

ПЕРЕХОД ДВУМЕРНОГО ПАРАМАГНЕТИКА В МАГНИТОУПОРЯДОЧЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

Ю. С. Каримов

Ранее были обнаружены фазовые переходы в слоистых соединениях NiCl_2 и CoCl_2 с графитом [1]. Поскольку такие переходы в двумерных системах практически не исследовались, представляло интерес более подробно изучить это явление. Фазовый переход второго рода в соответствии с гипотезой подобия может быть описан набором критических индексов [2]:

$$C \sim |r|^{-\alpha}; \quad m \sim |r|^{\beta}; \quad \chi \sim |r|^{-\gamma};$$

$$m \sim H^{1/\delta}, \quad (T = T_c); \quad \chi \sim H^{-\lambda}, \quad (T = T_c);$$

где $\tau = (T - T_c)/T_c$ – приведенная температура, H – магнитное поле, C – теплоемкость, m – намагниченность и χ – магнитная восприимчивость. Между критическими индексами $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ и λ существуют определенные соотношения, так что задание двух индексов и размерности пространства полностью определяет весь набор.

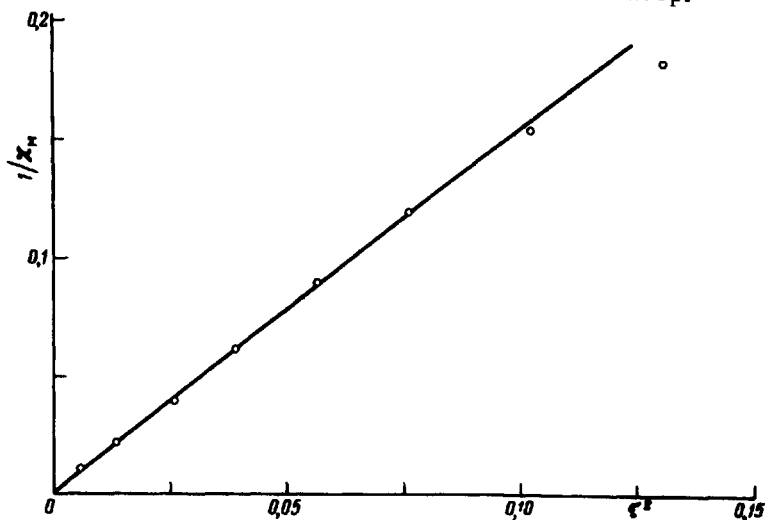


Рис. 1. Зависимость обратной молярной восприимчивости (на $1 \text{ г} \cdot \text{моль NiCl}_2$) от τ^2

В данной работе исследовался NiCl_2 , внедренный в ориентированный пиролитический графит, причем слои NiCl_2 были разделены не менее чем двумя слоями графита. Взаимодействие между соседними магнитными слоями является чрезвычайно слабым [3], а ширина линии электронного резонанса при комнатной температуре свидетельствует о малости анизотропии g -фактора: $\Delta g/g < 0,01$. Поэтому при описании его свойств можно исходить из двумерной модели Гейзенберга. При температуре $18,1^\circ\text{K}$ наблюдается фазовый переход [1]. На рис. 1 приведена зависимость обратной восприимчивости от квадрата приведенной температуры. Видно, что при малых τ $\chi^{-1} = a\tau^2$ т. е. $\gamma = 2$ в парамагнитной области. Другим индексом, относящимся к парамагнитной фазе, может быть λ . Из рис. 2 следует, что в больших полях магнитный момент может быть представлен в виде;

$$m = m_0 + b \lg H$$

откуда

$$\chi = \frac{\partial m}{\partial H} = b H^{-1}, \quad \lambda = 1.$$

По этим значениям λ и γ определяется набор индексов для парамагнитной фазы:

$$\alpha = 0; \quad \beta = 0; \quad \gamma = 2; \quad \delta = \infty; \quad \lambda = 1. \quad (1)$$

Ниже $18,1^\circ\text{K}$ вещество переходит в магнитоупорядоченное состояние, причем переход из этого состояния в парамагнитное характеризуется совсем другим набором индексов. При $T = T_c$ зависимость $m(H)$ в слабых полях ($1 \div 100$ э) вдоль направления легкого намагничивания параллельно слоям выражается :

$$m(H) = cH^{0,56 \pm 0,01}$$

откуда $\delta' = 1,80 \pm 0,03$. При намагничивании соединения NiCl_2 с графитом в полях $H > 100$ э гистерезис не наблюдается [1]. Получение полных кривых намагничивания в более слабых полях ранее осложнялось использованием сверхпроводящего соленоида [1], который давал остаточное магнитное поле другого знака. Замена сверхпроводящего соленоида медным позволило исключить этот эффект. При этом выяснилось, что после снятия намагничивающего поля в плоскости легкого намагничивания возникает остаточный ферромагнитный момент. Это доказывает, что данное вещество находится в магнитоупорядоченном состоянии. В интервале температур $0,01 < |r| < 0,7$ величина спонтанного ферромагнитного момента (рис. 3) может быть записана

$$m = d|r|^{0,75 \pm 0,03}$$

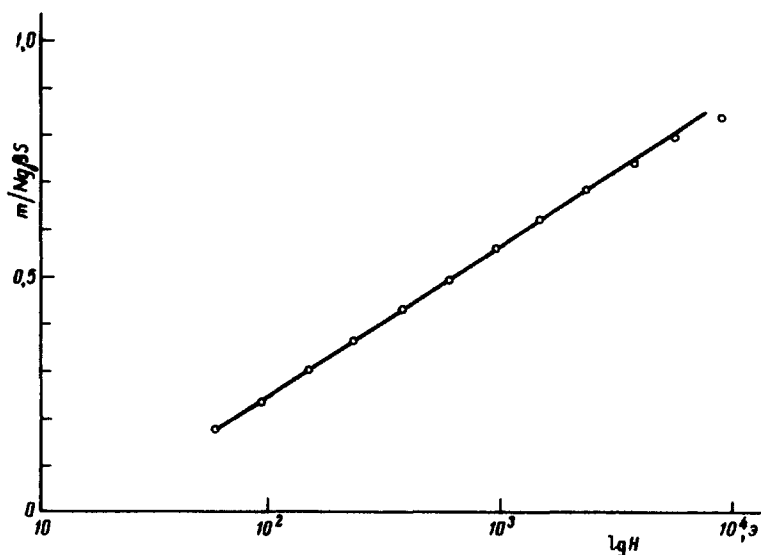


Рис. 2. Зависимость относительного магнитного момента от $\lg H$

Таким образом, в этом случае имеем следующий набор критических индексов:

$$\alpha' = -0,1 \pm 0,1; \quad \beta' = 0,75 \pm 0,03; \quad \gamma' = 0,63 \pm 0,05; \quad \delta' = 1,80 \pm 0,03. \quad (2)$$

Необходимо отметить, что найденные значения β' , γ' и δ' удовлетворяют соотношению [2]:

$$\beta'\delta' = \beta' + \gamma'.$$

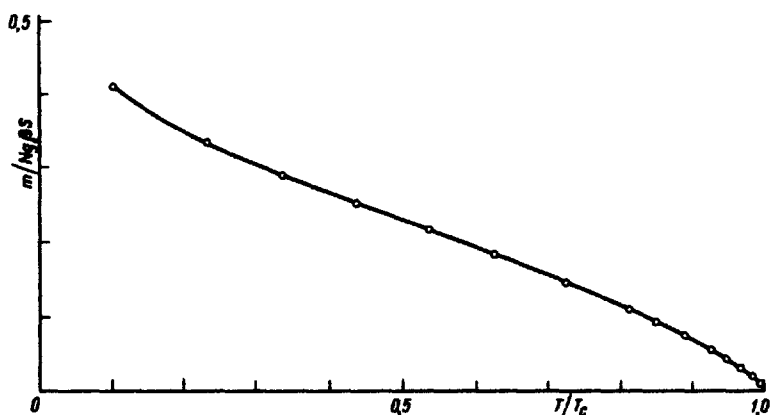


Рис. 3. Температурная зависимость спонтанного ферромагнитного момента

Из анализа критических индексов (1) и (2) можно получить сведения о природе фазового перехода в двумерных парамагнетиках. При $T > T_c$ свойства исследованного соединения полностью определяются изотропной моделью Гейзенберга. Это подтверждается теоретическим рассмотрением модели. Стенли и Каплан [4] доказали наличие фазового перехода, а Лайнс [5] получил результат $\gamma = 2$ для двумерной модели Гейзенберга. При $T \leq T_c$ эта модель обладает весьма любопытными свойствами. Во-первых, из того факта, что $\beta = 0$ следует отсутствие спонтанной намагниченности. Для изотропных двумерных систем этот результат был строго доказан Мерменом и Вагнером [6]. Во-вторых, $\delta = \infty$ соответствует бесконечно большой поляризуемости системы. Это обстоятельство делает систему неустойчивой к малым возмущениям. В реальных парамагнетиках такие возмущения всегда имеются. Это может быть слабое взаимодействие между соседними слоями, анизотропия g -фактора, диполь-дипольное взаимодействие магнитных ионов внутри слоя. Благодаря этим взаимодействиям парамагнетик переходит в магнитоупорядоченное состояние. Переход из этого состояния в парамагнитное характеризуется набором индексов (2). Природа магнитоупорядоченного состояния окончательно не установлена. Это не может быть обычным ферромагнитным состоянием, поскольку относительный спонтанный момент не превосходит 0,5 (рис. 3). Наиболее вероятно, что расположение спинов соответствует ферромагнитной спирали с переменным шагом.

Институт химической физики
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
8 февраля 1972 г.

Литература

- [1] Ю.С.Каримов, М.Е.Вольпин, Ю.Н.Новиков. Письма в ЖЭТФ, 14, 217, 1971.
[2] В.Л.Покровский. УФН. 94, 12 7, 1968.

- [3] Ю.С.Каримов, А.В.Зварыкина, Ю.Н.Новиков. ФТТ, 13, 2836, 1971.
- [4] H.E.Stanley, T.A.Kaplan. Phys. Rev. Lett., 17, 913, 1966.
- [5] M.E.Lines. Phys. Rev. B., Solid State, 3, 1749, 1971.
- [6] N.D.Mermin , H.Wagner. Phys. Rev. Lett., 17, 1133, 1966.
-