

УДК 537.612
 © 1990

МАГНИТОУПРУГИЕ ВОЛНЫ В СИЛЬНО АНИЗОТРОПНЫХ ЛЕГКОПЛОСКОСТНЫХ ФЕРРОМАГНЕТИКАХ

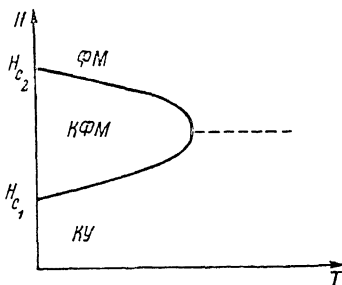
Ю. Н. Мицай, Ю. А. Фридман

Получены спектры магнитоупругих волн сильно анизотропного легкоплоскостного ферромагнетика в квадрупольной и ферромагнитной фазах. Показано, что в квадрупольной фазе квантовые эффекты определяют резкую зависимость спектров от константы анизотропии.

В настоящее время активно исследуются магнитоупорядоченные вещества с большой анизотропией [1-6]. Когда энергия анизотропии сравнивается с обменной энергией, возможно появление новых фаз с тензорным параметром порядка. Согласно [3], фазовая диаграмма легкоплоскостного ферромагнетика с гамильтонианом

$$\mathcal{H} = -H \sum_n S_n^z + \frac{\beta}{2} \sum_n (S_n^z)^2 - \frac{1}{2} \sum_{n, n'} \mathcal{J}(n-n') S_n S_{n'} \quad (1)$$

(H — магнитное поле в энергетических единицах; $\beta > 0$ — константа анизотропии; S_n^i — спиновый оператор в узле n ; $\mathcal{J}(n-n')$ — обменное взаимодействие) и спином $S=1$ имеет вид, приведенный на рисунке.



Фазовая $H-T$ диаграмма сильно анизотропного легкоплоскостного ферромагнетика в поперечном магнитном поле.

Такая диаграмма реализуется при $\beta/4 > > \mathcal{J}(0) = \sum_n \mathcal{J}(n)$. В полях H_{c1} и H_{c2} про-

исходят фазовые переходы из квадрупольной (КУ) фазы в квадрупольно-ферромагнитную (КФМ) (угловую) и из КФМ в ферромагнитную (ФМ), в которой магнитный момент направлен по полю. В этих полях размягчается зеть коллективных магнитных колебаний, поскольку происходит переориентационный фазовый переход (ОФП). Как обычно, в такой ситуации магнитоупругие (МУ) взаимодействия проявляются наиболее ярко. До настоящего времени МУ волны в сильно анизотропных легкоплоскостных ферромаг-

нетиках изучены не были. Исследованию этого вопроса и посвящена настоящая работа.

Для выполнения поставленной задачи будем использовать технику операторов Хаббарда в теории магнитоупорядоченных веществ [1, 4]; применение этого аппарата при изучении МУ волн см. в [7, 8].

Рассмотрим простейшую модель МУ взаимодействия, в которой проявляются все эффекты, характерные для системы с большой анизотропией

$$\kappa_{xy} + \kappa_y = \nu \sum_n S_n^i S_n^j u_{ij}(n) + \int dr \left\{ \frac{\lambda + \eta}{2} \sum_i u_{ii}^2 + \eta \sum_{i \neq j} u_{ij}^2 + \lambda \sum_{i > j} u_{ii} u_{jj} \right\}, \quad (2)$$

$i, j = x, y, z$; ν — константа МУ связи; λ, η — модули упругости.

Процедура получения дисперсионного уравнения весьма громоздка. Основные этапы подобных вычислений для слабо анизотропных одноосных ферромагнетиков приведены в [7, 8]. Учитывая специфику квадрупольной фазы [3, 5] и проводя вычисления по указанной выше схеме, получаем дисперсионное уравнение, анализ которого проведем в простейшем случае волнового вектора \mathbf{k} , параллельного оси Ox .

Ферромагнитная фаза, $H \geq H_{c2}$

$$\begin{aligned} \varepsilon(k) &= \alpha k^2 + a_0 + H - H_{c2}, & \omega_{xy} &= a_0, \\ \omega^2(k) &= \omega_i^2(k) (\alpha k^2 / a_0), & \alpha k^2 &\ll a_0, \quad H = H_{c2}, \end{aligned} \quad (3)$$

где $\varepsilon(k)$, $\omega(k)$ — законы дисперсии квазимагнонов и квазифононов соответственно,

$$\alpha = \frac{1}{2} \sum_n \mathcal{J}(n) n^2, \quad a_0 = v^2 / 2\eta, \quad \omega_i(k) = c_i k,$$

c_i — скорость поперечного звука, $H_{c2} = \beta / 2$.

Значение волнового вектора, при котором происходит пересечение не взаимодействующих ветвей (точка магнитоакустического резонанса), равно $k_0 = a_0 / c_i$, а величина расталкивания ветвей $\Delta\omega = a_0$.

Квадрупольная фаза, $H \leq H_{c1}$

$$\begin{aligned} \varepsilon(k) &= \{(\beta + 4a_0)(\beta/4 + a_0 - \mathcal{J}(0) + \alpha k^2)\}^{1/2} - H, \\ \omega^2(k) &= \omega_i^2(k) \frac{\alpha k^2}{\bar{a}_0}, & \alpha k^2 &\ll \bar{a}_0 = a_0 \left(1 - 4 \frac{\mathcal{J}(0)}{\beta}\right), \quad H = H_{c1}. \end{aligned} \quad (4)$$

Поле перехода H_{c1} оказывается равным

$$H_{c1} = \sqrt{\beta(\beta/4 + a_0 - \mathcal{J}(0))},$$

а МУ щель ω_{xy} в спектре $\varepsilon(k)$ равна

$$\omega_{xy} = a_0 \sqrt{1 - 4 \frac{\mathcal{J}(0) - a_0}{\beta}}. \quad (5)$$

Параметры k_0 и $\Delta\omega$ имеют следующий вид:

$$k_0 = \frac{a_0}{c_i} \sqrt{1 - 4 \frac{\mathcal{J}(0) - a_0}{\beta}}, \quad \Delta\omega = \sqrt{a_0(\beta/4 + a_0 - \mathcal{J}(0))}. \quad (6)$$

Из приведенных результатов видно, что МУ спектры в поле $H = H_{c2}$ описываются формулами, совпадающими со случаем малой анизотропии $\beta \ll \mathcal{J}(0)$ [8]. Вся специфика задачи проявляется при ОФП из КУ в КФМ фазу. Особенность КУ фазы связана с особым характером одноионной анизотропии. Одноионная анизотропия 2-го порядка создает постоянное поле, но не ферромагнитного, а квадрупольного типа. Квадрупольный порядок в рассматриваемом случае состоит в упорядочении спинов перпендикулярно оси Oz (при этом безразлично, как они расположены в базисной плоскости xOy). Это квадрупольное поле действует совместно с другими упорядочивающими механизмами, в частности с ферромагнитными. Если ось ферромагнетизма, выделенная, например, внешним полем, параллельна легкой плоскости, роль одноионной анизотропии мало отличается от роли анизотропии обмена. В случае их перпендикулярности, исследуемом нами, два механизма упорядочения — квадрупольный и ферромагнитный — являются конкурирующими и взаиморазрушающими [2, 3]. Этой конкуренцией и вызваны специфические особенности спектров МУ волн.

В настоящее время тенденция к квадрупольному упорядочению по мере возрастания давления обнаружена в $\text{NiSiF}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. В этом веществе при увеличении давления происходит переход от анизотропии легкая ось к анизотропии легкая плоскость при давлении $P_c = 1.3$ кбар [9]. При давлении $P = 8.6$ кбар $\beta/\mathcal{J}(0) \sim 3.54$, а $\mathcal{J}(0) \sim 0.16$ К [4].

На наш взгляд, $\text{NiSiF}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ является подходящим веществом для проверки предсказаний настоящей теории.

Список литературы

- [1] Зайцев Р. О. // ЖЭТФ. 1975. Т. 68. № 1. С. 207—215.
- [2] Онуфриева Ф. П. // ЖЭТФ. 1984. Т. 86. № 5. С. 1691—1707.
- [3] Онуфриева Ф. П. // ФТТ. 1984. Т. 26. № 11. С. 3435—3437.
- [4] Вальков В. В., Валькова Т. А., Овчинников С. Г. // ЖЭТФ. 1985. Т. 88. № 2. С. 550—561.
- [5] Нагаев Э. Л. Магнетики со сложными обменными взаимодействиями. М.: Наука, 1988. 231 с.
- [6] Вальков В. В., Мацулева Г. Н., Овчинников С. Г. // ФТТ. 1989. Т. 31. № 6. С. 60—68.
- [7] Мицай Ю. Н., Фридман Ю. А. // ФТТ. 1989. Т. 31. № 6. С. 197—202.
- [8] Мицай Ю. Н., Фридман Ю. А. // ТМФ. 1989. № 2. С. 263—270.
- [9] Галкин А. А., Витебский И. М., Дьяконов В. П., Фита И. М., Цинцадзе Г. А. // Письма в ЖЭТФ. 1982. Т. 35. № 9. С. 384—386.

Самферопольский государственный университет
им. М. В. Фрунзе

Поступило в Редакцию
31 октября 1989 г.
В окончательной редакции
12 февраля 1990 г.