

## ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ $\text{La}_2\text{CuO}_{4-y}$ С НЕДОСТАТКОМ $\text{La}^{3+}$ И МАГНИТНЫМИ ПРИМЕСЯМИ

А.Н.Бажан, В.Н.Бевз, В.А.Мержанов,<sup>1)</sup>

Э.А.Тищенко, И.С.Шаплыгин<sup>2)</sup>

В магнитных полях  $H \approx 50$  кЭ, ориентированных вдоль одной из бинарных осей ( $a$  или  $c$ ) монокристаллов, обнаружено нелинейное возрастание магнитного момента образца с увеличением  $H$ , которое можно объяснить поворотом антиферромагнитного вектора  $L$  в антиферромагнитных кристаллах.

В настоящее время интенсивно ведутся исследования магнитных свойств поликристаллических и монокристаллических соединений  $\text{La}_2\text{CuO}_{4-y}$ . В работах<sup>1, 2</sup> было показано, что это соединение в зависимости от содержания в нем кислорода и ионов типа Sr, замещающего La, переходит в антиферромагнитное состояние, или состояние типа спинового стекла, или в сверхпроводящее состояние. В работе<sup>3</sup> нейтронографически было показано, что магнитные моменты  $\text{La}_2\text{CuO}_{4-y}$  ориентированы в плоскостях Cu – O или  $a - c$ -плоскостях кристаллов вдоль одной из бинарных осей. На рис. 1 представлена элементарная ячейка исследованного соединения.

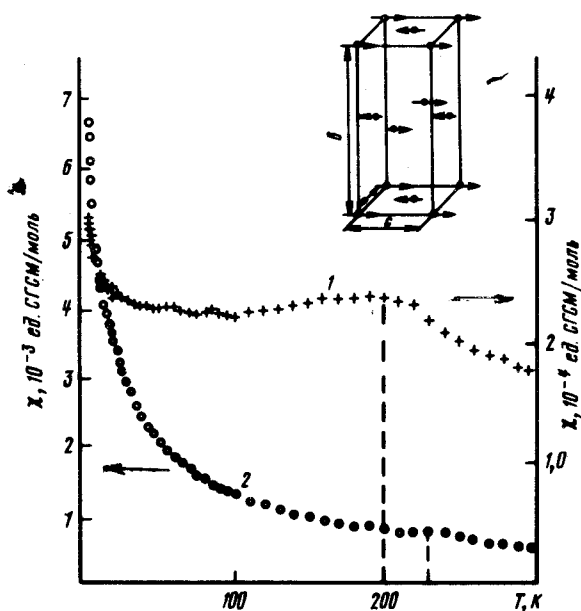


Рис. 1. Зависимости магнитных восприимчивостей поликристаллических (+) и монокристаллических (o) образцов от температуры

Целью настоящей работы являлось исследование зависимостей магнитных моментов и магнитных восприимчивостей образцов  $\text{La}_2\text{CuO}_{4-y}$  от магнитного поля и температуры. На магнитометре с вибрирующим образцом, позволяющим измерять три взаимно перпендикулярные компоненты магнитных моментов образцов<sup>4</sup>, исследовались зависимости  $M_{x,y,z}(H)$

<sup>1)</sup> Отделение института химической физики АН СССР

<sup>2)</sup> Институт общей и неорганической химии АН СССР

в диапазоне магнитных полей  $H$  до 65 кЭ и температур до 100 К. На весах Фарадея исследовались зависимости магнитных восприимчивостей образцов в магнитном поле  $H = 8$  кЭ в интервале температур от 4,2 до 300 К. Поликристаллические образцы  $\text{La}_2\text{CuO}_{4-y}$  не содержали каких-либо дополнительных примесей. В монокристаллах  $\text{La}_2\text{CuO}_{4-y}$  содержалось около 0,1% дополнительных ионов различных металлов (в основном  $\text{Fe}^{3+}$ ). Помимо этого в исследованных монокристаллах, как показал химический анализ, процентное содержание  $\text{La}^{3+}$  меньше, а кислорода — больше стехиометрически необходимого, и эти монокристаллы можно описать формулой  $\text{La}_{2-x}\text{CuO}_{4-y}$ , где  $x \approx 0,1$ , а  $y \approx -0,2$ <sup>3)</sup>. Такое несовершенство монокристаллов объясняется трудностями их выращивания.

Температура фазового перехода в антиферромагнитное состояние исследуемых образцов определялась по максимуму зависимости их магнитной восприимчивости от температуры. Измеряемые зависимости магнитных восприимчивостей поликристаллов и монокристаллов  $\text{La}_2\text{CuO}_{4-y}$  от температуры представлены на рис. 1. Магнитное поле при измерении  $\chi(T)$  монокристаллов ориентировалось вдоль бинарной оси  $b$  (рис. 1, вставка). Из рис. 1, кривая 1, видно, что при температурах  $T < T_N \approx 200$  К магнитная восприимчивость поликристаллов практически не зависит от температуры, за исключением температур  $T < 30$  К, где наблюдается небольшой парамагнитный рост  $\chi(T)$ , связанный с возможным небольшим несовершенством поликристаллов. Зависимость магнитной восприимчивости от температуры исследованных монокристаллов, рис. 1, кривая 2, сильно отличается от зависимости  $\chi(T)$  поликристаллов тем, что парамагнитный рост их магнитной восприимчивости наблюдается уже при  $T < T_N$ . При температуре  $T = T_N = 200$  К наблюдается особенность на зависимости  $\chi(T)$  монокристаллов, указывающая на их антиферромагнитное состояние при  $T < T_N$ . Увеличение магнитной восприимчивости ниже  $T_N$  можно описать выражением  $\chi(T) = \chi_0 + \frac{C}{T}$ , где восприимчивость соответствует антиферромагнитной восприимчивости монокристалла не зависящей от температуры. Константа  $C$  определяет возможное несовершенство монокристаллов, заключающееся в наличии парамагнитных примесей или неточно выдержанных стехиометрических соотношений в кристаллах (при пересчете на спин 1/2 их должно быть около 20 %).

На рис. 2 а представлены зависимости магнитного момента поликристаллического образца от приложенного магнитного поля при температуре  $T = 60$  К. Видно, что на зависимостях  $M(H)$  поликристаллов и в интервале магнитных полей  $30 < H < 60$  кЭ наблюдается нелинейное возрастание магнитного момента с увеличением магнитного поля. Интервал магнитных полей, в которых наблюдается это возрастание практически не зависит от температуры. Такой нелинейный рост зависимости  $M(H)$  возможно объясняется поворотом антиферромагнитного вектора  $\mathbf{L}$  в поликристаллических антиферромагнетиках, при увеличении  $H$ .

В дальнейшем исследовании проводились на имеющихся монокристаллах  $\text{La}_2\text{CuO}_{4-y}$ <sup>4)</sup>. На рис. 3 а представлены зависимости магнитных моментов от магнитного поля при различных ориентациях относительно кристаллографических направлений<sup>5)</sup>. Из эксперимента, представленного на этом рисунке видно, что наблюдается довольно сильное различие между зави-

3) Химический анализ исследованных монокристаллических образцов производился в ИОНХ АН СССР. Авторы благодарны к. ф.-м. н. Бельскому Н.К. и к. х. н. Очертяновой Л.И. за химическое исследование образцов.

4) Монокристаллы  $\text{La}_2\text{CuO}_{4-y}$  были получены в ИФТТ АН СССР Г.А.Емельченко. Авторы благодарны Г.А.Емельченко за любезно предоставленные кристаллы.

5) Ориентировка осей монокристаллов определялась Ю.М.Ореховым в ИФП АН СССР. Авторы благодарны Ю.М.Орехову за проделанную работу.

симостями  $M(H)$  при ориентации  $H$  вдоль различных осей кристалла. При ориентации приложенного магнитного поля вдоль одной из бинарных осей в плоскости  $a - c$  кристалла (рис. 1), в магнитных полях  $H \approx 48 - 50$  кЭ наблюдается нелинейное возрастание  $M(H)$ , аналогичное наблюдаемому возрастанию  $M(H)$  в поликристаллических образцах. При ориентации  $H$  вдоль других осей такого возрастания не наблюдается. При исследовании различных монокристаллов  $\text{La}_2\text{CuO}_4 - y$  нелинейное возрастание  $M(H)$  при увеличении  $H$  наблюдается в некоторых кристаллах и при ориентации  $H \parallel c$  в плоскости  $a - c$  кристалла. Однако это связано с разбиением монокристалла на кристаллографические домены, с осями  $a$  повернутыми на  $90^\circ$  друг к другу и перпендикулярными оси  $b$  (рис. 1).

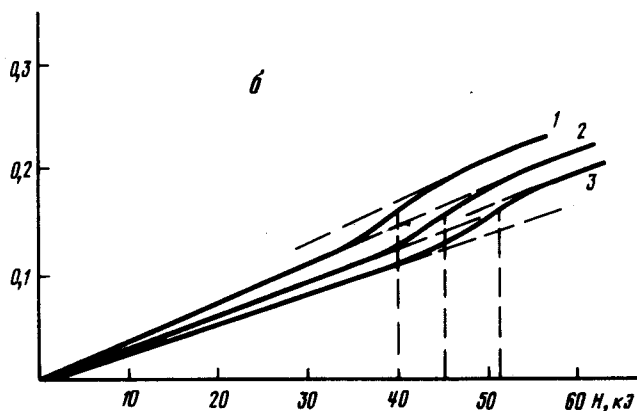
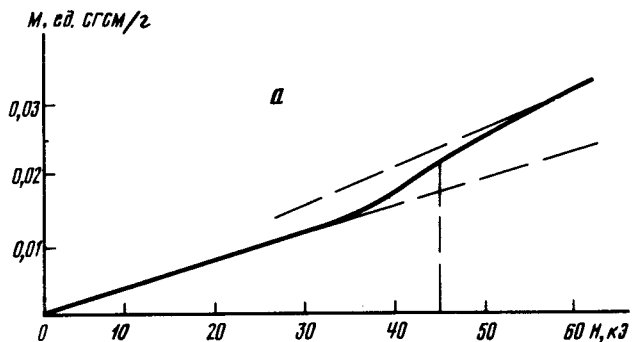


Рис. 2. *a* – Зависимости магнитных моментов поликристаллических образцов от магнитного поля при  $T = 60$  К; *b* – зависимости магнитных моментов монокристаллов при различных температурах  $H \parallel c$ :  $T = 10$  К – кривая 1,  $T = 20$  К – кривая 2,  $T = 30$  К – кривая 3

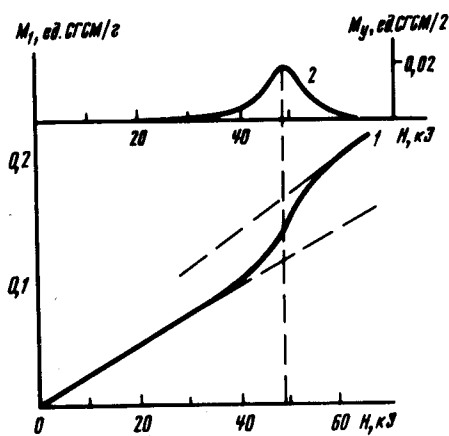
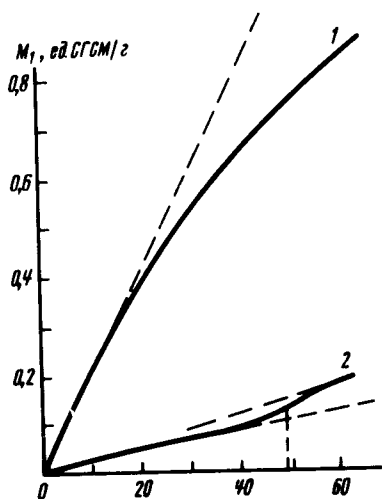


Рис. 3. *a* – Зависимости магнитных моментов монокристаллов от магнитного поля при различных ориентациях  $H$  относительно осей кристалла:  $H \parallel b$  – кривая 1;  $H \parallel c$  – кривая 2; *b* – зависимости магнитных моментов монокристаллов от магнитного поля  $H$ :  $M_y$  при  $H \parallel c$  – кривая 2;  $M_x$  при  $H \parallel c$  – кривая 1

Так как согласно данным нейтронографии <sup>3</sup> антиферромагнитный вектор  $\mathbf{L}$  в  $\text{La}_2\text{CuO}_{4-y}$  ориентирован вдоль бинарной оси  $c$ , можно предположить, что возрастание зависимости  $M(H)$  при увеличении  $\mathbf{H} \parallel c$  связано с поворотом антиферромагнитного вектора  $\mathbf{L}$  в кристалле.

Для того чтобы определить в какой плоскости происходит поворот  $\mathbf{L}$  в монокристалле, мы исследовали зависимости  $M(H)$  при ориентации  $\mathbf{H}$  вдоль бинарной оси  $c$ , измеряя три взаимно перпендикулярные компоненты магнитного момента  $M_{x,y,z}(H)$ . На рис. 3б, кривая 2 представляет зависимость  $M_y$ . Наблюдаемая характерная для поворота антиферромагнитного вектора  $\mathbf{L}$  зависимость  $M_y(H)$  и отсутствие при этом  $M_z(H)$  указывает на то, что поворот антиферромагнитного вектора  $\mathbf{L}$  в магнитных полях  $H \approx 50$  кЭ происходит в плоскости  $a-c$  кристалла.

На рис. 2б представлены зависимости магнитных моментов исследованных монокристаллов ( $T_N = 200\text{K}$ ) от магнитного поля при ориентации  $\mathbf{H}$  вдоль бинарной оси  $c$  при различных температурах. Наблюдается увеличение значения магнитного поля фазового перехода  $H_c(T)$  при увеличении температуры. Исследование зависимостей  $M(H, T)$  при  $\mathbf{H} \parallel c$  монокристаллов  $\text{La}_2\text{CuO}_{4-y}$  при низких температурах  $T \leq 10\text{K}$  рис. 3б показывает, что при этих температурах зависимость  $M(H)$  при  $H > 50$  кЭ можно описать выражением  $M(H) = M^* + \chi H$ , где  $M^*$  — величина получаемая экстраполяцией  $M(H)$  при  $H > 50$  кЭ к  $H = 0$  отлична от нуля. Величина  $M^*$  сильно зависит от температуры и при  $T > 20\text{K}$  (рис. 2б)  $M^*$  практически равна нулю. Такая зависимость  $M(H, T)$  возможно связана с насыщением парамагнитных моментов примесей в магнитных полях  $H > 50$  кЭ при низких температурах.

Таким образом, в данной работе показано, что в исследованных образцах  $\text{La}_2\text{CuO}_{4-y}$  ниже температуры перехода в антиферромагнитное состояние при ориентации  $\mathbf{H}$  вдоль одной из бинарных осей в плоскости  $\text{Cu}-\text{O}$  кристаллов в магнитных полях  $H \approx 50$  кЭ наблюдается нелинейное возрастание магнитного момента образца, которое можно объяснить поворотом антиферромагнитного вектора  $\mathbf{L}$  в кристалле при увеличении магнитного поля. Поворот  $\mathbf{L}$  происходит в плоскости  $a-c$  кристалла. Исследованные образцы отличаются от исследованных ранее <sup>5</sup> сильной анизотропией магнитной восприимчивости при низких температурах.

Авторы благодарны академику А.С.Боровику-Романову за постановку задачи исследований, интерес к работе и обсуждение результатов. Авторы благодарны д.ф.-м.н. Н.М.Крейнес и член-корр. АН СССР И.Ф.Щеголеву за интерес к работе и обсуждение результатов.

#### Литература

1. Aharony A., Birgeneau R.J., Coniglio A. et al. Phys. Rev. Lett., 1988, 60, 1330.
2. Vaknin D., Sinha S.K., Moncton D.E. et al. Phys. Rev. Lett., 1987, 58, 2802.
3. Freltoft T., Remeika J.P., Moncton D.E., Cooper A.S et al. Phys. Rev. B, 1987, 36, 826.
4. Бажан А.Н., Боровик-Романов А.С., Крейнес Н.М. ПТЭ, 1973, 1, 442.
5. Fukuda K., Sato M., Shamoto S. et al. Sol. St. Comm., 1987, 63, 811.