

ПОГЛОЩЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА ОЛОВОМ В ПРОМЕЖУТОЧНОМ СОСТОЯНИИ

П.А.Безуглый, В.И.Денисенко, В.Д.Филь

В теоретической работе Андреева показано [1], что поглощение высокочастотного ультразвука в чистом сверхпроводнике, находящемся в промежуточном состоянии, в условиях, когда толщина нормальных слоев a_n становится сравнимой с длиной волны звука, описывается следующим выражением

$$a/a_n = \eta \Phi(2a_n/\lambda)$$

где a и a_n - коэффициенты поглощения звука соответственно в промежуточном и нормальном состояниях, η - концентрация нормальной фазы, $\Phi(x)$ - функция, меняющаяся от нуля при $x = 0$ до единицы при $x \rightarrow \infty$. Таким образом из приведенной формулы следует, что поглощение звука в случае $a_n \sim \lambda$ должно быть меньше величины η . Такое поведение коэффициента поглощения звука существенным образом связано с проявлением своеобразного закона отражения возбуждений, падающих на границу между нормальной и сверхпроводящей фазами [2].

Измерение величины a/a_n при известном виде функции $\Phi(x)$ может служить косвенным методом определения величины a_n и периода слоистой структуры $d = a_n/\eta$ в глубине образца, в отличие от прямых методов [3, 4], позволяющих изучать a_n только на поверхности сверхпроводников.

В настоящей работе излагаются результаты экспериментов по изучению поглощения звука оловом, находящимся в промежуточном состоянии. Образец представлял собой цилиндр диаметром 6 мм и длиной 12 мм, ось цилиндра была близка к направлению [110] и совпадала с направлением распространения звука. В качестве исходного материала использовалось олово с отношением сопротивлений $R_{300^\circ\text{K}}/R_{4,2^\circ\text{K}} = 4 + 5 \cdot 10^4$. Образец помещался в поперечное магнитное поле, создаваемое соленоидом.

Измерения проводились на частотах 10, 30, 70, 110 МГц. В качестве преобразователей применялись кварцевые пластинки X-среза с основной частотой 10 МГц. Температура, при которой проводились измерения (1,5°K) была достаточно низка, чтобы пренебречь вкладом в поглощение нормальных возбуждений в сверхпроводящих областях.

Результаты измерений приведены на рис. 1. Начало проникновения поля в образец зарегистрировано при $H = 0,58 H_c$, что совпадает с данными магнитных исследований [5], выполненных для образца такой же геометрии. Из упомянутой работы [5] также следует, что η является линейной функцией поля, за исключением малых областей вблизи $H = 0,58 H_c$ и $H = H_c$. Что касается кривых $a/a_n = f(H/H_c)$, то они по меньшей мере

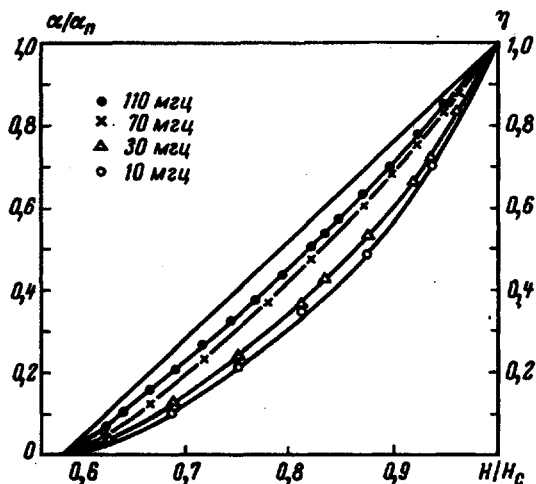


Рис.1

иллюстрируют качественное согласие экспериментальных данных с теоретическими предсказаниями. Действительно, при фиксированном H/H_c , а значит при заданной концентрации нормальной фазы η , a/a_n убывает с уменьшением частоты звука, следуя поведению функции $\Phi(2\sigma_n/\lambda)$.

На рис. 2 показана зависимость σ_n от величины $\eta = 2,38H/H_c - 1,38$, рассчитанная по значениям a/a_n для частот ультразвука 110, 70, и 30 Мгц на основании приведенной выше формулы для a/a_n . Видно, что данные для 110 и 70 Мгц совпадают, в то время как для 30 Мгц они отличаются от этих значений. Расхождение данных, полученных для 10 Мгц, еще больше. Качественно этот факт можно объяснить следующим образом. Теоретическое выражение для величины a/a_n было получено в пределе больших $q\ell$ ($q = 2\pi/\lambda$, ℓ — длина свободного пробега электронов). В случае не слишком больших $q\ell$, угловые размеры эффективной зоны взаимодействия, определяемые фактором $q\ell^{-1}$ [6] становятся уже такими, что практически все электроны, участвующие в поглощении, начинают чувствовать границы нормального слоя. Дальнейшее понижение частоты в этом случае практически не должно привести к сильному изменению a/a_n . Поэтому вид функции $\Phi(x)$ в случае не очень больших $q\ell$ будет отличаться

от вида указанного в работе [1], что и приводит к наблюдаемому расхождению величин σ_n , полученных на различных частотах. Подтверждением таких рассуждений может служить то обстоятельство, что на более грязных образцах отклонение кривых от величины η гораздо меньше и состояние насыщения достигается при более высоких частотах.

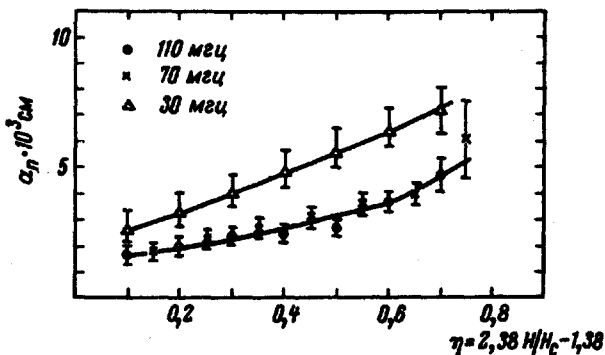


Рис.2

Поскольку значения σ_n , полученные из данных на 70 и 110 Мгц совпадают, можно сделать вывод, что эти значения близки к истинной толщине нормальных слоев в глубине образца для данной его геометрии. Следует отметить, что полученные величины σ_n в среднем в четыре раза меньше найденных из расчета для плоскопараллельной пластины, и в области $0,1 < \eta < 0,8$ меняются слабее, чем предсказывается теорией.

Обнаружить предсказываемых в работе [1] осцилляций коэффициента поглощения звука в данных экспериментах не удалось, по-видимому, из-за малости толщины нормальных слоев по сравнению с ларморовским радиусом электронов при $H = H_c$.

В заключение выражаем признательность В.П.Галайко за интересные обсуждения и В.Ф.Городянскому за помощь в измерениях.

Физико-технический институт
низких температур
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
14 июля 1969 г.

Литература

- [1] А.Ф.Андреев. ЖЭТФ, 53, 666, 1967.
- [2] А.Ф.Андреев. ЖЭТФ, 51, 1510, 1966.
- [3] Ю.В.Шарвин. ЖЭТФ, 38, 298, 1960.
- [4] A.L.Schawlow, G.E.Devlin. Phys. Rev., 110, 1011, 1958.
- [5] D.Shoenberg. Proc. Camb. Phil. Soc., 33, 260, 1937.
- [6] I.R. Leibowitz. Phys. Rev., 133, A 84, 1964.