

ВЛИЯНИЕ ЗАМЕЩЕНИЯ ИОНОВ Mn ИОНАМИ Fe НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА МАНГАНИТОВ

Е. П. Свирина, Л. П. Шляхина, Ф. Ф. Шакирова

Установлено, что в манганитах на основе LaMnO_3 с различным замещением ионов La и Mn имеет место сильная взаимосвязь между электрическими и магнитными свойствами [1-3]. Например, в точке Кюри наблюдается переход металл—полупроводник. В наших работах было показано, что манганиты относятся к магнитным полупроводникам с узкой запрещенной зоной, сравнимой по величине с энергией обменного взаимодействия [4-7]. В связи с этим возникает необходимость исследования магнитных свойств манганитов как в ферромагнитной, так и в парамагнитной областях. Особый интерес представляет исследование манганитов с замещением ионов Mn ионами Fe, поскольку обменное взаимодействие Mn—Fe

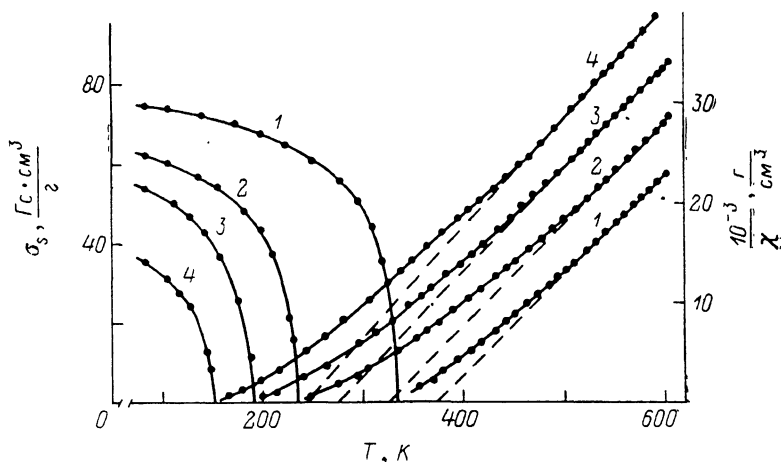


Рис. 1. Температурные зависимости спонтанной намагниченности и обратной восприимчивости для манганитов $\text{La}_{0.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Mn}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_3$.

1 — $y=0$, 2 — 0.1, 3 — 0.13, 4 — 0.22.

отрицательно, что должно существенно изменить величину обменной энергии и магнитного момента манганитов при введении ионов железа.

В данной работе были исследованы монокристаллические манганиты $\text{La}_{0.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Mn}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_3$ ($y=0, 0.1, 0.13, 0.22, 0.24$). Методика выращивания монокристаллов была описана нами ранее [3, 4]. Измерения температурной и полевой зависимостей намагниченности проводились методом маятника Доминикали в полях H до 14 кЭ в интервале температур от 78 до 600 К, включающем температуру Кюри. Температура Кюри была рассчитана методом термодинамических коэффициентов [8]. Спонтанная намагниченность σ_s определялась экстраполяцией изотерм $\sigma(H)$ к $H=0$ при низких температурах и термодинамическим методом в районе температуры Кюри.

На рис. 1 приведены температурные зависимости спонтанной намагниченности $\sigma_s(T)$ и обратной восприимчивости $\chi^{-1}(T)$. Видно, что в области высоких температур для всех исследованных образцов обратная восприимчивость линейно зависит от температуры, что позволило определить парамагнитную температуру Кюри Θ и эффективный магнитный момент $\mu_{\text{эфф}}$ в соответствии с законом Кюри—Вейсса. Значения $\mu_{\text{эфф}}$ в парамагнитной области в расчете на формульную единицу для исследованных образцов приведены на рис. 2. На этом же рисунке представлены значения

магнитных моментов n при 0 К в расчете на формульную единицу. Величина n определялась из спонтанной намагниченности при экстраполяции кривой $\sigma_s(T)$ к $T=0$ К. На рис. 2 также приведены парамагнитная Θ и ферромагнитная T_c температуры Кюри исследованных манганитов.

Из полученных экспериментальных результатов видно, что замещение ионов Mn ионами Fe приводит к уменьшению спонтанной намагниченности σ_s , эффективного магнитного момента $\mu_{эфф}$ в парамагнитной области, ферромагнитной T_c и парамагнитной Θ температур Кюри.

Известно, что за ферромагнетизм манганитов ответственно обменное взаимодействие $Mn^{3+}-Mn^{4+}$, при этом спонтанная намагниченность соответствует полной поляризации спинов ионов Mn^{3+} и Mn^{4+} [9, 10]. При замещении ионов Mn ионами Fe наряду с двойным обменным взаимодействием $Mn^{3+}-O-Mn^{4+}$ появляются обменные взаимодействия $Mn-O-Fe$ и $Fe-O-Fe$, которые имеют отрицательный знак, а также уменьшается число пар ионов $Mn^{3+}-Mn^{4+}$ с положительным обменным взаимодействием. Оба этих фактора должны приводить к уменьшению температуры Кюри и намагниченности, что и наблюдается экспериментально.

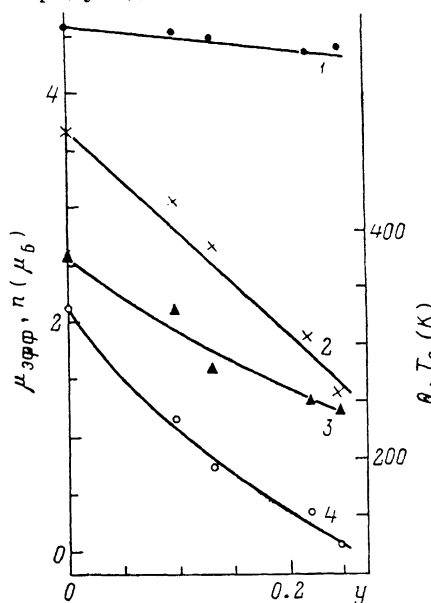


Рис. 2. Концентрационные зависимости эффективного магнитного момента $\mu_{эфф}$ в парамагнитной области (точки — эксперимент, прямая 1 — расчет), магнитного момента n при 0 К (крестики — эксперимент, прямая 2 — расчет), парамагнитной (3) и ферромагнитной (4) температур Кюри.

При этом экспериментальные значения магнитных моментов n при 0 К близки к значениям, рассчитанным при учете чисто спинового магнетизма ионов Mn и Fe и их антиферромагнитного упорядочения (прямая 2 на рис. 2) независимо от валентности ионов Fe (Fe^{2+} или Fe^{3+}), поскольку соответственно меняется число ионов Mn^{3+} и Mn^{4+} . Что касается парамагнитной области, то наилучшее согласие рассчитанных и экспериментальных значений эффективного магнитного момента $\mu_{эфф}$ соответствует наличию двухвалентных ионов железа. Предположение о том, что ионы Fe находятся в трехвалентном состоянии, приводит к возрастанию $\mu_{эфф}$ с увеличением концентрации ионов Fe, что не согласуется с экспериментом.

Из рис. 2 также видно, что с увеличением концентрации ионов Fe разность между ферромагнитной и парамагнитной температурами Кюри возрастает.

В результате проведенного исследования установлено, что замещение ионов Mn ионами Fe в манганитах приводит к понижению температуры Кюри T_c , спонтанной намагниченности σ_s , эффективного магнитного момента $\mu_{эфф}$, значительному расширению температурного интервала разрушения ближнего магнитного порядка. В исследованных манганитах в ферромагнитной области ионы железа антиферромагнитно упорядочены по отношению к ионам марганца.

Авторы выражают благодарность К. П. Белову за интерес к работе и помощь при обсуждении результатов.

- [1] Leung L. K., Morrish A. H., Searle C. W. // *Can. J. Phys.* 1969. V. 47. P. 2697—2702.
 [2] Searle C. W., Wang S. T. // *Can. J. Phys.* 1970. V. 48. N 17. P. 2023—2031.
 [3] Белов К. П., Свирина Е. П., Португал О. Е., Лукина М. М., Сотникова В. И. // *ФТТ*. 1978. Т. 20. № 11. С. 3428—3430.
 [4] Свирина Е. П., Шляхина Л. П., Лукина М. М. // *ФТТ*. 1982. Т. 24. № 11. С. 3492—3495.
 [5] Свирина Е. П., Шляхина Л. П., Лукина М. М., Нтахомвукийе В. // *Вест. МГУ, сер. физ., астроф.* 1983. Т. 24. № 4. С. 64—67.
 [6] Белов К. П., Свирина Е. П., Шляхина Л. П. // *ФТТ*. 1984. Т. 26. № 6. С. 1903—1906.
 [7] Белов К. П., Свирина Е. П., Шляхина Л. П., Лукина М. М., Нтахомвукийе В. // *Вест. МГУ, сер. физ., астроф.* 1985. Т. 26. № 2. С. 94—97.
 [8] Белов К. П., Горяга А. Н. // *ФММ*. 1956. № 2. С. 441.
 [9] Leung L. K., Morrish A. H., Evans B. J. // *Phys. Rev. B*. 1976. V. 13. N 9. P. 4069—4078.
 [10] Leung L. K., Morrish A. H. // *Phys. Rev. B*. 1977. V. 15. N 5. P. 2485—2492.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова
Москва

Поступило в Редакцию
17 июля 1989 г.

УДК 548 : 537.611.46

© Физика твердого тела, том 32, № 3, 1990
Solid State Physics, vol. 32, N 3, 1990

ОРИЕНТАЦИОННЫЕ ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В ГЕКСАГОНАЛЬНЫХ ФЕРРИТАХ

Г. И. Рябцев, Е. П. Найден

Среди магнитных переходов типа порядок—порядок представляет существенный интерес изучение спин-ориентационных переходов, примером которых является изменение направления легкого намагничивания при изменении температуры. Исследование подобных превращений достаточно подробно проведено на редкоземельных магнетиках: ортоферритах, ферритах-гранатах, интерметаллидах редкая земля—железо [1]. Явление спиновой переориентации обнаружено также в системах ферри-магнетиков с гексагональной структурой при введении ионов Co^{2+} [$2-4$], однако оно исследовано значительно менее подробно. Изучение магнитных превращений в подобных соединениях на примере системы $\text{BaCo}_{2-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$ с точки зрения возможности описания этих явлений в рамках теории фазовых переходов (ФП) Ландау [4] проведено в настоящей работе.

Анизотропную часть термодинамического потенциала для одноосного магнетика можно представить в виде

$$F = F_0 + K_1 \sin^2 \theta + K_2 \sin^4 \theta, \quad (1)$$

где θ — угол между вектором намагниченности и осью c . Согласно теории Ландау, при фазовом переходе K_1 должна менять знак. Характер превращения определяется знаком K_2 . При $K_2 > 0$ переориентация спинов осуществляется посредством ФП второго рода. Параметр порядка, которым является угол θ , меняется при этом непрерывно. Если $K_2 < 0$, то изменение направления легкого намагничивания должно происходить скачком и в этом случае ориентационное превращение должно быть переходом первого рода. В теории предполагается, что вблизи точки превращения K_1 является линейной функцией температуры, а K_2 — просто постоянной величиной.