

Письма в ЖЭТФ, том 15, вып. 9, стр. 504.– 508

5 мая 1972 г.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА МАССЫ ИЗОТОПА He^3
В ЖИДКОМ HeI МЕТОДОМ ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ**

Г. М. Дробркин, В. А. Носкин, А. З. Ягуд

Исследование явлений переноса в жидком гелии вблизи T_λ представляет несомненный интерес для широкого круга вопросов, связанных с физикой фазовых переходов. Однако, существующие эксперимен-

тальные данные недостаточны для однозначного выяснения физической картины явления [1 – 5]. Вместе с этим большое сечение поглощения тепловых нейтронов ядрами He^3 позволяет получить непосредственные данные о переносе массы изотопа в относительно слабых растворах ($\sim 1\%$) [6].

Принцип измерений состоит в следующем: в определенный момент времени капилляр, заполненный жидким He^4 , сообщается с $\approx 1\%$ -ным раствором смеси $\text{He}^3 - \text{HeI}$, объем которой превышает объем капилляра в $200 \div 300$ раз. Вся система находится при заданной температуре, а количество He^3 , проходящего в процессе массопереноса в капилляр, определяется по изменению интенсивности пронизывающего его нейтронного пучка:

$$I/I_0 = \exp(-\sigma N), \quad (1)$$

где I_0 и I – интенсивности в начальный момент времени ($t = 0$) и к моменту времени t , соответственно; N – полное число атомов He^3 , попавшее в исследуемый объем ко времени t ; σ – сечение поглощения тепловых нейтронов ядрами He^3 . Высокая чувствительность методики обеспечивается очень большим значением величины σ , которая прямо пропорциональна длине волны λ нейтронного облучения и в нашем конкретном случае ($\lambda = 4\text{А}$) достигает величины $1,2 \cdot 10^4 \text{ бн}$. Остальные эффекты рассеяния и поглощения в исследуемой смеси составляют величину $\sim 5 \text{ бн}$.

В специальных исследованиях было проверено, что сечение поглощения нейтронов не зависит от температуры.

Измерение температуры проводилось по упругости паров гелия кактотометром КМ-6 с точностью определения уровней ртути в манометре $\pm 0,02 \text{ мм}$. Стабильность температуры в процессе диффузии контролировалась путем непрерывной записи показаний термометра сопротивления. Уход и нестабильность температуры за время проведения одного эксперимента не превышали нескольких тысячных долей градуса.

Изменение интенсивности определялось интервалами до 100 сек в течение двух часов. Типичные кривые такого измерения для разных температур приведены на рис. 1.

Из рассмотрения приведенного рисунка легко убедиться в том, что качественной характеристикой скорости процесса массопереноса может служить величина относительного изменения интенсивности нейтронного пучка за некоторое контрольное время на кривой счета. Из соображений оптимальности, изложенных в [6], мы это контрольное время выбрали равным двум часам.

Таким образом температурная зависимость относительного изменения интенсивности I_0/I_{2r} (I_0 – начальная интенсивность, I_{2r} – интенсивность нейтронного пучка через два часа проведения процесса массопереноса) полностью отражает собою температурную зависимость скорости массопереноса.

Можно убедиться, что при горизонтальном расположении капилляра, в котором происходит процесс массопереноса, уравнения гидродинамики не имеют стационарных решений, соответствующих чисто диффузионному механизму, т. е. вертикальному расположению изоконцен-

трационных линий¹⁾. Иными словами, такая геометрия опыта неизбежно сопровождается возникновением макроскопических потоков, также переносящих массу. Поэтому естественно поставить вопрос, каков относительный вклад этих двух конкурирующих механизмов массового переноса²⁾.

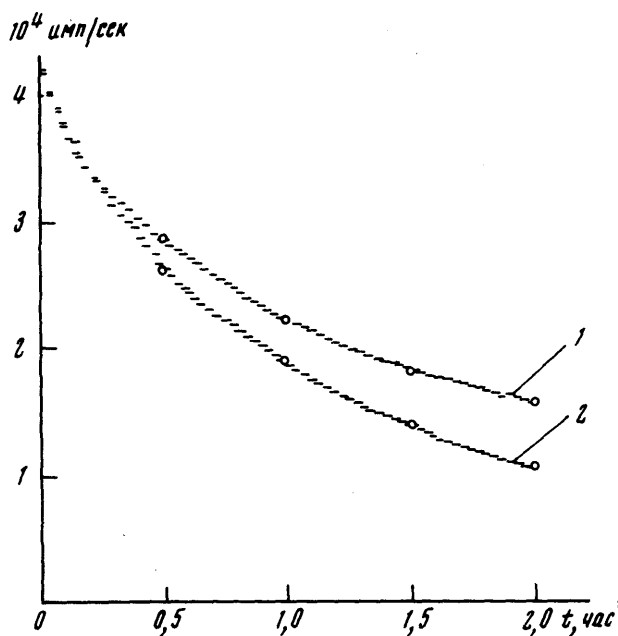


Рис. 1. Изменение интенсивности нейтронного пучка, прошедшего через капилляр: кривая 1 — $T = 2,24^\circ\text{K}$, кривая 2 — $T = 2,31^\circ\text{K}$

Теоретически этот вопрос рассмотрели Гуревич и Лайтман с использованием результатов работ [7, 8]³⁾. По сравнению с экспериментальной ситуацией, теоретическая задача заметно идеализировалась, ибо капилляр круглого сечения диаметром d заменялся плоскопараллельными пластинами, расположенными на расстоянии d одна от другой. Были проведены численные оценки вкладов каждого из указан-

¹⁾ Авторы считают своим приятным долгом поблагодарить проф. В.П. Пешкова и его сотрудников за то, что они обратили наше внимание на существо излагаемой ниже проблемы и за многочисленные дискуссии по этому вопросу.

²⁾ Воспользовавшись анализом, аналогичным проведенному в [7, 8] можно убедиться, что при достаточно больших числах Грасгоффа (для диаметра капилляра $d = 2$ мм) возникают статические конвективные вихри. В принципе, они могли бы служить источником немонотонной температурной зависимости скорости массопереноса. Подобные же оценки показывают, что при $d = 0,2$ мм такие вихри не возникают.

³⁾ Авторы чрезвычайно благодарны Гуревичу и Лайтману за их любезное согласие провести излагаемые расчеты.

ных механизмов для двух значений: $d = 2 \text{ мм}$ и $d = 0,2 \text{ мм}$. Оказалось, что в первом случае конвективным переносом пренебрегать нельзя. В то же время для $d = 0,2 \text{ мм}$ его относительный вклад пренебрежимо мал. А поэтому нужно думать, что такое пренебрежение для капилляра круглого сечения и подавно справедливо.

Полученные нами на эксперименте результаты изучения температурной зависимости скорости массопереноса для двух указанных выше диаметров приведены на рис. 2.

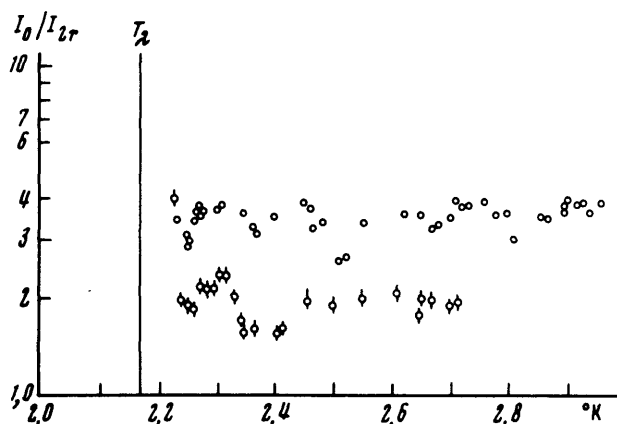


Рис. 2. Температурная зависимость скорости массопереноса He^3 в HeI :
 $\circ - d = 2 \text{ мм}$, $\diamond - d = 0,2 \text{ мм}$

Из сопоставления представленных на рис. 2 результатов (а также данных работы [6]) представляется возможным следующие выводы:

1. Скорость массопереноса изотопа He^3 в жидком HeI имеет немонокотную температурную зависимость, причем полученный результат не зависит от длины волны нейтронов и интенсивности нейтронного потока.

2. Полученные на эксперименте в наиболее благоприятной ситуации (диаметр капилляра $d = 0,2 \text{ мм}$) значения скоростей массопереноса лежат, по оценкам, на нижнем пределе экспериментально-определенных в [9] значений коэффициента диффузии. Отметим, что в [9] исследования проводились в вертикально расположенном капилляре, таким образом автоматически исключался процесс влияния конвективного переноса.

3. Тривиальным механизмом конвекции, наблюдаемую температурную немонотонность скорости массопереноса не объяснить. Скорее всего указанный механизм дает вклад в фоновую часть эффекта, не изменяя существенно качественного характера немонотонности.

В заключение авторы приносят свою благодарность проф. Д.М.Каминкеру за постоянный интерес к работе и Э.Г.Таровику за помощь при проведении экспериментов.

Литература

- [1] B.I.Halpern, P.C.Hohenberg. Phys. Rev., **188**, 898, 1969.
 - [2] G.Ahlers. Phys. Rev. Lett., **24**, 1333, 1970.
 - [3] D.E.Chang, H.E.Rorschach. Proceedings of LT-12, Japan, 1970.
 - [4] A.Griffin. Can. J. Phys., **47**, 429, 1969.
 - [5] M.A.Eggington, A.J.Legget. J. Low Temp. Phys., **5**, 275, 1971.
 - [6] Г.М.Драбкин, В.А.Носкин, В.А.Трунов, А.Ф.Щебетов, А.З.Ягуд. ЖТФ, **1**, 1972.
 - [7] Р.В.Бирих. ПММ, **30**, 356, 1966.
 - [8] Р.Н.Рудаков. ПММ, **30**, 362, 1966.
 - [9] A.Carreri. Nuovo Cim., **13**, 148, 1959.
-