

ОЦЕНКА ПРЕДЕЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ T_c СВЕРХПРОВОДНИКОВ
НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ПО ПСЕВДОПОТЕНЦИАЛУ

А. И. Головашкин, Т. И. Кузнецова

УДК 537.312.6

Анализируются экспериментальные данные, указывающие на корреляцию T_c сверхпроводников с фурье-компонентами псевдопотенциала. Экстраполяция этих данных приводит к выводу, что в сверхпроводящих металлах и сплавах до-стижима температуры $T_c < 28-30$ К.

В литературе неоднократно высказывалось предположение о том, что существует связь между псевдопотенциалом, действующим на электроны в металле, и температурой перехода металла в сверхпроводящее состояние /1-3/. Корреляция критической температуры T_c и псевдопотенциала была впервые установлена на основе экспериментальных данных в /4,5/. Как было указано в /4,5/, существенными параметрами являются величины фурье-компонент псевдопотенциала w_g и количество брэгговских плоскостей, пересекающих поверхность Ферми электронов, n_g . Здесь введены следующие обозначения: g - индекс брэгговской плоскости, n_g - число эквивалентных плоскостей с индексом g . Экспериментальные данные показывают, что при увеличении $\sum_g n_g w_g$ растет T_c .

Причины зависимости T_c от w_g мы обсуждали в /6,7/. Рассматривалось одновременное воздействие на электроны потенциала спаривания и внешнего периодического потенциала. Было получено, что при наличии периодического потенциала величина T_c оказывается выше, чем в случае трехмерного газа свободных электронов, т.е. направление изменения сверхпроводящих характеристик совпадало с найденным экспериментально. Причиной повышения T_c в рассмотренной системе являлось увеличение эффектив-

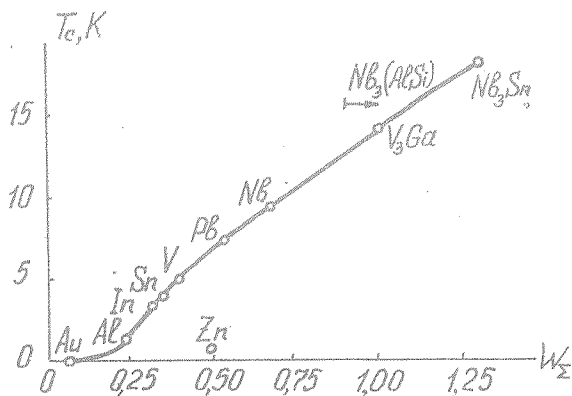
ной константы электрон-электронного притяжения, в отличие от системы, описанной в /8/, где критическая температура повышалась за счет увеличения плотности состояний. Роль псевдопотенциала, как было отмечено в /7/, состоит в том, что он создает неоднородности электронной плотности, а это влечет за собой увеличение электрон-электронного притяжения (взаимодействия типа плотность-плотность) по сравнению со случаем однородной системы. Увеличение амплитуд компонент псевдопотенциала и появление новых компонент усиливает неоднородность в масштабе межатомных расстояний и повышает T_C . Однако ясно, что чрезмерно сильная неоднородность приведет к полной локализации электронов и к отсутствию сверхпроводимости. Оценим, какие значения n_g и w_g можно в этой связи считать допустимыми.

Воспользуемся развитыми в /9/ геометрическими представлениями. Рассмотрим ферми-поверхность, возникающую при воздействии одной компоненты псевдопотенциала w_g на свободные электроны. Если площадь поверхности невозмущенной сферы Ферми составляет S_0 , а энергия Ферми $-E_F$, то при касании сферы и брэгговской плоскости участок новой поверхности с площадью $\delta S = S_0 w_g / 4E_F$ окажется под диэлектрической щелью. Пусть имеется набор брэгговских плоскостей, действующих независимо; при этом получим $\delta S = S_0 \sum_g n_g w_g / 4E_F$. Считая, что переход в диэлектрическое состояние происходит при $\delta S = S_0$, получаем, что в металлическом состоянии справедливы соотношения

$$\begin{aligned} \delta S &\leq S_0, \\ \sum_g n_g w_g / 4E_F &\leq 1. \end{aligned} \quad (I)$$

Обратимся теперь к экспериментальным данным по зависимости T_C от характеристик псевдопотенциала. На рис. 1 приводится зависимость T_C от "суммарного" потенциала, отнесенного к энергии Ферми, т.е. от величины $W_\Sigma = \sum_g n_g w_g / 2E_F$. При построении использовались данные из работ /4,5,10-12/. При этом для сплава $Nb_3(AlSi)$ оценена лишь нижняя граница W_Σ , т.к. известны не все значения w_g . Из рисунка видно, что T_C монотонно возрастает с ростом W_Σ . Все сверхпроводники с известными значениями компонент псевдопотенциала попадают на единую кривую. Исклю-

чение составляет лишь Zn — единственный гексагональный металл среди исследованных материалов. Величина w_{Σ} является мерой отступления свойств вещества от металличности, мерой различия между числом электронов проводимости и числом валентных электронов /9/. При $w_{\Sigma} = 0$, когда поверхность Ферми металла является невозмущенной сферой, число электронов проводимости совпадает с числом валентных электронов. Такая ситуация, по-видимому, неблагоприятна для сверхпроводимости. Действительно, для щелочных металлов $w_{\Sigma} = 0$ и сверхпроводимость отсутствует. В тех сплавах, у которых имеется большое количество брэгговских плоскостей,



Р и с. 1. Зависимость T_c от $w_{\Sigma} = \sum_g n_g w_g / 2E_F$.

пересекающих ферми-сферу свободных электронов, наблюдается малая концентрация электронов проводимости и малая проводимость. Это оказывается благоприятным для сверхпроводимости. Однако при очень сильном увеличении w_{Σ} вещество должно стать диэлектриком, и сверхпроводимость исчезнет. Вероятно, максимальные значения T_c будут достигаться на границе устойчивости металлического состояния, вблизи перехода металла в диэлектрик. Обращаясь к оценке (1), получаем, что предельное значение абсциссы составляет $w_{\Sigma} = 2$. Проводя экстраполяцию графика к значению $w_{\Sigma} = 2$, оцениваем максимальное значение критической температуры

$$(T_c)_{\max} = 28 \div 30 \text{ К.}$$

Можно думать, что в традиционных сверхпроводящих материалах (трекмерные периодические системы, фононный механизм сверхпроводимости) такие значения температуры являются предельными. По-видимому, они являются достижимыми. Однако приближение к таким температурам представляет значительные трудности, т.к. требует осуществления условий, близких к критическим, на границе существования металлического состояния.

Поступила в редакцию
7 мая 1981 г.

Л и т е р а т у р а

1. E. E. Havinga, Phys. Lett., 26A, 244 (1968).
2. А. И. Головашкин, И. С. Левченко, Г. П. Мотулевич, ЖЭТФ, 57, 74 (1969).
3. W. van Haeringen, H.-G. Junginger, Zs. Physik, 246, 281 (1971).
4. А. И. Головашкин, И. С. Левченко, Г. П. Мотулевич, Препринт ФИАН № 44, 1969 г.
5. А. И. Головашкин, И. С. Левченко, Г. П. Мотулевич, Препринт ФИАН № 166, 1969 г.
6. А. И. Головашкин, Т. И. Кузнецова, Препринт ФИАН № 156, 1978 г.
7. Т. И. Кузнецова, ФТТ, 21, 1258 (1979).
8. Л. Н. Буллевский и др., Проблема высокотемпературной сверхпроводимости, М., "Наука", 1977 г., гл. 5.
9. А. И. Головашкин, Г. П. Мотулевич, ЖЭТФ, 57, 1054 (1969).
10. А. И. Головашкин, И. Д. Маш, Г. П. Мотулевич, Краткие сообщения по физике ФИАН № 9, 51 (1970).
11. А. И. Головашкин, Г. П. Мотулевич, УФН, 111, 554 (1973).
12. А. И. Головашкин и др., ФТТ, 19, 1427 (1977).