

Письма в ЖЭТФ, том 15, вып.7, стр 414 – 416

5 апреля 1972г.

О СПИНОВОЙ ЗАВИСИМОСТИ ВОСПРИИМЧИВОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ КЮРИ АМОРФНЫХ ФЕРРОМАГНЕТИКОВ

К.Хандрих, Ю.Шрайбер

В ряде экспериментальных работе по аморфным ферромагнетикам [1 – 4] было установлено уменьшение намагниченности и температуры Кюри в сравнении с кристаллическим состоянием . Результаты теоретических исследований существенно зависят от выбранного приближения. Было получено как уменьшение [5 – 8] так и повышение [9] температуры Кюри и восприимчивости из-за флуктуаций обменных интегралов. В работах [6, 8] было отмечено, что флуктуации при учете ближнего магнитного порядка всегда приводят к уменьшению этих величин.

В данной работе с помощью высокотемпературного разложения (ВТР) рассматривается влияние флуктуаций обменных интегралов на χ и T_c для моделей Гейзенберга и Изинга в зависимости от спина S и числа ближайших соседей. Для модели Изинга была установлена несколько неожиданная "спиновая аномалия" (изменение влияния флуктуаций на χ и T_c). Аналогично [7] вычисляются первые четыре коэффициента в ВТР восприимчивости

$$\bar{\chi} = 3kT\chi/\mu_B^2 g^2 NS(S+1) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n \theta^n; \quad \theta = \langle l \rangle / kT \quad (1)$$

для моделей Гейзенберга и Изинга при разных значениях спина. Структурный беспорядок учитывается в рамках решеточной модели (см. [7]) при помощи стохастически флуктуирующих обменных интегралов. Если представить коэффициенты a_n из (1) в виде

$$a_n = a_n^0 (1 + A_n \Delta^2); \quad \Delta^2/2 = \langle \Delta l_{12}^2 \rangle / \langle l \rangle^2, \quad (2)$$

то из расчета следует для $n = 1, \dots, 4$:

	модель Гейзенберга	модель Изинга
$S = 1/2$	$A_n \leq 0$	$A_n \leq 0$
$S \geq 1$	$A_n \leq 0$	$A_n \geq 0$
(до $S = \infty$)		

Первые коэффициенты ВТР (1) однозначно определяют поведение восприимчивости при $T \gg T_c$. Таким образом в рамках модели Гейзенберга при высоких температурах $\Delta\chi_H = \chi_H - \chi_H^0 \leq 0$ для всех S (т. е. уменьшение χ из-за флуктуации¹⁾). При этом модуль A_n уменьшается с возрастанием спина S , но остается конечным до $S = \infty$.

В противоположность этому в рамках модели Изинга получается изменение знака $\Delta\chi_J$ с возрастанием спина. При $S = 1/2$ $\Delta\chi_J < 0$; при этом $|\Delta\chi_J|$ существенно меньше, чем $|\Delta\chi_H|$. Неожиданно оказалось, что $\Delta\chi_J > 0$ при $S \geq 1$. Эти результаты показывают, что влияние флуктуаций зависит очень существенно от конкретного вида взаимодействия спинов. Так, например, в ходе расчета видно, что в модели Гейзенберга именно x - и y -компоненты спиновых операторов вносят решающий отрицательный вклад в A_n .

Для того, чтобы понять причину этой спиновой аномалии более наглядно, кратко рассмотрим влияние ближнего магнитного порядка на намагниченность в зависимости от спина для кристаллического ферромагнетика. Хорошо известно, что T_c и парамагнитная температура Кюри T_p сближаются с возрастанием спина. Это можно истолковать, и так, что с увеличением S описание взаимодействий эффективным внутренним полем Вейсса становится все более реалистичным, или другими словами – влияние ближнего магнитного порядка на термодинамические величины уменьшается.

¹⁾ Все величины без учета флуктуаций обозначаются индексом "0".

Это свойство в модели Изинга выражено сильнее, чем в модели Гейзенберга, т. е. $(T_p - T_c)_J$ для всех значений спина заметно меньше, чем $(T_p - T_c)_H$.

Используя результаты [9], где в приближении молекулярного поля Вейсса было найдено повышение температуры Кюри и восприимчивости за счет флуктуаций, можно понять качественно роль величины спина.

Увеличение значения $\Delta\chi$ возникает от возрастающего влияния молекулярного поля, аппроксимирующего настоящее взаимодействие тем лучше, чем больше спин S . Кроме того, эта аппроксимация при одинаковом S для модели Изинга заметно лучше, чем для модели Гейзенберга.

Мы приходим к следующему выводу: влияние флуктуации обменных интегралов в аморфных ферромагнетиках определяется существенным образом ролью ближнего магнитного порядка.

Эти флуктуации уменьшают восприимчивость и температуру Кюри только в том случае, если χ и T_c для кристалла достаточно сильно уменьшаются под влиянием ближнего магнитного порядка. Число ближайших соседей Z отличие от S играет менее важную роль. Для всех вычисленных A_n мы нашли, что $|A_n|$ и соответственно $|\Delta\chi|$ убывают с увеличением Z . Это вполне понятно, так как при больших Z средние флуктуации убывают. В частности следует, что все $A_n = 0$ при $Z = \infty$. Однако знак $\Delta\chi$ не может меняться при изменении Z . Наряду с $\chi(T)$ при высоких температурах ВТР позволяет определить и T_c при помощи экстраполяции см. [7].

Оказывается, что спиновая аномалия восприимчивости переносится и на температуру Кюри T_c , т. е. для модели Гейзенберга экстраполированная T_c уменьшается за счет флуктуаций обменных интегралов при всех значениях спина S , в то время как для модели Изинга при $S = 1/2$ происходит уменьшение, а при $S \geq 1$ увеличение температуры Кюри.

Авторы признательны проф. Хеберу за дискуссии.

Технический университет
Дрезден, ГДР

Поступила в редакцию
7 февраля 1972г.

Литература

- [1] R.Hasegawa, Kotai butsuri. Sol.State Phys., 5, 63, 1970.
- [2] G.C.Tsuei, G.Longworth, S.C.H. Lin. Phys. Rev., 170, 603, 1968.
- [3] K.Tamura, H.Endo. Phys. Lett. (Netherl.), 29A, 52, 1969.
- [4] A.W.Simpson, D.R.Brambley. To be published in phys. stat. sol.
- [5] C.G.Montgomery, J.I.Krugler, R.M.Stubbs. Phys. Rev. Lett., 25, 669, 1970.
- [6] K.Handrich. Phys. stat. sol. (b), 44, K17, 1971; Preprint, März 1971-QM-2/71.
- [7] Ю.Шрайбер, К.Хандрих. Письма в ЖЭТФ, 14, 57, 1971.
- [8] S. Kobe, K.Handrich. Phys. stat. sol., (b) 44, K53, 1971.
- [9] S.Kobe, K.Handrich. Acta Phys. Polon., A38, 819, 1970; С.Кобе, К.Хандрих. ФТТ, 13, 887, 1971.