

05.08

Разрушение дальнего антиферромагнитного порядка дефектами типа „случайное локальное поле“

© А.И. Морозов

Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет),
Москва, Россия

E-mail: mor-alexandr@yandex.ru

(Поступила в Редакцию 5 октября 2010 г.)

Рассмотрено поведение разбавленных антиферромагнетиков во внешнем магнитном поле. Показано, что вследствие зависимости „силы“ возникающих дефектов типа „случайное локальное поле“ от величины магнитной индукции разрушение дальнего антиферромагнитного порядка этими дефектами в пространстве размерности $d \geq 2$ невозможно.

Хорошо известно (см., например, работы [1,2]), что немагнитная примесь замещения или вакансии в двух-подрешеточном коллинеарном антиферромагнетике, находящемся во внешнем магнитном поле, представляет собой дефект типа „случайное локальное поле“. Величина локального поля прямо пропорциональна индукции приложенного магнитного поля \mathbf{B}_0 . Действительно, взаимодействие нескомпенсированного магнитного момента содержащей дефект элементарной ячейки с магнитным полем создает в этой ячейке локальное поле, сопряженное антиферромагнитному параметру порядка. Величина этого поля равна $\pm \mathbf{B}_0/2$ в зависимости от того, в первой или во второй подрешетке антиферромагнетика отсутствует магнитный атом. Множитель 1/2 возникает из-за того, что в коллинеарной фазе антиферромагнетика параметр порядка в ячейке $L = 2\mu$, где μ — магнитный момент атома.

В работе [3] были получены условия разрушения дальнего порядка дефектами типа „случайное локальное поле“ в системах со слабой анизотропией.

В качестве систем с непрерывной симметрией, содержащих примеси типа „случайное локальное поле“ или „случайная анизотропия“, рассматривают жидкие кристаллы в пористой матрице [4–6] и сверхтекучий ^3He в аэрогеле [7–9]. Системы со слабой анизотропией могут быть получены из таких систем путем деформации пористой матрицы или аэрогеля, что и было проделано в работе [9]. При этом система переходила из состояния с разрушенным дальним порядком к упорядоченному состоянию.

К системам со слабой анизотропией относятся также магнетики, в которых энергия анизотропии имеет релятивистскую малость.

В системах с непрерывной симметрией параметра порядка при размерности пространства $d < 4$ сколь угодно малая концентрация примесей, которые создают случайное локальное поле, сопряженное параметру порядка, или случайную анизотропию, приводит к разрушению дальнего порядка даже в основном состоянии. Система переходит в состояние Ларкина–Имри–Ма [10,11] с изменяющимся параметром порядка, который следует

за пространственными флуктуациями направления случайного поля или оси анизотропии. В системе типа Изинга с однокомпонентным параметром порядка такое разрушение имеет место при $d < 2$.

Как показано в работе [3], в системах со слабой анизотропией типа „легкая ось“ при размерности пространства $2 \leq d \leq 4$ разрушение дальнего порядка происходит при выполнении условия

$$x h_0^2 > K^{2-d} J^{d/2} \eta^2, \quad (1)$$

где x — безразмерная концентрация дефектов, h_0 — величина случайного по знаку локального поля дефекта, коллинеарного легкой оси и сопряженного параметру порядка η , K — константа анизотропии типа „легкая ось“, Jb^2 — коэффициент при квадратичном члене разложения энергии элементарной ячейки по степеням градиента параметра порядка, b — межатомное расстояние.

В рассматриваемом нами случае $h_0 \propto B_0$. Это означает, что для разрушения дальнего порядка величина внешнего поля, направленного вдоль легкой оси, должна превзойти критическое значение. Выражение (1) относится к коллинеарной фазе антиферромагнетика. Поэтому следует сравнить критическое значение магнитной индукции со значением B_1 , соответствующим спин-флоп-переходу, и сделать вывод о возможности разрушения дальнего порядка в коллинеарной фазе. В случае отрицательного ответа необходимо рассмотреть такую возможность в спин-флоп-фазе. Этому вопросу и посвящена настоящая работа.

Вводя наряду с величиной B_1 магнитную индукцию B_2 , соответствующую спин-флип-переходу антиферромагнетика в ферромагнитную фазу [12], можно записать условие (1) для антиферромагнетика в виде (численные коэффициенты порядка единицы опускаем)

$$x \left(\frac{B_0}{B_2} \right)^2 > \left(\frac{B_1}{B_2} \right)^{4-d}, \quad (2)$$

откуда получаем критическое значение индукции внешнего магнитного поля B^* , соответствующее обращению

неравенства в равенство,

$$B^* \sim B_1 x^{-1/2} \left(\frac{B_2}{B_1} \right)^{\frac{d-2}{2}}. \quad (3)$$

Для размерности пространства $d \geq 2$ величина $B^* \gg B_1$, т.е. невозможно достичь критического значения магнитной индукции в коллинеарной фазе. В случае $d < 2$, как показано в классической работе Имри и Ма [10], разрушение дальнего порядка происходит при сколь угодно малой концентрации и „силе“ дефектов типа „случайное локальное поле“.

Рассмотрим возможность разрушения дальнего порядка в спин-флоп-фазе. В ней роль кристаллографической анизотропии играет внешнее поле, которое ориентирует намагниченности подрешеток антиферромагнетика так, чтобы возникающий вследствие их скоса результирующий магнитный момент был направлен по полю. Соответствующая константа эффективной анизотропии K^* составляет величину

$$K^* \sim \frac{B_0^2 \mu}{B_2}. \quad (4)$$

Условие разрушения дальнего порядка можно получить из (1), заменяя K на K^* , что эквивалентно замене B_1 на B_0 в неравенстве (2). В результате получаем

$$x > \left(\frac{B_2}{B_0} \right)^{d-2}. \quad (5)$$

В случае $d \geq 2$ условие (5) не может быть выполнено.

Таким образом, разрушение дальнего антиферромагнитного порядка малой концентрацией дефектов типа „случайное локальное поле“ в пространстве с размерностью $d \geq 2$ невозможно.

Список литературы

- [1] D.P. Belanger. Phase Trans. **11**, 53 (1988).
- [2] В.С. Доченко. УФН **165**, 481 (1995).
- [3] А.И. Морозов, А.С. Сигов. Письма в ЖЭТФ **90**, 818 (2009).
- [4] D.E. Feldmann, R.A. Pelcovits. Phys. Rev. E **70**, 040702(R) (2004).
- [5] В.М. Кhasanov. Письма в ЖЭТФ **81**, 27 (2005).
- [6] L. Petridis, E.M. Terentjev. Phys. Rev. E **74**, 051 707 (2006).
- [7] A.A. Fedorenko, F. Kuhnelt. Phys. Rev. B **75**, 174 206 (2007).
- [8] J. Elbs, Yu.M. Bunkov, E. Collin, H. Godfrin, G.E. Volovik. Phys. Rev. Lett. **100**, 215 304 (2008).
- [9] G.E. Volovik. J. Low Temp. Phys. **150**, 453 (2008).
- [10] Y. Imry, S.-K. Ma. Phys. Rev. Lett. **35**, 1399 (1975).
- [11] А.И. Ларкин. ЖЭТФ **31**, 784 (1970).
- [12] L. Neel. Ann. Phys. **5**, 232 (1936).