

## **ЭВОЛЮЦИЯ ДАЛЬНОГО ФЕРРОМАГНИТНОГО ПОРЯДКА ПРИ ПЕРЕХОДЕ „ФЕРРОМАГНЕТИК – СПИНОВОЕ СТЕКЛО”**

*Г.А.Такзей, А.М.Костышин, К.В.Чуистов*

Ниже температуры Кюри разупорядоченного сплава  $\text{FeNiCr}$  обнаружена аномалия нелинейной магнитной восприимчивости, связываемая с процессом разрушения дальнего ферромагнитного порядка и возникновением состояния спинового стекла.

Так называемый двойной переход „ферромагнетик – спиновое стекло” (ФМ – СС) предсказан теоретически и обнаружен экспериментально во многих кристаллических и аморфных системах <sup>1</sup>. Однако в настоящее время существуют разногласия во мнениях об эволюции дальнего ферромагнитного порядка (ДФМП) при таком переходе. Например, исследования температурной зависимости пиковой интенсивности магнитного рассеяния нейтронов, проведенные Малеттой и др. <sup>2</sup> на магнитных полупроводниках  $\text{EuSrS}$ , указывают на то, что ДФМП разрушается. В то же время, проведя аналогичные исследования, но измеряя интегральную интенсивность в классической спинстеклольной системе  $\text{AuFe}$ , Мураши <sup>3</sup> сделал заключение о сохранении ДФМП при переходе ФМ – СС.

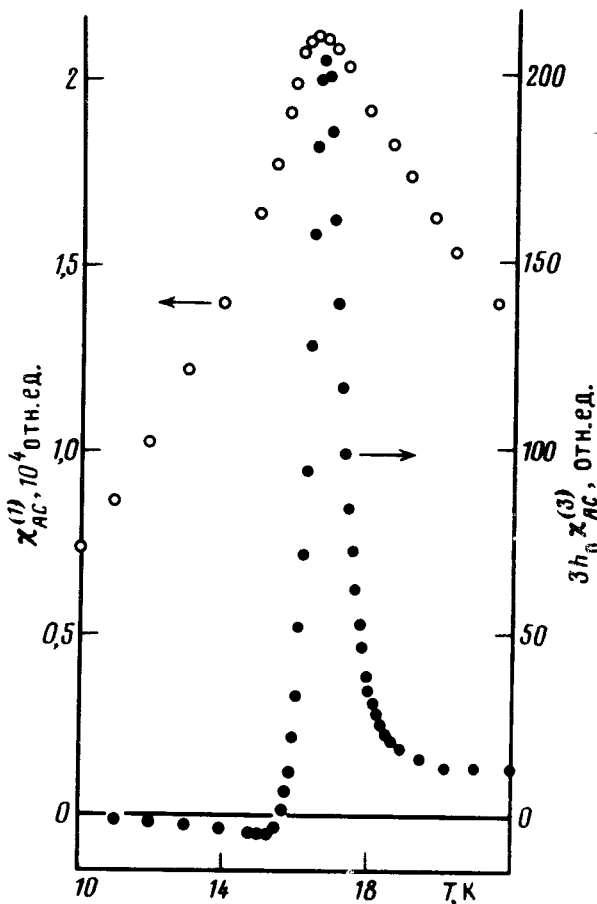


Рис.1. Температурная зависимость линейной  $\chi^{(1)}$  и нелинейной  $\chi^{(3)}$  магнитной восприимчивости  $\text{Fe}_{61}\text{Ni}_{21}\text{Cr}_{18}$

Нейтроннографические методы, как известно, дают наиболее прямую информацию о магнитном состоянии и магнитной структуре вещества. Однако часто и при использовании чисто магнитных методов можно сделать определенные выводы о процессах, происходящих в магнетиках. В данной работе на примере разупорядоченных ГЦК-сплавов  $\text{FeNiCr}$  с помощью измерений нелинейной магнитной восприимчивости сделана попытка проследить за поведением ДФМП при переходе ФМ – СС.

Для исследования были выбраны сплавы  $\text{Fe}_{61}\text{Ni}_{21}\text{Cr}_{18}$  и  $\text{Fe}_{56}\text{Ni}_{26}\text{Cr}_{18}$ . Ранее было показано <sup>4</sup>, что первый из них в процессе охлаждения испытывает переход „парамагнетик –

спиновое стекло" (ПМ – СС), а второй – ФМ – СС. В общем случае намагниченность  $m$  ферромагнетика в пределе малого магнитного поля  $h$  может быть представлена в виде <sup>5</sup>

$$m = m_0 + \chi^{(1)}h + \chi^{(2)}h^2 + \chi^{(3)}h^3 + \dots, \quad (1)$$

где  $m_0$  – спонтанная намагниченность,  $\chi^{(1)}$  – линейная, а  $\chi^{(2)}$  и  $\chi^{(3)}$  – нелинейные восприимчивости. В отсутствие дальнего магнитного порядка формула (1) упрощается и приобретает вид

$$m = \chi^{(1)}h + \chi^{(3)}h^3 + \dots \quad (2)$$

В системах, испытывающих переход ПМ – СС, при температуре  $T_f$  заморзания СС наблюдается излом линейной восприимчивости  $\chi^{(1)}$ , а  $\chi^{(3)}$  имеет очень острую аномалию, наблюдавшуюся рядом авторов <sup>6</sup>.

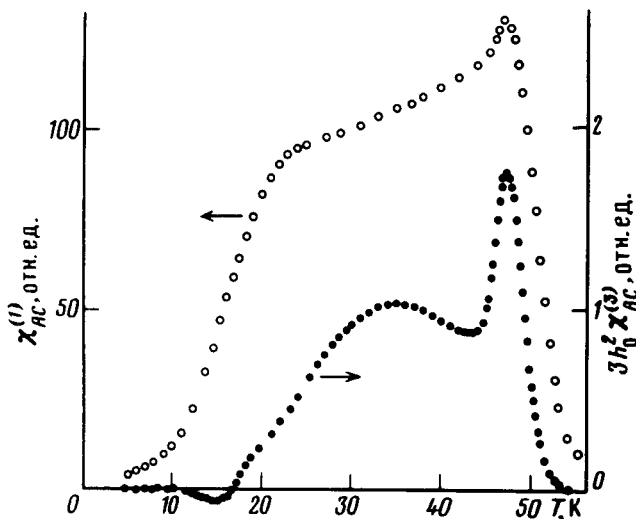


Рис.2.

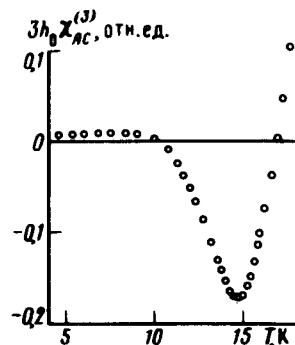


Рис.3.

Рис.2. Температурная зависимость линейной  $\chi^{(1)}$  и нелинейной  $\chi^{(3)}$  магнитной восприимчивости сплава  $\text{Fe}_{56}\text{Ni}_{26}\text{Cr}_{18}$ , испытывающего переход „парамагнетик – ферромагнетик – спиновое стекло“

Рис.3. Низкотемпературная аномалия нелинейной восприимчивости  $\chi^{(3)}$  сплава  $\text{Fe}_{56}\text{Ni}_{26}\text{Cr}_{18}$

На рис.1 приведены температурные зависимости  $\chi^{(1)}$  и  $\chi^{(3)}$  для сплава  $\text{Fe}_{61}\text{Ni}_{21}\text{Cr}_{18}$ . Видно, что при температуре  $T_f = 17,7$  К, наряду с максимумом  $\chi^{(1)}$  наблюдается очень острая аномалия  $\chi^{(3)}$ , причем ниже 16 К  $\chi^{(3)}$  становится положительной. Аналогичное поведение нелинейной восприимчивости отмечалось в диэлектрических СС  $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Cr}_2\text{Se}_4$  <sup>7</sup>.

Если предположить, что при переходе ФМ – СС ДФМП разрушается и вся система переходит в состояние СС, то тогда при температуре  $T_b$  должна наблюдаться аномалия нелинейной восприимчивости, аналогичная приведенной на рис.1. Опубликована единственная работа <sup>8</sup>, в которой изучалась нелинейная восприимчивость при переходе ФМ – СС. Ниже температуры Кюри  $T_c$   $\chi^{(2)}$  не имеет никаких аномалий, а поведение  $\chi^{(3)}$  вовсе не исследовалось.

На рис.2 приведены температурные зависимости  $\chi^{(1)}$  и  $\chi^{(3)}$  сплава, испытывающего переход ФМ – СС. Вблизи  $T_c$   $\chi^{(1)}$  и  $\chi^{(3)}$  имеют характерные аномалии, наблюдаемые, например, в сплавах  $\text{PdFeMn}$  <sup>8</sup>. При температуре же около 15 К  $\chi^{(3)}$  испыты-

вает еще одну аномалию (рис.3), аналогичную полученной для перехода ПМ – СС (рис.1). Интересно отметить, что при понижении температуры и в этом случае  $\chi^{(3)}$  изменяет знак и становится положительной.

На основании сравнения температурных зависимостей нелинейной магнитной восприимчивости  $\chi^{(3)}$  для переходов ПМ – СС и ФМ – СС и их качественного сходства при  $T \lesssim T_f$ ,  $T_b$  можно предположить, что в последнем случае, по крайней мере для исследованного сплава, дальний ферромагнитный порядок разрушается и трансформируется в фазу спинового стекла.

Благодарим С.Л.Гинзбурга за постоянный интерес к работе.

#### Литература

1. Fischer K.H. Phys. Stat. Sol., 1983, b116, 357.
2. Maletta H., Aeppli G., Shapiro S.M. Phys. Rev. Lett., 1982, 48, 1490.
3. Murani A.P. Solid State Comm., 1980, 34, 705.
4. Такзей Г.А., Сыч И.И., Меньшиков А.З., Теплых А.Е. ФММ, 1981, 52, 960; Такзей Г.А., Сыч И.И., Костышин А.М. ФММ, 1982, 53, 1102.
5. Suzuki M. Progr. Theor. Phys., 1977, 58, 1151.
6. Miyako Y., Chikazawa S., Saito T., Youchunas Y.G. J. Appl. Phys., 1981, 52, 1779; Barbara B., Malozemoff A.P., Imry Y. Phys. Rev. Lett., 1981, 47, 1852.
7. Мягков А.В., Минаков А.А., Рудов С.Г. Препринт ФИ АН СССР, № 224, М., 1983.
8. Sato T., Miyako Y. J. Phys. Soc. Japan, 1981, 51, 1394.