

## ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОГО ГЕЛИЯ НИЖЕ 1К

*Б.Н.Есельсон, О.С.Носовицкая, Л.А.Погорелов,  
В.И.Соболев*

Измерена вязкость чистого  $\text{He}^4$  и слабых растворов  $\text{He}^3 - \text{He}^4$  в области температур 1,2 – 0,4К. Обнаружено, что вязкость как  $\text{He}^4$ , так и растворов имеет максимум, причем соответствующая ему температура (0,63К) не зависит от концентрации  $\text{He}^3$ .

Недавно Грейволл<sup>1)</sup> [1], на основании полученных им данных о поглощении второго звука в слабых растворах  $\text{He}^3 - \text{He}^4$ , определил температурную зависимость вязкости  $\eta$ , причем для раствора с содержанием 0,1%  $\text{He}^3$  он обнаружил максимум на кривой  $\eta(T)$  ( $T$  — температура). В работе [1], однако, эта особенность не нашла объяснения.

Следует отметить, что существуют, по крайней мере, две причины появления максимума. Одна из них связана с тем обстоятельством, что при достаточно слабых концентрациях  $\text{He}^3$  в определенной области температур основной вклад в примесную часть вязкости  $\eta_i$  вносят процессы рассеяния  $\text{He}^3$  — ротон, при этом  $\eta_i$  растет с понижением температуры. Однако при низких температурах, когда ротон вымерзает, главным становится процесс рассеяния  $\text{He}^3 - \text{He}^3$  (численные оценки показывают, что в данном случае влиянием фононов можно пренебречь). При этом для невырожденных растворов  $\eta_i$  падает с температурой как  $\sqrt{T}$ . Следовательно в промежуточной области возникает максимум  $\eta_i$ .

Вторая причина появления максимума связана с выходом в область температур, при которых средняя длина пробега фононов приближается к характерному размеру прибора.

Для однозначной трактовки обсуждаемого эффекта необходимы данные о величинах, характеризующие процессы рассеяния фонон —  $\text{He}^3$  и  $\text{He}^3$  — ротон в соответствующей области температур и концентраций. Такие данные могут быть получены путем постановки специальных экспериментов.

В настоящем сообщении приводятся результаты прямых исследований вязкости нормальной компоненты чистого  $\text{He}^4$  и слабых растворов изотопов гелия с содержанием  $\text{He}^3$  0,01; 0,06; 0,09; 0,18 и 0,47% в интервале температур 1,2 — 0,4К. Измерения проводились методом колеблющейся сферы [2]. В использованном приборе замечалась полая сфера радиусом 25,30 мм, которая подвешивалась на упругой нити и могла совершать затухающие крутильные колебания. Вся колеблющаяся система находилась при одной и той же температуре и помещалась в центре сферической камеры радиусом 27,26 мм. Измерялся логарифмический декремент затухания в зависимости от температуры, что позволяло вычислять значения вязкости по формулам, полученным при решении соответствующей гидродинамической задачи. Максимальная ошибка в определении  $\eta$  для всех температур и концентраций с не превышала 2 мкпуаз.

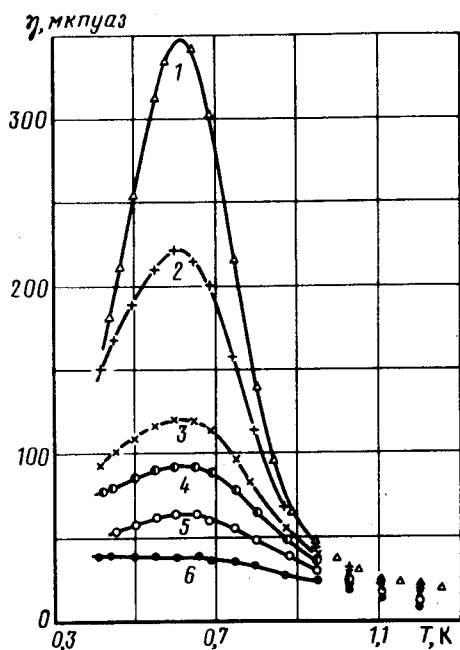
Полученные результаты представлены на рисунке. Отчетливо видно, что для всех указанных жидкостей с содержанием  $\text{He}^3$  ниже 0,47% наблюдается максимум  $\eta$ , причем соответствующая ему температура (0,63К)<sup>2)</sup> в пределах точности эксперимента не зависит от концентрации  $\text{He}^3$ . Анализ этого факта сразу же приводит к выводу о том, что существование максимума не связано с наличием в системе  $\text{He}^3$ , а

<sup>1)</sup>Мы благодарны К.Н.Зиновьевой за возможность ознакомиться с препринтом работы [1].

<sup>2)</sup> Максимум, обнаруженный в работе [1], находится при этой же температуре.

вызвано тем обстоятельством, что в данных экспериментах при температуре ниже 0,7К для фононного газа имеет место переходной случай между гидродинамическим и кнудсеновским режимами. При этом величине  $\eta$ , рассчитанной по гидродинамическим формулам, соответствует некоторая эффективная вязкость, которая отличается от гидродинамической множителем  $\left(1 + \frac{2\zeta\lambda}{d}\right)^{-1}$  [3], где  $\lambda$  — средняя длина

свободного пробега частиц (в данном случае фононов),  $d$  — расстояние между поверхностью сферы и стенками камеры (0,194 см),  $\zeta$  — коэффициент, характеризующий взаимодействие фононов с вискозиметром. С учетом приведенного выражения удается описать температурную зависимость эффективной вязкости  $\text{He}^4$  с точностью 5%, что является вполне удовлетворительным для такой простой модели. Учитывая то обстоятельство, что средняя длина пробега фонона  $\sim T^{-9}$  [4], легко видеть, что температура, соответствующая максимуму  $T_m$  должна слабо зависеть от характера размера прибора (обратно пропорционально корню девятой степени), отсюда понятно почему  $T_m$  в настоящей работе и у Грейволла практически совпадают.



Зависимость  $\eta$  от температуры. Кривая 1 соответствует чистому  $\text{He}^4$ , кривые 2 — 6 — растворам с содержанием  $\text{He}^3$  0,01; 0,06; 0,09; 0,18; и 0,47 %

Найденные из анализа полученных данных численные значения указанных выше параметров процессов рассеяния, позволили установить, что обнаруженные в наших экспериментах и в работе [1] максимумы не связаны с особенностями примесной части вязкости. Хотя принципиально эффект, связанный с этой особенностью, и имеет место, однако, в данном случае его величина мала. Что же касается вклада  $\text{He}^3$   $\eta_{ph}^{-1}$  в фононную часть вязкости раствора  $\eta_{ph}$ , то его можно учесть, используя соотношение [5]:

$$\eta_{ph}^{-1} = \eta_4^{-1} + \eta_{ph}^{-1} .$$

где  $\eta_4$  — эффективная вязкость чистого  $\text{He}^4$ , измеренная данным прибором, а

$$\eta_{phi}^{-1} \sim \frac{\sigma_{phi} n_3}{\rho_{nph} u},$$

где  $\sigma_{phi}$  — сечение рассеяния фонона на  $\text{He}^3$ ,  $n_3$  — число частиц  $\text{He}^3$ ,  $\rho_{nph}$  — фононная часть нормальной плотности сверхтекучего гелия,  $u$  — скорость звука.

Обнаруженная в данных экспериментах независимость положения максимума  $\eta$  от концентрации  $\text{He}^3$  свидетельствует о том, что  $\eta_{phi}$  также не зависит от температуры, а это означает (поскольку  $\rho_{nph} \sim \sim T^4$ ), что  $\sigma_{phi} \sim T^4$ , т. е. имеет место рэлеевское рассеяние фононов квазичастицами  $\text{He}^3$ .

Пользуясь случаем, мы хотим поблагодарить Б.И.Веркина, М.И.Кананова, Л.П.Питаевского и В.А.Слюсарева за полезные обсуждения результатов работы.

Поступила в редакцию  
7 августа 1979 г.  
После переработки  
5 ноября 1979 г.

Физико-технический институт  
Академии наук Украинской ССР

### Литература

- [1] S.S.Greywall. Phys. Rev. Lett., **42**, 1758, 1979.
- [2] C.V.Benson, A.C.Hollis-Hallett. Can. J. of Phys., **38**, 1376, 1960.
- [3] E.H.Kennard. "Kinetic Theory of Gases with an Introduction to Statistical Mechanics". New York, 1938, p. 297.
- [4] И.М.Халатников. "Теория сверхтекучести", М., изд. Наука, 1971.
- [5] В.И.Жарков. ЖЭТФ, **33**, 929, 1957.