

## ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ РАЗБАВЛЕННОГО АНТИФЕРРОМАГНЕТИКА $Mn_{0,2}Zn_{0,8}F_2$

А.Н.Бажан

В монокристаллах  $Mn_{0,2}Zn_{0,8}F_2$  при температурах  $T < T_f = 6,5 \pm 0,2$  К обнаружена зависимость магнитной восприимчивости, измеряемой в слабых магнитных полях, от частоты модулирующего поля. Анализ экспериментальных данных показывает, что в исследуемом соединении в отсутствие магнитного поля при  $T < T_f$  возникает состояние „нестационарного” спинового стекла.

В работах <sup>1-4</sup> было показано, что при замещении магнитных ионов  $Mn^{++}$  ионами  $Zn^{++}$  в кристаллографической решетке  $Mn_{1-x}Zn_xF_2$  с увеличением концентрации ионов  $Zn^{++}$  понижается температура перехода в антиферромагнитное состояние и при концентрациях  $x > x_c = 0,75 \pm 0,02$  этого перехода не наблюдается. В работе <sup>2</sup> было указано, что при приближении концентрации  $x$  ионов  $Zn^{++}$  к  $x_c$  ( $x < x_c$ ) в  $Mn_{1-x}Zn_xF_2$  существует область температур  $T_N < T < T_f$ , при которой наблюдаются нелинейные зависимости магнитного момента  $M(H)$ , не зависящие от ориентации  $H$  в кристалле и указывающие на то, что в этой области температур существует магнитное состояние кристалла, отличное как от обычного парамагнитного, так и антиферромагнитного состояний.

Целью настоящей работы явилось исследование зависимостей магнитного момента и магнитной восприимчивости системы  $Mn_{0,2}Zn_{0,8}F_2$  ( $x > x_c$ ). Интерес к исследованию систем  $Mn_{1-x}Zn_xF_2$  при таких концентрациях ионов  $Zn^{++}$  определяется тем, что при замещении

немагнитным ионом  $Zn^{++}$  магнитных ионов  $Mn^{++}$  возникает хаотическое распределение взаимодействующих магнитных ионов с хаотичным распределением „-“ и „+“ обменных взаимодействий, обусловленных „-“ обменным взаимодействием ионов  $Mn^{++}$  принадлежащим различным подрешеткам и „±“ обменным взаимодействием ионов  $Mn^{++}$ , принадлежащим одной подрешетке исходного  $MnF_2$ . Такое распределение обменного взаимодействия в сочетании с дипольным взаимодействием характерно для интенсивно исследуемых в настоящее время спиновых стекол<sup>5,6</sup>.

Эксперименты по исследованию зависимостей магнитного момента от приложенного магнитного поля проводились на магнитометре с вибрирующим образцом<sup>7</sup>. Эксперименты по исследованию частотной зависимости магнитной восприимчивости проводились на созданной для этой цели установке с обычным<sup>8</sup> применением двух скомпенсированных измерительных катушек (в одну из которых в процессе эксперимента вставлялся образец) и модулирующей магнитное поле катушки. Как показано в работе<sup>8</sup> сигнал в измерительных катушках пропорционален и частоте модулирующего поля и магнитной восприимчивости исследуемой системы. Амплитуда переменного поля составляла 15 Э.

Чувствительность созданной установки по магнитной восприимчивости  $\chi \sim 10^{-4}$  CGSM. Монокристаллы  $Mn_{0,2}Zn_{0,8}F_2$ , выращенные С.В.Петровым<sup>1)</sup> в ИФП АН СССР, ориентировались на рентгеновской установке. Точность определения осей монокристалла была не хуже  $2 - 3^\circ$ . Точность определения концентрации ионов  $Mn^{++}$  в  $Mn_{1-x}Zn_xF_2$  по магнитной восприимчивости при комнатной температуре<sup>2</sup> была не хуже 10%.

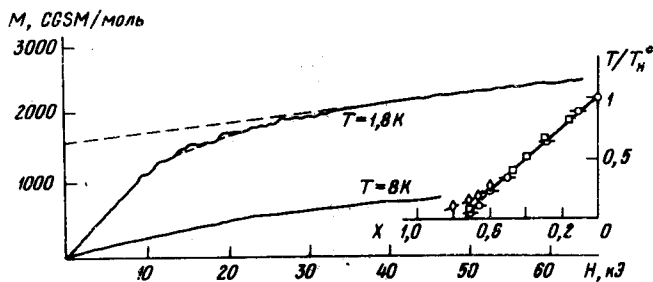


Рис.1. Зависимости магнитного момента от приложенного магнитного поля при различных температурах. Вставка: зависимости приведенных температур,  $T_N/T_N^0$  возникновения антиферромагнитных свойств  $Mn_{0,2}Zn_{0,8}F_2$  (точки  $\circ$  — уточненные данные работы<sup>1</sup>, точки  $\square$  — данные работы<sup>4</sup>) и  $T_x/T_N^0$  возникновения особенных магнитных

свойств  $Mn_{0,2}Zn_{0,8}F_2$  (точки  $\diamond$  — данные работы<sup>3</sup>, точки  $\blacklozenge$  — данная работа) от концентрации ионов  $Zn^{++}$

На рис.1 представлены зависимости магнитного момента от приложенного магнитного поля при различных температурах. При температурах  $T > T_f \approx 6 - 6,5$  К зависимость  $M(H)$  линейна и описывается выражением  $M(H) = \chi(T)H$ . При температурах  $T < T_f$  наблюдается нелинейная зависимость магнитного момента от приложенного магнитного поля, не зависящая от ориентации  $H$ , которую в сильных магнитных полях можно описать выражением  $M(H) = M_0(T) + \chi(T)H$ . На рис.1 представлены зависимости  $M(H)$  при  $T = 6$  К и  $T = 1,8$  К. На рис.2 представлены зависимости магнитной восприимчивости исследуемых монокристаллов от температуры, измеренные в слабых магнитных полях  $\chi^*$  — (точки  $\circ$ ) и сильных магнитных полях  $\chi$  — (точки  $\blacklozenge$ ). Характерной особенностью полученных зависимостей является следующее. Магнитная восприимчивость  $\chi^*$  растет по закону  $\sim 1/T$  при понижении температуры. Магнитная восприимчивость  $\chi$ , измеренная в сильных магнитных полях, при температурах  $T < T_f$  отлична от нуля (хотя для обычного парамагнетика уже должно было наступить насыщение) и слабо зависит от температуры. При дальнейших экспериментах было проведено исследование зависимости магнитной восприимчивости системы  $Mn_{0,2}Zn_{0,8}F_2$ , измеряемой в слабых магнитных полях от частоты модулирующего поля. На

1) Автор благодарен С.В.Петрову за представленные монокристаллы.

рис.3 представлены зависимости магнитной восприимчивости  $\chi^*$  от частоты, измеренной при различных температурах. Из рис.3 видно, что при  $T < T_f$  происходит резкое изменение восприимчивости в области частоты  $\omega \approx 400$  Гц от большого значения  $\chi'$  ( $\omega < 200$  Гц) до значения  $\chi''$  ( $\omega > 900$  Гц), которое при  $T = 4,2$  К в 1,5 раза меньше  $\chi'$ . Температурная зависимость  $\chi'(T)$  совпадает с температурной зависимостью статической восприимчивости, измеренной в слабых полях. Восприимчивость  $\chi''$  гораздо меньше зависит от температуры. При понижении температуры область постоянства  $\chi'$  от частоты при низких частотах несколько уменьшается. Для проверки линейности установки нами исследовалась зависимость магнитной восприимчивости  $\chi_{\perp}$  от частоты для монокристалла  $MnF_2$  при  $T = 4,2$  К. Исследования на монокристалле  $MnF_2$  также как и исследования на монокристалле  $Mn_{0,2}Zn_{0,8}F_2$  при  $T > T_f$  показали, что сигнал получаемый с измерительных катушек с точностью до 5% пропорционален частоте, а следовательно магнитная восприимчивость с той же точностью не зависит от частоты. На рис.2 точками  $\diamond$  представлена

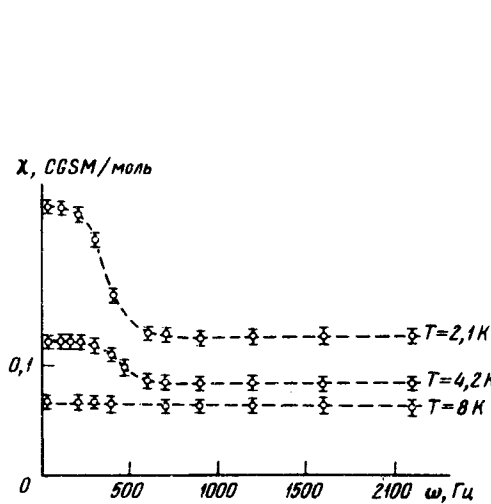


Рис.2.

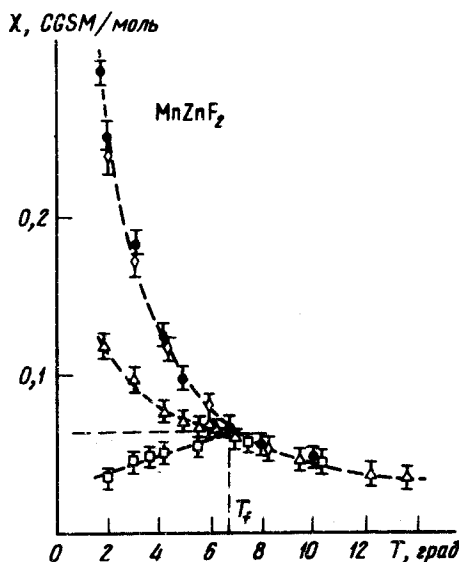


Рис.3.

Рис.2. Зависимости магнитной восприимчивости, измеряемой в слабых магнитных полях от частоты модулирующего поля при различных температурах

Рис.3. Зависимости магнитной восприимчивости, измеряемой при различных величинах приложенного магнитного поля и частоты модулирующего поля от температуры:  $\bullet$   $\chi_{\perp}$ ,  $H \rightarrow 0$ ,  $\omega \approx 0$ ;  $\diamond$   $\chi_{\perp}$ ,  $H \rightarrow 0$ ,  $\omega < 200$  Гц;  $\triangle$   $\chi_{\perp}$ ,  $H \rightarrow 0$ ,  $\omega > 700$  Гц;  $\square$   $\chi_{\perp}$ ,  $H > 40$  Кэ,  $\omega \approx 0$

зависимость магнитной восприимчивости от температуры, измеренная при низких частотах  $\omega < 200$  Гц. Из рисунка видно, что эта зависимость совпадает с зависимостью  $\chi(T)$ , измеренной ранее на магнитометре, где частота соответствующих измерений  $\omega \approx 0$ . Точками  $\triangle$  на рис.2 представлена зависимость магнитной восприимчивости  $\chi''$  от температуры, измеренной при частотах  $\omega > 900$  Гц. Из рисунка видно, что хотя и наблюдается некоторый рост  $\chi''$  с понижением температуры, в точке  $T_f = 6,5 \pm 0,5$  К на этой зависимости наблюдается излом. Выше температуры  $T_f$ , как видно из рис.3, не наблюдается зависимости магнитной восприимчивости  $\chi^*$  от частоты. Возможно, что рост с понижением температуры магнитной восприимчивости, полученной при высоких частотах определяется небольшим (2 ÷ 3%) процентным содержанием отдельных ионов  $Mn^{++}$ , окруженными только ионами  $Zn^{++}$ . В основном же ионы  $Mn^{++}$  в решетке  $Mn_{1-x}Zn_xF_2$  ниже температуры  $T_f$  находятся в состоянии, отличном от обычного парамагнитного, характеризуемом, обнаруженной частотной зависимостью магнитной восприимчивости  $\chi^*$  с характерной „частотой“ релаксации  $\omega \approx 400$  Гц. Можно предположить, что это и есть сильно вырожденное нестационарное состояние спинового стекла<sup>6</sup>. При  $T < T_f$  монокристалл  $Mn_{0,2}Zn_{0,8}F_2$  переходит в не-

которое множество энергетически эквивалентных состояний, различаемых локальной ориентацией магнитных моментов системы. При экспериментах с частотой  $\omega < 200$  Гц вырождение обуславливает парамагнитный рост магнитной восприимчивости, при экспериментах с частотой  $\omega > 900$  Гц измеряется магнитная восприимчивость системы в одном состоянии. Такое предположение подтверждает также исследование зависимостей магнитного момента и магнитной восприимчивости от приложенного магнитного поля — рис.1, <sup>1, 2</sup>.

При увеличении магнитного поля система переходит в стационарное устойчивое состояние с распределением магнитных моментов ионов вокруг приложенного магнитного поля. При этом согласно эксперименту, рис.1, зависимость  $M(H) = M_0 + \chi H$ . По всей вероятности особенности магнитных свойств разбавленных антиферромагнетиков  $Mn_{1-x}Zn_xF_2$  <sup>1, 2</sup> ( $x < 0,7$ ) также характеризуются частотной зависимостью  $\chi^*$ . На рис.1, на вставке представлены зависимости точек фазовых переходов, полученных в работе <sup>2</sup> для системы  $Mn_{1-x}Zn_xF_2$  при  $x < x_c$  в слабых — кривая 1 и сильных — кривая 2, магнитных полях. На этой же вставке точкой  $\Phi$  указана температура  $T_f$  исследованного нами монокристалла  $Mn_{0,2}Zn_{0,8}F_2$ , полученная по возникновению особенности на частотной зависимости  $\chi^*$ . Можно предположить, что при  $x < x_c$  и температурах  $T_N(x) < T < T_f$  в этих монокристаллах также осуществляется новое необычное парамагнитное состояние, и если и имеется зависимость  $T_f$  от величины приложенного магнитного поля, то она довольно слабая. Разрешение этих вопросов при помощи исследования частотных зависимостей магнитной восприимчивости  $Mn_{1-x}Zn_xF_2$  при различных температурах и полях является темой наших дальнейших исследований.

Автор благодарит П.Л.Капицу за интерес к работе, А.С.Боровика-Романова за руководство работой и И.Е.Дзялошинского за обсуждение результатов. Автор благодарит Ю.Я.Томашпольского за проведение микрорентгеноспектрального анализа  $Mn_{0,2}Zn_{0,8}F_2$ .

#### Литература

1. Бажан А.Н., Петров С.В. ЖЭТФ, 1981, 80, 669.
2. Бажан А.Н., Петров С.В. ЖЭТФ, 1983, 84, 315.
3. Boro vik-Romanov A.S.; Bazhan A.N., Amin Ali Ya, Petrov S.V. Journal of Magn. and Magn. Mat., 1983, 31-34, 1121.
4. Belenger D.P., Borsa F., King A.R., Jaccazio V. J. Magn. Magn. Mat., 1980, 15-18, 807.
5. Villain J. Z. Phys., 1979, B33, 31.
6. Binder K. Z. Phys., 1982, B48, 319.
7. Бажан А.Н., Боровик-Романов А.С., Крейнес Н.М. ПТЭ, 1973, № 1, 213.
8. Goldstein A., Williamson S.J., Foner S. Rev. of Scient. Instr., 1965, 36, 1356.