

ИЗМЕРЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ НА ГРАНИЦЕ РАССЛОЕНИЯ ЖИДКИХ ФАЗ В РАСТВОРЕ He^3 – He^4 МЕТОДОМ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН

С. Т. Болдарев, В. П. Пешков

Метод поверхностных волн применен для определения коэффициента поверхностного натяжения α на границе раздела жидких фаз раствора He^3 – He^4 . α монотонно возрастает от 0,007 до 0,014 эрг/см² при понижении температуры от 0,68 до 0,42°K

Исследование поверхностного натяжения смесей He^3 – He^4 вызывает интерес в связи с обнаружением поверхностных примесных уровней для атома He^3 в слабых растворах He^3 в He^4 [1, 2]. Очень удобным для таких измерений представляется метод капиллярных волн. Однако применявшиеся ранее в жидком He^4 способы возбуждения волн [3, 4] были связаны со значительными энергетическими потерями; в данном случае это могло бы привести к появлению градиентов температуры и концентрации смеси. Нами был изготовлен возбудитель поверхностных волн, почти полностью свободный от паразитных излучений, что позволяет применить его в широком диапазоне температур и концентраций смеси He^3 – He^4 . Действие этого возбудителя основано на эффекте втягивания диэлектрика (жидкого гелия) в сильное электрическое поле. Конструктивно он представлял собой отрезок стеклянной трубки (ϕ 5 мм, длина 11 мм), на которую виток к витку были намотаны в один слой две медные проволочки диаметром 20 мк. Цилиндр был частично погружен в жидкость (ось параллельна поверхности). При подаче напряжения между соседними витками возникали сильные электрические поля, локализованные в слое толщиной порядка шага обмотки. Подача между проволочками напряжения частотой ν вызывала периодические подня-

тия — опускания жидкости в пристенном слое с удвоенной частотой. Малая толщина этого слоя обеспечивала получение достаточно коротких поверхностных волн; частота их легко регулировалась изменением частоты задающего генератора. Волновая картина в камере наблюдалась методом темного поля через прозрачную верхнюю крышку и могла быть сфотографирована при освещении лампы-вспышкой.

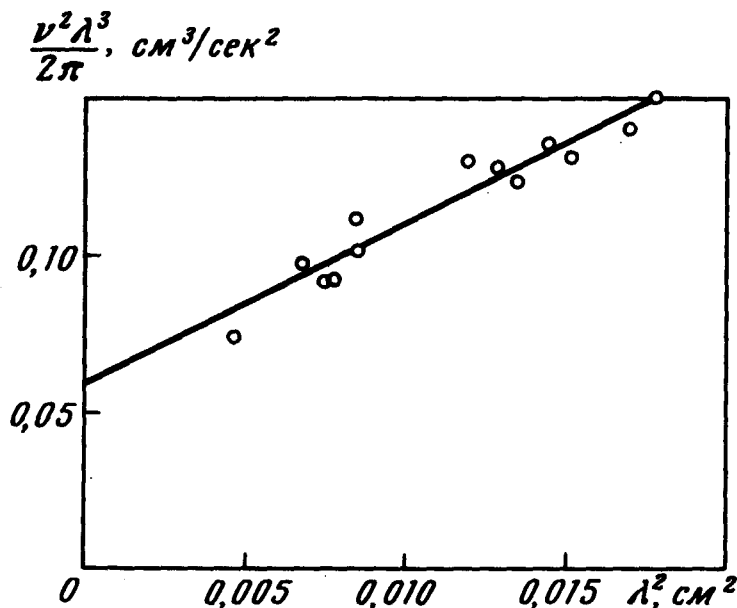


Рис. 1

Этим методом мы провели измерения поверхностного натяжения на границе раздела жидких фаз растворов $\text{He}^3 - \text{He}^4$ в диапазоне температур от $0,42$ до $0,68^\circ\text{K}$. Близость диэлектрических постоянных обеих фаз снижала эффективность возбуждения волн электрическим полем; кроме того, наблюдение было затруднено из-за малой разницы коэффициентов преломления. По этой причине нам удалось получить результаты лишь с небольшой точностью (около 20%) и в сравнительно узкой области частот (от $16,7$ до 40 μ) при температурах, не превышающих $0,685^\circ\text{K}$. Чтобы убедиться, что наблюдаются действительно капиллярно-гравитационные волны, мы проверили закон дисперсии волн в указанном интервале частот. На рис. 1 представлена полученная зависимость между частотой и длиной волны λ в координатах $\nu^2 \lambda^3 / 2\pi = f(\lambda^2)$ при температуре $0,46 \pm 0,01^\circ\text{K}$; прямая показывает теоретическую зависимость с $\alpha = 0,013 \text{ эрг}/\text{см}^2$, даваемую классической формулой

$$(2\pi\nu)^2 = \frac{\alpha}{\rho_1 + \rho_2} k^3 + g \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1 + \rho_2} k \quad (1)$$

(здесь α — коэффициент поверхностного натяжения, $k = 2\pi/\lambda$ — волновое число, ρ_1 и ρ_2 — плотности нижней и верхней фаз, g — ускорение силы тяжести). Эта формула остается в силе и для сверхтекучей жидкости; наши измерения на He^4 при температуре $\sim 1,3^\circ$ подтвердили ее

справедливость в интервале частот от 10 до 1000 μ , в полном согласии с теорией [5]. Точность измерений на границе жидкость – пар была существенно выше (около 3%); результаты контрольных измерений температурной зависимости поверхностного натяжения чистого He^4 ($0,8 \pm 3^\circ\text{K}$, 500 и 600 μ) и He^3 ($0,4 \pm 2,2^\circ$, 300, 400 и 500 μ) совпали с литературными данными.

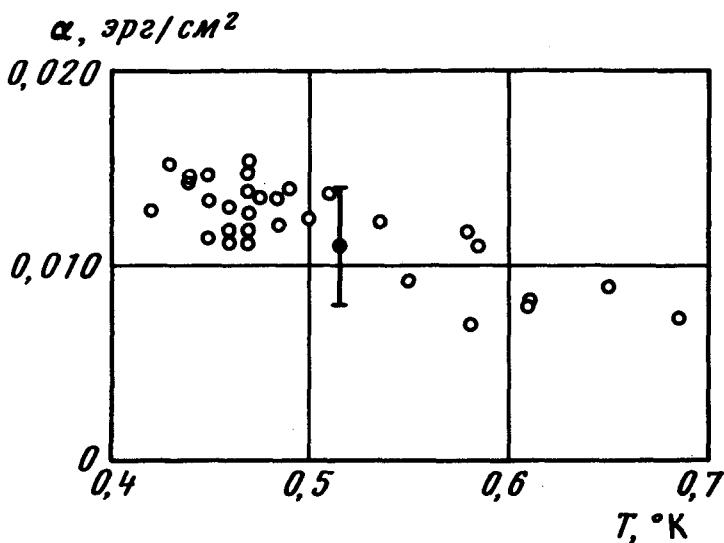


Рис. 2

На рис. 2 представлены полученные значения коэффициента поверхностного натяжения между жидкими фазами раствора $\text{He}^3 - \text{He}^4$ в зависимости от температуры. Большинство точек снято на частоте 22 и 30 μ . В данном интервале температур поверхностное натяжение изменяется в два раза; отчетливо виден монотонный рост при понижении температуры. Значение $\alpha = 0,011 \pm 0,003 \text{ эрг/см}^2$, полученное Гуо и др. [6] при $0,515^\circ$, показано на рис. 2 черным кружком. Результаты Диксона и др. [7], наблюдавших в том же интервале (от $0,68$ до $0,44^\circ\text{K}$) увеличение коэффициента поверхностного натяжения почти в 10 раз, по-видимому, ошибочны.

Отметим, в заключение, что предложенный способ можно рекомендовать для возбуждения поверхностных волн в любом жидком диэлектрике, причем эффективность его будет тем выше, чем больше диэлектрическая постоянная жидкости. Мы надеемся в дальнейшем повысить и точность измерений за счет небольших усовершенствований в оптической системе прибора.

Институт физических проблем
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
6 марта 1973 г.

Литература

- [1] А.Ф. Андреев. ЖЭТФ, 50, 1415, 1966.
- [2] К.Н. Зиновьева, С.Т. Болдарев. ЖЭТФ, 56, 1089, 1969.
- [3] К.А. Pekar, K.R. Atkins. Phys. Rev., 178, 399, 1969.

- [4] P.I. King, A.F.G. Wyatt. Proc. Roy. Soc., A322, 355, 1971.
- [5] И.М.Халатников. Введение в теорию сверхтекучести. М., изд. Наука, 1965, стр. 87.
- [6] H.M.Guo, D.O.Edwards, R.E.Sarwinski, J.T.Tough. Phys. Rev. Lett., 27, 1259, 1971.
- [7] D.P.E.Dickson, D.Caroline, E.Mendoza. Phys. Lett., 32A, 419, 1970.
-