

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 538.22

К ВОПРОСУ ОБ УНИВЕРСАЛЬНОСТИ
КРИТИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ СПИНОВЫХ СТЕКОЛ

А. В. Дерябин, В. К. Казанцев, И. В. Захаров

Сузуки [1] впервые показал, что если образование спинового стекла из парамагнитного состояния является фазовым переходом, то в точке перехода должна расходиться нелинейная восприимчивость χ_2 , χ_4 , χ_6 , в разложении

$$M = \chi_0 H + \chi_2 H^3 + \chi_4 H^5 + \chi_6 H^7 + \dots \quad (1)$$

Признаки фазового перехода в состояние «спиновое стекло» наблюдались у различных сплавов: разбавленных с взаимодействием Рудермана—Киттеля—Касун—Иосиды (РККИ) (например, CuMn [2], AuFe [3], AgMn [4]): аморфных [5, 6] и кристаллических [7-10] сплавов с большой концентрацией атомов переходных металлов. Однако приведенные в литературе значения критических индексов нелинейной восприимчивости для разных спиновых стекол значительно отличаются (например, индекс γ_2 варьируется от 0.8 [9] до 3—3.3 [2, 5]). Не ясно, связано ли такое отличие в значениях критических индексов нелинейной восприимчивости с использованием различных методов определения нелинейной восприимчивости или отсутствие универсальности критического поведения присуще спиновым стеклам. Нами исследована нелинейная восприимчивость FeNiCr спиновых стекол, находящихся на оси составов на разном удалении от критической концентрации возникновения ферромагнетизма x_c^{Φ} . Изучались сплавы Fe₈₇Ni₂₃Cr₁₀ (состав которого очень близок к x_c^{Φ}), Fe₆₅Ni₂₀Cr₁₅ и Fe₇₀Ni₂₀Cr₁₀.

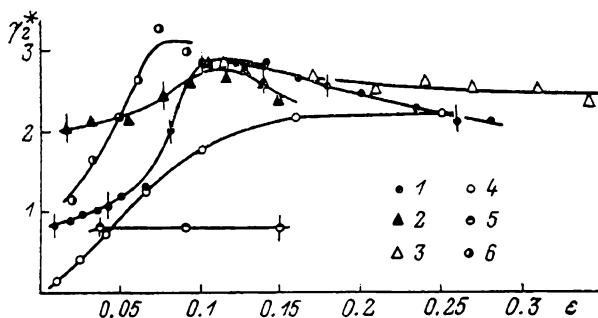
Статическая нелинейная восприимчивость находилась по методике, описанной в [7, 8]. Наиболее подробно изучалось поведение коэффициента нелинейной восприимчивости χ_2 из разложения (1). На рисунке показана зависимость от приведенной температуры ϵ эффективного критического индекса Кувела—Фишера $\gamma_2^* = -\frac{d \lg \chi_2}{d \lg \epsilon}$ ($\epsilon = T - T_f / T_f$) для ряда спиновых стекол. Литературные данные приведены из тех работ, где значения нелинейной восприимчивости χ_2 найдены с достаточно малой погрешностью. Обращает на себя внимание следующее.

Во-первых, при использовании динамического метода нахождения коэффициента нелинейной восприимчивости χ_2 получаются более низкие значения эффективного индекса γ_2^* , особенно при малых значениях приведенной температуры ϵ [6, 9]. Это связано в первую очередь с тем, что при малом характерном времени динамических измерений ($t_{\text{хар}} \leq 10^{-7} - 10^{-2}$ с) радиус корреляции флуктуаций ξ не может достичь достаточно высоких значений [11]

$$(\xi/l_0) \leq (t_{\text{хар}}/\tau_0)^{1/z}, \quad (2)$$

где l_0 — расстояние между магнитоактивными атомами, τ_0 — время односпиновой релаксации (для FeNiCr спиновых стекол оно равно примерно 10^{-9} с), z — критический индекс.

К тому же в ближайшей окрестности температуры образования спинового стекла T_f вклады в амплитуду гармоник данной гармонике различных членов разложения намагниченности по степеням поля оказываются сравнимыми, что существенно затрудняет определение каждого из коэффициентов χ_{2n} [3, 6]. В некотором интервале приведенных температур $0.07 \leq \varepsilon \leq 0.25$ значения эффективного индекса γ_2^* , определенные статическим методом, у различных спиновых стекол (далеких по составу от x_c^{Φ}) отличаются не слишком сильно (лежат в интервале от 2 до 3). Следует обратить внимание на то, что эффективные значения критических индексов β и γ_2 , полученные нами для спиновых стекол (существенно отличающихся по составу от x_c^{Φ}) (см. рисунок и [7, 8]) хорошо согласуются с эффективными значениями индексов $\beta=0.5$, $\gamma_2=2.9 \pm 0.3$, найденными при машинном моделировании образцов трехмерного изинговского спинового стекла [12]. Исследованные



Зависимость эффективного критического индекса нелинейной восприимчивости от приведенной температуры для спиновых стекол $\text{Fe}_{67}\text{Ni}_{23}\text{Cr}_{10}$ (1), $\text{Fe}_{65}\text{Ni}_{20}\text{Cr}_{15}$ (2) (наши данные), аморфного алумосиликата Mn (3) [8], $\text{Fe}_{10}\text{Ni}_{70}\text{P}_{20}$ (4) [6], $\text{Fe}_{58}\text{Ni}_{22}\text{Cr}_{20}$ (5) [9], CsNiFeF_6 (6) [10].

нами FeNiCr спиновые стекла обладают существенной локальной магнитной анизотропией (поле локальной анизотропии составляет около 1000 Э). Это позволяет предположить, что при малых значениях приведенной температуры FeNiCr спиновые стекла являются изинговскими.

Во-вторых, при уменьшении приведенной температуры значения γ_2^* существенно сильнее уменьшаются у сплавов, близких по составу к концентрации возникновения ферромагнетизма x_c^{Φ} (например, $\text{Fe}_{67}\text{Ni}_{23}\text{Cr}_{10}$), чем у «чистых» спиновых стекол (более далеких по составу от x_c^{Φ} , например, $\text{Fe}_{65}\text{Ni}_{20}\text{Cr}_{15}$, см. рисунок). Скорее всего это связано с тем, что у спиновых стекол с $x \approx x_c^{\Phi}$ вследствие больших значений эффективного магнитного момента $\mu_{\text{эф}}$ очень мало значение магнитного поля подавления критических флуктуаций [11]

$$H_{\text{кр}} = \frac{k_B T_f}{g \mu_{\text{эф}}} \varepsilon^{\gamma_2 + \beta}, \quad (3)$$

где g — фактор Ланде, k_B — постоянная Больцмана.

С другой стороны, свойства спиновых стекол с $x \approx x_c^{\Phi}$ могут отличаться от свойств других спиновых стекол. На это указывает, в частности, отличие вида $H-T$ -диаграммы у спиновых стекол с $x \approx x_c^{\Phi}$ и остальных спиновых стекол. $H-T$ -диаграмма спиновых стекол с $x \approx x_c^{\Phi}$ (например, $\text{Fe}_{67}\text{Ni}_{23}\text{Cr}_{10}$ [13], CsNiFeF_6 [14]) имеет такой же вид, как полученная теоретически Габэ и Тулузом [15] для гейзенберговского спинового стекла. У спиновых стекол, существенно отличающихся по составу от x_c^{Φ} , $H-T$ -диаграмма имеет иной вид (на ней нет аналога линии Габэ—Тулуза [8]). Этот факт можно объяснить, учитывая результаты теоретической работы [16]. Согласно [16], линия Габэ—Тулуза может наблюдаться только в режиме «слабой» случайной анизотропии

$$H > \frac{D^{2/3} (k_B T_f)^{2/3}}{\mu_{\text{эф}}}, \quad (4)$$

где D — константа анизотропии.

При приближении по оси составов к концентрации возникновения ферромагнетизма $x_c^{\text{Ф}}$ эффективный магнитный момент $\mu_{\text{эф}}$ существенно возрастает, и условие (4) выполняется в меньших магнитных полях (с учетом того, что константа анизотропии и температура магнитного превращения T_f относительно слабо зависят от концентрации).

Для того чтобы наблюдалась линия Габа—Тулуза, необходимо, чтобы одновременно выполнялся критерий (4) и критерий малости магнитного поля [15]. У спиновых стекол, существенно отличающихся по составу от $x_c^{\text{Ф}}$, может не существовать интервала магнитных полей, где выполняются оба указанных критерия.

В заключение авторы выражают благодарность А. И. Ципину за оценку поля локальной магнитной анизотропии FeNiCr спиновых стекол методом ЭПР.¹

Л и т е р а т у р а

- [1] Suzuki M., Progr. Theor. Phys., 1977, vol. 58, N 4, p. 1151—1165.
- [2] Omari R., Prejean J. J., Souletie J. Lect. Notes Phys., 1983, vol. 192, p. 70—78.
- [3] Chikazawa S., Taniguchi S., Matsuyama H. Miyako Y J. Magn. Magn. Mat., 1983, vol. 31—34, N 6, p. 1355—1366.
- [4] Bouchiat H. J. Phys., 1986, vol. 47, N 1, p. 71—88.
- [5] Beauvillain P., Chappert C., Renard J. P. J. Phys. Lett. 1984, vol. 45, N 13, p. L665—673.
- [6] Taniguchi T., Miyako Y Tholence J. L. J. Phys. Soc. Jap., 1985, vol. 54, N 1, p. 220—230.
- [7] Дерябин А. В., Казанцев В. К., Захаров И. В. ЖЭТФ, 1986, т. 91, № 2, с. 607—620.
- [8] Дерябин А. В., Казанцев В. К., Тьков А. В., Захаров И. В. ФТТ, 1986, т. 28, № 6, с. 1654—1658.
- [9] Такзей Г. А., Костышин А. М., Гребенюк Ю. П., Сыч И. И. ЖЭТФ, 1986, т. 90, № 6, с. 1843—1851.
- [10] Pappa S., Hamman J. J. Phys., 1985, vol. 46, N 4, p. 637—648.
- [11] Паташинский А. З., Покровский В. Л. Флуктуационная теория фазовых переходов. М.: Наука, 1982. 382 с.
- [12] Ogielsky A. T. Phys. Rev., 1985, vol. 32, N 11, p. 7384—7398.
- [13] Дерябин А. В., Казанцев В. К., Захаров И. В. ФТТ, 1987, т. 29, № 2, с. 635—638.
- [14] Pappa S., Hamman J., Jacoboni C. J. Phys. C, 1984, vol. 17, N 6, p. 1303—1315.
- [15] Gabaу M., Toulouse G. Phys. Rev. Lett., 1981, vol. 47, N 3, p. 201—204.
- [16] Kotliar G., Sompolinsky H. Phys. Rev. Lett., 1984, vol. 53, N 18, p. 1751—1754.

Иркутский государственный
университет им. А. А. Жданова
НИИ прикладной физики
Иркутск

Поступило в Редакцию
26 декабря 1986 г.
В окончательной редакции
5 июня 1987 г.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОВЕДЕНИЯ ЧАСТОТЫ МЯГКОЙ МОДЫ¹ В КРИСТАЛЛАХ ГЕРМАНАТА СВИНЦА

В. С. Горелик, В. Н. Моисеенко, И. И. Петерс

Кристалл германата свинца испытывает сегнетоэлектрический фазовый переход второго рода типа смещения при температуре $T_c = 451$ К. Анализ спектров комбинационного рассеяния (КР) для $X(ZZ)Y$ -геометрии [1—3] показал, что в колебательном спектре этого кристалла присутствует мяг-