

ОСОБЕННОСТИ СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО ПЕРЕХОДА
В ЧИСТОМ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ ОЛОВЕ
ПО ДАННЫМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ¹⁾

*В. Д. Филь, В. И. Денисенко, П. А. Безуглый,
Е. А. Масалитин*

Известно, что в окрестности T_c переход сверхпроводника из нормального в сверхпроводящее состояние сопровождается резким падением коэффициента поглощения ультразвука α с бесконечным значением производной $d\alpha/dT$ при температуре перехода. Для поперечного звука в случае больших $q\ell$ (q – значение волнового вектора звука, ℓ – длина свободного пробега электронов), кроме того, имеется еще дополнительный спад в поглощении, связанный с выключением индукционного вкла-

¹⁾ Работа доложена на 17 Всесоюзном совещании по физике низких температур, проходившем в г. Донецке 26 – 30 июня 1972 г.

да вследствие эффекта Мейсснера. Однако излагаемые в настоящей работе эксперименты по изучению температурного поведения коэффициента поглощения ультразвука в монокристаллическом олове в примыкающей к T_c области показывают, что по крайней мере в олове имеет место иной характер зависимости $\alpha(T)$.

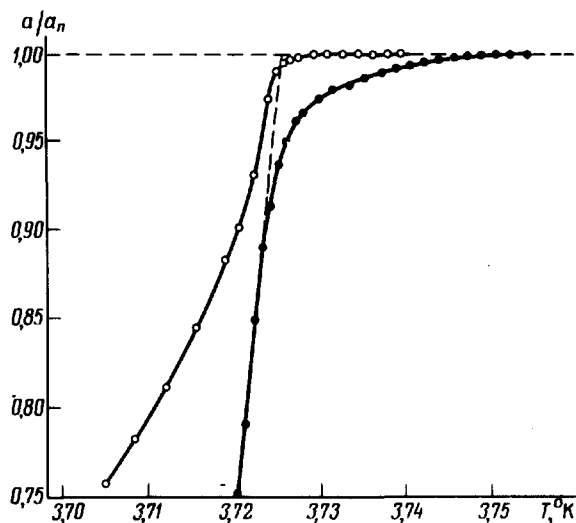


Рис. 1

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{q} \parallel [001] \\ \vec{\epsilon} \parallel [100] \end{array} \right\} \quad \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{q} \parallel [110] \\ \vec{\epsilon} \parallel [110] \end{array} \right\}$$

Изучалось поглощение продольного и поперечного звука частоты $51,4 \text{ МГц}$ при всех возможных ориентациях волнового вектора звука \mathbf{q} и поляризации $\vec{\epsilon}$, совпадающих с главными кристаллографическими направлениями. Исходным материалом для образцов служило олово, для которого $R_{300^\circ} / R_{4,2^\circ \text{К}} = 25000$. Магнитное поле было скомпенсировано до уровня $3 \pm 5 \text{ мЭ}$.

На рис. 1 приведены наиболее характерные результаты измерений, полученные при распространении в образце поперечного звука. Видно, что в то время, как при $\mathbf{q} \parallel [001]$ и $\vec{\epsilon} \parallel [100]$ область отклонения поглощения от значения, отвечающего нормальному состоянию, перед крутым спадом поглощения в сверхпроводящем состоянии, весьма незначительна, для $\mathbf{q} \parallel [110]$ и $\vec{\epsilon} \parallel [110]$ эта область распространена на температурный интервал $\sim 0,02^\circ \text{К}$. Заметим, что аналогичное поведение для отмеченных выше поперечных мод присуще и изменению скорости звука в окрестности температуры сверхпроводящего перехода. При этом можно с полной достоверностью утверждать, что в области плавного понижения a/a_n , предшествующей крутому спаду, образец находится в сверхпроводящем состоянии, поскольку приложение слабого магнитного поля поднимает величину a/a_n до значения, отвечающего нормальному состоянию.

Для продольного звука (рис. 2) крутому спаду поглощения также предшествуют области плавного его понижения от значения, отвечающего нормальному состоянию. Поэтому оказывается, что в пределах точности выполненных измерений регистрируемый сверхпроводящий переход для $\mathbf{q} \parallel [100]$ имеет место при температуре на $0,005^\circ \text{К}$ выше, чем в случае $\mathbf{q} \parallel [001]$. Этот эффект был отмечен еще в 1960 г. в ра-

боте [1], хотя примененный в указанной работе термин "анизотропия T_c " следует признать неудачным.

Экстраполяция наиболее крутого участка кривых дает для всех исследованных ориентаций одну и ту же температуру "подлинного" сверхпроводящего перехода $T_c = 3,725 \pm 0,001^\circ\text{K}$. Экспериментальные же точки, расположенные в области плавного понижения поглощения звука выше T_c хорошо укладываются на экспоненту (рис. 3), показатель и амплитудный множитель у которой зависят от ориентации кристаллографических осей образца относительно q и ζ .

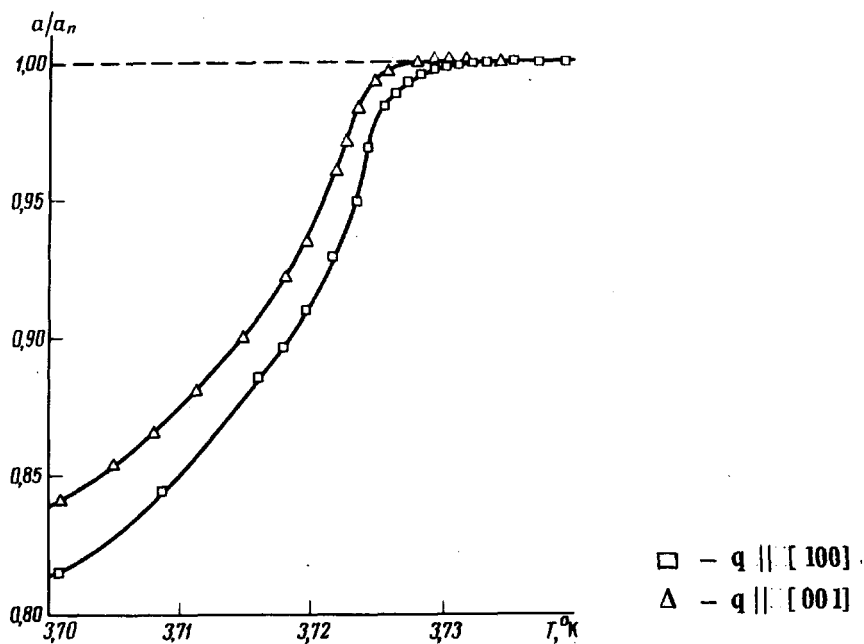


Рис. 2

Наблюдаемые эффекты нельзя объяснить неоднородностью образца, поскольку изменение характера температурного поведения коэффициента поглощения на одном и том же образце происходит не только при изменении направления волнового вектора звука q , но и в том случае, когда при неизменном q меняется поляризация ζ . Обычные термодинамические флуктуации также не объясняют явления, так как а) измеренные значения $\Delta a/a_n$ на много порядков превышают теоретические оценки [2]; б) зависимость $\Delta a/a_n$ от $(T - T_c)$ далека от характерной для таких флуктуаций корневой зависимости.

Укажем, что в чистом олове в температурной области $0,03^\circ\text{K}$ выше T_c наблюдается также аномально большой по сравнению с теорией диамагнетизм [3], а в работе [4] сообщается об аналогичном поведении восприимчивости галлия. Характерно, что в наших экспериментах, также как и в работе [4], увеличение концентрации примесей уменьшает величину эффекта и сужает температурную область его наблюдения.

Возможно, причина наблюдаемых явлений заключается в том, что олово с его сложной поверхностью Ферми является многозонным сверхпроводником. В работе [5] показано, что смещение температуры перехода двухзонного сверхпроводника $\Delta T_c \sim \pi \hbar / 2 k \tau$, где k — постоянная Больцмана, τ — время релаксации. Если принять $\tau \sim \ell / v_F$, то $\Delta T_c \sim 10^{-2}$ °К. В этой области температур не исключена вероятность появления включений сверхпроводящей фазы с временем жизни $\sim \tau$, что может привести к наблюдаемому эффекту.

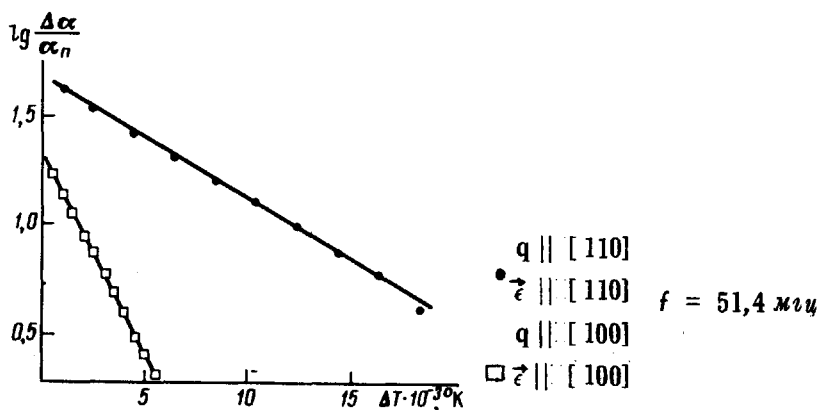


Рис. 3

Пользуемся случаем поблагодарить Б.Н.Александрова и А.С.Пирогова за оказанную помощь в приготовлении образцов, и В.П.Галайко, Д.Ф.Долгополова, Ю.М.Иванченко, И.О.Кулика, Ю.Н.Овчинникова за полезные обсуждения.

Физико-технический институт
низких температур
Академии наук УССР

Поступила в редакцию
21 июля 1972 г.
После переработки
4 сентября 1972 г.

Литература

- [1] П.А.Безуглый, А.А.Галкин, А.П.Королюк. ЖЭТФ, 39, 7, 1960.
- [2] K.Maki. Progr. Theor. Physics, 40, 193, 1968.
- [3] R.Doll. Phys. Lett., 29A, 534, 1969.
- [4] K.S.Fassnacht, J.K.Dillinger. Phys. Rev. Lett., 24, 1059, 1970.
- [5] W.S.Chow. Phys. Rev., B4, 111, 1971.