

УДК 537.312.62

Л.М. ДАУТОВ, Б.П. КАЛАУОВ, С.К. КУСАИНОВ, А.А. СПИЦЫН

## КОМНАТНОТЕМПЕРАТУРНЫЕ СВЕРХПРОВОДНИКИ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОН-ФОНОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

(Представлена академиком НАН РК Б. Н. Мукашев)ым)

Итоги многолетних исследований по квантово-статистической модели с привлечением акустических законов сведены к рекомендации. Для резкого увеличения  $T_c$  сверхпроводников до комнатной температуры и выше предлагается использовать в химических связях испытываемых образцов водородные связи.

Высокотемпературные сверхпроводники (ВТСП) открыты случайно из-за короткого замыкания тока в керамике, оказавшейся сверхпроводником [1], т.е. ВТСП не были предсказаны теоретически и поэтому не были ожидаемы. Модель БКШ [2] по понятным причинам не имела предсказательной силы, а рафинированная теория Элиашберга [3] из-за отсутствия физически обоснованных ограничений на параметр  $T_c$  – температуры, ниже которой образец пребывает в сверхпроводящем состоянии.

Обобщение модели БКШ путём введения квантово-статистической модели (КСМ) сверхпроводимости [4] и использования акустических законов [5] позволило представить

$$T_c = f_e \theta, \quad (1)$$

где «электронный» фактор [6]

$$f_e = 0.042\lambda(\lambda - \mu^*). \quad (2)$$

В случае максимально возможного при электрон-фононном взаимодействии (ЭФВ)  $\lambda - \mu^* = 2$  [5] максимальный электронный фактор

$$f_{e,\max} = 0.17, \quad (3)$$

т.е.

$$T_{c,\max} = 0.17\theta. \quad (4)$$

При осторожном допущении «фононного» фактора [5-8]

$$\theta = 10^3 K \quad (5)$$

получено

$$T_{c,\max} = 170 K. \quad (6)$$

Однако уже у *Be*  $\theta = 1390 K$  [9], а у алмаза  $\theta = 2340 K$ . Если вместо осторожного допущения (5) принять

$$\theta = 2 \cdot 10^3 K, \quad (7)$$

то соответственно вместо (6) имеем

$$T_{c,\max} = 340 K, \quad (8)$$

т.е.  $T_c$  при ЭФВ может сравниться с комнатной температурой

$$T_k \cong 300 K \quad (9)$$

или оказаться выше ее. Принято называть комнатотемпературными сверхпроводниками (КТСП), такие ВТСП, у которых

$$T_{c,\max} \geq T_k. \quad (10)$$

Виды на успех синтезаторам КТСП открываются, если использовать в испытываемых образцах материалы из наиболее лёгких атомов, чтобы химическая связь в них создавалась атомными орбиталями без узлов в радиальной части волновых функций, т.е. с

$$n - \ell = 1, \quad (11)$$

где  $n$  – главное,  $\ell$  – орбитальное квантовые числа. Условию (11) соответствуют 1s, 2p, 3d, 4f, и 5g электронные орбитали [10], которые наилучшим образом связаны с ионными остовами, способствуя росту  $\lambda$ , т.е. способствуя росту электронного фактора  $T_c$ . Поскольку  $\theta \sim 1/M^{1/2}$  уменьшение массы атомов, участвующих в химических связях, одновременно способствует росту и фононного фактора, т.е. непосредственно росту  $\theta$ .

Прежде поисков КТСП на основе ЭФВ рекомендуем убедиться в верности формул (2) и (4). Тогда появится уверенность и основание вести поиск КТСП в образцах, химическая связь которых осуществляется валентными электронами с соблюдением условий (11). Здесь уместно подчеркнуть, что в уже известных ВТСП (керамиках с оксидом меди)  $T_c$  выше температуры жидкого азота, а в химических связях участвуют 2p-электроны кислорода и 3d-электроны меди в  $YBa_2Cu_3O_7$ . Если в химических связях

использовать водородные связи, то можно надеяться осуществить так называемую «голубую мечту» физиков – создать КТСП в естественных условиях без высоких давлений и прочих специальных условий.

Если наше представление  $T_{c, \max}$  согласно формуле (4) верно при  $\lambda - \mu^* = 2$ , то это обстоятельство должно было бы подтвердиться независимыми расчетами по теории Элиашберга. Такие расчеты, как это хорошо известно, были выполнены Макмилланом ещё 1968 году. Подробный анализ его работы обнаружил такое подтверждение (см. ниже).

Водородные связи встречаются в соединениях палладия с водородом и дейтерием (см. ссылки к шестой главе [11]). Необходимо сразу отметить, что в самом палладии и его сплавах с благородными металлами сверхпроводимость отсутствует из-за наличия в Pd большого магнитного порядка. Нас удивляет то удивление, которое вызвало у специалистов обнаружение ВТСП у PdH и PdD, ибо с нашей точки зрения облегчение атомов химической связи способствует увеличению  $T_c$  по указанным выше причинам. Соответственно нас не удивило, что в предположении в PdH независимой подрешетки металлического водорода  $T_c$  достигает порядка 100К, т.е. порядка КТСП. Вместе с тем, не следует забывать, что в Pd и его соединениях сверхпроводимость конкурирует с магнетизмом из-за большей склонности палладиевой подрешетки в его соединениях к ферромагнетизму, чем к сверхпроводимости. Это налагает, определенные условия при выборе образцов с водородными связями. Достаточно насыщать водородными связями непереходные, т.е. обычные металлы и соединения на их основе без признаков склонности к ферромагнетизму. Легкие атомы и некоторые их соединения трех первых периодов периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева отвечают вышеуказанному требованию. Если эти атомы или их соединения облучить в ядерном реакторе тепловыми нейтронами и выдержать до распада внедренных таким образом нейтронов до образования атомов водорода, то можно надеяться на образование подрешетки из металлического водорода, т.е. известные трудности в создании металлического водорода предлагается обойти путем радиационного его стимулирования.

В своей оригинальной работе Макмиллан [9] отношение  $T_c$  сверхпроводников представил как функцию  $\lambda$

$$\frac{T_c}{T_c^{\max}} = \left(\frac{2}{\lambda}\right)^{1/2} \exp\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{\lambda}\right),$$

откуда следует  $T_c = T_c^{\max}$  лишь при  $\lambda=2$ , что косвенно согласуется с нашим подходом в части зависимости  $T_c$  от констант ЭФВ при допущении  $\lambda \cong \lambda - \mu^*$ .

Даже беглый взгляд на таблицу 23.1 в книге [12] легко обнаружит рост  $\theta$  при уменьшении массы молекул МГ, где М – атом щёлочи, Г – галогена. Рекомендуем поэтому сначала испытать сверхпроводимость известного галоида лития LiF, который имеет максимальную температуру Дебая  $\theta=730\text{K}$  среди других щёлочно-галоидных кристаллов. Если рост фоннного фактора сопровождается и ростом электронного фактора  $f_c$  то LiF должен по крайней мере обнаружить сверхпроводящие свойства. Однако первым кандидатом в претензии на КТСП должен быть гидрид лития – LiH, получить который можно путем нагревания лития с водородом. Уместно здесь подчеркнуть, что даже в гидриде Pd наблюдалась сверхпроводимость, хотя, как уже говорилось выше, палладиевая подрешётка в PdH имеет четко выраженную склонность к ферромагнетизму, соревнующимся со сверхпроводимостью.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Bednorz J.G., Muller K.A. Z. Phys. B 64, 189 (1986).
2. Bardeen J., Cooper L., Schriffer J. Theory of Superconductivity // Phys. Rev. 1967. V. 108. P. 1175-1204.
3. Элиашберг Г.М. Взаимодействие электронов с колебаниями решетки в сверхпроводнике // ЖЭТФ. 1960. Т. 38. С. 966-969.
4. Даутов Л.М., Калауов Б.П., Кусаинов С.К. Новые тенденции в интерпретации сверхпроводимости. I. // Изв. МОН РК, НАН РК. Серия физ.-мат. 2006. №6. С. 9-16.
5. Даутов Л.М., Мусатай С.С., Спицын А.А. Новые тенденции в интерпретации сверхпроводимости. II. // Изв. МОН РК, НАН РК. Серия физ.-мат. 2007. №2. С. 17-22.
6. Даутов Л.М., Кусаинов С.К., Мусатай С.С. Новая формула для критической температуры сверхпроводников // Изв. НАН РК. Серия физ.-мат. 2003. №2. С. 81-85.
7. Элиашберг Г.М. О «кислородной» картине высокотемпературной сверхпроводимости // Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 48. С. 275-278.
8. Bruesch P., Buhner W. Dynamics of atoms high-temperature superconductors  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$  // Zs. Phys. B. Condensed Matter. Berlin, 1988. V. 70. P. 1-8.

9. *McMillan W.L.* Transition Temperature of Strong-Coupled Superconductors // *Phys. Rev.* 1968. V. 167. P. 331-344.

10. *Даутов Л.М., Калауов Б.П., Кусаинов С.К.* Влияние внутреннего трения и жесткости материала на температуру сверхпроводящего перехода  $T_c$  // V Всероссийское совещание «Механизмы двухэлектронной динамики неорганических материалов». Черноголовка, 2002. С. 53-54.

11. *Вонсовский С.В., Изюмов Ю.А., Курмаев Э.З.* Сверхпроводимость переходных металлов, их сплавов и соединений. М.: Наука, 1977. 383 с.

12. *Ашкрофт Н., Мермин Н.* Физика твердого тела / Пер. с англ. М.: Мир, 1979. Т. 2. 422 с.

### Резюме

Кванты-статистикалық модель бойынша көп жылдарғы зерттеулер нәтижесінде акустика заңдарын пайдала-

нып ұсыныстар берілді. Аса өткізгіштердің критикалық температурасын  $T_c$  бөлме температурасына  $T_0$  және одан жоғарыға дейін жоғарылату үшін зерттелетін үлгілерде сутегінің химиялық байланыстарын қолдану ұсынылды.

### Summary

The results of the many years' ongoing research on a quantum-statistical model with utilization of acoustical laws are summarized to work out a recommendation. To increase critical temperature of superconductors up to room temperature and higher we propose to use test samples with hydrogen bonds.

*Казахский национальный технический университет им. К. И. Сатпаева,  
г. Алматы*

*Поступила 16.04.08г.*