

СПЕКТР И ЗАТУХАНИЕ ВОЗБУЖДЕНИЙ В СВЕРХПРОВОДЯЩЕМ СВИНЦЕ
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ТУННЕЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

И. Д. Маш, Г. П. Мотулевич

УДК 537.312.62

По результатам туннельных измерений в сверхпроводящем свинце, используя уравнения Элиашберга, определены спектр возбуждений, зависимость времени жизни, групповой скорости и длины свободного пробега возбуждений от их энергии, а также зависимость числа состояний с временем жизни большим заданного значения τ_m от τ_m .

Последнее время большое внимание уделяется изучению свойств неравновесных сверхпроводников. В работах /1,2/ проведено подробное исследование пленок свинца, облученных лазером. Действие лазерного излучения можно рассматривать на языке рождения возбуждений и их взаимодействия с фононами. Для рассмотрения такой картины нужно знать спектр возбуждений, их затухание и скорость. Все указанные величины могут быть получены из туннельных измерений сверхпроводников, которые дают две комплексные функции частоты: $Z(\omega)$ - функция перенормировки и $\Delta(\omega)$ - функция щели.

Воспользуемся уравнением Элиашберга для спектра возбуждений сверхпроводника при $T = 0$ /3/.

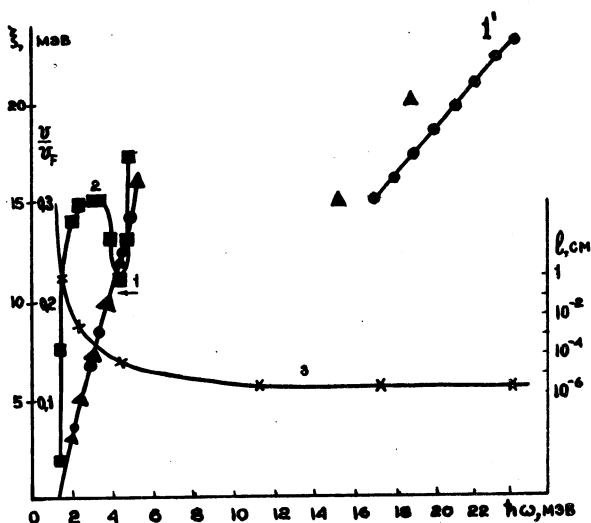
Пренебрегая смещением уровня Ферми μ , получим

$$\xi^2 = \hbar^2 \omega'^2 Z^2 - \Delta^2 Z^2, \quad \omega' = \omega - i\gamma.$$

Здесь $\xi = v_F(p - p_F)$ - действительная величина, $p - p_F$ - импульс электрона, отсчитанный от импульса Ферми, v_F - скорость электрона на поверхности Ферми, $\hbar\omega$ - энергия электронного возбуждения, γ - затухание.

Будем искать решение при $\gamma \ll \omega$. В этом случае в реальной части уравнения достаточно учесть члены нулевого порядка относительно γ/ω , а в мнимой части - члены первого порядка. Реальная часть уравнения дает спектр возбуждений, мнимая - вели-

чину γ . Значения функций $Z(\omega)$ и $\Delta(\omega)$ для свинца были нам любезно предоставлены С. И. Веденевым, данные туннельных измерений которого практически совпадают с данными Д. М. Роуэлла /4/.

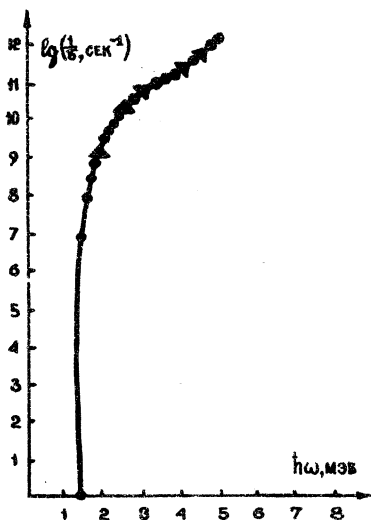


Р и с.1. Кривая I - зависимость ξ от $\hbar\omega$ в области $\gamma/\omega \ll 1$. Кривая I' - зависимость ξ от $\hbar\omega$ в области $\gamma/\omega \ll 1$. \bullet - результаты, полученные из решения уравнения Элиашберга; \blacktriangle - результаты, полученные методом вычисления спектральной функции

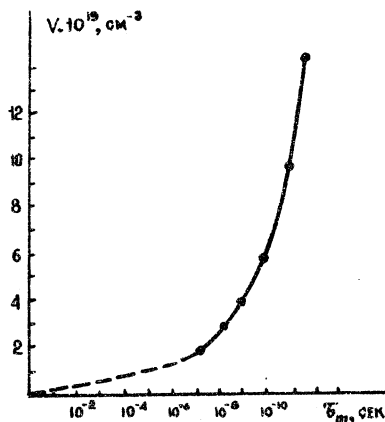
Результаты расчета энергетического спектра возбуждений приведены точками на кривых I и I' рис.1. Из рисунка видно, что имеются две ветви в области $\hbar\omega = 2,4 \div 5,5$ мэв и $\hbar\omega > 17$ мэв. В промежуточной области понятие электронных квазичастиц теряет смысл. Размеры этой области составляют ~ 10 мэв, что по порядку величины совпадает с энергией фононов.

На рис.2 приведена зависимость затухания γ от энергии $\hbar\omega$. На границе щели $\gamma = 0$. Далее γ быстро растет и при инфракрасных частотах выходит на значение, получаемое при оптических измерениях $\gamma = 10^{13} \div 10^{14}$ сек $^{-1}$ /5/.

Спектр и затухание возбуждений могут быть определены также с помощью спектральной функции /6/



Р и с. 2. Зависимость обратного времени жизни возбуждений $\gamma = \tau^{-1}$ от энергии $\hbar\omega$. \bullet - результаты полученные из решения уравнения Элиашберга; \blacktriangle - результаты, полученные методом вычисления спектральной функции



Р и с.3. Зависимость числа состояний Y с временем жизни, БОЛЬШИМ $\tau_{ш}^{-1}$ от $\tau_{ш}$

$$A(\xi, \omega) = \frac{-1}{\pi} \operatorname{Im} \left(\frac{\omega Z + \xi}{\omega^2 Z^2 - \Delta^2 Z^2 - \xi^2} \right).$$

При фиксированном ξ строилась зависимость A от ω . При значениях ξ от 0 до 12 мэВ наблюдался максимум A , положение которого определяло энергию возбуждения $\hbar\omega$, а полуширина — γ . Результаты, полученные этим методом, отмечены треугольниками на рис. 1 и 2. Видно, что в указанной области они совпадают с результатами, полученными первым методом. В области $\xi > 12$ мэВ получается очень размытый максимум A . Энергия возбуждения, полученная этим методом, несколько больше энергии, полученной первым методом. Кроме того, в структуре функции $A(\xi, \omega)$ при $\xi > 15$ мэВ наблюдаются четко выраженные дополнительные максимумы, связанные с фононным спектром свинца.

Полученные зависимости $\xi(\omega)$ и $\gamma(\omega)$ позволяют определить отношение групповой скорости возбуждений v к скорости электронов на поверхности Ферми v_F и длину свободного пробега l . Результаты приведены на кривых 2 и 3 рисунка 1. Величина v/v_F на границе щели равна 0,04, затем быстро растет до величины 0,3. Для второй ветви $v/v_F \approx 0,7 + 1$. Длина свободного пробега уменьшается с увеличением энергии сначала очень быстро, затем более медленно. На границе щели $l = \infty$, при $\hbar\omega = 0,2$ мэВ $l = 0,3$ см, далее падает до 10^{-5} – 10^{-6} см. На рис. 3 приведена зависимость числа состояний γ с временем жизни $\tau > \tau_m$ от τ_m . При расчете принималась плотность состояний электронов нормального металла $N_0 = 3 \cdot 10^{22}$ эв $^{-1}$ см $^{-3}$. Как и следовало ожидать, γ медленно растет с уменьшением τ_m . Число состояний с временем жизни $\tau \geq 10^{-5}$ сек составляет 10^{19} см $^{-3}$.

В заключение выражаем благодарность С. И. Веденееву за предоставление экспериментальных данных для $Z(\omega)$ и $\Delta(\omega)$ Рб, а также Ю. А. Кухаренко и Е. Г. Максимова за обсуждение настоящей работы.

Поступила в редакцию
15 ноября 1974 года.

Л и т е р а т у р а

1. L. R. Testardi. Phys. Rev., B4, 2189 (1971).
2. А. И. Головашкин, К. В. Мицен, Г. П. Мотулевич. Тезисы Всесоюзного совещания по физике низких температур, Киев, 1974 г., стр. 477.
3. Г. М. Элиашберг. ЖЭТФ, 38, 966 (1960).
4. J. M. Rowell, W. L. McMillan. Phys. Rev., 178, 897(1969)
5. Г. П. Мотулевич. УФН, 97, 211 (1969).
6. Д. Шриффер. Теория сверхпроводимости. М., "Наука", 1970 г.