

**СКАЧОК ТЕПЛОЕМКОСТИ ЖИДКОГО  $\text{He}^3$   
ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ  $2,65 \cdot 10^{-3}$  °К**

*В. Л. Введенский*

В работе Ошерова, Ричардсона и Ли [1] прослежен процесс охлаждения  $\text{He}^3$  путем адиабатической кристаллизации до сверхнизких температур около  $0,001^\circ\text{K}$ . На кривой зависимости давления от времени при температуре  $\sim 0,0027^\circ\text{K}$ , точка А, наблюдался излом с изменением наклона в 1,8 раза, что объяснялось авторами как появление новой твердой фазы путем фазового перехода первого рода. Однако, выдвинутое авторами [1] объяснение является спорным.

Во-первых, поведение платинового ЯМР-термометра характерно для перегрева вызванного скачком Капицы, ввиду постоянного тепловыделения, и не требует для объяснения образования новой твердой фазы.

Во-вторых, переход в *A* очень резкий (интервал давлений  $3 \cdot 10^{-4}$  атм) и при условии быстрого прохождения интервала давления до максимума (меньше 15 мкс), воспроизводим при сжатии и расширении, не зависит от скорости изменения объема и количества твердого  $\text{He}^3$  в камере. Причем, ввиду больших времен релаксации в твердом  $\text{He}^3$ , полученных в результате работ по кристаллизации, основным охлаждаемым резервуаром является жидкий  $\text{He}^3$ . Это говорит, что твердый гелий в камере весьма неравновесен по температуре и в то же время все черты перехода никак не зависят от степени неравновесности твердого тела.

Скорее можно предположить, что явление в точке *A* происходит в жидком  $\text{He}^3$ , который имеет короткое время тепловой релаксации. При  $0,003^\circ\text{K}$

$$\tau \approx \frac{\ell^2 C}{\kappa V} = 0,3 \text{ сек},$$

где  $\ell = 2 \text{ мм}$  – среднее расстояние до ближайшей границы твердый – жидкий  $\text{He}^3$ ,  $C_p = 10^{-1} \text{ Дж/моль} \cdot ^\circ\text{K}$  молярная теплоемкость [3],  $\kappa = 5 \cdot 10^{-4} \text{ Вт/см} \cdot ^\circ\text{K}$  теплопроводность [4],  $V = 25 \text{ см}^3/\text{моль}$  – молярный объем. При указанной скорости охлаждения и при данном в [1] интервале температур  $10^{-5} \text{ }^\circ\text{K}$ , в котором происходит переход, время перехода  $\sim 2 \text{ сек}$ , что совпадает со временем релаксации в жидкости.

Предположения о том, что: 1) переход происходит в жидкости; 2) твердое тело сильно теплоизолировано при быстром процессе, ввиду малой теплопроводности, приводит к следующему выводу. При постоянной скорости изменения объема, т. е. при постоянной скорости поглощения тепла, излом на кривой зависимости давления от времени,  $P(t)$ , а значит температуры от времени соответствует скачку теплоемкости жидкости.

Следует учесть, что из-за зависимости молярных объемов жидкого и твердого  $\text{He}^3$  от давления, изменение температуры вызывает дополнительное изменение объема твердой фазы. Повышению температуры соответствует поглощение тепла и граница твердый – жидкий  $\text{He}^3$  представляет собой дополнительную теплоемкость

$$C = T(S_T - S_J) \frac{dx_T}{dT} = -T \left( \frac{dP}{dT} \right)^2 \left( \frac{dV}{dP} \right),$$

где  $x_T$  – относительное количество твердой фазы,  $dP/dT = 35 \text{ атм/}^\circ\text{K}$  и  $dV/dP = 0,13 \text{ см}^3/\text{моль} \cdot \text{атм}$  взяты по кривой плавления [2]. При  $0,0027^\circ\text{K}$  эта теплоемкость составит  $4,3 \cdot 10^{-2} \text{ Дж/моль} \cdot ^\circ\text{K}$  в то же время теплоемкость жидкого  $\text{He}^3$   $10^{-1} \text{ Дж/моль} \cdot ^\circ\text{K}$  [3]. Излом на кривой изменения давления в 1,8 раза соответствует скачку теплоемкости жидкости  $C_-/C_+ \approx 2,4$  если учесть дополнительную теплоемкость границы и то что жидкости  $\approx 60\%$ . Температура перехода  $2,65 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{K}$ , согласно кривой плавления из работы [2].

Предложенная трактовка перехода в  $A$  позволяет описать и процесс, происходящий при медленном нагреве без изменения объема. Молярная теплоемкость твердого  $He^3$  при  $0,0027^\circ K$  примерно в 20 раз больше чем жидкого, а в камере его около 40%.

Поэтому, если процесс нагрева происходит при стационарном распределении температуры в твердом  $He^3$ , скачок теплоемкости жидкости вызовет незначительное изменение скорости нагрева. Однако за небольшой промежуток времени распределения температур в твердом  $He^3$  не успевает следить за температурой на границе, и скачок теплоемкости жидкости вызовет изменение скорости нагрева границы твердый — жидкий  $He^3$ , что регистрируется по давлению. Через 10 — 15 мин. когда в твердом  $He^3$  установится новое стационарное распределение температуры, скорость нагрева возвращается к первоначальной.

В процессе медленного нагрева платиновый термометр, хоть он и был перегрет относительно гелия, регистрировал скачок скорости нагрева. Это указывает на то, что "шуба" твердого  $He^3$  на нем была заметно тоньше, чем на стенке камеры,

Скачок теплоемкости жидкого  $He^3$  при нулевом давлении наблюдался Пешковым [5] при  $T = 0,0055^\circ K$ , что в шкале ЦМН, применяемой авторами работ [1, 2], соответствует  $0,003^\circ K$  [6]. Согласно теоретическим оценкам [7] скачок теплоемкости при сверхтекучем переходе  $C_- / C_+$  равен 1,7 или 2,06.

Институт физических проблем  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
10 августа 1972 г.

### Литература

- [1] D.D.Osheroff, R.C.Richardson, D.M.Lee. Phys. Rev. Lett., 28, 885, 1972.
- [2] R.T.Johnson, O.V.Lounasmaa, R.Rosenbaum, O.G.Symko, J.C.Weatley. J.Low Temp. Phys., 2, 403, 1970.
- [3] W.R.Abel, A.C.Anderson, W.C.Black, J.C.Weatley. Phys. Rev., 147, 111, 1966.
- [4] A.C.Anderson, J.I.Connolly, O.E.Wilches, J.C.Weatley. Phys. Rev., 147, 87, 1966.
- [5] В.П.Пешков. ЖЭТФ, 48, 997, 1965.
- [6] В.П.Пешков. УФН, 94, 607, 1968.
- [7] A.M.Sessler. "Helium Three" Proceedings of the Second Symposium of Liquid and Solid  $He^3$ . Columbus 1960 p.81.