

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

МЕТОДИЧЕСКИЕ ЗАМЕТКИ

378.147:536.423.18

ОПЫТЫ С ПЕРЕГРЕТОЙ ЖИДКОСТЬЮ

Обычно наблюдаемое кипение жидкости связано с присутствием в системе искусственных центров парообразования. Если эти центры удалить и обеспечить хорошее смачивание стенок сосуда жидкостью, ее удается заметно перегреть. В учебниках не рассматривается вопрос о величине достижимых перегревов, и сам факт возможности длительного существования сильно перегретой жидкости мало известен. Было бы полезно ввести в физический практикум соответствующую лабораторную работу.

Жидкость в виде маленьких капелек легко перегреть на десятки градусов выше температуры нормального кипения, если воспользоваться подходящей жидкой средой. Для насыщенных углеводородов метанового ряда такой средой может служить серная кислота. На рис. 1 приведена схема прибора, который используется на физико-техническом факультете Уральского политехнического института для исследовательских целей и в студенческом практикуме. Стекло́нная трубка 4 заполнена серной кислотой. В колбочке 2 с помощью магнитной вращающейся мешалки 1 происходит эмульгирование в серной кислоте пентана, гексана или другой изучаемой жидкости. Капельки диаметром 0,1—0,5 мм через соединительный кашпляр 3 попадают в трубку 4 и сливаются в ней. На алюминиевый блок 7 намотана печка. В серной кислоте создается вертикальный градиент температуры, который постепенно уменьшается с высотой и в районе огня составляет $\sim 0,1$ град/мм. Вслиывающие капельки перегреваются, по достижении определенной температуры теряют устойчивость относительно образования в них зародышевых пузырьков пара и взрывообразно испаряются. Характерный треск при этом отчетливо слышен в пределах комнаты. Подводя к месту взрыва термомпару, можно с хорошей точностью определить соответствующую

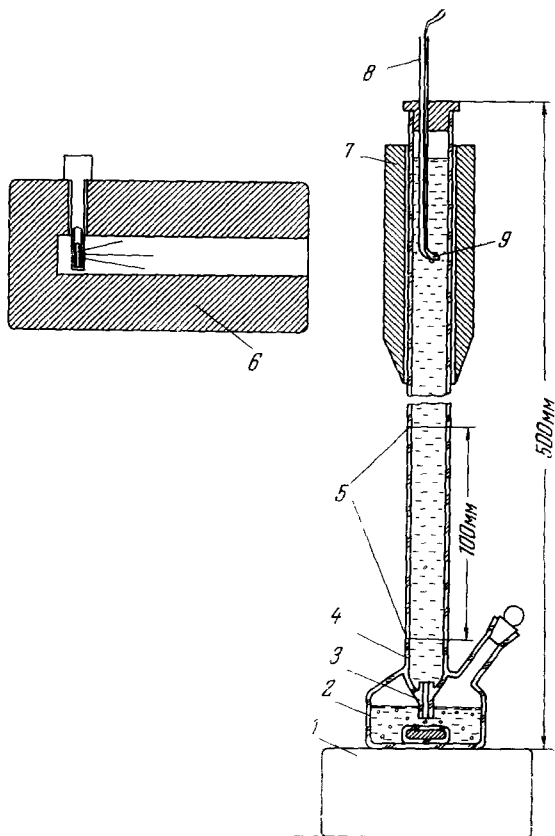


Рис. 1. Схема прибора для определения времени жизни капелек перегретой жидкости.

температуру среды, а затем и температуру капельки. Поправку, связанную с недогревом всплывающей капельки, удастся снизить до десятой и менее доли градуса¹.

Более детальную информацию о достижимом перегреве жидкости можно получить, останавливая капельки при заданной температуре. Для этого служит стеклянная трубочка 8 с запаянным нижним концом. Конец слегка расплюснен, плоско сошлифован и имеет небольшое углубление ($\sim 0,2$ мм). Внутри трубочки до упора вставлена измерительная термopара медь — константан, провода диаметром 0,1 мм. Горизонтальный «пяточок» 9 смещен относительно оси трубочки. Это позволяет поворотом трубочки в тефлоновой пробке либо ставить «пяточок» на пути капельки, либо отводить его в сторону. Наблюдения показали, что капельки в состоянии упора и при свободном всплывании взрываются при одинаковой температуре. Возможно, капелька не касается стекла, а отделена от него тонкой прослойкой кислоты. На «пяточке» после взрыва остается пузырек пара; его легко стряхнуть резким поворотом трубочки, и этого оказывается достаточно для подготовки «пяточка» к следующему опыту. Капельки удобнее дускать короткими сериями, мешалку включать на 2—3 сек. Размер капельки определяется по времени всплывания между двумя метками 5 на пильном, не нагреваемом участке трубки. Расстояние между метками 100 мм.

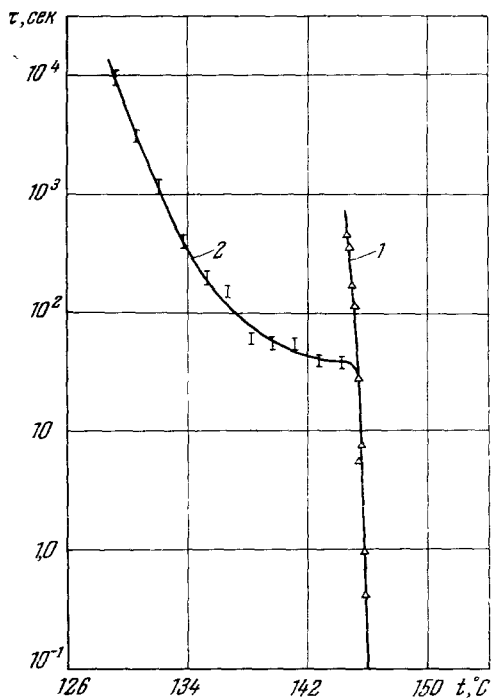


Рис. 2. Зависимость среднего времени жизни капелек перегретого *n*-пентана от температуры при атмосферном давлении: 1 — в естественных условиях; 2 — под действием γ -излучения; нормальная температура кипения *n*-пентана $36,1^\circ\text{C}$.

Предлагаемый метод прост и дает воспроизводимые результаты, согласующиеся с теорией спонтанного вскипания чистой жидкости²⁻⁵. При наблюдении времени жизни перегретых капелек выявляется резкая температурная граница достижимого перегрева. Кривая 1 на рис. 2 показывает в полулогарифмическом масштабе зависимость от температуры среднего времени жизни τ капелек *n*-пентана при перегревах, превышающих 100. Температура нормального кипения *n*-пентана $36,1^\circ\text{C}$. Данные для разных капелек приведены к одинаковой массе $7 \cdot 10^{-6}$ г, что соответствует диаметру 0,28 мм при 20 С. Для указанной массы жидкости по формуле Деринга — Фольмера² (см. также⁶) значение $\tau = 1$ сек достигается при температуре 147 С.

Прибор используется также для определения времени жизни капелек под действием γ -излучения в зоне чувствительности перегретой жидкости. Опыты такого рода аналогичны исследованиям плотности следов ионизирующих частиц в пузырьковых камерах. В обоих случаях определяющим фактором является вероятность инициации микрообъемов перегретой жидкости. Источник Co^{60} заключен в свинцовую пушку 6, установленную на поворотной платформе. Расстояние от источника до прибора подбирается таким, чтобы средние времена жизни капелек в небольшой температурной области были порядка десятков секунд. Тогда удобно фиксировать как малые, так и большие времена жизни. Применение источника низкой активности (0,3 мг-экв Ra) делает проведение опытов безопасным.

При данной температуре времена жизни распределяются по неаусоновскому закону с дисперсией, равной среднему времени τ . Отсюда вытекает необходимость наблюдения большого числа капелек. На рис. 2 показана температурная зависимость τ для капелек перегретого *n*-пентана под действием γ -излучения (кривая 2). Данные относятся к массе $7 \cdot 10^{-6}$ г и получены из опытов с 60—160 каплями при каждой температуре. Из графика видна условность понятия нижней границы области чувствительности к излучению перегретой жидкости. С понижением температуры от 144 до 134°C среднее время жизни капельки возрастает от 36 до 400 сек. Применительно к пузырьковым камерам это означает уменьшение плотности следа на порядок при прочих равных условиях.

При данной температуре времена жизни распределяются по неаусоновскому закону с дисперсией, равной среднему времени τ . Отсюда вытекает необходимость наблюдения большого числа капелек. На рис. 2 показана температурная зависимость τ для капелек перегретого *n*-пентана под действием γ -излучения (кривая 2). Данные относятся к массе $7 \cdot 10^{-6}$ г и получены из опытов с 60—160 каплями при каждой температуре. Из графика видна условность понятия нижней границы области чувствительности к излучению перегретой жидкости. С понижением температуры от 144 до 134°C среднее время жизни капельки возрастает от 36 до 400 сек. Применительно к пузырьковым камерам это означает уменьшение плотности следа на порядок при прочих равных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. П. Скрипов и В. П. Руккушкин, ЖФХ 35, 2811 (1961).
2. M. Volmer, Kinetik der Phasenbildung, Dresden, 1939.
3. Я. В. Зельдович, ЖЭТФ 12, 525 (1942).
4. Я. П. Френкель, Кинетическая теория жидкостей, Собр. избр. тр., т. III, М., Изд-во АН СССР, 1959.
5. Ю. Каган, ЖФХ 34, 92 (1960).
6. В. П. Скрипов, Г. В. Ермаков, ЖФХ 38, 396 (1964).