

МАГНИТОСОПРОТИВЛЕНИЕ И МЕТАМАГНИТНЫЙ ПЕРЕХОД В $\text{La}_2\text{CuO}_{4+\delta}$ С НИЗКОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ НЕЕЛЯ

А.А.Захаров, А.А.Теплов, Е.П.Красноперов, М.Б.Цетлин,
А.К.Цыганков, С.Н.Барило, П.В.Грицков

*Институт атомной энергии им. И.В.Курчатова
123182, Москва*

Поступила в редакцию 5 июня 1991 г.

В монокристаллах $\text{La}_2\text{CuO}_{4+\delta}$, имеющих $T_N \approx 165\text{K}$, с понижением температуры ниже 20 К обнаружено аномальное увеличение гистерезиса магнитосопротивления и намагничивания при метамагнитном переходе. Одновременно наблюдается уменьшение величины скачка магнитосопротивления. Оба эти явления интерпретируются как проявление возвратного перехода из антиферромагнитной (АФ) фазы.

Теоретические ^{1,2} и экспериментальные ^{3,4} исследования системы $\text{La}_2\text{CuO}_{4+\delta}$ показывают, что существует область концентраций δ (и, соответственно, температур Нееля T_N), для которой в этой системе при низких температурах возможен возвратный переход из антиферромагнитной фазы в парамагнитную или в фазу так называемого спинового стекла. Возможно, существование такого перехода наблюдалось в работе ⁵, в образцах с $T_N < 170\text{K}$. При низких температурах в таких образцах значительно увеличивался гистерезис кривых $M(H)$ при фазовом переходе в состояние со слабым ферромагнетизмом (СФ), и зависимости $H_C(T)$ (H_C - критическое поле метамагнитного перехода АФ - СФ) существенно отличались для образцов с $T_N < 170\text{K}$ и $T_N > 200\text{K}$. По-видимому, температура Нееля $170 < T_N^* < 200\text{K}$, является критической и разделяет образцы с различным поведением $M(H)$ при метамагнитном переходе. В образцах с $T_N > T_N^*$, где при всех $T < T_N$, по-видимому, существует дальний магнитный порядок, магнитосопротивление и намагниченность испытывают скачок ⁶, который объясняется ⁷ изменением магнитной структуры при метамагнитном переходе. В случае же $T_N < T_N^*$ ситуация с электронной кинетикой не ясна, особенно при низких температурах.

Целью настоящей работы являлось исследование магнитосопротивления монокристаллов $\text{La}_2\text{CuO}_{4+\delta}$ с $T_N < T_N^*$ в геометрии $H \parallel c$, $j \parallel c$ (мы пользуемся тетрагональной системой обозначения осей), которая позволяет изучать метамагнитный переход из АФ в СФ состояние. Для выяснения связи между магнитными и транспортными явлениями, на таких же образцах на магнитометре ⁸ исследовались зависимости $M(H)$ в области температур $T = 4,2 - 200\text{K}$ ¹⁾

Образцы представляли собой монокристаллы, имевшие форму параллелепипеда ($\sim 1 \times 0,5 \times 2,5\text{ мм}$, ось c направлена вдоль длинной стороны; исходные кристаллы имели форму пирамиды) для резистивных измерений и форму усеченной пирамиды (большее основание - $2,5 \times 2\text{ мм}$, высота - 3 мм) для магнитных измерений. Исходные кристаллы имели $T_N \sim 260\text{K}$, а после термообработки в кислороде, T_N была понижена до 165K (ниже T_N^*). При этом амплитуда и ширина пика в температурной зависимости магнитной восприимчивости $\chi(T)$ при $T = T_N$ существенно не изменились, что свидетельствует о достаточно однородном распределении избыточного кислорода. Контакты к

¹⁾ Авторы благодарны А.Н.Бажану (ИФП АН СССР) за исследование магнитных свойств $\text{La}_2\text{CuO}_{4+\delta}$.

образцам готовились с помощью катодного напыления медных площадок, на которые затем наносились In или эвтектика In - Ga. Величины удельного сопротивления $\rho_{300\text{K}}^c = 18 \text{ Ом} \cdot \text{см}$, $\rho_{4,2\text{K}}^c / \rho_{300\text{K}}^c = 4 \cdot 10^3$.

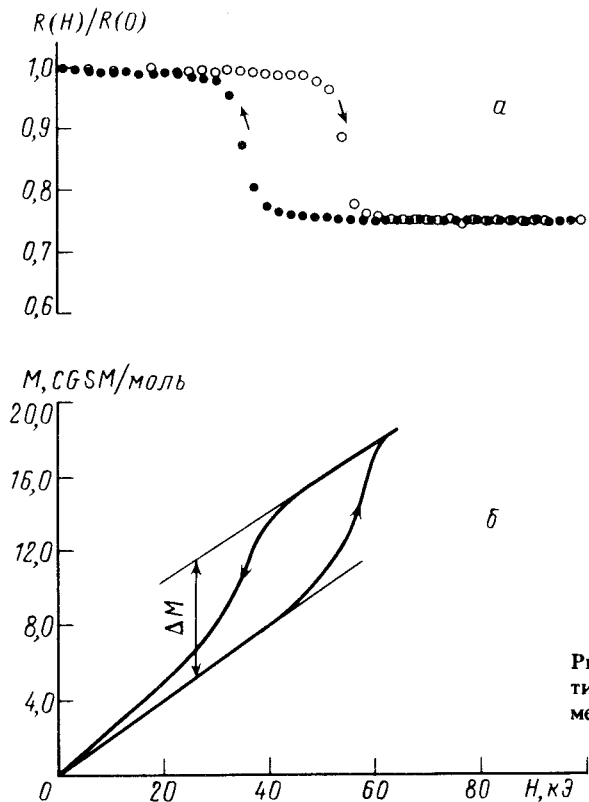


Рис. 1. Зависимости приведенного сопротивления $R(H)/R(0)$ (а) и магнитного момента $M(H)$ (б) от магнитного поля

На рис. 1а, б показаны зависимости приведенного сопротивления $R(H)/R(0)$ и момента $M(H)$ при $T = 4,2 \text{ К}$ в области метамгнитного перехода. Легко видеть, что АФ - СФ переход имеет ярко выраженный гистерезис и сопровождается резкими изменениями как $R(H)$, так и $M(H)$, происходящими при критических полях H_{c1} (увеличение поля) и H_{c2} (уменьшение поля). Критические поля удобно определить как поля, соответствующие максимумам $|dR/dH|$ и $|dM/dH|$. Аналогичные кривые получены для температур 4,2 - 100К. Затем были построены температурные зависимости скачков магнитосопротивления $r = [R(H = 8\text{Тл}) - R(0)]/R(0)$ и момента ΔM (рис. 2а), а также температурные зависимости полей H_{c1} и H_{c2} (рис. 2б). Как видно из этого рисунка, $H_{c1}(T)$ и $H_{c2}(T)$, определенные по $M(H)$ и $R(H)$, полностью совпадают. Примечательным в этих зависимостях является то, что аномальный рост ширины гистерезиса ($\Delta H = H_{c1} - H_{c2}$) и уменьшение скачка сопротивления r происходят в одной и той же области температур. Эту корреляцию иллюстрирует вставка на рис. 2, где представлены относительные изменения величин $1/r$ и ΔH в нормированном (на $T = 30 \text{ К}$) виде в области температур 4,2 - 30 К. Следует отметить, что подобная корреляция наблюдается нами для $T_N < T_N^*$, и вопрос о ее универсальности (для $T_N > T_N^*$) остается открытым.

Обнаруженная корреляция дает основание предположить, что увеличение гистерезиса и уменьшение скачка магнитосопротивления имеет одну и ту же природу. Возможно, сказывается влияние нарушения антиферромагнитного

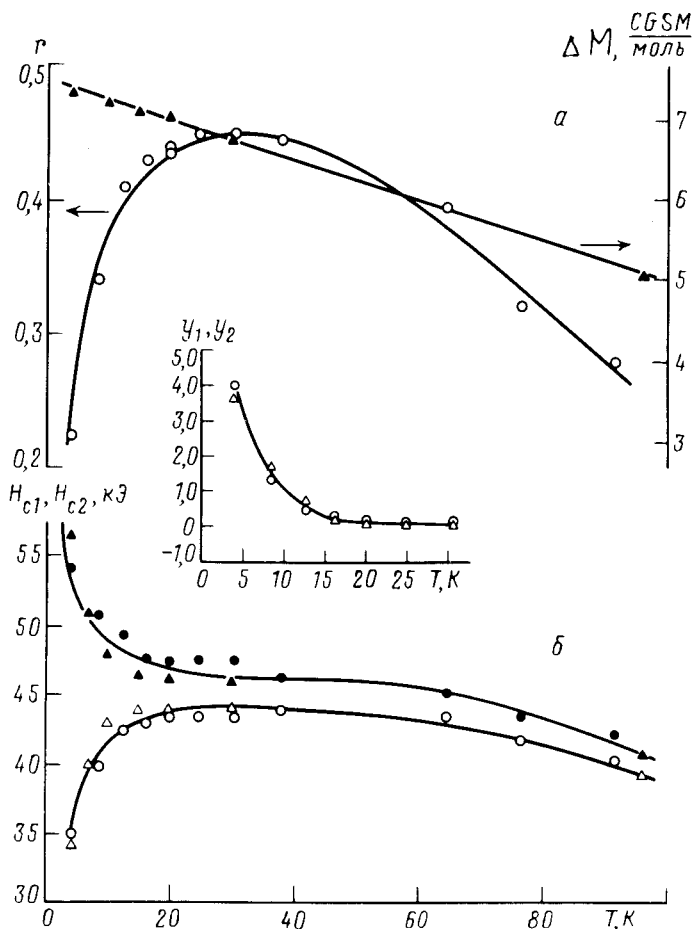


Рис. 2. Температурные зависимости скачков магнитосопротивления $r = [R(H = 8 \text{ Тл}) - R(0)]/R(0)$ и магнитного момента ΔM (а) и магнитных полей: \bullet , \blacktriangle - H_{c1} и \circ , \triangle - H_{c2} (б). Кружки относятся к данным по $R(H)$, треугольники - $M(H)$. На вставке показаны относительные изменения $1/r$ и гистерезиса ΔH в нормированном виде: $\circ - y_1 = r(30\text{K})/r(T) - 1$ и $\triangle - y_2 = \Delta H(T)/\Delta H(30 \text{ К}) - 1$ (масштаб для y_1 увеличен в 4 раза)

упорядочения, которое происходит при увеличении содержания кислорода⁹. Дырки, локализующиеся (при внедрении сверхстехиометрического кислорода или замещении лантана стронцием) в плоскостях CuO_2 между двумя атомами меди, вызывают ферромагнитное взаимодействие между ними и образуют вокруг себя области с дефектным магнитным порядком⁹. Эти области обладают конечным спином и связаны между собой диполь-дипольным взаимодействием, которое при достаточно низких температурах может привести к переходу системы дефектов в состояние спинового стекла¹. Дефектные области с замороженной магнитной структурой (размер которых составляет по оценке¹ 1 - 2 ячейки) могут служить центрами пиннинга, задерживающими распространение новой фазы при переходе первого рода¹⁰, что объясняет увеличение гистерезиса. В то же время взаимодействие дефектных областей с АФ матрицей приводит к усилению флуктуаций вектора антиферромагнетизма при низких температурах, что является причиной возвратного перехода из АФ состояния¹ и, с другой стороны, согласно⁷, обуславливает уменьшение r с понижением температуры.

Возвращаясь к рис. 2а, отметим удивительный факт: уменьшение скачка r не сопровождается уменьшением скачка магнитного момента, т.е. не происходит уменьшение ферромагнитного момента плоскостей. Возможно, этот факт означает, что разупорядочение магнитной структуры после возвратного АФ перехода относится только к продольным по отношению к плоскостям составляющим спинов меди.

Таким образом, можно сделать вывод, что в образцах с низкими температурами Нееля ($T_N < T_N^*$) при понижении температуры ниже 20 К наблюдается аномальное увеличение гистерезиса в $R(H)$ и $M(H)$ при метамагнитном переходе с одновременным уменьшением скачка магнитосопротивления, что, возможно, связано с возвратным переходом из АФ фазы.

Авторы благодарят Бажана А.Н., Иоселевича А.С., Дубовского Л.Б. и Бурмистрова С.Н. за обсуждения.

Работа выполнена в рамках проекта 90347 Государственной программы по ВТСП.

Литература

1. Glazman L.I., Ioselevich A.S. Z. Phys. B, 1990, 80, 268.
 2. Morgenstern I. Z. Phys. B, 1990, 80, 261.
 3. Birgeneau R.J. et al. Phys. Rev. Lett., 1987, 59, 1329.
 4. Shirane G. et al. Phys. Rev. Lett., 1987, 59, 1613.
 5. Бажан А.Н., Бевз В.Н. СФХТ, 1991, 4, 116.
 6. Thio T. et al. Phys. Rev. B, 1988, 38, 905.
 7. Гоголин А.О., Иоселевич А.Ш. ЖЭТФ, 1990, 98, 681.
 8. Бажан А.Н., Боровик-Романов А.С., Крейнес Н.М. ПТЭ, 1973, N1 273.
 9. Aharony A. et al. Phys. Rev. Lett., 1988, 60, 1330.
 10. Smirnov A.I. et al. Physica C, 1990, 165, 77.
-