

НЕКОЛЛИНЕАРНОЕ МАГНИТНОЕ СОСТОЯНИЕ ВО ФРУСТРИРОВАННОМ ГЕЙЗЕНБЕРГОВСКОМ АНТИФЕРРОМАГНЕТИКЕ

*С.Г.Барсов¹⁾, А.Л.Геталов¹⁾, В.П.Контев¹⁾, Л.А.Кузьмин¹⁾,
С.М.Микиртычьянц¹⁾, Г.А.Такзей, Г.В.Щербаков¹⁾*

*Институт металлофизики АН УССР
252680, Киев*

*¹⁾ Ленинградский институт ядерной физики им. Б.П.Константинова
188350, Гатчина*

Поступила в редакцию 20 февраля 1991 г.

Методом релаксации спина μ^+ -мезона в гейзенберговском антиферромагнетике FeNiCr впервые зарегистрировано неколлинеарное антиферромагнитное (ант-асперомагнитное) состояние. Показано, что при понижении температуры в сплаве реализуется следующая последовательность магнитных превращений: парамагнетик - коллинеарный антиферромагнетик-антиасперомагнетик - спиновое стекло.

В ряде работ показано, что во фрустрированных ферромагнетиках при их охлаждении возникновению фазы возвратного спинового стекла (СС) предшествует образование неколлинеарного ферромагнитного (асперомагнитного) состояния, которое можно рассматривать как суперпозицию ферромагнитного упорядочения спинов вдоль выделенного направления и спин-стекольного упорядочения из поперечных компонентов ¹⁻⁴.

Представляет интерес выяснить, возможно ли образование неколлинеарного антиферромагнитного (антиасперомагнитного) состояния в гейзенберговских фрустрированных антиферромагнетиках (АФМ).

В настоящей работе для решения поставленного вопроса был выбран сплав $\text{Fe}_{64}\text{Ni}_{16}\text{Cr}_{20}$, относящийся к гейзенберговским АФМ сплавам ГЦК-железа ^{5,6} и близким по составу к критической концентрации возникновения дальнего АФМ порядка ⁷.

На рис. 1 приведена температурная зависимость χ^{ZFC} и χ^{FC} магнитной восприимчивости указанного сплава, где восприимчивость χ^{ZFC} получена после охлаждения образца от температуры $T = 30\text{К}$ до $T = 4,2\text{К}$ в нулевом магнитном поле, а χ^{FC} - восприимчивость после охлаждения до той же температуры в измерительном магнитном поле 100 Э. Из рис. 1 видно, что исследуемый сплав ниже температуры Нееля $T_N = 24\text{К}$ переходит в АФМ состояние, что согласуется с нейтронографическими данными ⁶. При более низких температурах наблюдается разница между $\chi^{ZFC}(T)$ и $\chi^{FC}(T)$, т.е. возникают необратимые явления (явления термомагнитной предистории), характерные для СС. При этом температуру $T_f = 11\text{К}$, при которой χ^{FC} становится равной χ^{ZFC} , обычно отождествляют с температурой перехода в фазу вырожденного СС ⁸.

Таким образом, результаты, приведенные на рис.1, показывают, что при охлаждении сплава $\text{Fe}_{64}\text{Ni}_{16}\text{Cr}_{20}$ происходит возвратный температурный переход "парамагнетик - АФМ - СС". К сожалению приведенных данных недостаточно для того, чтобы сделать какие-либо выводы о магнитной структуре возникающих фаз и состояний. Такую информацию дают результаты исследований деполяризации спина μ^+ -мезона в нулевом магнитном поле ⁹, позволяющие судить о распределении локальных магнитных полей в исследуемом образце.

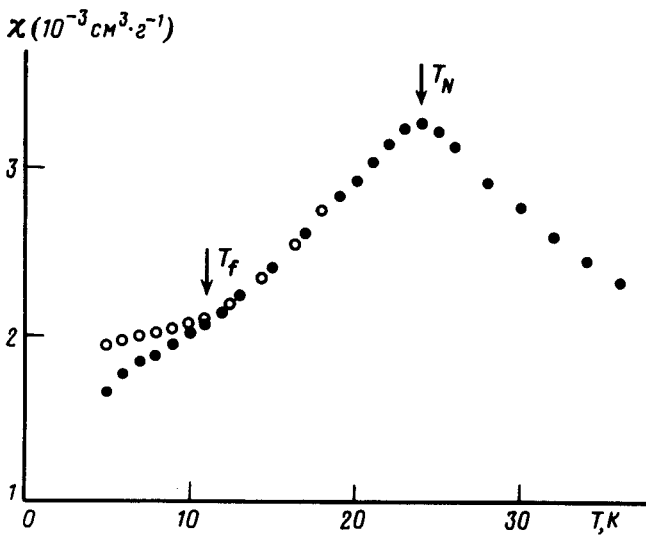


Рис. 1. Температурная зависимость статической магнитной восприимчивости сплава $\text{Fe}_{64}\text{Ni}_{16}\text{Cr}_{20}$. В магнитном поле 100 Э. Темные точки - χ^{FC} , светлые - χ^{ZFC} . T_N - температура Нееля, T_f - температура замерзания спинового стекла

В указанном методе измерялся временной спектр $N(t)$ позитронов распада $\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu + \bar{\nu}$

$$N(t) = \frac{N_0}{N_\mu} \{ [1 + \alpha_0 G(t)] \exp(-t/\tau_\mu) + N_\phi/N_0 \}, \quad (1)$$

где N_μ - число остановившихся в мишени мюонов, $\tau_\mu = 2,2$ мкс - время жизни мюона, а величины $N_0/N_\mu = 0,075$, $\alpha_0 = 0,3$, $N_\phi/N_0 = 0,001$ - постоянные экспериментальной установки и мюонного пучка. Функция $G(t)$ выбиралась в виде

$$G(t) = G_d(t)G_s(t), \quad (2)$$

где $G_d(t)$ и $G_s(t)$ характеризуют соответственно динамику и статику локальных магнитных полей в исследуемом образце.

Выбор функций $G_d(t)$ и $G_s(t)$ в виде ¹⁰

$$G_d(t) = \exp(-\lambda t) \quad (3)$$

и

$$G_s(t) = \sum_i \frac{a_i}{a_0} \left\{ \frac{1}{3} + \frac{2}{3} \left[\cos \gamma_\mu B_i t - \frac{(\gamma_\mu \Delta_i t)^\alpha}{\gamma_\mu B_i t} \sin(\gamma_\mu B_i t) \right] \exp \left[-\frac{(\gamma_\mu \Delta_i t)^\alpha}{\alpha} \right] \right\} \quad (4)$$

позволил наилучшим образом описать экспериментальные значения $N(t)$ для исследуемого образца при различных температурах. В формулах (3), (4) λ - скорость деполяризации спина мюона, γ_μ - гиромагнитное отношение μ^+ -мезона, B_i и Δ_i - среднее значение и дисперсия локального магнитного поля, a_i - объемная доля i -ой магнитной фазы, возникающей в образце при его охлаждении.

Отметим, что формула (4) справедлива для гейзенберговского магнетика без магнитной текстуры ¹⁰, причем параметр $\alpha = 1$ соответствует лоренцову, а $\alpha = 2$ - гауссовому распределению локальных магнитных полей. В формуле (4) для неколлинеарного магнетика второй член в квадратных скобках равен нулю

($B_i \gg \Delta_i \approx 0$), для коллинеарного магнетика (антиасперомагнетика) $B_i \approx \Delta_i$ и для СС $\Delta_i \gg B_i \approx 0$.

Результаты обработки по формулам (1) - (4) экспериментальных данных с применением метода наименьших квадратов позволили подтвердить наличие возвратного перехода АФМ - СС в сплаве $\text{Fe}_{54}\text{Ni}_{16}\text{Cr}_{20}$ и установить особенности магнитных состояний, реализующихся в данном сплаве при различных температурах.

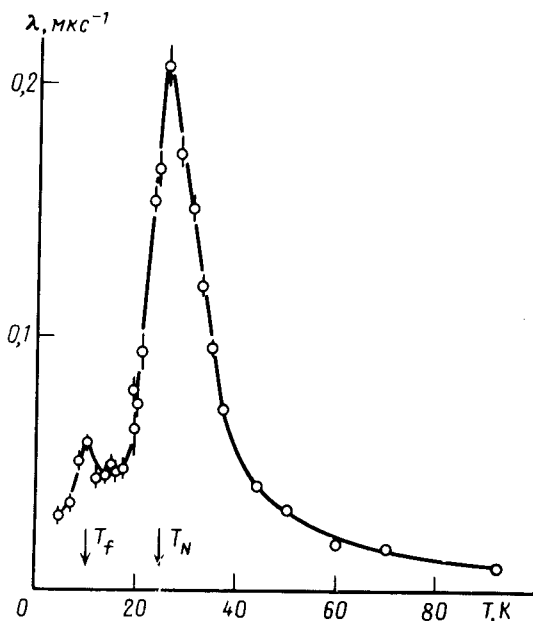


Рис. 2. Температурная зависимость скорости деполаризации λ спина μ^+ -мезона для сплава $\text{Fe}_{54}\text{Ni}_{16}\text{Cr}_{20}$

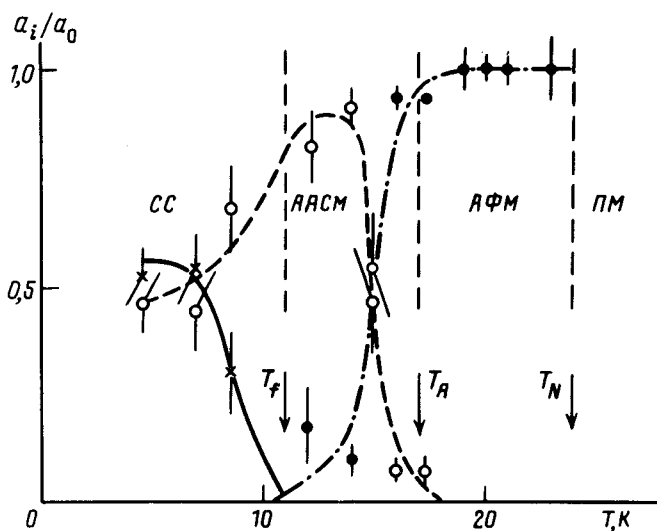


Рис. 3. Объемная доля a_i/a_0 магнитных фаз, возникающих в сплаве $\text{Fe}_{54}\text{Ni}_{16}\text{Cr}_{20}$ при различных температурах: ПМ - парамагнитная, АФМ - коллинеарная антиферромагнитная, ААСМ - неколлинеарная антиферромагнитная (антиасперомагнитная), СС - спин-стекляная фазы. T_N , T_A , T_F - температуры Нееля, возникновения антиасперомагнитного состояния, возвратного спинового стекла

Из рис. 2, на котором приведена температурная зависимость $\lambda(T)$, видно, что вблизи температур T_N и T_f фазовых переходов, определенных выше магнитными методами, наблюдаются четко выраженные пики скорости релаксации мюона, свидетельствующие, согласно ⁹, о развитии критических флуктуаций вблизи соответствующих температур.

Анализ результатов измерений распределений статических магнитных полей показывает, что для сплава $Fe_{64}Ni_{16}Cr_{20}$ в различных температурных интервалах реализуются различные типы магнитных состояний (рис. 3). В частности, при температурах $T_A = 17K < T < T_N = 24K$ исследованный сплав представляет собой коллинеарный АФМ с лоренцовым распределением локальных магнитных полей. В температурном интервале $T_f = 11K < T < T_A = 17K$ магнитную структуру сплава можно рассматривать как суперпозицию коллинеарного АФМ и неколлинеарного магнетика (антиасперомагнетика) с тем же законом распределения локальных магнитных полей. Наконец, при $T < T_f = 11K$ сплав переходит в фазу возвратного СС, в которой сосуществуют СС и антиасперомагнетизм с гауссовым распределением локальных магнитных полей.

Таким образом, в настоящей работе в гейзенберговском фрустрированном АФМ впервые экспериментально зарегистрировано неколлинеарное (антиасперомагнитное) состояние, являющееся промежуточным при переходе коллинеарного АФМ в фазу возвратного СС.

В работах ^{7,11} показано, что в АФМ сплавах $Fe_xNi_{80-x}Cr_{20}$ с $x \geq 68$ ат.% в нулевом магнитном поле фаза возвратного СС не образуется. Основываясь на результатах настоящей работы, можно предположить, что основное магнитное состояние (при $T = 0$ К) указанных сплавов следует рассматривать как антиасперомагнитное. Однако это требует дальнейших исследований.

Благодарим В.Г.Барьяхтара за внимание к работе.

Литература

1. Gabay M., Toulouse G. Phys. Rev. Lett., 1981, 47, 201.
2. Такзей Г.А., Костышин А.М., Гребенюк Ю.П., Сыч И.И. ЖЭТФ, 1985, 89, 2181.
3. Такзей Г.А., Гребенюк Ю.П., Костышин А.М., Сыч И.И. ФТТ, 1987, 29, 83.
4. Такзей Г.А., Гребенюк Ю.П., Сыч И.И. ЖЭТФ, 1990, 97, 1022.
5. Ishikawa Y. In: Physics and Applications of Invar Alloys, Tokyo: Marusen Co. LTD, 1978, 181.
6. Majumdar A.K., Blanckenhagen P. JMMM, 1983, 40, 227.
7. Такзей Г.А., Костышин А.М., Сыч И.И. ФТТ, 1987, 29, 2434.
8. Такзей Г.А., Костышин А.М., Гребенюк Ю.П. ФТТ, 1984, 26, 2722.
9. Барсов С.Г. и др. Препринт, ЛИЯФ АН СССР, N 1332, Л.: 1987.
10. Коптев В.П., Тарасов Н.А. Препринт ЛИЯФ АН СССР, N1313, Л.: 1987.
11. Такзей Г.А., Костышин А.М., Сыч И.И. Письма в ЖЭТФ, 1986, 43, 425.