

**ПОДВИЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОНОВ  
ВБЛИЗИ ПОВЕРХНОСТИ ЖИДКОГО ГЕЛИЯ  
ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ ДО 0,5К**

*А.С.Рыбалко, Ю.З.Ковдра, Б.Н.Есельсон*

Измерено поглощение энергии электромагнитного поля поверхностными электронами в интервале температур 0,48 – 1,9К на частотах 2,98 и 14,65 МГц. Проведенные измерения позволили определить подвижность поверхностных электронов. Обнаружено, что при  $T < 1\text{К}$  наличие поверхности существенно сказывается на характере движения электронов.

Электроны вблизи границы раздела пар – жидкий гелий (поверхностные электроны) [1] при движении вдоль границы должны взаимодейство-

вать с тепловыми возбуждениями поверхности [ 2, 3 ] и с атомами газообразного гелия. Однако данные работ [ 4 – 8 ] свидетельствуют о том, что в области температур, где проводились измерения (1 – 2К), вклад поверхностных колебаний в рассеяние электронов обнаружить не удается, и их подвижность определяется столкновениями с атомами гелия в паре.

Влияние поверхности на движение электронов поэтому казалось целесообразным искать при более низких температурах, где плотность пара становится незначительной. С целью получения сведений о подвижности поверхностных электронов в настоящей работе изучалось поглощение энергии электромагнитного поля (2,98 и 14,65 МГц) такими электронами в интервале температур 0,48 – 1,9К.

Поглощение определялось по изменению добротности резонансного контура, которое имело место при введении в измерительное пространство поверхностных электронов. Переменное электрическое поле направлялось параллельно поверхности жидкого гелия. Концентрация поверхностных электронов задавалась небольшим прижимающим полем и менялась в пределах  $10^5 - 10^6$  электрон/см<sup>2</sup>. Погрешность в определении поглощения и концентрации электронов составляла  $\sim 20\%$ .

Эксперименты по определению поглощения были проведены вначале при относительно высоких температурах, где они одновременно носили градуировочный характер. Как известно, мощность, поглощаемая заряженными частицами в переменном электрическом поле амплитуды  $E$  и частоты  $\omega$ , определяется выражениями<sup>1)</sup>

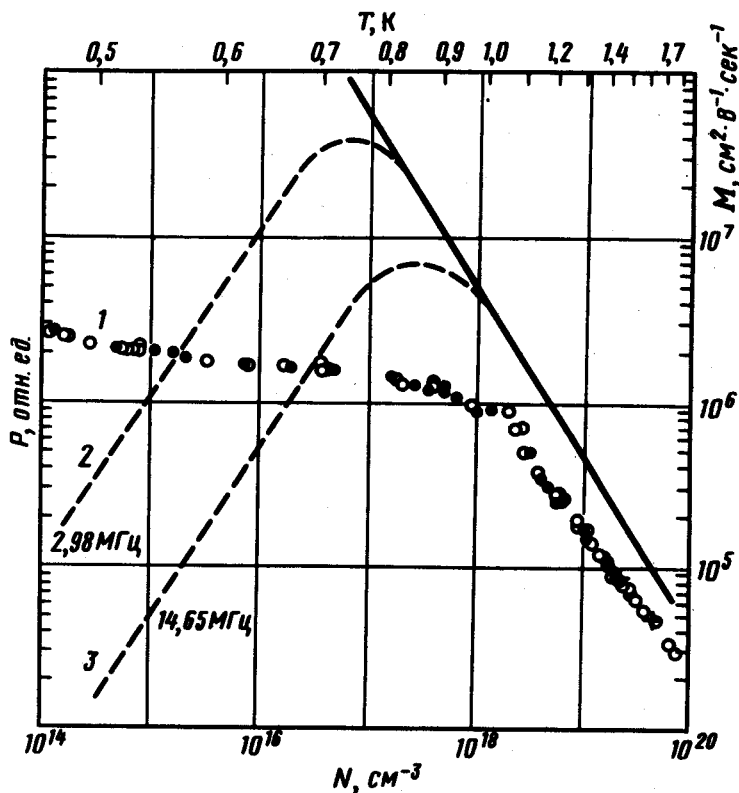
$$p = eN\mu E^2 \quad \mu = \frac{\mu_0}{1 + \omega^2 \tau^2} \quad (1)$$

Здесь  $N$  – число зарядов,  $\mu_0 = (e/m)\tau$  – подвижность электронов в постоянном электрическом поле,  $e$  и  $m$  – заряд и масса электрона,  $\tau$  – время релаксации. При  $\omega\tau \ll 1$  поглощение прямо пропорционально  $\mu_0$  и не зависит от частоты.

Как было установлено экспериментально в настоящей работе, в интервале температур 1,3 – 1,9К, температурная зависимость поглощения для обеих частот совпадает с температурной зависимостью подвижности электронов в газообразном гелии. Это видно из рисунка, где представлена зависимость относительного удельного поглощения  $P$  от температуры, измеренная в настоящей работе (кривая 1), и данные о подвижности электронов, взятые из [ 7 ]. Кривая  $P(T)$  была привязана к зависимости  $\mu_0(T)$  при 1,4К. Одинаковый характер указанных зависимостей свидетельствует о том, что до температур  $\sim 1,1$ К поглощение, как и следует ожидать, определяется рассеянием электронов атомами газообразного гелия. Аналогичный результат был получен ранее [ 9 ] при измерении поглощения в интервале температур 1,4 – 2,0К в случае, когда переменное электрическое поле было направлено перпендикулярно поверхности жидкого гелия.

<sup>1)</sup> Эти формулы справедливы в предположении, что  $\tau$  не зависит от импульса.

Однако в области температур 0,48 – 0,9К температурная зависимость поглощения начинает отклоняться от ожидаемой, и  $P$  для обеих частот ведет себя приблизительно как  $T^{-1}$ . На рисунке для сравнения представлены расчетные зависимости  $P(T)$ , описываемые соотношениями (1) в случае, если имеет место взаимодействие электронов только с атомами гелия в паре (кривые 2, 3). Соответствующее теоретическое выражение для  $\tau$  было взято из работы [10]. Как видно, при низких температурах наблюдается существенное различие в поведении экспериментальной и расчетной величины поглощения  $P$ , ее зависимости от температуры и частоты.



Зависимость относительного удельного поглощения энергии электромагнитного поля поверхностными электронами от температуры: ● – 2,98 МГц, ○ – 14,65 МГц, + – данные о подвижности электронов в газообразном гелии [7]. Сплошная линия – расчетные значения для  $\mu_e$  [10]; Кривые 2, 3 – расчет по формулам (1)

Такое несоответствие расчетной и экспериментальной зависимости свидетельствует о том, что при низких температурах появляется новый механизм рассеяния электронов, по-видимому, связанный с существованием границы раздела пар – жидкость и обусловленный наличием тепловых поверхностных возбуждений в жидком гелии. Тот факт, что тем-

пературная зависимость  $P(T)$  одинакова для обеих использованных частот, дает основание считать, что во всей исследованной области температур имеет место условие  $\omega T \ll 1$  и, следовательно,  $P \sim \mu_0$ . Поэтому данные о поглощении, привязанные к известному значению  $\mu_0$  при высоких температурах, дают возможность получить информацию о величине подвижности поверхностных электронов во всей исследованной температурной области.

Следует отметить, что приведенные данные были получены при малых значениях  $E$  и  $N$ , где относительное удельное поглощение, а, следовательно, и подвижность не зависят от этих величин.

Полученные результаты, к сожалению, не представляется возможным сравнить с теоретическими оценками, сделанными в [3], поскольку подвижность там вычислялась при наличии прижимающего электрического поля, существенно превышающего использованное в настоящей работе. Что же касается работы [2], то подсчитанное там значение подвижности поверхностных электронов составляет  $\sim 10^5$  см<sup>2</sup>/в.сек, что на порядок ниже полученного нами значения. Таким образом, в настоящей работе экспериментально обнаружено влияние поверхности жидкого гелия на движение электронов. Исследования установленных закономерностей будут продолжены.

Авторы признательны Г.А.Михайлову за полезное обсуждение при разработке методики измерения поглощения.

Физико-технический институт  
низких температур  
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию  
27 октября 1975 г.

### Литература

- [1] С.С. Grimes, Т. R. Brown. Phys. Rev. Lett., 32, 280, 1974.
- [2] М. W. Cole. Phys. Rev., B2, 4239, 1970.
- [3] В. Б. Шикин. ЖЭТФ, 60, 713, 1971.
- [4] В. Б. Шикин, Ю. З. Ковдря, А. С. Рыбалко. Физика конденсированного состояния, XV, 99, 1971.
- [5] W. T. Sommer, D. J. Tanner. Phys. Rev. Lett., 27, 1346, 1971.
- [6] R. M. Ostermeir, K. W. Schwarz. Phys. Rev. Lett., 29, 25, 1972.
- [7] А. С. Рыбалко, Ю. З. Ковдря. J. Low. Temp. Phys., 18, 219, 1975.
- [8] Т. R. Brown, С. С. Grimes. Phys. Rev. Lett., 29, 1233, 1972.
- [9] А. С. Рыбалко, Ю. З. Ковдря. ФНТ, 1, 1037, 1975.
- [10] J. H. Margenau. Phys. Rev., 69, 508, 1946.