

СМЯГЧЕНИЕ ЧАСТОТ И ЗАТУХАНИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ ФОНОНОВ В СВИНЦЕ ПРИ $T = 4,2\text{K}$

*Ю.Н. Михайлов, В.И. Бобровский, Б.Н. Гоцицкий,
А.В. Мирмельштейн, Ю.С. Поносков*

Исследованы частоты и ширины поперечных фононов в свинце в направлении $[\xi\xi\xi]$ при температурах 4,2; 20,4; 78 и 300К. При $T = 4,2\text{K}$ обнаружено смягчение фононов с волновыми векторами в интервале $aq/2\pi = 0,35 - 0,5$ и сильное уширение однофононных резонансов для $aq/2\pi = 0,5 - 0,867$.

Метод неупругого когерентного рассеяния нейтронов дает возможность прямого наблюдения влияния электрон-фононного взаимодействия на частоты и времена жизни фононов. Так, авторы работ [1, 2] исследовали затухание фононов в Nb_3Sn и чистом Nb, обусловленное переходом в сверхпроводящее состояние.

В настоящей работе для поперечных фононов в направлении $[\xi\xi\xi]$ в свинце исследованы частоты фононов ω и ширины $2\Gamma_0$ (полная ширина на половине высоты) однофононных нейтронных резонансов при температурах 4,2; 20,4; 78 и 300К.

Образец представлял собой монокристалл чистого (99,9999%) Рь с отношением электросопротивлений $\rho_{300\text{K}}/\rho_{7,3\text{K}} \sim 2000$. Измерения проводились на трехосевом нейтронном спектрометре по методу постоянной передачи импульса ($Q = \text{const}$) для фононов с $aq/2\pi = 0,26; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,60; 0,70; 0,80; 0,867$, где a — постоянная решетки, q — волновой вектор фонона. Обработка экспериментальных данных, оценка погрешности измерений проводились по методике, предложенной в работе [3].

В интервале $300 - 20,4\text{K}$ для всех фононов наблюдалось обычное повышение частоты и уменьшение ширины резонансов с понижением температуры. При $T = 4,2\text{K}$ было обнаружено аномальное уменьшение частоты фононов с $aq/2\pi = 0,35; 0,40; 0,45; 0,50$, в то время как для остальных исследованных фононов $\omega(4,2\text{K}) > \omega(20,4\text{K})$. На рис. 1 приведены зависимости $\omega(T\text{K})/\omega(300\text{K}) = f(T)$ для фононов с $aq/2\pi = 0,80$ и $0,45$, являющихся типичными представителями указанных двух групп.

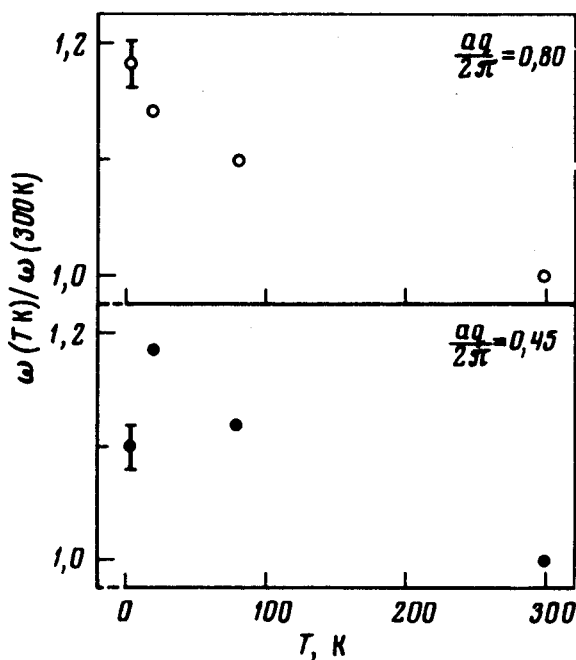


Рис. 1. Зависимость приведенной частоты поперечных фононов $\omega(T\text{K})/\omega(300\text{K})$ от температуры в свинце в направлении $[\xi\xi\xi]$

Ширина однофононных резонансов также по-разному ведет себя при понижении температуры от $20,4$ до $4,2\text{K}$ для разных групп фононов. Для фононов с $aq/2\pi = 0,50; 0,60; 0,70; 0,80; 0,867$ наблюдалось уширение при $T = 4,2\text{K}$, причем величины $2\Gamma_0(4,2\text{K})$ не только превышали значения $2\Gamma_0(20,4\text{K})$, но и оказались порядка или больше ширины при $T = 78\text{K}$. (Температура Дебая для свинца $\Theta_D \approx 80\text{K}$). В среднем для этой группы фононов отношение $2\Gamma_0(4,2\text{K})/2\Gamma_0(20,4\text{K}) \sim 1,25$.

Ширина резонансов для фононов с $aq/2\pi = 0,26; 0,35; 0,40; 0,45$ уменьшалась с понижением температуры. На рис. 2 для иллюстрации представлены зависимости $2\Gamma_0$ для фононов $aq/2\pi = 0,45$ и $0,60$.

Энергия фононов, для которых наблюдалось уширение, больше энергетической щели $2\Delta(0)$ в свинце. Поэтому, как и в работе [2], можно пред-

положить, что уширение обусловлено увеличением плотности состояний электронов вблизи поверхности Ферми в результате появления энергетической щели при переходе образца в сверхпроводящее состояние. В пользу такого предположения свидетельствуют и измерения, выполненные при 4,2К, когда образец помещался в магнитное поле $H > H_{кр}$ ($H \sim 1300$ э).

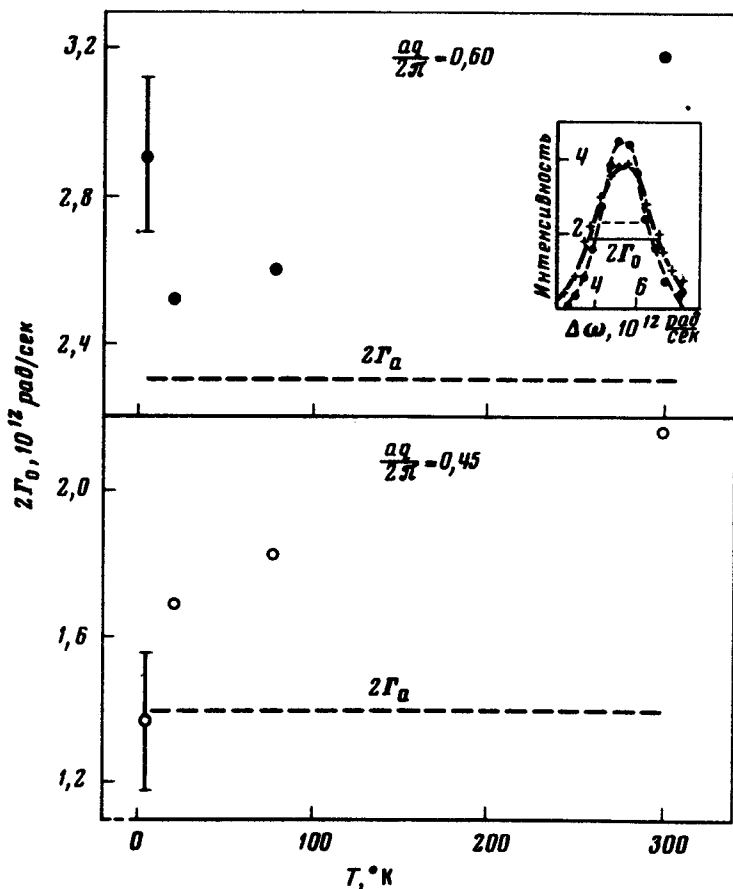


Рис. 2. Зависимость экспериментально наблюдаемой ширины однофононных резонансов от температуры в сице в направлении $[\xi\xi\xi]$. — — — — $2\Gamma_a$ — аппаратурная ширина. На вставке показан однофононный резонанс $aq/2\pi = 0,60$, измеренный в магнитном поле $H \sim 1300$ э (— · — · — ·) и без поля (—x—x).

На вставке на рис. 2 показан нейтронный резонанс для фонона с $aq/2\pi = 0,60$, полученный в измерениях с магнитным полем и без него. Как видно, наложение поля $H > H_{кр}$ приводит к заметному сужению резонанса, сопровождающемуся увеличением пиковой интенсивности. В случае фонона с $aq/2\pi = 0,26$ (энергия фонона меньше 2Δ (4,2К)) в магнитном поле мы наблюдали уширение резонанса с падением его пиковой интенсивности.

Анализ аппаратурного вклада в ширину резонансов, проведенный по методу [4, 5] с учетом изменения $d\omega(q)/dq$ с температурой, дает нам основания утверждать, что наблюдаемый эффект не связан с изменением аппаратурной ширины. Процедура извлечения собственных ширин фононов не является достаточно надежной при нашем разрешении. Поэтому приводятся экспериментально наблюдаемые ширины, хотя на собственных ширинах эффекты были бы более значительными.

Обращает на себя внимание тот факт, что фононы с $aq/2\pi = 0,40$ и $0,45$, имеющие энергию $\hbar\omega$ большую, чем приводимая в литературе энергия щели, остаются узкими при $T = 4,2\text{K}$, а первый уширенный фонон с $aq/2\pi = 0,50$ имеет энергию $\hbar\omega \approx 1,14 \cdot 2\Delta(4,2\text{K})^{1)}$. Кроме того, сам эффект уширения весьма значителен.

Более подробные результаты работы будут сообщены позднее.

Авторы признательны проф. С.К.Сидорову за постоянное внимание к работе.

Институт физики металлов
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
27 мая 1975 г.

УНЦ

Литература

- [1] J.D.Axe, G.Shirane. Phys. Rev. Lett., 30, 214, 1973.
- [2] G.Shirane, J.D.Axe, S.M.Shapiro. Sol. St. Comm., 13, 1893; 1973.
- [3] R.Stedman, J.Weymouth. Brit. J. Appl. Phys. (J. Phys. D), Ser. 2, 2, 903; 1969.
- [4] M.J.Cooper, R.Nathans. Acta Cryst., 23, 357, 1967.
- [5] В.И.Вобровский и др. Кристаллография, 19, 3; 597, 1974.
- [6] А.Г.Шепелев. УФН. 96; 217, 1968.
- [7] "Сверхпроводимость". Сборник статей. Серия "Современные проблемы физики" изд. Наука, 1967.

¹⁾ Данные разных авторов существенно отличаются друг от друга. Наша оценка, сделанная по максимальному известному нам значению щели $2\Delta(0)/k_B T_c = 5$ [6], с учетом температурной зависимости щели [7] дает $2\Delta(4,2\text{K})/k_B T_c = 4,5$.