

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗОТОПНОГО ЗАМЕЩЕНИЯ МЕДИ НА КРИТИЧЕСКУЮ ТЕМПЕРАТУРУ СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ КЕРАМИКИ $Y_1 Ba_2 Cu_3 O_7$

Б.В.Васильев, В.И.Лушиков, В.В.Сиколенко*

Не обнаружено влияния замещения изотопов ^{63}Cu и ^{65}Cu на критическую температуру высокотемпературного сверхпроводника $Y_1 Ba_2 Cu_3 O_7$, измеренную по спаду электрического сопротивления. Отсутствие изотопического эффекта на меди наряду с его отсутствием на других элементах трактуется в пользу нефононного механизма высокотемпературной сверхпроводимости.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Search for Copper Isotope Effect in $Y_1 Ba_2 Cu_3 O_7$

B.V.Vasiliev, V.I.Lushchikov, V.V.Sikolenko

An isotope effect has been searched for in high- T_c superconductor $Y_1 Ba_2 Cu_3 O_7$ through substitution of ^{63}Cu for ^{65}Cu . No shift in the superconducting transition temperature is observed by electrical resistivity measurement.

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

После открытия высокотемпературной сверхпроводимости важнейшим стал вопрос о механизме ее возникновения. "Обычная" низкотемпературная сверхпроводимость осуществляется электронными парами, создающимися за счет обмена фононами. К настоящему моменту экспериментально установлено^{1/}, что высокотемпературная сверхпроводимость также возникает за счет создания электронных пар. Не установлен конкретный механизм их рождения. В обычных сверхпроводниках критическая температура T_c почти всегда зависит от фононной частоты, а значит, от массы ионов решетки. Согласно стандартной теории БКШ

$$T_c \sim M^{-\alpha}, \quad (1)$$

*

Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова

где M — масса ионов решетки и $a = 1/2$. Экспериментально изотопический эффект, изученный для широкого класса сверхпроводящих материалов, дает обычно a от 0,2 до 0,5.

Для высокотемпературного сверхпроводника $Y_1Ba_2Cu_3O_7$ изотопический эффект, по-видимому, интересно исследовать на всех элементах, кроме иттрия: его замена на большинство редкоземельных элементов мало сказывается на критической температуре^{/2/}. Наибольший изотопический эффект можно ожидать, естественно, на кислороде. Однако, согласно работе^{/3/}, замена ^{16}O на ^{18}O не приводит к заметному эффекту: $a = 0,0 \pm 0,27$. В работе^{/4/} почти полностью обратимо замена ^{16}O на ^{18}O вела к снижению критической температуры на 0,3-0,5 К, что примерно на порядок меньше оценки по формуле (1) для $a = 0,5$.

Параллельное исследование рамановских спектров на образцах этой керамики показало^{/5/}, что 75% изотопное замещение кислорода ведет к 4% изменению фоновой частоты, но лишь к 0,2% сдвигу T_c . В более поздней работе^{/6/} описана замена кислорода на серу и получение монофазных образцов $Y_1Ba_2Cu_3O_6S_1$. Такая замена тоже не привела к заметному сдвигу T_c , что, по-видимому, можно трактовать как аргумент в пользу отсутствия зависимости T_c от массы кислорода.

В связи с этим возникает вопрос: может быть, колебания других ионов могут влиять на критическую температуру?

Проведенные нами измерения на изотопах ^{63}Cu и ^{65}Cu показали отсутствие сдвига T_c .

Для нашего эксперимента образцы готовились следующим образом. Сначала из тщательно перетертых порошков Y_2O_3 , BaO_2 и изотопической окиси меди под давлением примерно 10 кбар прессовались таблетки 25x7x1 мм. Затем эти таблетки спекались при температуре 950°C в течение трех часов на воздухе. После чего следовало медленное охлаждение со скоростью порядка градуса в минуту. При этом для приготовления одного образца использовалась окись меди, содержащая 99,7% изотопа ^{63}Cu , а для другого — 99,0% изотопа ^{65}Cu . Особое внимание обращалось на возможную тождественность всех условий приготовления для обоих образцов. Температурная зависимость сопротивления измерялась четырехконтактным способом. Причем измерения проводились параллельно на обоих образцах, помещавшихся в термостат, температура в котором изменялась достаточно медленно, так что не было различимой разницы между результатами измерений при нагреве и охлаждении. Оба образца имели в нормальном состоянии с точностью примерно до 1% равные удельные сопротивления (несколько мОм·см), изменявшиеся с температурой по металлическому закону. Падение сопротивления вблизи T_c происходило довольно резко — от уровня 90% до 10% измене-

ние укладывалось в интервал примерно 1К. Для образцов было получено:

$$\Delta T_c = T_c (^{63}\text{Cu}) - T_c (^{65}\text{Cu}) = 0,2\text{K}. \quad (2)$$

После измерений образцы были вновь измельчены в порошок, спрессованы в таблетки и отожжены, как и ранее. Измерения сопротивления полученных таким образом таблеток показали, что переход в них примерно в два раза растянулся, а также изменился знак температурного сдвига:

$$\Delta T_c = T_c (^{63}\text{Cu}) - T_c (^{65}\text{Cu}) = -0,1\text{K}. \quad (3)$$

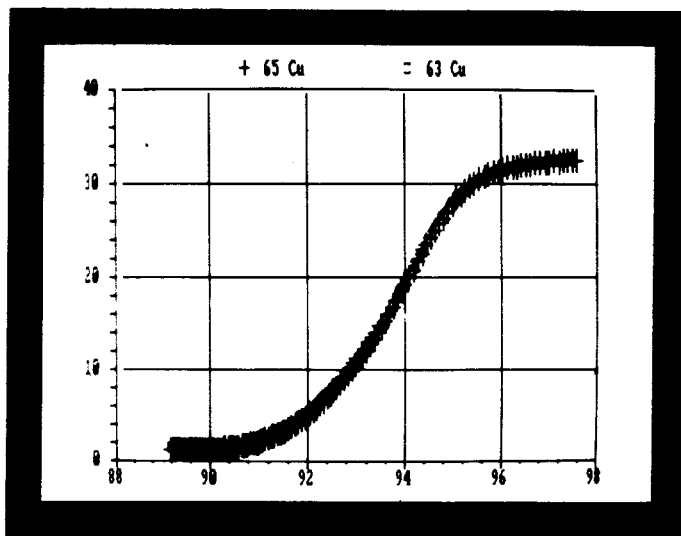
Последующее измельчение образцов, прессовка и отжиг привели к растяжению области перехода примерно до 3 К, причем в этом случае с точностью порядка 10^{-2} К

$$\Delta T_c = 0 \quad (4)$$

(см.рисунок). Это значит, что в среднем по трем измерениям

$$\alpha = 0,01 \mp 0,03. \quad (5)$$

Контрольные измерения на парах образцов с естественной медью также показали разброс ΔT_c в интервале $0,1 \div 0,2$ К.



Следует отметить, что в последнее время стал известен другой результат исследований изотопического эффекта на меди, а также на барии ¹¹⁷. Авторы этой работы показали, что замена изотопов меди дает $\Delta T_c = T_c(^{63}\text{Cu}) - T_c(^{65}\text{Cu}) = -0,2 \text{ К}$, в то время как для бария $\Delta T_c = T_c(^{135}\text{Ba}) - T_c(^{138}\text{Ba}) = -0,1 \text{ К}$.

Таким образом, все имеющиеся к настоящему времени экспериментальные данные говорят о том, что, скорее всего, изотопический эффект в керамике $\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ полностью отсутствует или, по крайней мере, много меньше предсказываемого стандартным фонным механизмом, а наблюдаемые небольшие сдвиги критической температуры носят случайный характер и связаны с невоспроизводимыми различиями в приготовлении образцов. Это означает, что высокотемпературная сверхпроводимость, возможно, возникает за счет нефонного механизма спаривания электронов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Yamashita T. et al. — Japan.Journ.of Appl.Phys., 1987, v.26, No.5, L635.
2. Yamada T. et al. — Japan.Journ. of Appl.Phys., 1987, v.26, Suppl. 26-3, 1035.
3. Bourne L.C. et al. — Phys.Rev.Lett., 1987, v.58, No.22, p.2337-39.
4. Leary K.J. et al. — Phys.Rev.Lett., 1987, v.59, No.11, p.1236-39.
5. Batlogg B. et al. — Phys.Rev.Lett., 1987, v.58, No.22, p.2333-36.
6. Felner I. et al. — Phys.Rev.B., 1987, v.36, No.7, p.3923-25.
7. Bourne L.C. et al. — Phys.Rev.B., 1987, v.36, No.1, p.3990-3993.

Рукопись поступила 20 января 1988 года.