

Б. Н. ЕСЕЛЬСОН и Б. Г. ЛАЗАРЕВ

## О СКОРОСТИ ПЕРЕНОСА ПО ПЛЕНКЕ He II

(Представлено академиком Л. Д. Ландау 3 X 1951)

Эффект переноса по пленке He II был изучен довольно тщательно рядом авторов (<sup>1-11</sup>). В результате большого числа экспериментов было установлено, что скорость переноса между двумя уровнями жидкого гелия в сосудах, сообщающихся по пленке, определяется температурой, и можно было заключить, что при постоянной температуре скорость переноса практически остается постоянной до полного выравнивания уровней.

Однако недавно появилось несколько работ (<sup>12, 13</sup>), в которых было показано, что в особых условиях скорость переноса при постоянной температуре зависит от расстояния между наивысшим уровнем гелия и краем сосуда ( $H$ ). Кроме того, оказалось, что скорость переноса может достигать значений на порядок больших, чем это было установлено раньше (<sup>9</sup>). Такие результаты были получены при использовании сосуда особой формы (капилляр, оканчивающийся шариком (<sup>12</sup>)) и при тщательной защите сосуда от теплоизлучения (<sup>13</sup>). В дальнейшем выяснилось (<sup>14, 15</sup>), что эти аномальные свойства переноса наблюдаются в тех случаях, когда стенки сосуда покрыты тонким слоем твердого воздуха, что могло иметь место при заполнении прибора путем конденсации недостаточно чистого гелия. Этим самым, как будто бы, было показано, что большое значение скорости и ее зависимость от  $H$  могут быть приписаны загрязнению поверхности сосуда.

Однако, несмотря на, казалось бы, на полную реабилитацию ранее установленных свойств переноса, назрела явная необходимость в постановке новых опытов по определению скорости переноса. Дело в том, что даже в опытах, проведенных крайне тщательно (<sup>5, 8</sup>), обнаруживалась большая скорость переноса, когда уровень жидкого гелия находился вблизи края сосуда, и в дальнейшем слабое уменьшение скорости переноса по мере уменьшения разности уровней, что не получило полного объяснения. С другой стороны, до сих пор измеренную скорость переноса приходилось исправлять на нормальное испарение, ампула находилась в дьюаре, температура в котором поддерживалась откачкой гелия, что могло привести к некоторым ошибкам. Так как речь идет о важном для теории He II вопросе, о существовании критической скорости переноса, возникло естественное желание поставить новые опыты в условиях, исключающих по возможности все искажающие обстоятельства.

В настоящей статье сообщаются некоторые результаты опытов, поставленных в таких условиях.

Как обычно, скорость переноса определялась при наблюдении за изменением уровня гелия в стеклянной ампуле, но, в отличие от прежних опытов, ампула теперь помещалась не просто в дьюар, в котором находился жидкий гелий, а в стеклянный сосуд с медными шлифами, который окружался медным экраном со щелями для наблюдения за

уровнями и заполнялся жидким гелием из дьюара через вентиль. Шлиф, расположенный в верхней части прибора, позволял устанавливать ампулу на желаемой высоте. Такое устройство предохраняло стенки ампулы от возможного загрязнения твердым воздухом, исключало ошибки, связанные с нормальным испарением, и до минимума снижало подвод теплоизлучения к ампуле.

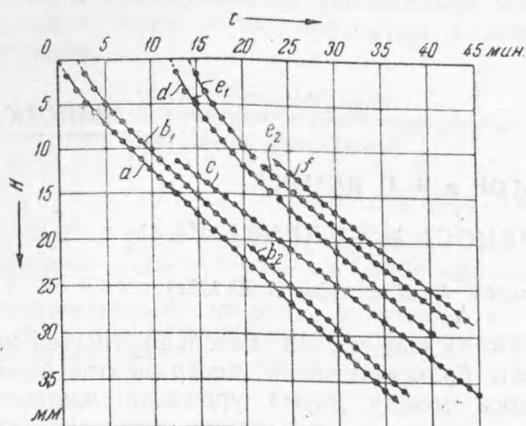


Рис. 1. Зависимость высоты уровня гелия от времени.  $T = 1,52^\circ \text{K}$

опускалась так, чтобы уровень гелия в ней был ниже уровня гелия в сосуде, и определялась скорость натекания гелия в ампулу.

Опыты были поставлены с тремя различными стеклянными ампулами. Одна из них была цилиндрическая и имела диаметр 2,54 мм; вторая, того же диаметра, имела медное дно для улучшения теплообмена; третья имела цилиндрическую часть того же диаметра, а внизу переходила в шарик диаметром 20 мм. Последнее имело целью увеличить количество жидкости в ампуле.

Изучалась скорость изменения уровня в ампулах как при вытекании, так и при натекании. Типичные результаты представлены на рис. 1, на котором изображена зависимость от времени  $t$  расстояния уровня гелия от края ампулы  $H$ . Для удобства рассмотрения кривые раздвинуты по оси абсцисс. Кривая  $a$  относится к случаю непрерывного вытекания из стеклянной ампулы, наполненной до края жидким гелием. Отчетливо видно, что скорость изменения уровня непрерывно меняется со временем, не достигая постоянного значения вплоть до полного выравнивания уровней. Детальное исследование показало, что процесс переноса определяется величиной  $H$  и не зависит от разности уровней, кроме заключительной стадии перетекания, когда скорость переноса определяется разностью уровней. Значения скорости переноса вдали от края ампулы близки к ранее установленным значениям <sup>(9)</sup>. Для получения кривой  $b$  ампула была поднята частично ( $b_1$ ), а после выравнивания уровней была поднята дополнительно ( $b_2$ ). Такое ступенчатое поднимание ампулы приводит к таким же результатам, как и в случае непрерывного вытекания — кривая  $b$  параллельна кривой  $a$ .

Иная картина наблюдается в том случае, если ампула была заполнена жидким гелием не до края без погружения ампулы, а по пленке. Для этого ампула опускалась на желаемую глубину в гелий и после выравнивания уровней приподнималась. Наблюдаемая в этом случае скорость вытекания заметно меньше (кривая  $c$ ), чем в случае вытекания из ампулы, заполненной погружением, для одинаковых  $H$ .

Кривые  $d$ ,  $e$ ,  $f$  получены аналогичным путем для ампулы с медным дном, причем ампула с шариком приводит к таким же результатам. Здесь  $d$  — непрерывное вытекание,  $e$  — ступенчатое и  $f$  — вытекание после частичного заполнения ампулы по пленке. На этот раз уменьше-

ние скорости наблюдается как в случае дополнительного поднятия ампулы после выравнивания уровней, так и после заполнения ампулы гелием по пленке (кривая  $e$  параллельна кривой  $f$  и обе более пологи, чем кривая  $d$ ).

Натекание происходит в таких условиях, когда  $H$  в течение всего опыта остается постоянным. При этом остается постоянной и скорость натекания. Эта скорость определяется величиной  $H$ , увеличиваясь с уменьшением  $H$ . Сравнение скорости натекания и скорости вытекания для одного и того же  $H$  показывает, что скорость натекания несколько меньше. Для сравнения с результатами других авторов были проведены такие же опыты с стеклянной ампулой в обычных условиях, когда ампула находилась просто в дьюаре с гелием. В этом случае все указанные особенности мало заметны и, вероятно, в таких экспериментальных условиях они не могли быть ранее обнаружены.

Несмотря на то, что сейчас еще нет возможности полностью объяснить все обнаруженные закономерности, можно заключить, что эффект переноса по пленке значительно сложнее, чем это казалось до сих пор, и что, по всей вероятности, на процесс переноса оказывают существенное влияние тепловые эффекты, возникающие при переносе. В пользу такой точки зрения говорит уменьшение скорости вытекания перед выравниванием уровней, что, возможно, связано с возникновением термомеханического эффекта. Эти соображения подтверждаются существованием меньшей скорости вытекания, если перед этим ампула наполнялась гелием по пленке, и, наконец, об этом же говорит отличие эффекта переноса для стеклянной ампулы и ампулы с медным дном или шариком. Можно предположить, что в процессе переноса появляется разность температур между гелием в ампуле и гелием в приборе, которая вызывает пере конденсацию гелия. Не исключена также возможность, что процесс переноса связан с предисторией образования пленки.

Перечисленные особенности эффекта переноса обнаруживаются при большом постоянстве температуры. В наших опытах колебания температуры в дьюаре не превышали  $3 \cdot 10^{-4}^\circ$ , во внутреннем же сосуде эти колебания были еще меньше.

Таким образом, кажется возможным объяснить причину противоречивых результатов, полученных разными авторами. При использовании прежней методики, не обеспечивающей сглаживание пульсацией давления над пленкой, зависимость скорости переноса от  $H$  либо не обнаруживается вовсе, либо слабо проявляется (7, 15-17). Методика, использованная нами, неизменно приводит к явно выраженной зависимости скорости переноса от  $H$  (18, 19) и другим особенностям эффекта переноса, приведенным в настоящей статье.

Физико-технический институт  
Академии наук УССР

Поступило  
20 IV 1951

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> А. Кикоин и Б. Лазарев, *Nature*, **141**, 912 (1938). <sup>2</sup> А. Кикоин и Б. Лазарев, там же, **142**, 289 (1938). <sup>3</sup> А. Кикоин и Б. Г. Лазарев, *Физ. зап. АН УССР*, **9**, 1 (1940). <sup>4</sup> П. Г. Стрелков, *ЖЭТФ*, **10**, 743 (1940). <sup>5</sup> П. Г. Стрелков, Докторская диссертация, Ленинград, 1938. <sup>6</sup> J. Daunt and K. Mendelssohn, *Nature*, **141**, 911 (1938). <sup>7</sup> J. Daunt and K. Mendelssohn, *ibid.*, **142**, 475 (1938). <sup>8</sup> J. Daunt and K. Mendelssohn, *Proc. Roy. Soc., A*, **170**, 423 (1939). <sup>9</sup> J. Daunt and K. Mendelssohn, *ibid.*, **A**, **170**, 439 (1939). <sup>10</sup> J. Daunt and K. Mendelssohn, *Nature*, **143**, 719 (1939). <sup>11</sup> B. Rollin and F. Simon, *Physica*, **6**, 219 (1939). <sup>12</sup> K. Atkins, *Nature*, **161**, 925 (1948). <sup>13</sup> B. de Haas and van den Berg, *Rev. Mod. Phys.*, **21**, 524 (1949). <sup>14</sup> R. Powers and K. Mendelssohn, *Nature*, **163**, 870 (1949). <sup>15</sup> R. Bowers and K. Mendelssohn, *Proc. Phys. Soc., A*, **63**, 1318 (1950). <sup>16</sup> J. Brown and K. Mendelssohn, *ibid.*, **A**, **63**, 1312 (1950). <sup>17</sup> K. Mendelssohn and G. White, *ibid.*, **A**, **63**, 1328 (1950). <sup>18</sup> K. Atkins, *Proc. Roy. Soc.*, **203**, 119 (1950). <sup>19</sup> K. Atkins, *ibid.*, **203**, 240 (1950).