

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ КРИТЕРИЙ ПРИМЕНИМОСТИ СКЕЙЛИНГОВОГО ОПИСАНИЯ ФЕРРОМАГНИТНЫХ СПЛАВОВ С КОНКУРИРУЮЩИМ ОБМЕНОМ

*А.Б.Сурженко, Г.А.Такзей*

*Институт металлофизики АН Украины  
252680, Киев*

Поступила в редакцию 5 марта 1992 г.

Получен простой экспериментальный критерий применимости скейлингового описания фазового перехода "парамагнетик-ферромагнетик" (ПМ-ФМ). Предложенным способом исследовано фазовое превращение ПМ-ФМ в аморфном фрустрированном сплаве  $(\text{Fe}_{70}\text{Cr}_{30})_{85}\text{B}_{15}$ .

К настоящему времени разработан ряд экспериментальных методов изучения критических явлений, сопровождающих фазовые переходы второго рода парамагнетик-ферромагнетик (ПМ-ФМ)<sup>1</sup>. Большинство этих методов основано на определении критических индексов  $\gamma$ ,  $\beta$  и  $\delta$ , описывающих степенные зависимости различных термодинамических функций вблизи критической температуры Кюри  $T_c$ :

$$\chi(T) \sim \tau^{-\gamma} \quad (T > T_c), \quad (1)$$

$$M_s(T) \sim \tau^\beta \quad (T < T_c), \quad (2)$$

$$M(H) \sim H^{1/\delta} \quad (T = T_c). \quad (3)$$

Здесь  $\chi$  - восприимчивость,  $M$  и  $M_s$  - статическая и спонтанная намагниченности ФМ,  $\tau = |1 - T/T_c|$  - приведенная температура,  $H$  - магнитное поле.

Отметим, что в рамках гипотезы подобия значения критических индексов  $\gamma$ ,  $\beta$  и  $\delta$  связаны скейлинговым соотношением<sup>2</sup>

$$\gamma = \beta(\delta - 1). \quad (4)$$

Следовательно, если полученные экспериментально величины критических индексов удовлетворяют соотношению (4), это однозначно указывает на корректность скейлингового описания превращения ПМ-ФМ.

Таким образом, условия (1)-(3) являются необходимыми, а равенство (4) - достаточным условием применимости теории подобия для описания конкретного объекта исследования.

Следует отметить, что большинство известных в настоящее время способов оценки критических индексов имеет ряд серьезных недостатков. Во-первых, ошибка при определении  $T_c$  неизбежно приводит к неточным значениям  $\gamma$ ,  $\beta$  и  $\delta$ . Во-вторых, для фрустрированных ФМ, в которых наряду с ФМ присутствуют антиферромагнитные обменные взаимодействия, и для которых аномально широка критическая область вблизи  $T_c$ <sup>1</sup>, часто возникают экспериментальные трудности в определении температурного интервала применимости соотношений типа (1) - (3). При этом появляется дополнительная погрешность при определении величин критических индексов. В силу указанных причин выполнение, например, соотношения (4) с точностью  $\sim 10\%$  считается вполне удовлетворительным критерием применимости скейлингового описания фазового перехода ПМ-ФМ<sup>1</sup>.

В настоящей статье предлагается простой экспериментальный критерий, позволяющий проверить приемлемость результатов теории подобия к конкретному объекту исследования и лишенный выше перечисленных недостатков.

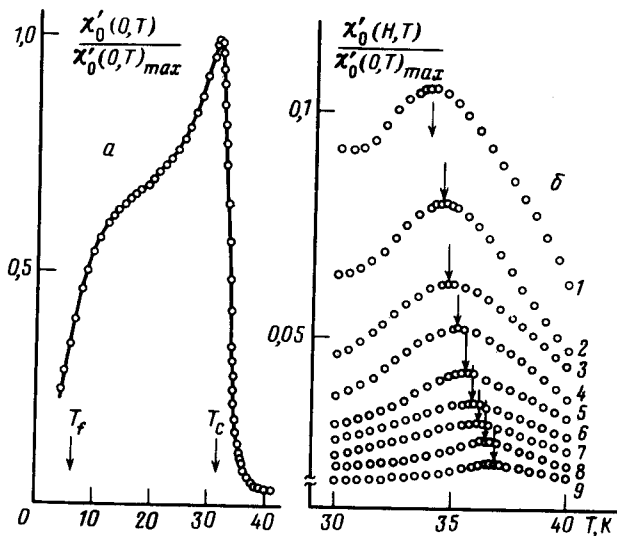


Рис.1. Температурные зависимости вещественной составляющей  $\chi'_0$  динамической магнитной восприимчивости сплава  $(Fe_{70}Cr_{30})_{85}B_{15}$  в нулевом магнитном поле (а) и в магнитных полях различной напряженности (б): 1 -  $H = 20$ ; 2 - 30; 3 - 40; 4 - 50; 5 - 62; 6 - 80; 7 - 100; 8 - 120; 9 - 150 Э

Согласно <sup>1,3</sup> восприимчивость ФМ в ненулевом магнитном поле может быть записана в виде

$$\chi(h, \tau) = \tau^{-\gamma} \mathcal{F}(h/\tau^{\gamma+\beta}) = h^{(1/\delta)-1} G(h/\tau^{\gamma+\beta}), \quad (5)$$

где  $h = \mu_B g H / k_B T_c$  - приведенное магнитное поле, а  $\mathcal{F}(X)$  и  $G(X)$  - скейлинговые функции состояния. С использованием (5) в работе <sup>3</sup> показано, что для ФМ существует кроссоверная линия, описываемая уравнением

$$[d\chi'_0(h, \tau)/d\tau]_{T=T_m} = 0, \quad (6)$$

экспериментально проявляющаяся в появлении при  $T_m(h) > T_c$  максимумов на температурных зависимостях вещественной составляющей  $\chi'_0$  низкочастотной динамической восприимчивости и обусловленных наличием при  $T \gtrsim T_c$  критических ФМ флуктуаций. Из (5) и (6) следует <sup>3</sup>

$$\tau_m \sim h^{1/(\gamma+\beta)}, \quad (7)$$

$$\chi'_0(h, \tau_m) \sim h^{(1/\delta)-1}, \quad (8)$$

где  $\tau_m = (T_m - T_c)/T_c$ . В то же время, комбинируя (4), (7) и (8), нетрудно получить

$$\chi'_0(h, \tau_m) \sim h^{[1/(1+\gamma/\beta)]-1} \sim [h^{1/(\gamma+\beta)}]^{-\gamma} \sim \tau_m^{-\gamma}. \quad (9)$$

Формальное сходство между формулами (1) и (9) означает, что равенство величин  $\gamma$ , полученных из этих зависимостей, автоматически указывает на выполнение (4) и свидетельствует о применимости скейлингового описания фазового перехода ПМ-ФМ, протекающего в исследуемом объекте. Полученный критерий может быть представлен в более удобном виде

$$d \ln \chi'_0(0, \tau) / d \ln \tau = d \ln \chi'_0(h, \tau_m) / d \ln \tau_m, \quad (10)$$

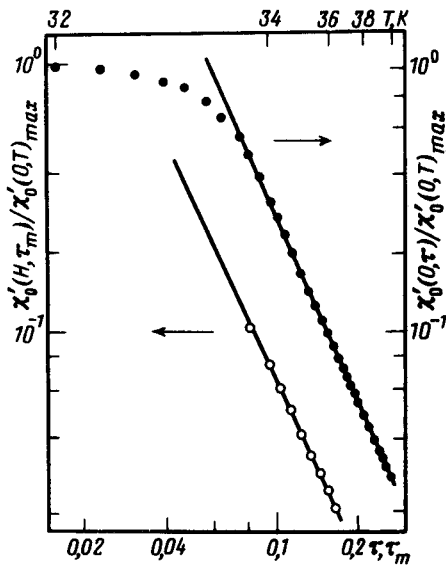


Рис.2. Зависимости нормированной восприимчивости  $\chi'_0$  сплава  $(\text{Fe}_{70}\text{Cr}_{30})_{85}\text{B}_{15}$  от приведенных температур  $\tau$  и  $T_m$

причем, как нетрудно показать, выполнимость условия (10) не зависит от выбора величины  $T_c$ .

Приведенные выше соображения были использованы в настоящей работе для исследования фазового перехода ПМ-ФМ в аморфном фрустрированном ФМ  $(\text{Fe}_{70}\text{Cr}_{30})_{85}\text{B}_{15}$ .

Из рис.1а, на котором представлена измеренная при помощи стандартного моста взаимной индукции вещественная составляющая  $\chi'_0$  динамической магнитной восприимчивости, видно, что данный сплав претерпевает возвратный переход "ПФ-ФМ-спиновое стекло" при соответствующих температурах  $T_c \approx 32$  К и  $T \approx 6$  К. На рис.1б приведены кривые  $\chi'_0(H, T)$  в магнитных полях различной напряженности, причем, наблюдающиеся при  $T_m(H)$  максимумы  $\chi'_0(H, T_m)$  (отмечено стрелками) в соответствии с (7) и (8) уменьшаются по амплитуде и смещаются в область более высоких температур по мере возрастания  $H$ .

С целью проверки критерия (10) на рис.2 в двойном логарифмическом масштабе приведены экспериментальные зависимости  $\chi'_0(0, \tau)$  (темные точки) и  $\chi'_0(H, \tau_m)$  (светлые точки). В обоих случаях выбиралась температура Кюри  $T_c = 31,4$  К. Линейность и параллельность в выбранных координатах зависимостей  $\chi'_0(0, \tau)$  и  $\chi'_0(H, \tau_m)$  свидетельствует с одной стороны о справедливости соотношений (1) и (9) в области приведенных температур, где  $4\pi\chi'_0 < 1$ , и с другой - о выполнении критерия (10). Последнее однозначно указывает на то, что для исследованного сплава вблизи  $T_c$  фазовый переход ПМ-ФМ может быть описан в рамках гипотезы подобия.

Из приведенных данных можно получить значения критических индексов и критической температуры. Обработка температурных зависимостей  $\chi'_0(0, T)$  методом Кувела-Фишера <sup>4</sup> для исследованного сплава дает  $T_c = 31,5 \pm 0,1$  К и  $\gamma = 2,0 \pm 0,1$ , а величина  $\delta$ , вычисленная из полевой зависимости  $\chi'_0(H, \tau_m)$  с использованием (8) составляет  $\delta = 5,0 \pm 0,3$ . Отсюда, используя скейлинговое соотношение (4), легко определить  $\beta = 0,50 \pm 0,05$ .

Отметим, что полученные значения критических индексов хорошо согласуются с выводами теории <sup>5</sup> для фрустрированных аморфных ФМ и с резуль-

татами <sup>6</sup>, полученными другими методами для сплава того же состава.

В заключение следует подчеркнуть, что предложенный в настоящей работе критерий, по-видимому, универсален для всех ФМ, однако наиболее удобен при исследовании фрустрированных сплавов, поскольку в силу аномального уширения критической области, свойственного таким системам, не возникает экспериментальных сложностей, связанных с определением параметров кроссоверной линии.

- 
1. S.N.Kaul, J. Magn. Magn.Mater. **53**, 5 (1985).
  2. Г.Стенли, Фазовые переходы и критические явления, М.: Мир, 1973, 249.
  3. S.C. Ho, I.Maartense and G.Williams, J. Phys. F. **11**, 1107 (1981).
  4. J.S.Kouvel, M.E.Fisher, Phys. Rev. **136**, A1626 (1964).
  5. G.Sobota and D.Wagner, J. Phys. C **11**, 1467 (1978).
  6. U.Guntzel and K.Westerholt, Phys. Rev. B **41**, 740 (1990).