

УДК 548:537.611.45

© 1992

О МАГНИТНЫХ СОСТОЯНИЯХ В СИЛЬНО ФРУСТРИРОВАННЫХ ДВУМЕРНЫХ АНТИФЕРРОМАГНЕТИКАХ

Р. С. Гехт, В. В. Гришин

В двумерных антиферромагнетиках дополнительные фрустрации приводят к сильному вырождению отдельных структур и к их неустойчивости относительно нулевых колебаний. В результате в широкой области изменения параметров системы возможно неупорядоченное состояние с нулевой намагниченностью на узле.

Открытие высокотемпературной сверхпроводимости в слоистых оксидах значительно стимулировало исследование двумерных антиферромагнитных систем. Интерес к ним обусловлен прежде всего тем обстоятельством, что при наличии фрустраций возможно нарушение дальнего порядка и существование спин-жидкостной фазы в основном состоянии даже при больших, классических значениях величины спина S [1]. Вместе с тем область существования данной фазы для плоских квадратных решеток довольно узка и при классических значениях S реализуется только в единственной точке $j = 0.5$ (где $j = J'/J$, J и J' — антиферромагнитные взаимодействия между ближайшими спинами и следующими за ближайшими вдоль диагонали квадрата соответственно).

В данной работе мы покажем, что неустойчивость структур может быть индуцирована дополнительными спинами, расположенными в центре квадратной решетки из основных магнитных ионов. Экспериментально такая ситуация реализуется, когда дополнительные $3d$ -элементы либо внедрены в кристаллическую решетку, либо замещают часть катионов основных элементов [2, 3]. В такой геометрии возникает новый источник фрустраций [4, 5], в результате чего упорядоченные состояния оказываются неустойчивыми в широком интервале изменения j (и дополнительного параметра $j_0 = J_0/J$, где J_0 — взаимодействие дополнительных спинов с основными).

Рассмотрим ниже наиболее интересный случай, когда $j > 0.5$. Фазовая диаграмма в плоскости $j-j_0$ содержит три области основных состояний при больших S : ферромагнитную ($j_0 < -2j - 1$), модулированную ($-2j - 1 < j_0 < 2j + 1$) и фазу $(0, 2\pi)$, в которой направление основных и дополнительных спинов антипараллельно ($j_0 > 2j + 1$). Промежуточная несоразмерная фаза $(0, Q)$ характеризуется волновым вектором $Q = 2\alpha \cos \gamma$, где $\gamma = -j_0 / (1 + 2j)$; в частных случаях $j_0 = 0$ данная фаза переходит в чисто неелевскую $(0, \pi)$ -фазу, а при $j_0 = 0.5 + j$ — в треугольную 120° -градусную структуру с тремя магнитными подрешетками. Энергетический спектр спиновых волн $(0, Q)$ -фазы дается следующим образом:

$$\epsilon_{\pm}(\mathbf{k}) = JS \left[\frac{1}{2} (V_{\mathbf{k}} + W_{\mathbf{k}}^{1/2}) \right]^{1/2}$$

Здесь

$$V_{\mathbf{k}} = A_{\mathbf{k}}^2 - C_{\mathbf{k}}^2 + 4 [(B_{\mathbf{k}}^-)^2 - (B_{\mathbf{k}}^+)^2] + D^2,$$

$$W_k = (A_k^2 - C_k^2 - D^2)^2 + 8(A_k^2 - C_k^2 + D^2) [(B_k^-)^2 - (B_k^+)^2] - 16D [A_k (B_k^+)^2 + 2B_k^- B_k^+ C_k + A_k (B_k^-)^2],$$

где

$$A_k/2 = 2j + \cos k_x + \gamma^2 (1 + 2j \cos k_x) \cos k_y, \\ B_k^\pm = j_0 (1 \pm \gamma) \cos (k_x/2) \cos (k_y/2), \\ C_k = 2(\gamma^2 - 1) (1 + 2j \cos k_x) \cos k_y, \quad D = 2\gamma j_0.$$

Анализ дисперсионной зависимости $\varepsilon_-(k)$ показывает, что при $k_x = 0$ энергия спиновых волн обращается в нуль для любых k_y . Данное обстоятельство обусловлено тем фактом, что классическое основное состояние $(0, Q)$ сильно вырождено из-за фрустраций и допускает наряду с периодическими состояниями и неперриодические. На рис. 1 изображена локально вырожденная вдоль оси y 120-градусная структура ($Q = 4\pi/3$). Находящиеся в слое между пунктирными линиями спины не изменяют энергию системы при их одновременном повороте вокруг параллельных этим линиям осей.

Наличие такого вырождения приводит к расходимости квантовых флуктуаций во всей области существования несоизмеренной фазы и лишь только в случае, когда $Q = \pi$, локального вырождения нет и, как и должно быть, дальний порядок в системе реализуется. Фазовая диаграмма в плоскости $S^{-1}-j_0$ дана на рис. 2: неелевское $(0, \pi)$ -состояние отделено от ферромагнитного и антиферромагнитного $(0, 2\pi)$ -состояний фазой с нулевым средним спином на узле. Проведенные методом швингеровских бозонов вычисления показывают, что в неупорядоченной фазе спектр спиновых волн щелевой, и вместо дальнего порядка возникает ближний.

Таким образом, в рассмотренной здесь сильно фрустрированной системе немагнитное (типа спин-жидкостного) состояние может реализоваться в широкой области изменения параметров системы и обусловлено локальным вырождением классического состояния в отличие от [1], где вместо этого имеется только глобальное.

В заключение авторы выражают благодарность В. В. Валькову, В. А. Игнатченко и А. Ф. Садреву за полезные обсуждения.

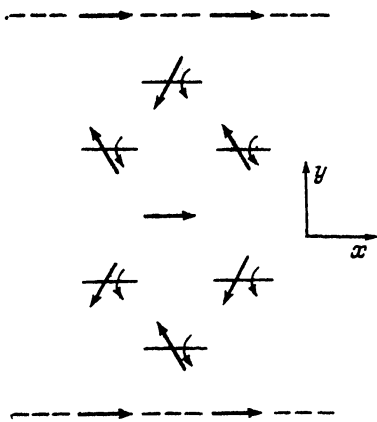


Рис. 1. Локальное вырождение фазы $(0, Q)$ вдоль оси y .

Значение $Q = 4\pi/3$; стрелки указывают направление одновременного вращения вокруг локальных осей.

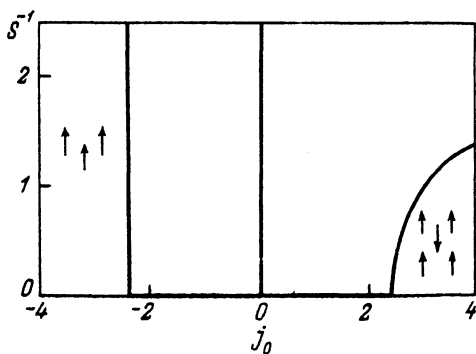


Рис. 2. Фазовая диаграмма в плоскости $S^{-1}-j_0$: $j = 0.62$.

Центральный пик ($j_0 = 0$) соответствует $(0, \pi)$ -состоянию, антиферромагнитная фаза — состоянию $(0, 2\pi)$.

Список литературы

- [1] Chandra P., Doucot B. // Phys. Rev. B. 1988. V. 38. N 13. P. 9335—9338.
- [2] Tarascon J. M., Barboux P., Miceli P. F., Greene L. H., Hull G. W., Eibshutz M., Sunshine S. A. // Phys. Rev. B. 1988. V. 37. N 7. P. 5932—5944.
- [3] Iida J., Tanaka M., Nakagawa Y. // Techn. Report of ISSP. 1991. Ser. A, N 2157.
- [4] Гехт Р. С. // УФН. 1989. Т. 159. В. 2. С. 261—296.
- [5] Gekht R. S., Ponomarev V. I. // Phase transitions. 1990. V. 20. N 1, 2. P. 27—71.

Институт физики им. Л. В. Киренского
СО РАН
Красноярск

Поступило в Редакцию
7 июля 1992 г.
