

## АНОМАЛИИ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ЯДЕРНОЙ РЕЛАКСАЦИИ ЯДЕР $^{63}\text{Cu}$ В $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$

А.В.Бондарь, С.М.Рябченко, Ю.В.Федотов,  
А.А.Мотуз

Обнаружены особенности температурной зависимости времен спин-спиновой и спин-решеточной релаксации ядер  $^{63}\text{Cu}$  в  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  при 35 К. С учетом полученных ранее данных эти результаты позволяют предположить либо наличие фазового перехода второго рода, либо перестройку динамического состояния собственных дефектов при 35 К в  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ .

Изучению температурной зависимости спин-решеточной релаксации ядер меди в  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  посвящено большое количество работ (например <sup>1,2</sup>). Температурная же зависимость спин-спиновой релаксации в этом соединении изучена гораздо слабей, хотя подобные исследования могут дать существенную информацию о динамике системы магнитных моментов связанных с ионами меди. В свете представлений о возможности магнитного механизма спаривания в ВТСП <sup>3</sup> проведение подобных исследований весьма актуально.

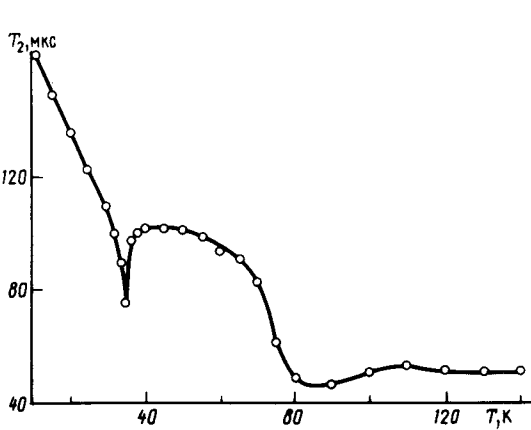


Рис. 1

Рис. 1. Температурная зависимость  $T_2(T)$  ядер  $^{63}\text{Cu}$  в плоскостях  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$

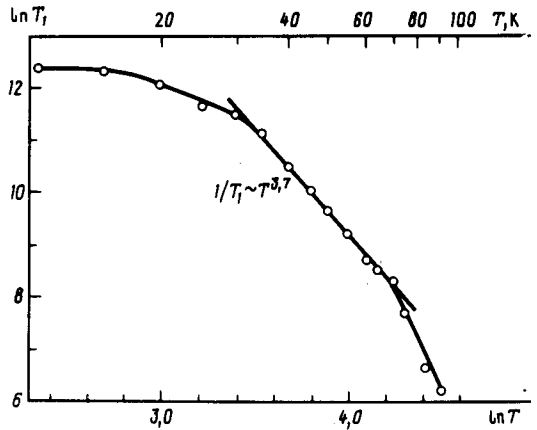


Рис. 2

Рис. 2. Температурная зависимость  $T_1(T)$  ядер  $^{63}\text{Cu}$  в плоскостях  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$

Методом ЯКР мы детально исследовали температурные зависимости времен спин-спиновой ( $T_2$ ) и спин-решеточной ( $T_1$ ) релаксации ядер  $^{63}\text{Cu}$  в образцах  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  полученных по керамической технологии. Время  $T_2$ , характеризующее однородную ширину линии ЯКР, определялось из зависимости амплитуды спинового эха от интервала между возбуждающими импульсами в методе Хана. В пределах точности наших измерений эта зависимость имела одноэкспоненциальный вид. Для исследованных образцов  $T_c$  составляла 91 К. В работе <sup>4</sup>, где температурная зависимость  $T_2 = T_2(T)$  исследовалась в широком интервале температур сделан вывод, что после значительного уменьшения однородной ширины линии ЯКР ядер меди в плоскостях  $\text{Cu}(2)$  при переходе через  $T_c$ , с дальнейшим понижением температуры эта ширина практически не изменяется. Наши измерения, однако, показывают, что в области температур 60–10 К величина  $T_2$  для этих ядер значительно изменяется и, более того, зависимость  $T_2 = T_2(T)$  не является в этой области монотонной (рис. 1). Обращает на себя внимание хорошо выраженная аномалия зависимости  $\bar{T}_2(T)$  в области 35 К природа которой пока не ясна. Повидимому, она связана с изменением некоторых фундаментальных характеристик

$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  в этой области температур, поскольку именно вблизи температуры 35 К в этом соединении наблюдались аномалии целого ряда других физических величин: коэффициента теплового расширения и модуля упругости <sup>5</sup>, затухания звука <sup>6</sup>, обнаружено резкое изменение крутящего момента <sup>7</sup>. Одной из возможных причин подобных аномалий может быть фазовый переход второго рода, сопровождающийся значительным изменением времени корреляции  $\tau_c$  флуктуирующих локальных полей на ядрах меди. При этом в условиях, когда кинетика спада сигнала спинового эха определяется процессами спектральной диффузии, величина  $T_2$  при изменении температуры может проходить через минимум <sup>8</sup>. Положение этого минимума определяется условием  $1/\tau_c \approx \Delta\omega_0$ , где  $\Delta\omega_0$  — неоднородная ширина линии ЯКР. Резкое изменение характера температурной зависимости  $T_2(T)$  при переходе через точку 35 К так же может быть следствием фазового перехода при этой температуре.

Нужно отметить, что вблизи 35 К существенных изменений спектра ЯКР, чаще всего сопровождающих фазовые переходы, не происходит. Нет резко выраженной аномалии и в температурной зависимости времени спин-решеточной релаксации  $T_1(T)$ . Можно, тем не менее, отметить определенные изменения в характере этой зависимости вблизи 35 К для ядер  $\text{Cu}(2)$  (ядра в плоскостях). Как известно из предыдущих исследований <sup>1,2</sup> в определенном интервале температур начиная с  $T_c$  и ниже для этих ядер наблюдается зависимость типа  $1/T_1 \sim T^n$  с  $n \approx 4$ . Подобная зависимость характерна для соединений с тяжелыми фермионами <sup>9</sup> и объясняется наличием точки либо линии нулевых значений энергетической щели для спаривающихся носителей. На рис. 2 полученная нами зависимость  $T_1 = T_1(T)$  приведена в двойном логарифмическом масштабе. Видно, что степенная аппроксимация хорошо работает как раз до 35 К, а ниже по температуре характер этой зависимости изменяется.

Полученные результаты как по  $T_1(T)$  так и по  $T_2(T)$  воспроизводятся на образцах синтезированных в разных лабораториях. Более того, внимательное рассмотрение опубликованных ранее данных по изучению  $T_2(T)$  позволяет предположить, что обнаруженная нами аномалия присутствует и у других авторов при той же температуре 35 К, но не выявлена из-за малой плотности по температуре экспериментальных точек.

Таким образом, отмеченные выше особенности температурных зависимостей времен релаксации (в основном  $T_2(T)$ , а в некоторой степени и  $T_1(T)$ ) позволяют полагать, что при 35 К  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  претерпевает определенные изменения, возможно даже фазовый переход второго рода. Альтернативной такому фазовому переходу причиной для появления узкого пика в  $T_2(T)$  может быть температурная зависимость времени корреляции для подвижных (переориентирующихся) дефектов, модулирующих частоту ЯКР соседних ядер, аналогичная наблюдавшейся в кристаллах германата и силиката висмута по данным ЯКР в <sup>10</sup>. В этом случае надо полагать, что ответственные за аномалию дефекты в  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  являются собственными.

#### Литература

1. Бондарь А.В. и др. Труды I Всесоюзного совещания по ВТСП. Харьков, 1988, 2, 60.
2. Imai T. et al. J. Phys. Soc. Jap., 1988, 57, 1771.
3. Дзялошинский И.Е. Письма в ЖЭТФ, 1989, 49, 518.
4. Бахарев О.Н. и др. Письма в ЖЭТФ, 1988, 47, 383.
5. Аншукова Н.В. и др. Проблемы высокотемпературной сверхпроводимости. Свердловск, 1987, 2, 182.
6. Голев И.М. ФТТ, 1989, 31, 220.
7. Ашимов С.М. и др. Сверхпроводимость, 1989, 2, № 4, 49.
8. Салихов К.М. и др. Электронное спиновое эхо и его применение. Новосибирск.: Наука, СО, 1976.
9. Алексеевский Н.Е., Хомский Д.И. УФН, 1985, 147, 767.
10. Кудзин А.Ю. и др. ФТТ, 1982, 24, 2681.