

ТЕПЛОЕМКОСТЬ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СВЕРХПРОВОДНИКА $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$

Н.Е.Алексеевский¹⁾, А.В.Гусев, Г.Г.Девярых, А.В.Кабанов,
А.В.Митин, В.И.Нижанковский¹⁾, Е.П.Хлыбов

Измерена теплоемкость сверхпроводника $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$. На температурной зависимости теплоемкости наблюдается наличие двух аномалий. Одна из них $T < 9$ К характерна для теплоемкости типа Шоттки, вторая соответствует сверхпроводящему переходу.

В статье приводятся данные по исследованию теплоемкости оксидного сверхпроводника $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$. Образцы были приготовлены методом реакции в твердой фазе^{1, 2}. Измерения проводились на образце $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ длиной 14 мм, диаметром 8,6 мм и массой 4,6 г в широком интервале температур. Для измерений использовались две установки. В интервале 2 – 15 К использовался калориметр с механическим тепловым ключом. Принципиальная конструкция и методика измерения аналогична³. Измерения при более высоких температурах проводились на установке, описанной в⁴. В качестве датчиков температуры использовались платиновый и германиевый термометры сопротивления. Погрешность измерения определялась по измерению теплоемкости образцов эталонной меди и составила в интервале 2 – 15 К менее 1,5%, а при более высоких температурах не более 0,2%.

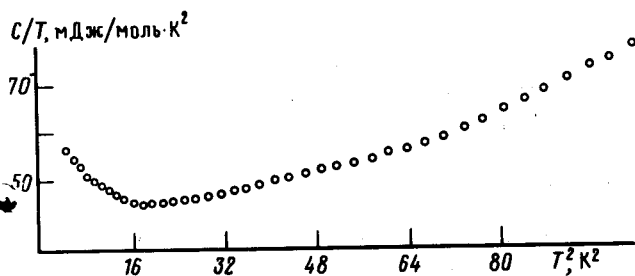


Рис. 1. Зависимость C/T как функция T^2 в интервале температур 2 – 15 К

На зависимости теплоемкости от температуры системы $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ следует отметить две характерные особенности, одна из которых проявляется при $T < 9$ К, а вторая вблизи температуры сверхпроводящего перехода. При $T < 9$ К (рис. 1) наблюдается заметное уменьшение $d(C/T)/dT$ при понижении температуры, которая при $T < 4,2$ К становится отрицательной. Если провести анализ температурной зависимости теплоемкости традиционным образом²⁾, то в области $T < 9$ К ее с достаточно высокой степенью точности ($\delta < 4\%$) можно описать уравнением:

$$C = \frac{A}{T^2} + \gamma T + aT^3 + bT^5$$

$$A = 245 \frac{\text{мДж} \cdot \text{К}}{\text{моль}}, \quad \gamma = 36,7 \frac{\text{мДж}}{\text{моль} \cdot \text{К}^2}, \quad a = 0,268 \frac{\text{мДж}}{\text{моль} \cdot \text{К}^4}$$

$$b = 0,274 \frac{\text{мкДж}}{\text{моль} \cdot \text{К}^6}$$

¹⁾ Институт физических проблем АН СССР

²⁾ Следует отметить, что соединение $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, являясь кластерным соединением, может иметь достаточно сложный фононный спектр, который в принципе не описывается дебаевским приближением, а может иметь дополнительные члены эйнштейновского типа⁵. При этом характеристические температуры Эйнштейна могли бы быть ~ 600 К, что в частности отмечалось для $\text{La}_{2x}(\text{BaSr})_x\text{CuO}_4$ в⁶.

Температурная зависимость первого члена характерна для высокотемпературного предела теплоемкости типа Шоттки. Наличие члена A/T^2 в теплоемкости может быть связано с влиянием магнитных примесей, либо сверхтонкого расщепления ядер Y. Нельзя исключить также возможность магнитного упорядочения в данной системе при более низких температурах. Аномалия подобного характера, только меньшего масштаба, наблюдалась на системе $\text{La}_{1,8}\text{Ba}_2\text{CuO}_y$ ⁷. Из коэффициента при кубическом члене в теплоемкости, полагая, что на молекулу приходится 13 атомов, вычислено значение температуры Дебая $\Theta_0 = 455 \text{ K}$.

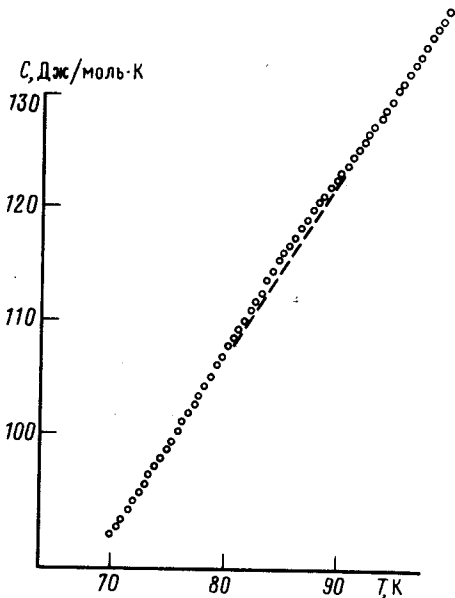


Рис. 2. Температурная зависимость теплоемкости вблизи перехода в сверхпроводящее состояние

Оценка электронной составляющей и величины γ из данных по теплоемкости в данном случае является достаточно сложной. Так, например, если экстраполировать линейную зависимость ($C/T \sim T^2$) из области выше T_C , то значение γ получается аномально высоким ($\gamma = 1,3 \text{ Дж/моль} \cdot \text{K}^2$). Столь высокое значение γ может быть вызвано либо тем, что экстраполяция из очень высокой области температур дает большую погрешность, либо большим линейным решеточным вкладом в теплоемкость, связанным с "квазиаморфным" состоянием образца. Использование зависимости $C/T \sim T^2$ в сверхпроводящей области недостаточно корректно. Однако, если допустить, что при T ниже T_C не все электроны переходят в сверхпроводящее состояние, можно оценить γ из зависимости ($C/T \sim T^2$) при $T < T_{C0}$. Такое значение γ оказывается равным $37 \text{ мДж/моль} \cdot \text{K}^2$. Это значение можно согласовать с величиной $\gamma = 40 \text{ мДж/моль} \cdot \text{K}^2$, вычисленной из магнитной восприимчивости, если предполагать, что независящая от температуры компонента χ представляет паулиевский вклад. Однако, нельзя исключить, что полученное значение γ также могло быть следствием решеточной линейной составляющей теплоемкости, вызванным, как уже отмечалось, "квазиаморфным" состоянием системы.

Наблюдать характерный для сверхпроводников скачок теплоемкости при $T = T_C$ нам не удалось. Однако, в области T_C на температурной зависимости теплоемкости виден перегиб (см. рис. 2), что может быть связано с размытым сверхпроводящим переходом. Размытие перехода, по-видимому, связано с неоднородностью образца³⁾. Аналогичное размытие перехода для $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ отмечалось в работе⁸. Однако, в⁸ не наблюдается аномальное поведение теплоемкости в области $T < 9 \text{ K}$. Возможно это связано с недостаточно низкими тем-

³⁾ Гомогенизирующий отжиг образца не проводился.

пературами, до которых авторы проводили измерения. Экстраполяция зависимости теплоемкости выше и ниже перехода позволила оценить величину скачка $\Delta C \gtrsim 2$ Дж/моль · К, что совпадает с данными ⁸.

Литература

1. *Bednorz J.G., Muller K.A.* Z. Phys., 1986, **B64**, 189.
2. *Wu M.K., Ashburn J.R., Tonng C.J. et al.* Phys. Rev. Lett., 1987, **58**, 908.
3. *Siegel Von K.D., Wolf G., Bohmhammel K., Schmidt M.G.* Exper. Techn. der Physik, 1977, **25**, 299.
4. *Девярых Г.Г., Гусев А.В. и др.* ЖНХ, 1985, **30**, 1368.
5. *Алексеевский Н.Е., Добровольский Н.М., Вольф Г., Хольфельд Х.* ЖЭТФ, 1982, **83**, 1500.
6. *Tranguada J.M., Heald S.M.* Phys. Rev., 1987, **B35**, 7187.
7. *Wenger L.E., Chen J.T., Hunter G.W.* Phys. Rev., 1987, **B35**, 7213.
8. *Kitazawa K., Atake T. et al.* J. Appl. Phys. Jap., 1987, **26**, 1748.

Институт химии
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
16 ноября 1987 г.