

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В СВЕРХТЕКУЧЕМ ГЕЛИИ ВБЛИЗИ НАГРЕТОЙ ПОВЕРХНОСТИ

*Н. В. Заварицкий*

Обнаружено возрастание температуры  $\Delta T$  сверхтекучего гелия, сопутствующее скачку Капицы  $\Delta T_K$ .  $\Delta T = \Delta T_0 e^{-x/\lambda}$ , где  $\Delta T_0 \approx 10^{-3} \Delta T_K$  — возрастание температуры в непосредственной близости от нагретой поверхности,  $x$  — расстояние от поверхности,  $\lambda$  — параметр, уменьшающийся на порядок при изменении температуры от 0,4 до 0,7 К.

В 1941 г. Капица [1] обнаружил, что температура твердого тела и окружающего его сверхтекучего гелия существенно различаются при наличии потока тепла через границу. Это явление было названо скачком Капицы и объяснено тем, что тепловые возбуждения — фононы отражаются от границы раздела вследствие различия звуковых импедансов твердого тела и жидкого гелия [2]. (Обзор работ по исследованию скачка Капицы см. [3]).

Очевидно, что в гелии вблизи поверхности в кнудсеновской области устанавливается неравновесное распределение возбуждений, которое можно обнаружить по распределению температуры внутри гелия. (Для неоднородных и неравновесных систем необходимо отдельно определить что подразумевается под понятием температуры. Следуя Ландау — Лифшицу [4] будем определять температуру в этом случае по средней энергии возбуждений в данном участке пространства).

Ожидаемое изменение температуры не велико, и, по порядку величины, должно относиться к скачку Капицы —  $\Delta T_K$ , как относятся доля прошедших через границу фононов к отраженным, т.е. быть порядка

$$\frac{\rho_{\text{ж}} v_{\text{ж}}}{\rho_{\text{т}} v_{\text{т}}} \sim 10^{-3} \Delta T_K.$$

Настоящая работа предпринята с целью исследовать это, сопутствующее скачку Капицы, распределение температуры в жидком сверхтекучем гелии.

Измерение распределения температуры в гелии осуществлялось посредством  $\text{Au} + 0,03\% \text{Fe}$  — сверхпроводник термомпары, компенсационно, с установкой СКИМП в качестве нуля прибора. Это сочетание обеспечивало возможность измерять разность температур  $\Delta T$  лучше чем  $10^{-6} \text{K}$ . В опыте определялось  $\Delta T$  между спаем термомпары  $a$  расположенным вблизи нагретой поверхности и удаленным от нее  $b$  (см. вставку на рис.1,  $a$ ). Таким путем мы могли в ходе опыта непосредственно измерять повышение температуры вблизи нагретой поверхности. Существенно, что в этих измерениях пробное тело (термомпара) не обладает избирательными характеристиками по энергии и по углу (последнее проверялось дополнительными опытами). Перегрев спаев термомпары относительно гелия за счет выделяющейся в них мощности из-за пельтье-эффекта не превосходил  $10^{-9} \div 10^{-10} \text{K}$ .

В области измерений  $0,4 \div 0,7 \text{K}$  объемная теплоемкость материала термомпары на порядок меньше теплоемкости жидкого гелия. Это, а также малые размеры термомпары и ее низкая теплопроводность позволяли считать, что наличие термомпар не вносит существенного изменения в распределение температуры в жидкости.

Одновременно можно было измерить  $\Delta T$  между несколькими спаями, что позволяло определить распределение температуры по координате  $x$  от нагретой поверхности. Нагретой поверхностью служила либо —  $H$  — пленка  $\text{Cu} - \text{Ni}$  сплава на стекле, нагреваемая током, либо плоская травленая поверхность массивного тела из меди с  $R_{300 \text{K}} / R_{42 \text{K}} \sim 3 \cdot 10^4$ . В этом случае, внутри тела располагался дополнительный термометр, посредством которого можно было одновременно измерять величину скачка Капицы. Нагреватель располагался на поверхности тела, теплоизолированной от гелия.

Во всем интервале измерений была обнаружена разность температур в жидком гелии вблизи нагретой поверхности. Зависимость  $\Delta T$  от  $x$  представлена на рис.1, цифрой около кривых отмечена температура измерения. Три типа значков соответствуют трем различным вариантам измерительного прибора.

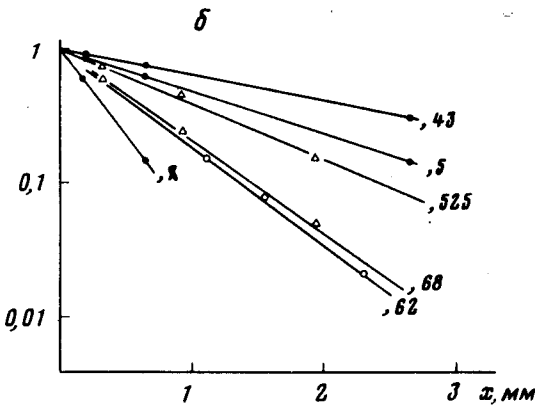
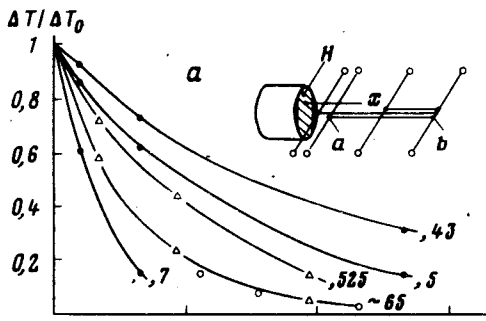


Рис. 1

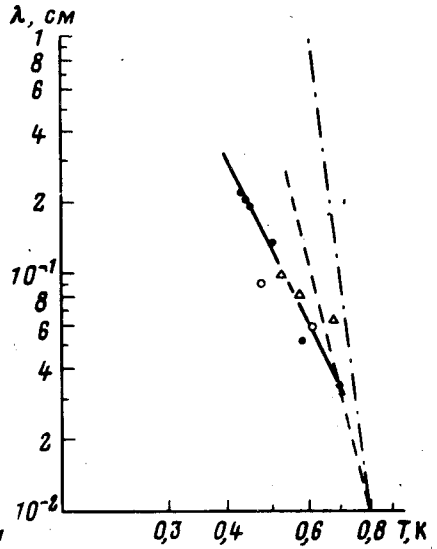


Рис. 2

Рис.1. Распределение изменения температуры гелия вблизи нагретой поверхности  $\Delta T$ , а – линейный, б – логарифмический масштаб. В верхнем углу рис. а – схема измерений

Рис. 2. Зависимость от температуры параметра  $\lambda$  из соотношения 1, характеризующего установление равновесия в системе фононов

Как видно из рис.1, б, величина  $\Delta T(x)$  хорошо описывается соотношением

$$\Delta T = \Delta T_0 e^{-x/\lambda}$$

Величина  $\Delta T_0$  составляет  $1 \div 3 \cdot 10^{-5}$  К. Результаты прямого измерения скачка Капицы  $\Delta T_K$  для медной поверхности совпали с проводившимися ранее измерениями [3]. Отношение  $\Delta T_0 / \Delta T_K$  составляло  $10^{-3}$  и убывало примерно в полтора раза при понижении температуры от 0,7 К.

Величина  $\lambda$  приведена на рис.2. Очевидно, что возможность определения этой величины ограничена сверху размерами нагретой поверхности  $\phi \sim 4$  мм и снизу размерами проволоки термопары  $\phi \sim 0,1$  мм. Близкие значения  $\lambda$ , полученные в различных сериях, свидетельствуют, что измерительная система не вносит существенного искажения в распределение неравновесных возбуждений в гелии.

Величина  $\lambda(T)$  характеризует длину, на которой происходит установление равновесия по энергиям в системе неравновесных фононов. Ее можно сопоставить с длиной свободного пробега фононов в процессе теплопередачи, рассчитанной Халатниковым [5] рис.7, штрих на рис.2 и с результатами прямого определения [6] по размытию фронта теплового импульса, выполненными в Лейдене (штрих пунктир). Как видно из рис.3, полученное в опыте значение  $\lambda(T)$  приближается к значению, рассчитанному Халатниковым, хотя и изменяется, по-видимому, не столь резко с температурой. Этот результат согласуется с данными Уитворта [7], который определял  $\lambda(T)$  из измерений теплопроводности гелия в кнудсеновской области. Хотя известны расчеты [8], в которых предложено объяснение более слабого, чем в теории [5] изменения  $\lambda(T)$ , этот вопрос требует дополнительного выяснения.

Одновременное исследование скачка Капицы и сопутствующему ему изменению температуры жидкого гелия в кнудсеновской области может оказаться полезным для выяснения условий передачи тепла через границу раздела твердое тело — жидкость.

Автор благодарен П.Л.Капице за внимание к работе, А.Ф.Андрееву и Ю.В.Шарвину — за дискуссии, Н.А.Никитину — за техническое содействие.

Институт физических проблем  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
2 июля 1981 г.

### Литература

- [1] Капица П.Л. ЖЭТФ, 1941, 11, 1.
- [2] Халатников И.М. ЖЭТФ, 1952, 22, 687.
- [3] Challis E.J. J. Phys. C., 1974, 7, 481.
- [4] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика сплошных сред, 1944, М., §105.
- [5] Халатников И.М. УФН, 1956, 59, 673.
- [6] Kramers H.C. Progress in Low Temp. Phys., vol. II, S-59, Ed. by C.J.Gorter, 1957.
- [7] Whitworth R.W. Proc. Roy. Soc. Lon., 1958, 246, 390.
- [8] Humphrey J. Maris. Rev. of Modern Physics., 1977, 49, 341.