

ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В ДВУМЕРНОМ ФЕРРОМАГНЕТИКЕ С АНИЗОТРОПИЕЙ "ЛЕГКАЯ ПЛОСКОСТЬ"

Д.С.Каримов, Ю.Н.Новиков

В слоистом соединении NiCl_2 с графитом обнаружено два фазовых перехода, причем в определенной области температур соединение находится в неупорядоченном состоянии и имеет бесконечную начальную восприимчивость.

Слоистые соединения внедрения являются очень удобными объектами при изучении двумерных магнетиков. В соединениях графита с хлоридами переходных металлов взаимодействие между магнитными ионами внутри слоя остается точно таким же, как и в чистых хлоридах, в то время как взаимодействие между соседними слоями можно сделать настолько слабым, что оно не будет влиять на наблюдаемые магнитные свойства [1, 2]. Ранее было обнаружено, что соединение NiCl_2 с графитом переходит в ферромагнитное состояние при $18,1^\circ\text{K}$ [3]. Этот переход весьма необычен и не может быть описан теорией подобия [4]. Результаты настоящей работы показывают, что соединение NiCl_2 с графитом претерпевает два фазовых перехода, разнесенных по температуре. При высокой температуре T_{c1} происходит переход из парамагнитного состояния в состояние с бесконечной начальной восприимчивостью, и только при более низкой температуре T_{c2} наступает переход в упорядоченное состояние.

Для магнитных измерений использовались сферические образцы ориентированного пиролитического графита, в которые было внедрено сравнительно малое количество NiCl_2 (1 – 2% по весу). Во всех измерениях магнитное поле прикладывалось параллельно слоям, что позволяло пренебрегать полями размагничивания, поскольку в этом случае размагничивающий фактор отдельного слоя равен нулю, а поверхностные эффекты малы из-за малости ферромагнитного момента образца. Как следует из рис. 1, при всех $T \gg T_{c2}$ зависимость $M(H)$ может

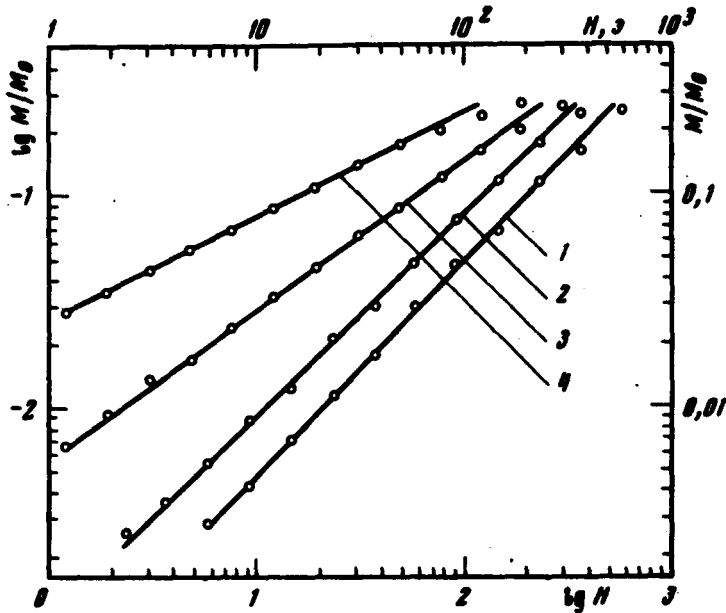


Рис. 1. Зависимости магнитного момента образца от поля при разных температурах: 1 - $T = 21,66^\circ\text{K}$, 2 - $T = 20,22^\circ\text{K}$, 3 - $T = 18,82^\circ\text{K}$, 4 - $T = 17,43^\circ\text{K}$

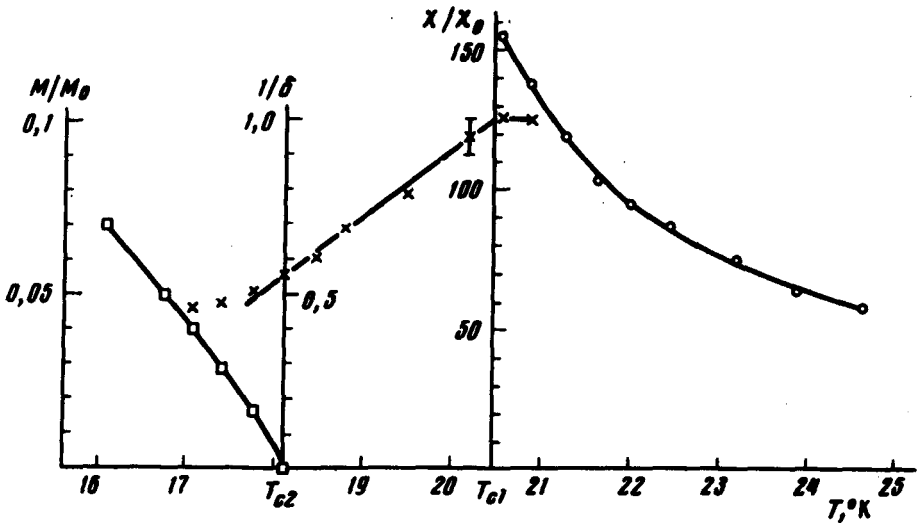


Рис. 2. Температурные зависимости приведенной восприимчивости (кружки), показателя $1/\delta$ (крестики) и остаточного ферромагнитного момента (квадратики), χ_0 - магнитная восприимчивость в пределе отсутствия взаимодействия (по Кюри)

быть представлена в виде $M \sim H^{1/\delta}$, где показатель δ зависит от температуры. В парамагнитном состоянии ($T > T_{c1}$) $\delta \equiv 1$, момент пропорционален полю, коэффициент пропорциональности есть магнитная восприимчивость. С понижением температуры восприимчивость возрастает (рис. 2), но при некоторой температуре величина δ начинает плавно увеличиваться. Если $1/\delta < 1$, то начальная восприимчивость

$\chi = \lim_{H \rightarrow 0} (\partial M / \partial H)$ равна бесконечности. В точке T_{c1} восприимчивость терпит разрыв, будучи конечной всюду при $T > T_{c1}$ и обращаясь скачком в бесконечность при $T = T_{c1}$.

Состояние двумерного ферромагнетика в области температур $T_{c2} < T < T_{c1}$ можно охарактеризовать величиной показателя $1/\delta$, представленной на рис. 2. Линейная экстраполяция зависимости $1/\delta$ к значению единицы позволяет определить $T_{c1} = 2,05 \pm 0,3^\circ \text{K}$. Отличие величины $1/\delta$ от единицы объясняется тем, что в двумерной спиновой системе ниже определенной температуры T_{c1} возникает поперечная спиновая жесткость [5, 6], которая является аналогом плотности сверхтекучей компоненты для бозе-жидкости. При понижении температуры жесткость возрастает, магнитный же порядок при температуре T_{c2} возникает из-за гексагональной анизотропии в плоскости слоя (ионы Ni^{+2} образуют правильную треугольную решетку).

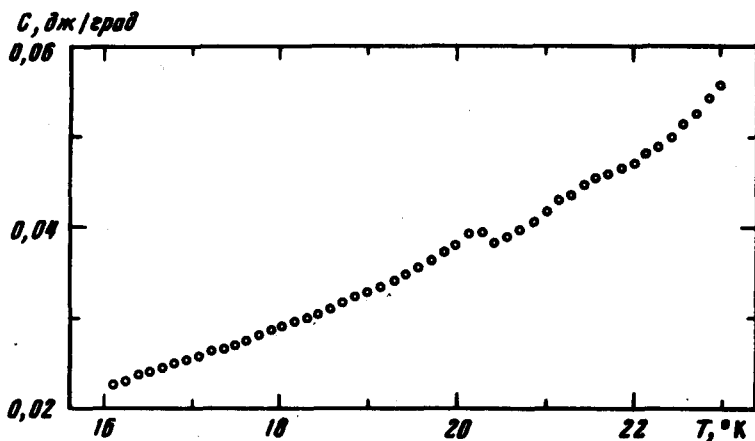


Рис. 3. Зависимость удельной теплоемкости от температуры соединения NiCl_2 с графитом, содержание NiCl_2 47,4% по весу

Наличие фазового перехода при более высокой температуре ($T_c = 20,2^\circ \text{K}$) подтверждают данные по теплоемкости (рис. 3). В этой области температур имеется заметный максимум теплоемкости. Другой переход в районе 18°K обнаружить не удалось, по-видимому, он проявляется слабее и возрастание теплоемкости не превышает экспериментальной точности ($\pm 1\%$). Установление ближнего магнитного порядка в двумерных магнетиках приводит к тому, что теплоемкость проходит через широкий максимум, фазовый переход при этом не происходит. Для соединения NiCl_2 с графитом максимум магнитной теплоемкости должен находиться в районе 70°K [2]. Фазовые переходы, наблюдающиеся при гораздо более низких температурах, сравнительно мало меняют энергию спиновой системы, что и приводит к малым аномалиям в теплоемкости.

Существование промежуточной фазы двумерного магнетика, когда начальная восприимчивость равна бесконечности, а спонтанная намагниченность отсутствует, связано с наличием магнитной анизотропии.

типа "легкая плоскость". Действительно, в неограниченной двумерной модели Гейзенберга фазовые переходы при конечных температурах, по-видимому, не имеют места [7]. С другой стороны, в планарной модели двумерного магнетика, как показывает анализ Покровского и Уймина [6], подобная фаза может существовать. В соединении $NiCl_2$ с графитом плоскость слоя является плоскостью легкого намагничивания [2, 3], а при достаточно низких температурах влияние даже слабой анизотропии исключительно велико, поэтому свойства этого соединения будут в какой-то степени подобны свойствам планарного магнетика, что фактически и наблюдается.

Институт химической физики
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
22 января 1974 г.

Литература

- [1] Ю.С.Каримов, А.В.Зварыкина, Ю.Н.Новиков. ФТТ, 13, 2836, 1971.
 - [2] Ю.С.Каримов. ЖЭТФ, 65, 261, 1973.
 - [3] Ю.С.Каримов, М.Е.Вольпин, Ю.Н.Новиков. Письма в ЖЭТФ, 14, 271, 1971.
 - [4] Ю.С.Каримов. Письма в ЖЭТФ, 15, 332, 1972.
 - [5] В.Л.Березинский. ЖЭТФ, 61, 1144, 1971.
 - [6] В.Л.Покровский, Г.В.Уймин. ЖЭТФ, 65, 1691, 1973.
 - [7] K. Yamaji, J. Kondo. J. Phys. Soc. Japan, 35, 25, 1973.
-