

РЕЛАКСАЦИЯ ПЛОТНОСТИ ПРИ БЫСТРОМ ПЕРЕВОДЕ ${}^4\text{He}$ ИЗ ДВУХФАЗНОГО В ОДНОФАЗНОЕ СОСТОЯНИЕ ВБЛИЗИ КРИТИЧЕСКОЙ ТОЧКИ ПАРООБРАЗОВАНИЯ

Р.И.Ефремова, Э.В.Матизен

Вблизи критической точки (КТ) парообразования ${}^4\text{He}$ получена масштабная зависимость времени релаксации неоднородностей плотности при быстром переводе ${}^4\text{He}$ из двухфазного в однофазное состояние. Показано, что замедление релаксации при приближении к КТ связано с уменьшением теплопроводности.

Исследована релаксация неоднородностей плотности ${}^4\text{He}$, который быстрым нагревом переводился из двухфазной области в однофазную вблизи КТ. Измерения проведены в специальной медной ячейке (рис.1). Плотность измерялась по диэлектрической проницаемости гелия, находящегося в зазоре цилиндрического конденсатора 1. Длина конденсатора – 1,5 см, диаметр конденсатора – 2 см, величина зазора – $6 \cdot 10^{-3}$ см, высота объема ячейки над конденсатором – 0,2 см. Температура медного корпуса ячейки измерялась германиевым термометром сопротивления 4, градуированным по давлению гелия на критической изохоре с погрешностью 0,001 К¹. Емкость конденсатора измерялась при помощи модифицированного моста Р 589 с чувствительностью 0,003 пФ при общей емкости конденсатора 350 пФ. Гелий напускался в ячейку через капилляр 2 и вентиль 5. Для уменьшения градиентов температуры все электрические провода и капилляр находились в хорошем тепловом контакте с охранными кольцами 3.

В начале опыта ячейка заполнялась гелием, плотность которого была близка к критическому значению. Ячейка выдерживалась при постоянной температуре на $\sim 0,1$ К ниже критической. При этом мениск находился над конденсатором. Затем при помощи нагревателя 6 температура медного корпуса ячейки быстро повышалась до температуры опыта, превышающей значение температуры перехода в однофазное состояние T_n , и поддерживалась постоянной с погрешностью 0,0002 К. При этой температуре происходило выравнивание градиентов плотности, которое в конце процесса носило экспоненциальный характер. При расчете времени релаксации t_p использовались значения плотности в области ее изменения вблизи равновесного значения – $\delta\rho/\rho \lesssim 0,05$, чему соответствует $\delta T/T \lesssim 10^{-5}$. Зависимость t_p от $\tau_n = (T - T_n)/T_n$ для плотностей, близких к критическому значению, в пределах разброса данных имеет степенной характер. Было получено несколько таких зависимостей в интервале плотности – $0,14 < \Delta\rho < 0,14$, где $\Delta\rho = (\rho - \rho_k)/\rho_k$ и температуры – $10^3 < \tau < 3 \cdot 10^2$, где $\tau = (T - T_k)/T_k$. При этом критический индекс этих зависимостей находился в пределах от 0,50 до 0,75. Величина времени релаксации изменялась от 0,5 до 12 минут.

Изменения длины конденсатора и ширины его зазора в 2 раза не привели к изменению времени релаксации.

Если к рассматриваемой релаксации неоднородностей плотности применима масштабная теория критических явлений², то зависимость $t_p \cdot \tau^\nu$ от переменной $\tau \cdot (\Delta\rho)^{-1/\beta}$ должна быть универсальной функцией, где ν – критический индекс времени релаксации (корреляционного радиуса) и β – критический индекс пограничной кривой. И, действительно, это видно из рис.2, где приведены экспериментальные зависимости этих величин для различных плотностей. Значение $\beta = 0,375$ взято из работы¹. Наименьший разброс экспериментальных точек получается, если значение критического индекса $\nu = 0,7$.

Рассмотрим причины наблюдаемой релаксации. При мгновенном установлении вдоль гелия температуры, равной температуре ячейки, замедление процессов релаксации неоднородностей плотности могло бы происходить из-за гидродинамического сопротивления среды. Как показывают оценки, наибольшее замедление в этом случае связано с возрастанием объемной вязкости. Время такой релаксации можно оценить по формуле $t_p = \rho_k^{-1} (\partial P / \partial \rho)^{-1} \cdot \zeta$. Согласно¹: $\partial P / \partial \rho = 1,81 \cdot 10^8 \cdot \tau^{1,116} \text{ см}^2/\text{сек}^2$ и $\zeta = \eta \cdot \tau^{-2}$. При $\eta = 20 \times 10^6 \text{ Пз}$ получается, что даже при $\tau = 10^4 \text{ т}_p \cong 5 \text{ сек}$. Это гораздо меньше наблюдаемого в наших опытах времени релаксации. Время релаксации градиентов температуры в самой медной ячейке также было пренебрежимо малым. Нам представляется, что наблюдаемую релаксацию можно интерпретировать как процесс, связанный с релаксацией неоднородностей температуры в слое⁴ He, находящегося над конденсатором.

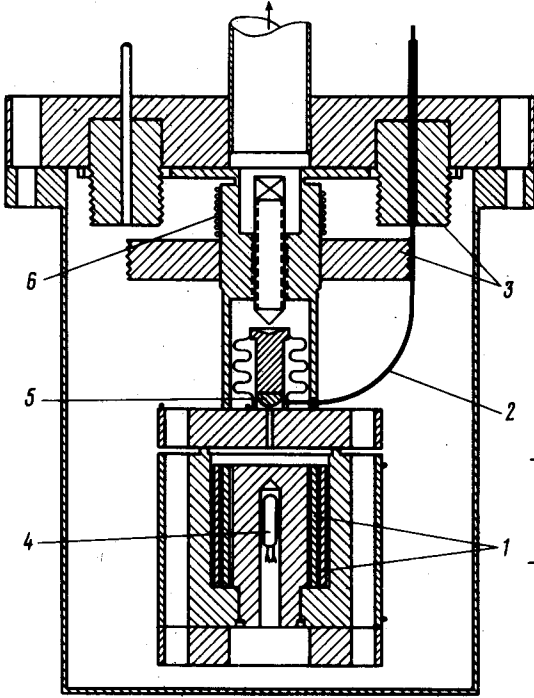


Рис.1. Схема установки

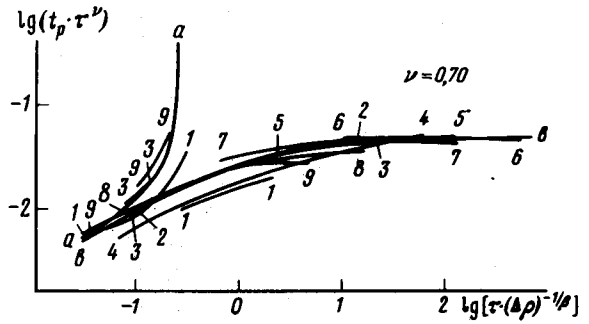


Рис.2.

Рис.2. Масштабная функция времени релаксации неоднородностей плотности вблизи критической точки парообразования⁴ He. Время в минутах. Кривые соответствуют экспериментальным температурным зависимостям t_p для различных плотностей $\Delta\rho$: 1-1 – (-0,137); 2-2 – (-0,100); 3-3 – (-0,087); 4-4 – (-0,067); 5-5 – (-0,050); 6-6 – 0,028; 7-7 – 0,046; 8-8 – 0,073; 9-9 – 0,109; a – a, b – b – масштабная функция температуропроводности соответственно при $\tau < 0$ и $\tau > 0$.

Согласно флуктуационной теории критических явлений время температурной релаксации можно вычислить на основании масштабного уравнения состояния (например, линейной модели), формулы, связывающей сжимаемость и бинарную корреляционную функцию, и урав-

нения, связывающего коэффициент температуропроводности с корреляционным радиусом. Вычисленная таким образом с точностью до константы зависимость $t_p \cdot \tau^\nu$ от $\tau \cdot (\Delta\rho)^{-1/\beta}$ показана на рис.2 (кривые $a - a$ и $b - b$). Значение константы выбрано так, чтобы наилучшим образом удовлетворить экспериментальной масштабной функции. Из рисунка видно соответствие экспериментальной и теоретической зависимостей. Таким образом, наблюдаемое нами замедление релаксации плотности связано с релаксацией неоднородностей температуры вблизи критической точки гелия.

Ранее замедление релаксации плотности и концентрации жидкости вблизи критической точки с критическим индексом времени релаксации от 1 до 1,2 наблюдалось в работе ³. Замедление связывалось с уменьшением коэффициента диффузии при постоянной подвижности частиц. В связи с представленными здесь исследованиями при интерпретации результатов ³ необходимо принимать во внимание выравнивание температуры вдоль жидкости.

В заключение отметим, что значение критического индекса корреляционного радиуса гелия по измерениям ширины линии Рэлея $\nu = 0,543$ ⁴, а по измерениям интенсивности рассеянного света $\nu = 0,63$ ⁵, что находится в удовлетворительном согласии с нашим значением.

Литература

1. Кукарин В.Ф., Мартынец В.Г., Матизен Э.В., Сартаков А.Г. ФНТ, (в печати).
2. Анисимов М.А. ЕАУ, 1974, 114, 249.
3. Скрипов В.П., Виткалов В.С., Колпаков Ю.Д. ЖФХ, 1980, 54, 1754.
4. Ohbayshi K., Ikushima A. J. Low Temp. Phys., 1974, 15, 33.
5. Tominaga A. J. Low Temp. Phys. 1974, 16, 571.

Институт неорганической химии
Академии наук СССР
Сибирское отделение

Поступила в редакцию
11 августа 1981 г.