Письма в ЖЭТФ, том 14, стр. 57–60 5 июля 1971 г.

ТЕМПЕРАТУРА КЮРИ И ВОСПРИИМЧИВОСТЬ ДЛЯ АМОРФНОГО ФЕРРОМАГНЕТИКА ГЕЙЗЕНБЕРГА (ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ)

Ю. Шрайбер, К. Хандрих

1. В последнее время все больше исследуются свойства аморфных ферромагнетиков. Обзор работ по этому вопросу можно найти в [1–3]. Эксперименты доказывают, что ферромагнетизм возможен и без кристаллического порядка. Теоретически этот вопрос был поставлен впервые Губановым [4]. Далее вычислялась намагниченность в определенных приближениях [5–7]. Восприимчивость определялась в приближении молекулярного поля [5, 8], а также для ферромагнетика Изинга при помощи термодинамической теории возмущения для маленьких флуктуаций структуры [7].

2. В данной работе вычисляется восприимчивость для аморфного ферромагнтика Гейзенберга при помощи высокотемпературного разложения. Для этого используется так называемая "решеточная" модель, в которой спины находятся на узлах решетки и обменные интегралы (между ближайшими соседями) флуктуируют стохастически (см. [6, 8]). Если ввести средний по структуре обменный интеграл $\langle I \rangle$, то можно записать

$$I_{ij} = \langle I \rangle + \Delta I_{ij} .$$

В выбранной структурной модели

$$\langle (\Delta I_{ij})^{2n+1} \rangle = 0, \quad \langle \Delta I_{ij} \Delta I_{ke} \rangle = \frac{\Delta^2}{2} (\delta_{ik}\delta_{je} + \delta_{ie}\delta_{kj}),$$

$$\langle (\Delta I_{12})^4 \rangle = \frac{\Delta^4}{4} + a(4), \quad \ldots$$

Разлагая свободную энергию

$$F = -\frac{1}{\beta} \langle \ln \mathrm{Sp}\, e^{-\beta \mathcal{H}}$$

по степеням β, получаем для восприимчивости (см. [9])

$$\chi = -\frac{\partial^2 F}{\partial H^2}\Big|_{H\to 0} = \theta\frac{\mu_B^2 g^2}{<I>} N \frac{S(S+1)}{3}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{a_n}{n!}\theta^n, \theta \equiv \frac{<I>}{kT}. \quad (1)$$

При этом не надо требовать малости флукиуаций обменных интегралов как в [7].

Коэффициенты a_n можно представить в виде $a_n = a_n^{(0)} + \Delta a_n$, причем $a_n^{(0)}$ соответствуют регулярному кристаллу (все обменные интегралы заменяются на $<I>$), а Δa_n возникают от флуктуаций обменных интегралов. Для кубических решеток мы определили Δa_n до $n = 4$.

3. Для $\Delta^2/<I>^2 \lesssim 1$ можно пренебречь членами Δ^4 и $a(4)$ в Δa_4. Тогда следует $\Delta a_n \leqslant 0$ для $n = 1, \ldots 4$. Определяя радиус сходимости ряда (1), можно получить температуру Кюри [9].

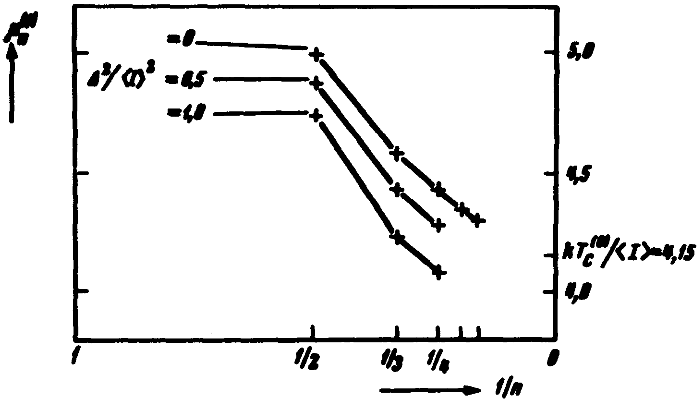

Рис. 1

Мы использовали следующие критерии сходимости:

$$\mu_n^{(1)} = \frac{a_n}{a_{n-1}}\,\frac{1}{n}$$

и

$$\mu_n^{(2)} = \sqrt[2]{\frac{a_n}{a_{n-2}}\,\frac{1}{n(n-1)}}.$$

Из представления $\mu_n = f(1/n)$ можно экстраполировать T_c при помощи сравнения с регулярным кристаллом (см. рис. 1). При этом точность для ΔT_c составляет несколько процентов. Результат можно записать в виде:

$$T_c = T_c^{(0)}\left(1 - A(S, z)\frac{\Delta^2}{<I>^2}\right),$$

причем $T_c^{(0)}$ – температура Кюри регулярного кристалла [9], S – модуль спина и z – число ближайших соседей. Вычисление дает:

z	8			12		
S	1/2	1	3	1/2	1	3
$T_c^{(0)}$	2,660	7,550	48,500	4,150	12,000	75,400
$A(S, z)$	0,115	0,069	0,025	0,030	0,040	0,016
$\Delta T_c/(\Delta^2/\langle I\rangle^2)$	−0,299	−0,521	−1,210	−0,332	−0,480	−1,210

Таким образом следует, что флуктуации обменных интегралов приводят к снижению температуры Кюри, последнее соответствует результатам в работах [6] и [10]. Кроме того для случая $S = 1/2$ и $z = 12$ мы определили

$$\Delta\left(\frac{1}{\bar{\chi}}\right) \equiv \frac{1}{\bar{\chi}} - \frac{1}{\bar{\chi}^{(0)}} \; ; \qquad \bar{\chi} \equiv \frac{3kT_c^{(0)}}{\mu_B^2\, g^2 NS(S+1)}\, \chi$$

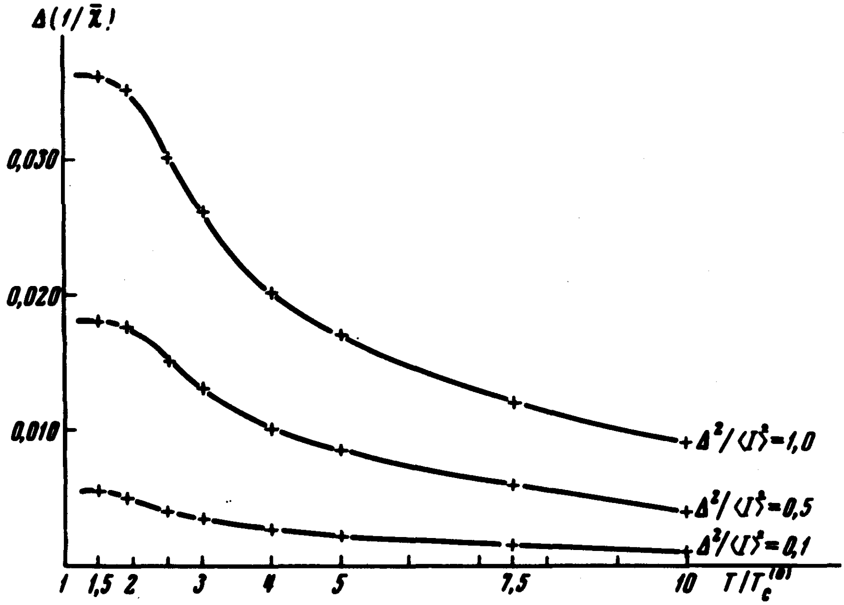

Рис. 2

как функцию температуры (см. рис.2). Видно, что флуктуации обменных интегралов приводят к уменьшению восприимчивости при всех T. Это находится в соответствии с результатами в работе [7]. Расчеты в приближении Вейсса [8] приводят наоборот к повышению температуры Кюри и восприимчивости. Как показано в [10], это неправильное поведение следует из пренебрежения ближним магнитным порядком в этом приближении.

Авторы выражают благодарность профессору Г.Хеберу за полезные дискуссии и ценные советы.

Технический университет
Дрезден, ГДР

Поступила в редакцию
24 мая 1971 г.

Литература

[1] R.Hasegawa. Kotai butsuri. Sol. State Phys., 5, 63, 1970.

[2] W.Felsch. Z. angew. Phys., 29, 217, 1970.

[3] K.Handrich, S. Kobe. Acta Phys. Polon., A38, 819, 1970.

[4] А.И.Губанов. ФТТ, 2, 502, 1960.

[5] K.Handrich. Phys. stat. sol., 32, K55, 1969.

[6] C.G.Montgomery, J.I.Krugler, R.M.Stubbs. Phys. Rev. Lett., 25, 669, 1970.

[7] K.Handrich. Phys.stat.sol. (b), 44, K17, 1971.

[8] С.Кобе, К.Хандрих. ФТТ, 13, 887, 1971.

[9] G.S.Rushbrooke, P.J.Wood. Mol. Phys., 1, 257, 1958.

[10] S.Kobe, K.Handrich. Phys.stat. sol.(b), 44, K53, 1971.