

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ
ИЗОТОПНОГО ЗАМЕЩЕНИЯ МЕДИ НА КРИТИЧЕСКУЮ ТЕМПЕРАТУРУ
СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ КЕРАМИКИ $Y_1Ba_2Cu_3O_7$**

Б.В.Васильев, В.И.Лущиков, В.В.Сиколенко

Не обнаружено влияния замещения изотопов ^{63}Cu и ^{65}Cu на критическую температуру высокотемпературного сверхпроводника $Y_1Ba_2Cu_3O_7$, полученную из электрических измерений. Отсутствие изотопического эффекта на меди наряду с его отсутствием на других элементах трактуется в пользу нефононного механизма высокотемпературной сверхпроводимости.

После открытия высокотемпературной сверхпроводимости важнейшим стал вопрос о механизме ее возникновения. "Обычная" низкотемпературная сверхпроводимость образуется электронными парами, создающимися за счет обмена фононами. К настоящему моменту

экспериментально установлено ¹, что высокотемпературная сверхпроводимость так же возникает за счет создания электронных пар. Неустановлен 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

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

где M — масса ионов решетки и $\alpha = 1/2$. Экспериментально изотопический эффект, изученный для широкого класса сверхпроводящих материалов, дает обычно α 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: $\alpha = 0,0 \mp 0,027$. 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 $\alpha = 0,5$. Параллельное исследование рамановских спектров на образцах этой керамики показало ⁵, что 75 % изотопное замещение кислорода ведет к 4 % изменению фононной 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 приготавливались следующим путем. Сначала из тщательно перетертых порошков Y_2O_3 , BaO_2 и изотопической окиси меди под давлением примерно 10 кбар прессовались таблетки $25 \times 7 \times 1$ мм³. Затем эти таблетки спекались при температуре 950°С 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 второго — 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% изменение укладывалось в интервал примерно 1 К. Для этих образцов было получено:

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

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

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

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

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

Это значит, что в среднем по трем измерениям

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

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

Следует отметить, что в последнее время стал известен другой результат исследований изотопического эффекта на меди, а также на барии⁷. Авторы этой работы показали, что замена изотопов меди дает $\Delta T_c = T_c(^{63}\text{Cu}) - T_c(^{65}\text{Cu}) = -0,2$ К, в то время как для бария $\Delta T_c = T_c(^{135}\text{Ba}) - T_c(^{138}\text{Ba}) = -0,1$ 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 фононным 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 нефононного механизма спаривания электронов.

Литература

1. *Yamashita T et al.* J. Appl. Phys. Jap., 1987, **26**, L635.
2. *Yamada T. et al.* J. Appl. Phys. Jap. 1987, **26**, Sup. 26 – 3, 1035.
3. *Bourne L. C. et al.* Phys. Rev. Lett., 1987, **58**, 2337.
4. *Leary K.J. et al.* Phys. Rev. Lett., 1987, **59**, 1236.
5. *Batlogg B. et al.* Phys. Rev. Lett., 1987, **58**, 2333.
6. *Felner I. et al.* Phys. Rev. B, 1987, **36**, 3923.
7. *Bourne L. C. et al.* Phys. Rev. B, 1987, **36**, 3993.