

ФИЗИКА

П. Л. КАПИЦА, член-корреспондент Академии Наук СССР

**ВЯЗКОСТЬ ЖИДКОГО ГЕЛИЯ ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ  
НИЖЕ ТОЧКИ  $\lambda$**

Жидкий гелий при понижении давления, достигая температуры  $2^{\circ}.19$  К, переходит в другую модификацию, называемую гелий II; она имеет ряд интересных свойств. Одно из самых замечательных было недавно открыто Кизом<sup>(1)</sup>. Оно заключается в том, что теплопроводность ее в три миллиона раз превышает теплопроводность обычной модификации, называемой гелий I. Другие работы по изучению этой теплопроводности, произведенные Алленом, Пейрлсом и Уддином<sup>(2)</sup>, показали, что она отличается от обычной еще и тем, что зависит например от градиента температуры.

Для объяснения этих аномальных явлений мне казалось, что возможно сделать предположение, что эта теплопроводность не есть истинная, а происходит благодаря конвекционным потокам. Но для возникновения и существования этих конвекционных потоков необходимо, чтобы гелий II обладал исключительно малой вязкостью. До сих пор известны только одни измерения вязкости гелия, произведенные в Торонто<sup>(3)</sup>. При этих измерениях было найдено, что при переходе из модификации I в модификацию II происходит только незначительное уменьшение вязкости гелия. Так, вязкость ниже точки  $\lambda$  в 3 раза меньше, чем вязкость гелия при нормальном давлении ( $4^{\circ}.22$  К), и в 8 раз меньше вязкости перед  $\lambda$  точкой перехода ( $2^{\circ}.40$  К). К сожалению в этих измерениях не было выяснено, являлось ли движение ламинарным или турбулентным. Это важно знать, так как жидкий гелий является жидкостью с удельным весом  $\rho=0.15$ , незначительно отличающимся от удельного веса обычной жидкости, в то время как его вязкость  $\mu$  того же порядка, как и у газов. Этот факт делает кинематическую вязкость  $\nu = \mu/\rho$  исключительно малой сравнительно со всеми известными жидкостями. Вследствие этого, если вязкость гелия изучается в обычных вискозиметрах, надо особенно внимательно следить, чтобы рейнольдсовское число не достигало больших значений, чтобы сохранить движение жидкости ламинарным. В особенности при том методе, который был выбран работниками в Торонто—наблюдения за погашением колебаний жидкости в аксиально-оксидирующем цилиндре,—рейнольдсовское число должно иметь исключительно малое значение, так как в такого рода движениях особенно легко возникает турбулентное состояние.

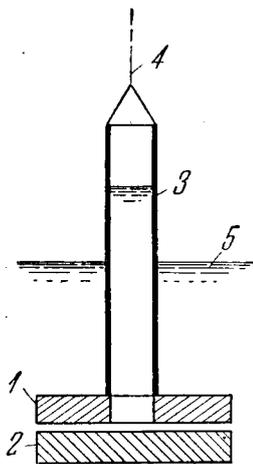
Подсчитывая условия эксперимента в Торонто, можно показать, что эти условия совсем не были выполнены, и можно с уверенностью сказать, что результаты их относятся к вихревому движению, вследствие чего полу-

ченные величины для вязкости жидкого гелия не соответствуют истинным и могут быть во сколько угодно раз больше\*.

Измерения вязкости жидкого гелия—трудная задача в виду необходимости создания такого метода, в котором можно было бы сохранять ламинарное движение даже при его малой кинематической вязкости.

Мы разработали следующий метод, при котором можно мерить вязкость жидкостей с гораздо меньшей кинематической вязкостью, чем обычно. Схематически прибор показан на фигуре.

Вязкость измерялась по разности давлений жидкостей, текущих в очень узком щелевом зазоре, образуемом между двумя дисками—1 и 2. Эти диски были сделаны из оптического отшлифованного стекла и расстояние между



ними могло устанавливаться посредством прокладок из слюды. Внешний диаметр дисков был 3 см, и отверстие в верхнем диске было 1.5 см. Над этим отверстием ставилась трубка 3. Посредством ниточки 4 весь этот прибор мог опускаться и подниматься в жидком гелии, и уровень жидкости в трубке 3 мог быть установлен выше или ниже уровня жидкости 5 в окружающем дьюаре. Количество протекаемой жидкости и давление столба измерялись катетометром.

Измерения дали с самого начала интересные результаты. Например в случае, когда диски 1 и 2 были прижаты друг к другу без слюдяных прокладок,—по интерференционным полосам можно было видеть, что образовавшаяся щель была порядка 0.5  $\mu$ ,—тогда гелий I протекал еще еле заметно: на протяжении нескольких минут наблюдения высота столбика в трубке 3 менялась лишь на долю миллиметра. В случае же гелия II наблюдалось сильное протекание, и уровень выравнивался в течение нескольких секунд.

Из числовых данных измерений можно было заключить, что вязкость гелия модификации II по крайней мере в 1 500 раз меньше, чем гелия модификации I при 4° 22 К. Экспериментальные данные также показывают, что в случае гелия II разность давления на краях щели пропорциональна квадрату скорости течения гелия через щель, что показывает, что и в нашем случае движение потока гелия в щели было еще турбулентным. Но если мы все-таки вычислим вязкость, считая движение ламинарным, мы получим ее порядка  $10^{-9}$  в абсолютных единицах, что очевидно представляет собой верхний предел возможной вязкости, в то время как истинная вязкость может быть во сколько угодно раз меньше. Из этих данных мы можем установить также нижний предел для рейнольдсовского числа, которое получается равным 50 000. Это показывает, что турбулентное движение еще свободно могло происходить и в нашем тонком зазоре.

Мы теперь разрабатываем метод, при котором надеемся иметь возможность установить еще более низкий предел для вязкости гелия II, но уже и те результаты, которые нами получены, кажутся достаточно значительными, так как жидкий гелий II, имея вязкость  $10^{-9}$ , уже обладает вязкостью

\* Промер вязкости гелия I показал, что в пределах от 4° 22 К до  $\lambda$ -точки (2° 19 К) она не зависит от температуры в пределах 5% и величина ее приблизительно равна  $11 \cdot 10^{-6}$ . Это дает экспериментальное подтверждение тому, что вязкость, полученная в Торонто, даже для гелия I гораздо выше действительной. Температурная же зависимость ее, наблюдаемая в Торонто, повидимому объясняется увеличением плотности гелия по мере понижения температуры к точке  $\lambda$ ; увеличение плотности увеличивает турбулентность, производя кажущееся увеличение вязкости.

по крайней мере в 10 000 раз меньшей, чем водород в газообразном состоянии при самой низкой температуре, при которой вязкость его имеет наименьшее значение. Как известно, вязкость газообразного водорода считалась наименьшей измеренной вязкостью, известной для какой-либо текучей среды. Мне кажется, что этого предела уже достаточно, чтобы по сравнению с явлением сверхпроводимости считать, что жидкий гелий ниже точки  $\lambda$  принимает особую модификацию, которую в виду ее исключительно малой вязкости можно было бы назвать «сверхтекучей».

Как мы уже указывали, такой исключительной текучестью гелия II по видимому поддерживается то объяснение ненормальной теплопроводности жидкого гелия II и тех аномалий, о которых говорилось в начале заметки. Очевидно, что турбулентное движение гелия II, которое может в нем возникнуть благодаря всем техническим манипуляциям, которые с ним производят во время опыта, в виду его большой текучести не будет гаситься даже в капиллярных трубках, которые употребляются для измерения теплопроводности. Такое вихревое движение конечно будет гораздо более действительно производить теплопередачу. При этой большой текучести гелия II будут также легко возникать конвекционные потоки; величина их будет зависеть от разности температур, при которой измеряется теплопроводность. Таким образом можно будет объяснить зависимость теплопроводности гелия от температурного градиента, наблюдаемую Алленом, Нейрлсом и Уддином.

Институт физических проблем.  
Академия Наук СССР.  
Москва.

Поступило  
4 XII 1937.

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> Physica, **3**, 359 (1936). <sup>2</sup> Nature, **140**, 62 (1937). <sup>3</sup> Burton, Nature, **135**, 265 (1935); Wilhelm, Misener and Clark, Proc. Roy. Soc., A. **151**, 342 (1935).