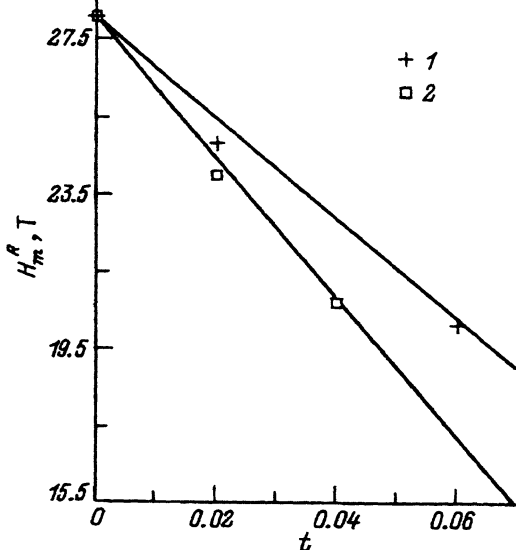


Рис. 3. Концентрационные зависимости поля метамангнитного перехода H_m^R соединений $Y_{1-t}R_t(\text{Co}_{0.92}\text{Al}_{0.08})_2$ при $R = \text{Pr}$ (1) и Nd (2). Прямые линии проведены по формуле (2) для значений $\lambda_{fd} = 40$ (Pr) и $55 \text{ T} \cdot \text{f.u.}/\mu_B$ (Nd).

Из рис. 3 видно, что наклон прямых H_m^R для Pr и Nd разный. Поскольку магнитные моменты Pr и Nd близки, это означает, что параметр f - d -обмена для этих систем различен. Полученные данные дают возможность оценить величину λ_{fd} . Численное моделирование кривых намагничивания рассматриваемой сложной магнитной системы, состоящей из двух подсистем, дает возможность определить параметр f - d -обмена λ_{fd} более точно.

Решаем численно уравнение состояния

$$H_d(M_d) = H + \lambda_{fd} t M_f,$$

$$M_f = g_J J B_J \left\{ (H + \lambda_{fd} M_d) g_J J / k_B T \right\}, \quad (3)$$

где J — полный угловой момент РЗ, B_J — функция Бриллюэна, с использованием экспериментальной кривой намагничивания соединения $Y(\text{Co}_{0.92}\text{Al}_{0.08})_2$ без магнитной РЗ (кривая 1 на рис. 1 и 2) и получаем кривую намагничивания

$$M(H) = M_d(H) + t M_f(H)$$

исследуемого ферромагнетика в приближении молекулярного поля. Из условия наилучшего согласия экспериментальных и рассчитываемых кривых мы подобрали величину λ_{fd} . Для Pr $\lambda_{fd} = 40 \text{ T} \cdot \text{f.u.}/\mu_B$, для Nd $\lambda_{fd} = 55 \text{ T} \cdot \text{f.u.}/\mu_B$. Из рис. 1, 2 видно, что описание экспериментальных кривых достаточно хорошее. Однако имеется заметное различие рассчитанной и измеренной величин магнитного момента в сильномагнитной фазе для $Y_{1-t}\text{Nd}_t(\text{Co}_{0.92}\text{Al}_{0.08})_2$. Причина этого различия до конца не ясна; возможно, оно обусловлено разным состоянием кобальтовой подсистемы в соединениях с РЗ и без РЗ аналогично тому, как это происходит в соединении $(Y, \text{Lu})\text{Co}_2$ [3].

Параметр A спиновой обменного $f-d$ -взаимодействия связан с обменным параметром λ_{fd} соотношением [4]

$$A = \lambda_{fd} g_J N_d \mu_B / Z_f (g_J - 1), \quad (4)$$

где g_J — фактор Ланде, N_d — число d -ионов на формульную единицу, Z_f — число ближайших d -ионов для f -иона. Пересчитывая определенные нами λ_{fd} , получаем для A следующие значения: $A_{Pr} = -25 \cdot 10^{-23}$ J, $A_{Nd} = -23 \cdot 10^{-23}$ J. Эти значения A очень близки найденным для соединений $R\text{Co}_2$ с легкими РЗ из температуры упорядочения T_c , приведенным в [4]: для Pr $A = -25.8 \cdot 10^{-23}$ J, для Nd $A = -23.0 \cdot 10^{-23}$ J. Для тяжелых РЗ параметр обменного $f-d$ -взаимодействия A в соединениях $R\text{Co}_2$ меняется в пределах (от -16 до -19) $\cdot 10^{-23}$ J [4].

Таким образом, определенные нами значения параметра A обменного $f-d$ -взаимодействия для легких РЗ подтверждают вывод о возрастании этого параметра в соединениях типа $R\text{Co}_2$ в случае легких РЗ по сравнению с тяжелыми РЗ. Для полноты сравнения параметров $f-d$ -обменного взаимодействия в соединениях $R\text{Co}_2$ и $Y_{1-t}R_t(\text{Co}_{1-x}\text{Al}_x)_2$ необходимо выяснить, как влияют на $f-d$ -обмен разбавление кобальтовой подсистемы алюминием и малость концентрации РЗ.

Работа выполнена частично при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 93-02-2006) и Международного научного фонда (проект NCV300).

Список литературы

- [1] Александрян В.В., Лагутин А.С., Левитин Р.З., Маркосян А.С., Снегирев В.В. ЖЭТФ **89**, 1, 271 (1985).
- [2] Goto T., Sakakibara T. Tech. Rep. of ISSP. Ser. A, 2550 (1992).
- [3] Dubenko I.S., Levitin R.Z., Markosyan A.S., Yamada H. J. Magn. Magn. Mater. **136**, 1, 93 (1994).
- [4] Duc N.H., Hien T.D., Givord D., Franse J.J.M., De Boer F.R. J. Magn. Magn. Mater. **124**, 1, 305 (1993).