

**сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна**

14-90-190

А. В. Белушкин, Е. А. Горемычкин, С. Ф. Гундорина,
А. Ю. Музыка, В. М. Назаров, И. Натканец,
И. Л. Сашин, А. Фидеркевич

**ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОГО ВЛИЯНИЯ
МИКРОПРИМЕСЕЙ НА ДИНАМИКУ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ**



К настоящему времени опубликован ряд работ, посвященных динамике решетки ВТСП на основе La, в том числе с помощью неупругого рассеяния тепловых нейтронов (НРТН) ^{/1-5/}.

Ранее мы сообщали ^{/6/} результаты измерений обобщенной функции плотности фононных состояний ВТСП керамик состава $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_{4-\delta}$, в которых нами была обнаружена особенность в спектре НРТН в районе 6 мэВ. Температурная и угловая зависимость интегральной интенсивности этой неупругой линии указывали на магнитный характер соответствующего ей возбуждения. В ряде работ также указывалось на существование избыточной интенсивности в низкочастотной области спектра НРТН в районе 5-8 мэВ ^{/5/}, но выраженной не так ярко, как в наших спектрах. Как мы уже сообщали ^{/6/}, исследуемые образцы $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_{4-\delta}$ имели низкую T_c , что мы связывали с дефицитом кислорода δ . Приготавливались они из La_2O_3 , SrCO_3 и CuO по стандартной методике, описанной в ^{/6/}, с закалкой на конечной стадии синтеза между массивными медными пластинами. Образцы с $x=0,1$ и $x=0,2$ имели T_c , равную 16 и 24,5 К соответственно, а с $x=0,0$ и $x=0,3$ показывали полупроводниковый ход электросопротивления вплоть до гелиевой температуры.

Поэтому были проведены измерения спектров НРТН новой керамики $\text{La}_{1,85}\text{Sr}_{0,15}\text{CuO}_{4-\delta}$ с высокой температурой сверхпроводящего перехода. Образец был приготовлен из $\text{La}_2(\text{CO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, CuO и SrCO_3 с отжигом в атмосфере кислорода и медленным охлаждением в печи. По измерениям магнитной восприимчивости образец имел $T_c=36$ К.

Эксперименты по рассеянию нейтронов проводились на времяпролетном спектрометре обратной геометрии КДСОГ-М, установленном на реакторе ИБР-2 ^{/7/}.

Спектры НРТН $\text{La}_{1,85}\text{Sr}_{0,15}\text{CuO}_{4-\delta}$ и $\text{La}_{1,8}\text{Sr}_{0,2}\text{CuO}_{4-\delta}$ представлены на рис. 1. Видно, что спектры НРТН обеих керамик хорошо согласуются, за исключением области передач энергий $\epsilon \approx 6$ мэВ, где интенсивность рассеяния второго образца существенно больше, чем у первого.

На наш взгляд, причинами возникновения неупругого пика при $\epsilon \approx 6$ мэВ могут быть следующие обстоятельства:

- 1) антиферромагнитные корреляции, связанные с δ ;
- 2) переходы между уровнями кристаллического электрического поля (КЭП) примесей магнитоактивных редкоземельных элементов (РЗЭ) в матрице $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_{4-\delta}$.

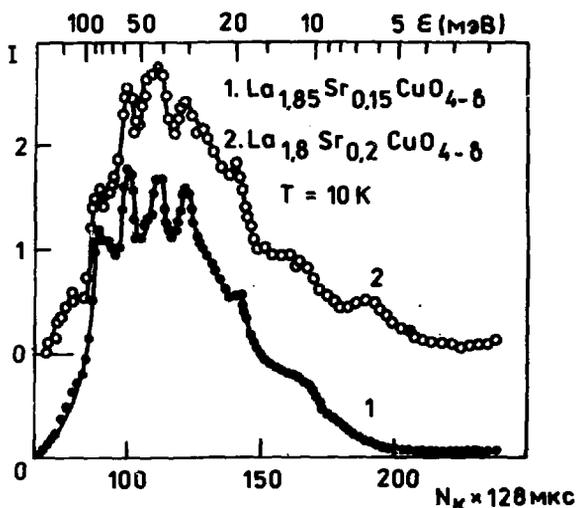


Рис. 1. Спектры НРТН на $\text{La}_{1,85}\text{Sr}_{0,15}\text{CuO}_{4-\delta}$ $\text{La}_{1,8}\text{Sr}_{0,2}\text{CuO}_{4-\delta}$ $T=10\text{ K}$. ϵ — переданная энергия в мэВ.

В сущности, проверка второго предположения и составляет цель настоящей работы.

В качестве методик для определения элементного состава микропримесей использовались инструментальный нейтронно-активационный и гамма-активационный анализы.

НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ

Навески образцов массой 0,2 г облучались в течение 1 мин в канале облучения реактора ИБР-2 ЛНФ ОИЯИ. Плотность потока тепловых, резонансных и быстрых нейтронов составляла $1,1 \cdot 10^{12}$, $0,23 \cdot 10^{12}$ и $1,4 \cdot 10^{12}$ н/см²·с соответственно /8/.

Измерения γ -спектров наведенной активности проводились на Ge(Li)-детекторе с разрешением 3,0 кэВ по линии 1333 кэВ ^{60}Co и выдержкой после облучения 10-30 дней. В связи с тем, что стандартный образец не использовался, приводятся оценки концентрации элементов по отношению к La по следующей формуле /9/:

$$\frac{m_{\text{Re}}}{m_{\text{La}}} = 100 \% \times$$

$$\times \frac{S_{\text{Re}} \cdot M_{\text{Re}} \cdot \lambda_{\text{Re}} \cdot e^{\lambda_{\text{Re}} t_{\text{в}}} \cdot \epsilon(\gamma)_{\text{La}} \cdot I_{\gamma} \cdot \sigma_{\text{a La}} \cdot (1 - e^{-\lambda_{\text{La}} t_0}) (1 - e^{-\lambda_{\text{La}} t_{\text{н}}})}{S_{\text{La}} \cdot M_{\text{La}} \cdot \lambda_{\text{La}} \cdot \epsilon(\gamma)_{\text{Re}} \cdot e^{\lambda_{\text{La}} t_{\text{в}}} \cdot I_{\gamma} \cdot \sigma_{\text{a Re}} \cdot (1 - e^{-\lambda_{\text{Re}} t_0}) (1 - e^{-\lambda_{\text{Re}} t_{\text{н}}})}$$

где Re — примесь магнитоактивной РЗЭ; La — лантан; S — площадь под пиком; M — атомная масса; λ — период полураспада; I_γ — интенсивность γ -линии; σ_a — сечение активации, $\sigma_a = \sigma_T (1 + 0,22 I_0/\sigma_T)$; σ_T — сечение активации для тепловых нейтронов; t_B , t_O , t_M — времена выдержки, облучения и измерения соответственно; $\epsilon(\gamma)$ — эффективность детектора; I_0 — резонансный интеграл.

В табл. 1 представлены данные по активации обнаруженных нуклидов РЗЭ и оценка их количества.

Таблица 1

Нук- лид	Распротр. ат. %	$T_{1/2}$, сут.	σ_T , б	I_0/σ_T	Концентр. по отнош. к La, % для $La_{2-x}Sr_xCuO_4$	Концентр. по отнош. к La, % для $La_2(CO_3)_3 \cdot 6H_2O$
^{147}Nd	17,2	11,1	1,4	2,03	< 0,4	< $1 \cdot 10^{-3}$
^{141}Ce	88,5	33	0,58	0,76	< $9 \cdot 10^{-2}$	< $2 \cdot 10^{-2}$
^{160}Tb	100	72,1	25	16,1	< $4 \cdot 10^{-4}$	< $3,5 \cdot 10^{-3}$
^{153}Sm	26,7	1,94	210	15,1	< $2 \cdot 10^{-2}$	—

ГАММА-АКТИВАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ

Пробы в виде порошка помещались в полиэтиленовый контейнер шириной 20 мм и высотой 3 мм. Для определения концентрации элементов использовался стандартный эталон гранита СГД-1А, содержащий большой набор аттестованных РЗЭ.

Образцы облучались совместно с эталоном тормозным излучением микротрона МТ-25 ЛЯР ОИЯИ в течение 4 часов. Максимальная энергия γ -квантов была выбрана 18 МэВ, что исключало реакцию (γ , n) на углероде, который входит в состав контейнеров и $La_2(CO_3)_3 \cdot 6H_2O$. Экстинкция пучка вдоль пакета образцов измерялась с помощью медных мониторов, помещенных между образцами. Для измерения γ -спектров активированных образцов с выдержкой от 2 до 30 дней использовались Si(Li) -детектор с разрешением 0,6 кэВ для линии 122 кэВ ^{57}Co , многоканальный анализатор LP 4900 фирмы NOKIA и анализатор ТИТАН.

Таблица 2

Нуклид	$T_{1/2}$, сут.	E_{γ} , кэВ	Концентрация $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ ppm	Концентрация $La_2(CO_3)_3 \cdot 6H_2O$ ppm
^{139}Ce	137,2	165,8	516 ± 40	123 ± 9
^{153}Sm	1,94	103,2	81 ± 6	$4,2 \pm 0,36$
^{147}Nd	11,1	91,1	1910 ± 505	$5,1 \pm 1,74$

Пределы обнаружения и определение количества микропримесей рассчитывались по формулам Кэрри ^{10/} для полупроводникового дегектора.

Данные по активации обнаруженных нуклидов и их концентрации представлены в табл. 2.

Как видно из табл. 1 и 2, в образцах $La_{2-x}Sr_xCuO_{4-\delta}$ основной примесью является Nd. Поэтому для НРТН был использован образец $La_{1,6}Nd_{0,2}Sr_{0,2}CuO_{4-\delta}$ с содержанием Nd примерно в 30 раз больше, чем в исследуемых образцах семейства $La_{2-x}Sr_xCuO_{4-\delta}$. Образец был структурно-однофазный, $T_c \approx 20$ К.

Дважды дифференциальное сечение магнитного рассеяния нейтронов пропорционально числу ионов магнитоактивных РЗЭ, поэтому интегральная интенсивность пика при $\epsilon \approx 6$ мэВ должна была бы возрасти во столько же раз, если природа этого возбуждения определяется переходами между уровнями КЭП иона Nd^{3+} .

На рис. 2 приведены спектры НРТН $La_{1,8}Sr_{0,2}CuO_{4-\delta}$ и $La_{1,6}Nd_{0,2}Sr_{0,2}CuO_{4-\delta}$, измеренные при гелиевой температуре. Хорошо видно, что пики, соответствующие переходам между уровнями КЭП иона Nd^{3+} лежат в области передач энергий $\epsilon > 20$ мэВ, а интенсивность рассеяния в районе $\epsilon \approx 6$ мэВ для $La_{1,6}Nd_{0,2}Sr_{0,2}CuO_{4-\delta}$ существенно меньше, чем для образца $La_{1,8}Sr_{0,2}CuO_{4-\delta}$.

Таким образом, можно заключить, что природа возбуждения при $\epsilon \approx 6$ мэВ не связана с переходами между уровнями КЭП микропримесей магнитных РЗЭ в керамиках $La_{2-x}Sr_xCuO_{4-\delta}$. Это также подтверждает концентрированная зависимость интегральной интенсивности пика $\epsilon \approx 6$ мэВ для этих соединений.

В ближайшее время мы планируем проверить влияние δ на поведение функции плотности состояний в $La_{2-x}Sr_xCuO_{4-\delta}$.

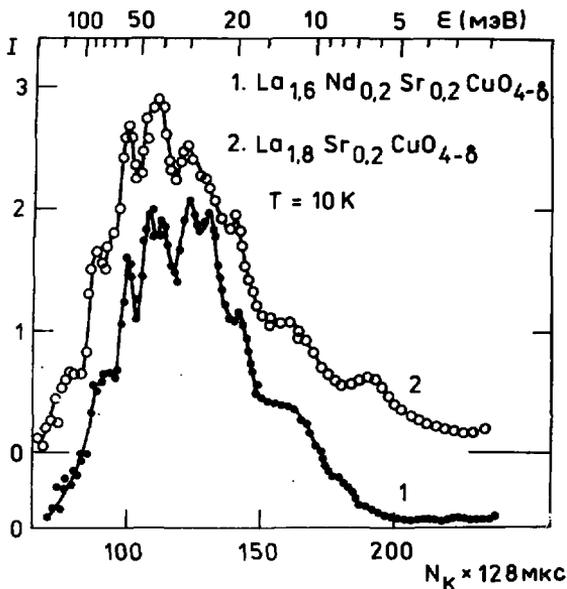


Рис. 2. Спектры НРТН на $\text{La}_{1,6}\text{Nd}_{0,2}\text{Sr}_{0,2}\text{CuO}_{4-\delta}$ и $\text{La}_{1,8}\text{Sr}_{0,2}\text{CuO}_{4-\delta}$ при $T=10\text{ K}$. ϵ — переданная энергия в мэВ.

В заключение авторы выражают благодарность В.П.Чинаевой и М.В.Фронтасевой за помощь в проведении НАА, Ю.М.Останевичу за обсуждение результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ramirez A.P. et al. — Phys. Rev. B., 1987, 36.
2. Balakrishnan G. et al. — Nature, 1987, 287, p.15.
3. Renker B. et al. — Z. fur Phys. B, 1987, 67, p.15.
4. Goshitskij B.N. et al. — Phys. Met. Met., 1987, 64, p.188.
5. Rosseinsky M.J. et al. — Phys. Rev. B., 1988, 37, p.2331.
6. Belushkin A.V. et al. — Physica B., 1989, 156, p.906.
7. Назаров В.М. и др. — В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ №6-85, 1985, с.37.
8. Балуха Г. и др. — Сообщение ОИЯИ P13-84-242, Дубна, 1984.
9. Carder W. et al. — Talanta, 1978, v.25, p.21.
10. Currie L.A. et al. — Anal. Chem., 1968, v.40.

Рукопись поступила в издательский отдел
15 марта 1990 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д9-87-105	Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1986. (2 тома)	13 р. 45 к.
Д7-87-68	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Дубна, 1986.	7 р. 10 к.
Д2-87-123	Труды Совещания "Реконструкция - 86". Дубна, 1986.	4 р. 45 к.
Д4-87-692	Труды Международного совещания по теории малочастичных и кварк-адронных систем. Дубна, 1987.	4 р. 30 к.
Д2-87-798	Труды VIII Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1987.	3 р. 55 к.
Д14-87-799	Труды II Международного симпозиума по проблемам взаимодействия мюонов и пионов с веществом. Дубна, 1987	4 р. 20 к.
Д17-88-95	Труды IV Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1987.	6 р. 20 к.
Д14-88-833	Труды рабочего совещания "Современные направления в активационном анализе СИЯИ". Дубна, 1988	2 р. 40 к.
Д13-88-838	Труды XIII Международного симпозиума по ядерной электронике. Варна, 1988	4 р. 30 к.
Д10-89-70	Труды Международной школы по вопросам применения ЭВМ в физических исследованиях. Дубна, 1988.	2 р. 60 к.
Р2-89-138	Труды семинара "Гравитационная энергия и гравитационные волны". Дубна, 1988	1 р. 10 к.
Д10-89-143	Труды рабочего совещания по генетическому действию корпускулярных излучений. Дубна, 1988	4 р. 30 к.
Д4-89-221	Труды рабочего совещания по разработке и созданию излучателя и детектора гравитационных волн. Дубна, 1988	1 р. 60 к.
Д9-89-52	Труды XI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1988 (2 тома)	14 р. 35 к.
Д4,6,15-89-638	Труды Международной конференции по избранным вопросам структуры ядра. Дубна, 1989	3 р. 76 к.
Д9-89-708	Труды II Международного совещания по циклотронам и их применению. Бехи, ЧССР, 1989	4 р. 00 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу: 101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79. Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.

Белушкин А.В. и др.

14-90-190

Изучение возможного влияния микропримесей
на динамику высокотемпературных сверхпроводников

$\text{La}_{2-x-y}\text{Re}_y\text{Sr}_x\text{CuO}_{4-\delta}$

Изучено содержание микропримесей редкоземельных элементов (РЗЭ) в керамиках $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_{4-\delta}$ методами нейтронно- и гамма-активационных анализов. Исследованы спектры неупругого рассеяния тепловых нейтронов (НРТН) соединений $\text{La}_{2-x-y}\text{Re}_y\text{Sr}_x\text{CuO}_{4-\delta}$, где Re — основная обнаруженная микропримесь. Показано, что примеси РЗЭ в количестве $< 0,5$ ат.% по отношению к La заметного влияния на спектры НРТН не оказывают. Поэтому переходы между уровнями кристаллического электрического поля ионов магнитоактивных РЗЭ, содержащихся в качестве микропримесей, не могут быть причиной наблюдавшейся ранее неупругой линии с $\epsilon \approx 6$ мэВ в спектрах НРТН $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_{4-\delta}$.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1990

Перевод Т.А.Филимонычевой

Belushkin A.V. et al.

14-90-190

The Investigation of Possible Influence of Impurities
on the Dynamics of $\text{La}_{2-x-y}\text{Re}_y\text{Sr}_x\text{CuO}_{4-\delta}$
High Temperature Superconductors

The content of impurities of rare earth elements (REE) in ceramics $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_{4-\delta}$ by the neutron and gamma activation analysis has been studied. The inelastic neutron scattering (INS) spectra of compounds $\text{La}_{2-x-y}\text{Re}_y\text{Sr}_x\text{CuO}_{4-\delta}$, where Re is the main discovered impurity have been studied. It is shown that the REE impurities in amount of less than 0,5 at. % to that of La do not significantly influence the INS spectra. Therefore, the crystalline electric field transitions of the impurity of magnetic rare earth ions can't be responsible for the inelastic line at $\epsilon \approx 6$ meV in the INS spectra discovered earlier.

The investigation has been performed at the Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1990

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

9 коп.

Редактор Е.К.Аксенова. Макет Н.А.Киселевой.
Набор И.П.Трусовой, Л.М.Кашехлебовой.

Подписано в печать 16.05.90.

Формат 60x90/16. Офсетная печать. Уч.-изд. листов 0,6.

Тираж 255. Заказ 43479.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.
Дубна Московской области.