

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ОХЛАЖДЕНИЯ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ НА НАМАГНИЧЕННОСТЬ МОНОКРИСТАЛЛА $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{MnO}_3$

В.Е.Архипов*⁺, В.П.Дякина*¹⁾, Я.Клямут⁺²⁾, Я.М.Муковский[□],
В.Е.Старцев*⁺, А.Чопник[△]²⁾

*Институт физики металлов Уральского отделения РАН
620219 Екатеринбург, Россия

⁺International Laboratory for High Magnetic Fields and Low Temperatures,
53-529 Wroclaw, Poland

[□]Московский институт сталей и сплавов, 117939 Москва, Россия

[△]Institute of Low Temperatures and Structural Research, 50-950 Wroclaw, Poland

Поступила в редакцию 14 мая 1998 г.

На монокристалле манганита лантана $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{MnO}_3$ в интервале температур 4.2 – 300 К и магнитных полей 50 Э – 55 кЭ выполнены измерения намагниченности в двух режимах охлаждения образца: 1) охлаждение в сильном (55 кЭ) магнитном поле до 4.2 К и 2) охлаждение в "нулевом" поле. Показано, что в этих режимах вид температурных зависимостей намагниченности $M(T)$ существенно различен. При температурах $T^* = 103$ К и $T_c = 145$ К обнаружены резко выраженные аномалии $M(T)$, первая из которых связывается со структурным переходом, а вторая соответствует фазовому переходу ферромагнетик – парамагнетик. Намагниченность монокристалла $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{MnO}_3$ в исследованных режимах охлаждения образца проявляет типичное "спин-стекольное" поведение.

PACS: 75.50.Pp

В ряде работ, опубликованных в последнее время, магнитное состояние манганитов лантана системы $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ при малых концентрациях стронция с $x \sim 0.1$ в области низких температур классифицируется как антиферромагнитное со скошенной магнитной структурой [1, 2]. Наряду с такой точкой зрения существует иная: в манганитах кальциевой и стронциевой систем, допированных редкоземельными металлами (празеодимом, неодимом или тербием) реализуется состояние спинового стекла [3, 4]. Наконец, в [5] в отличие от [1, 2] утверждается, что манганит лантана с содержанием стронция $x \sim 0.1$ является не изолятором со скошенной антиферромагнитной структурой, а полярнноупорядоченной фазой, магнитная структура которой не установлена. В связи с этим представляет интерес более детально исследовать поведение намагниченности монокристалла этого соединения в отличие от большинства работ, выполненных на керамических (поликристаллических) образцах.

С целью выяснить возможность реализации состояния спинового стекла в системе $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ без допирования ее редкоземельными металлами, мы исследовали температурные зависимости намагниченности $M(T)$ монокристалла $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{MnO}_3$ в двух режимах охлаждения образца:

1) охлаждение в нулевом магнитном поле от температур, превышающих точку магнитного упорядочения, до 4.2 К (ZFC);

¹⁾ e-mail: star@fmm.e-burg.su

²⁾ J.Klamut, A.Czopnik

2) охлаждение в сильном магнитном поле $H = 55 \text{ кЭ}$ (FC).

Монокристалл был выращен методом бестигельной зонной плавки с радиационным нагревом зоны (ксеноновая лампа). Рентгеновские лауэграммы и дифрактограммы снятые при $T = 293 \text{ К}$ показали, что исследуемый образец представлял собой орторомбический монокристалл с кристаллографической доменной (паркетной) структурой. Он имел форму параллелепипеда с поперечными размерами порядка миллиметра и массу 38.0 мг. Направление магнитного поля при измерениях совпало с кристаллографической осью типа (112) с точностью до $\pm 2^\circ$.

Намагниченность измерялась на СКВИД-магнитометре фирмы "Quantum Design" в интервале 4.2 – 300 К в магнитных полях от 50 Э до 55 кЭ. Перед каждым измерением температурных зависимостей $M(T)$ и полевых зависимостей намагниченности $M(H)$ как в режиме ZFC , так и в режиме FC , образец предварительно охлаждался от температуры не ниже 300 до 4.2 К.

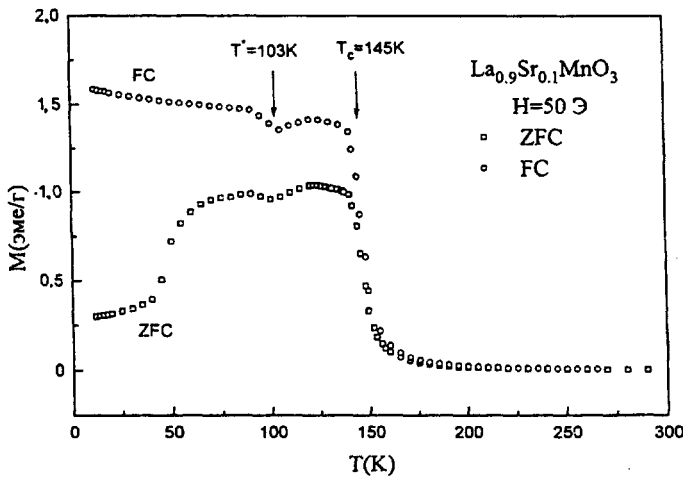


Рис.1. Температурные зависимости намагниченности монокристалла $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{MnO}_3$ в режимах FC и ZFC , измеренные в поле $H = 50 \text{ Э}$

На рис.1 приведена температурная зависимость намагниченности исследуемого монокристалла, измеренная в слабом магнитном поле $H = 50 \text{ Э}$ в режиме ZFC ³⁾. Отчетливо проявляются две особенности: минимум в $M(T)$ при $T^* = 103 \text{ К}$ и резкий спад намагниченности при $T_c = 145 \text{ К}$. Заметим, что подобная "двугорбая" температурная зависимость ac -магнитной восприимчивости монокристалла этого же состава, измеренная на частоте 135 Гц с амплитудой модуляции магнитного поля 10 Э, недавно наблюдалась в [6]. Измерения $M(T)$ в том же режиме ZFC , но в более сильных полях 1 – 55 кЭ (рис.2) показывают, что сильное магнитное поле приводит к существенному изменению температурной зависимости $M(T)$, оставляя четко выраженной лишь аномалию вблизи T^* .

Вид кривой $M(T)$ (рис.1, верхняя кривая), измеренной в поле 50 Э в режиме FC (охлаждение при $H = 55 \text{ кЭ}$), также сильно отличается от зависимости $M(T)$ в режиме ZFC : вместо сильного (в 4 раза) увеличения намагниченности с ростом температуры от 4.2 до 100 К в режиме FC , при $H = 50 \text{ Э}$ имеет место не возрас-

³⁾ Нескомпенсированная часть остаточного поля соленоида ΔH в магнитометре составляла 6 Э. Поэтому наименьшее поле, в котором проводились измерения, равнялось 50 Э, что на порядок больше величины ΔH .

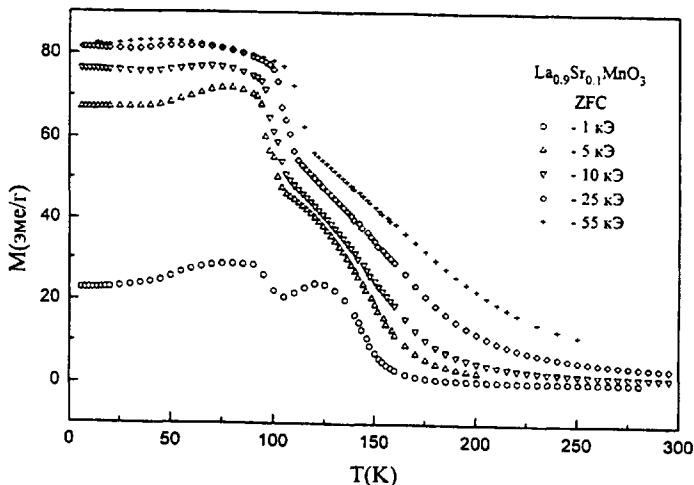


Рис.2. Эволюция кривых $M(T)$ монокристалла $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{MnO}_3$ в магнитных полях от 1 до 55 кЭ, измеренных в режиме ZFC

тание, а уменьшение намагниченности. При этом величина M при $T = 4.2\text{ K}$ в режиме FC в шесть раз больше, чем в режиме ZFC . В достаточно сильных полях вид зависимостей $M(T)$ в режимах как ZFC , так и FC (рис.3) подобен, то есть резко выраженной остается лишь одна аномалия вблизи T^* . Отметим, что в области гелиевых температур в $M(H)$ наблюдается гистерезис (рис.4).

Итак, приведенные экспериментальные данные свидетельствуют о непростой магнитной структуре соединения $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{MnO}_3$ и весьма лабильном по отношению к магнитному полю его магнитном состоянии.

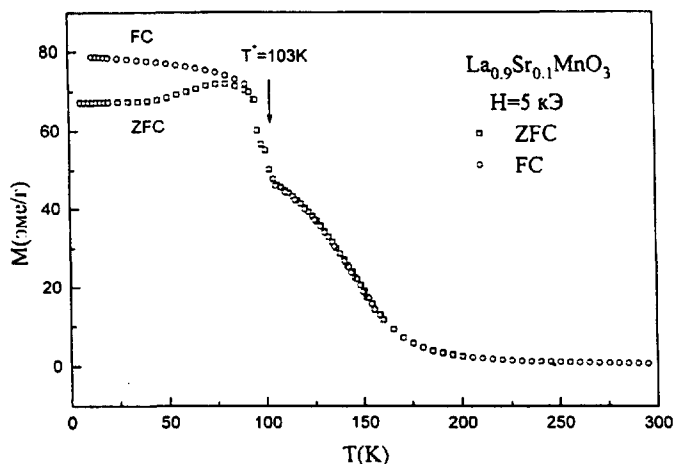


Рис.3. Температурные зависимости намагниченности того же монокристалла в режимах FC и ZFC , измеренные в поле 5 кЭ

Если резкий спад намагниченности при $T_c = 145\text{ K}$ достаточно надежно объясняется фазовым переходом из ферро- в парамагнитное состояние и согласуется с результатами [2, 6, 7], то аномалию в $M(T)$, отчетливо наблюдаемую при $T^* = 103\text{ K}$ в режимах как ZFC , так и FC , вряд ли можно однозначно трактовать как простой

переход в антиферромагнитное состояние со скошенной магнитной структурой при $T < T^*$, как это делается в работах [1, 2, 7]. Результаты наших измерений свидетельствуют, что аномалию при $T^* = 103$ К можно интерпретировать и иным образом: можно предположить, что при $T < T^*$ в соединении $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{MnO}_3$ в слабых магнитных полях реализуется состояние кластерного стекла, так как при $T < T^*$ намагниченность монокристалла $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{MnO}_3$ в слабых магнитных полях демонстрирует типичное спин-стеклоподобное поведение.

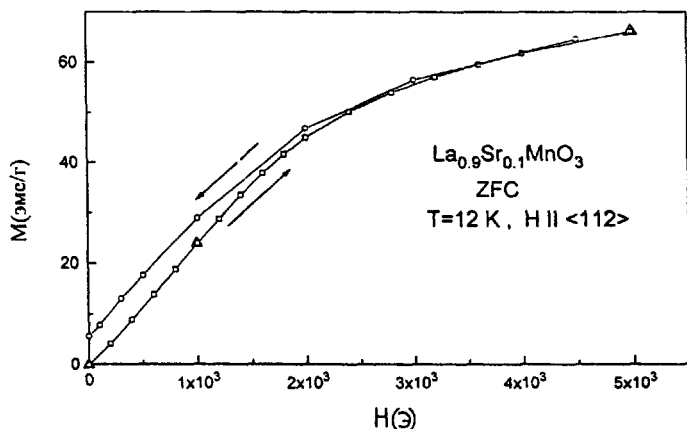


Рис.4. Гистерезис намагниченности монокристалла $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{MnO}_3$, охлажденного в режиме *ZFC*; $T = 12$ К. Δ – контрольные независимые измерения показывают воспроизводимость результатов

Более того, результаты изучения кристаллической структуры, выполненные методом нейтронной [2] дифракции, показывают, что при $T^* \cong 103$ К мы имеем дело не только с магнитным, но одновременно и со структурным переходом. Как следует из этой работы вблизи T^* происходит переход от орторомбической псевдокубической фазы ($T < T^*$) к орторомбической фазе с ян-теллеровскими искажениями ($T > T^*$) [2]. Тем не менее, следует сказать, что приведенные нами экспериментальные факты не исключают и возможность сосуществования при $T < T^*$ двух магнитоупорядоченных структур (например, ферро- и антиферромагнитной).

В заключение отметим, что основной результат настоящей работы состоит в экспериментальном доказательстве того, что магнитные свойства системы $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ с малым содержанием стронция зависят не только от химического состава соединения, но в значительной степени от режима охлаждения образца, а магнитное состояние кристалла $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ очень чувствительно к магнитному полю. Весьма вероятно, что результаты измерений и других свойств этой системы (в частности, магнитострикции) будут различны в зависимости от того, ведется ли охлаждение образца в магнитном поле или в его отсутствие. Для того, чтобы однозначно установить магнитное состояние монокристалла $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ ниже 100 К необходимы прямые эксперименты по малоугловому магнитному рассеянию нейтронов в режимах *ZFC* и *FC* охлаждения образца.

После проведения измерений и подготовки рукописи данной статьи была опубликована статья [8], в которой сообщается о наблюдении спин-стеклоподобного поведения намагниченности в поликристалле $\text{Y}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{MnO}_3$ без допирования его редкоземельными металлами. Вполне возможно, что различное поведение магнитных свойств в режимах *ZFC* и *FC* является характерной особенностью магнитного состояния

манганитов [3, 4] и манганатов [9] лантана в определенной области концентраций стронция и кальция.

Авторы благодарны А.Королеву, Н.Коурову, В.Нижанковскому, Т.Палевскому, В.Сазоновой, В.Сусскому и Ю.Циовкину за полезные дискуссии и помощь.

-
1. H.Kawano, R.Kajimoto, M.Kubota et al., Phys. Rev. **B53**, 2202 (1996).
 2. H.Kawano, R.Kajimoto, M.Kubota et al., Phys. Rev. **B53**, R14709 (1996).
 3. A.Maignan, U.V.Varadaraju, F.Millange et al., JMMM **168**, L237 (1997).
 4. J.M.Teresa, M.R.Ibara, J.Garsia et al., Phys. Rev. Lett. **76**, 3392 (1996).
 5. Y.Yamada, O.Hiro, S.Mohdo et al., Phys. Rev. Lett. **77**, 904 (1996).
 6. S.E.Lofland, V.Ray, P.H.Kim et al., J. Phys.: Condens. Matter **9**, L633 (1997).
 7. A.Urushibara, Y.Morimoto, T.Arima et al., Phys. Rev. **B51**, 14103 (1995).
 8. X.L.Wang, J.Horvat, and H.K.Liu, JMMM **182**, L1 (1998).
 9. Y.Morimoto, Y.Tomioka, A.Asamitsu et al., Phys. Rev. **B51**, 3297 (1995).