

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ДВУХКОМПОНЕНТНОЙ МОДЕЛИ НОРМАЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ (He-I)¹⁾

Г.А.Гамцемлидзе, Ш.А.Джапаридзе, Д.Н.Цаава

Исследовано затухание сдвиговых колебаний в He-I, на расстояниях значительно превосходящих глубины проникновения, которое носит степенной характер.

1. Наличие в нормальной жидкости слабозатухающих фононов может вызвать эффекты, которые объясняются двухжидкостной концепцией, развитой Андреевым в работе [1].

Для жидкостей (H, He³, He⁴), которые затвердевают при температурах много меньших дебаевской, существуют области температур $T \ll \Theta$, в которых длины волн фононов с энергией порядка температуры, значительно превосходят межатомные расстояния, вследствие чего фононы представляют собой слабозатухающие тепловые возбуждения.

А.Ф.Андреев в своей работе рассматривает ситуацию, когда He-II течет через тонкий капилляр, при этом учитывает, что фононы диффузно рассеиваются на стенках и их средняя скорость должна быть меньше средней скорости течения остальной части жидкости. Естественно, что в такой ситуации нормальную жидкость можно рассматривать как совокупность двух слабосвязанных подсистем – фононов и остальной части жидкости, при чем фононы будут играть роль нормальной части жидкости, а остальная часть – сверхтекучей. В указанной работе исключаются температуры ниже λ -точки и вблизи нее. Ситуация ниже λ -точки достаточно подробно была изучена нами в работах [2, 3], в которых затухание вязких волн имеет экспоненциальный характер.

В работе [1] отмечается, что из-за наличия слабозатухающих фононов сдвиговые колебания носят степенной характер и могут распространяться на расстояния значительно превосходящие глубину проникновения δ , т.е. $z \gg \delta \approx a_0 (\Theta / \hbar \omega)^{1/2}$, где a_0 – межатомное расстояние, Θ – температура Дебая, ω – частота колебания.

Уравнение зависимости скорости сдвиговых колебаний жидкости от расстояния z с учетом вклада фононов при условии $z \ll c/\omega$ имеет вид

$$u = \frac{3i}{16} v \frac{T}{\rho \omega} \left(\frac{a}{\pi \hbar^2} \right)^{3/2} (cz)^{-5/2}, \quad (1)$$

где u – скорость жидкости, на некотором расстоянии z от колеблющейся поверхности (в нашем эксперименте – от синусоидально колеблю-

¹⁾ Доложено на Бакурианском коллоквиуме по сверхтекучести, февраль, 1974 г.

щегося диска – генератора), v – скорость поверхности вызывающего колебания (генератора), ρ – плотность жидкости, ω – частота колебаний, c – скорость звука, α – величина связанная с коэффициентом поглощения звука [4]

$$\gamma = \frac{\omega^2}{2\rho c^3} \left[\left(\frac{4}{3} \zeta + \xi \right) + \kappa \left(\frac{1}{C_v} - \frac{1}{C_p} \right) \right]$$

и имеет вид

$$\alpha = \frac{\hbar^2 \omega^2}{2\gamma c} = \rho \hbar^2 c^2 \left[\left(\frac{4}{3} \zeta + \xi \right) + \kappa \left(\frac{1}{C_v} - \frac{1}{C_p} \right) \right]^{-1} \quad (2)$$

здесь C_p и C_v – теплоемкости единицы массы, ζ , ξ – коэффициенты первой и второй вязкости, κ – коэффициент теплопроводности. Целью данной работы является экспериментальная проверка теоретической концепции А.Ф.Андреева, в частности, установление закона $u = f(z)$ зависимости.

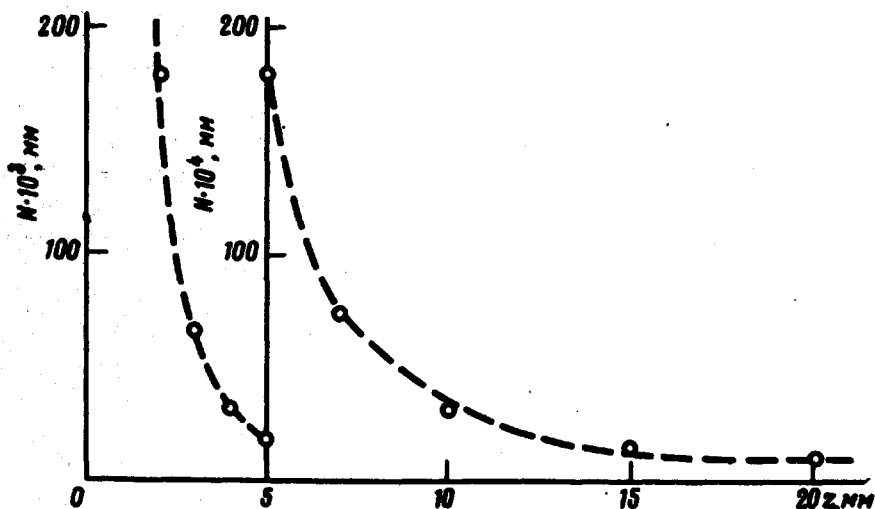


Рис. 1. Зависимость полного размаха зайчика на шкале N от расстояния z . Пунктирная кривая – теоретическая, о – экспериментальные данные

2. Для экспериментального изучения распространения сдвиговых колебаний в нормальной жидкости нами был использован с некоторыми усовершенствованиями прибор, использованный в работах [2, 3], в котором применяется резонансный метод измерений. В жидком гелии при помощи магнитного привода обуславливались синусоидальные колебания диска – генератора с амплитудой $\phi = 0,56$ рад, увлекая при этом за собой жидкость. Колебания жидкости распространяются вдоль оси

колебания. Второй диск – приемник, подвешен над первым с помощью упругой платино-иридиевой нити ($\Phi = 20 \text{ мк}$) и служит зондом для измерения амплитуд колебаний жидкости в данной точке. Частота колебаний дисков подбирается одинаковой с точностью $\pm 0,005 \text{ сек}^{-1}$. Отсчет величин амплитуд ведется, с наступлением резонанса, при помощи отраженного луча от зеркальца, прикрепленного на легком диске-приемнике диаметром 25 мм и толщиной $0,3 \text{ мм}$.

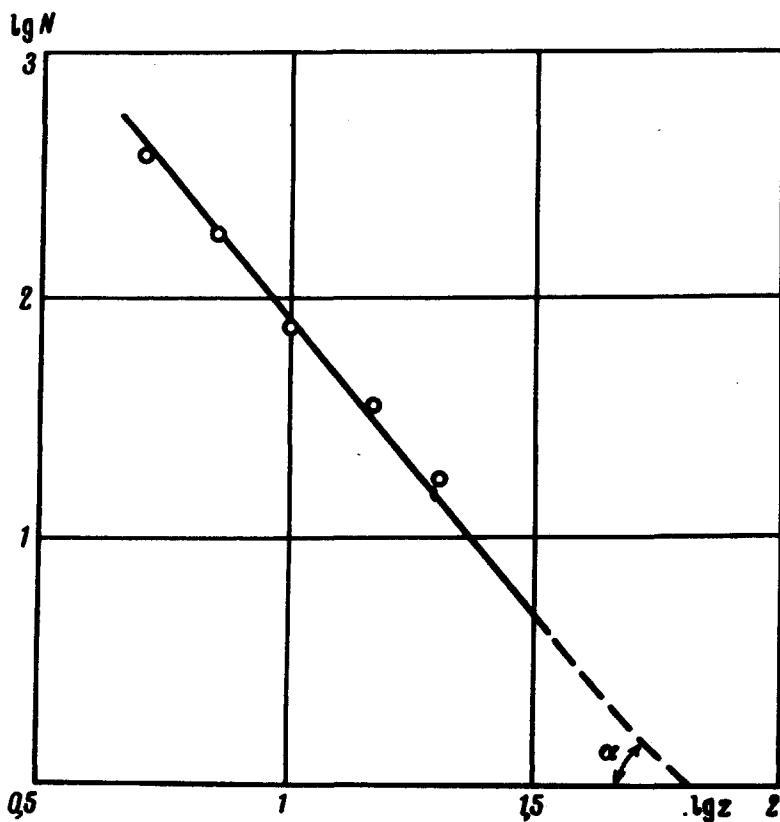


Рис. 2. Двойная логарифмическая зависимость $\ln N = f(\ln z)$, $n = \operatorname{tg} \alpha$ – показатель степени для z

3. Эксперименты проводились при температуре $T = 2,4^{\circ}\text{K}$. На графике $N = f(z)$, где N – полный размах зайчика на шкале (см. рис. 1), приведены экспериментальные результаты, которые довольно хорошо согласуются с теоретической кривой, построенной по формуле (1). Тангенс наклона кривой $\ln N = f(\ln z)$, иллюстрированной на рис. 2, дает для z показатель степени $n = (-2,4 \pm 0,2)$.

В работе по экспериментальным значениям u и v для $z = 1 \text{ см}$ был оценен коэффициент α , связанный с поглощением звука $\alpha = 2 \cdot 10^{-42} \text{ см}^{-1}$. Теоретическая формула (2) для α дает $9 \cdot 10^{-42} \text{ см}^{-1}$. Это обстоятельство еще раз подчеркивает, что в рассмотренной ситуации длинноволновые фононы действительно являются слабозатухающими тепловыми возбуждениями и гелий-I можно представить как совокупность двух, практически не связанных подсистем.

Таким образом, полученные экспериментальные данные подтверждают достоверность двухжидкостной концепции в нормальной жидкости, предложенной А.Ф.Андреевым.

Авторы работы искренне благодарят А.Ф.Андреева за ценные указания и обсуждение результатов работы.

Тбилисский
государственный университет

Поступила в редакцию
28 мая 1974 г.

Литература

- [1] А.Ф.Андреев. ЖЭТФ, 59, 1819, 1970.
 - [2] Э.Л.Андроникашвили, Г.А.Гамцемлидзе, Ш.А.Джапаридзе. ЖЭТФ, 50, 856, 1966.
 - [3] Г.А.Гамцемлидзе, Ш.А.Джапаридзе, Д.Н.Цаава. Юбилейный сборник посвященный 50-летию образования Грузинской ССР, изд. ТГУ, 1974, стр. 281.
 - [4] Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Механика сплошных сред, М., изд. ТТЛ, 1954.
-