

А. С. БОРОВИК-РОМАНОВ и П. Г. СТРЕЛКОВ

**ГАЗОВЫЙ ТЕРМОМЕТР НОВОГО ТИПА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ТЕМПЕРАТУРЫ КИПЕНИЯ ВОДОРОДА***(Представлено академиком М. М. Дубининым 9 I 1952)*

1. Предпринимая измерения, имеющие целью связать температуру кипения водорода с международной шкалой, мы основные усилия направили на устранение ошибок, вытекающих из существования в газовом термометре вредных пространств. Поскольку поправки, обусловленные наличием вредных пространств, всегда велики и определение их достаточно затруднительно, мы изменили тип термометра постоянной плотности, устранив вредные объемы.

Рис. 1 дает представление об устройстве термометра *B*, которым мы пользовались при определении температуры кипения водорода*. Резервуаром, содержащим гелий, служит полость *1* толстостенного медного сосуда, ограниченная с одной стороны круглой мембраной *2*. По другую сторону мембраны находится дополнительная камера *3*, тоже наполненная гелием. Трубка *4* выведена из камеры *3* наружу и там сообщается с приспособлением, позволяющим весьма плавно менять давление в камере, а также с манометром, которым это давление измеряется. Если регулировать давление газа в камере *3* так, чтобы мембрана при измерениях всегда находилась в положении равновесия, давления в камере и в резервуаре термометра будут равны, так что это последнее может быть измерено по манометру, присоединенному к камере. Очевидно, объем газа, передающий давление на поверхность ртути манометра, не является вредным.

Положение мембраны контролировали по емкости конденсатора, который она составляла с электродом *5*, изолированным кварцевыми прокладками *6*. Электрод удерживается на месте пружинным толкателем *7*. Емкость мембрана — электрод, определяемая методом биений, позволяет уверенно отмечать прогиб мембраны на 1μ . Такой прогиб вызывается разностью давлений менее $0,01$ мм рт. ст. Ограниченная чувствительность мембраны вызывает появление дополнительной ошибки при измерении давления газа в резервуаре, а также допускает появление в нем колебаний плотности, которые могут возникать вследствие непостоянства положения равновесия мембраны в пределах чувствительности обнаружения прогиба. Возможные колебания плотности меньше $0,002\%$.

Стабильность нулевого положения мембраны при различных температурах была тщательно изучена. Для этого определяли ее поло-

* Термометр *B* уже был ранее применен авторами (1948 г.) для температурных измерений ниже 90°K (¹). Он мало отличается от первого термометра такого типа, построенного в 1947 г. в Институте физических проблем АН СССР.

жение, выравнивая давление в резервуаре и в дополнительной камере путем соединения их через вентиль 10 и трубку 4. Между комнатной температурой и 90° К было наблюдеено монотонное, хорошо повторяющееся самопроизвольное смещение мембраны, заметно превышающее чувствительность. Между 90 и 13° К смещение не превышало удвоенной чувствительности.

Резервуар термометра снабжен гнездом 8 для конденсационного термометра и гнездами 9 для платиновых термометров сопротивления.

2. Работая с газовым термометром в области температур, получаемых с помощью жидкого водорода, более целесообразно в качестве

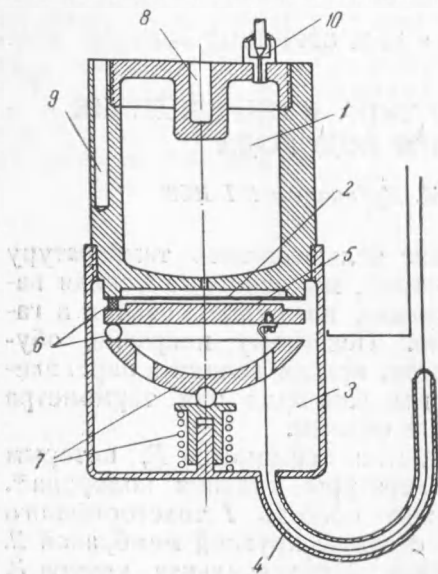


Рис. 1

исходной точки использовать не температуру плавления льда, а температуру кипения кислорода. Мы приняли такую процедуру, полагая температуру кипения кислорода при нормальных условиях равной 90,19° К ($t = -182,97^\circ \text{C}$, инт. $0^\circ \text{C} = 273,16^\circ \text{K}$).

3. Нужные температуры получались в ваннах из жидкого кислорода и жидкого водорода; температуры ванн стабилизировали, вызывая кипение у дна. Точки кипения устанавливались статическим методом, по давлению насыщенных паров в конденсационных термометрах. В точке кипения водорода применяли два конденсационных термометра, в одном из которых водород приводили каталитически к равновесию при комнатной температуре, в другом — к равновесию при температуре кипения.

Температура резервуара газового термометра контролировалась дополнительно двумя платиновыми термометрами сопротивления, которые были тщательно изучены и многократно эталонированы как в точке кипения кислорода, так и в точке кипения водорода. Средняя температура резервуара, отсчитываемая по термометрам сопротивления, в пределах погрешности соответствовала давлению насыщенных паров конденсационного термометра, погруженного в гнездо резервуара как в кислородной, так и в водородной точке. Не было отмечено систематического расхождения, превышающего 0,001°.

Температуру кипения водорода при нормальных условиях находили из результатов измерений при помощи эмпирической зависимости степенного вида. Мы нашли, что лейденская формула 1931 г. весьма удовлетворительно представляет зависимость между температурой и давлением насыщенных паров вблизи нормального давления.

Газовый термометр наполняли гелием так, чтобы иметь при 90,19° К давление, близкое к 850 мм рт. ст. С одним и тем же наполнением не делали более двух измерений температуры кипения водорода. Давление в резервуаре термометра определяли, как было сказано выше, измеряя его в добавочной камере термометра, когда мембрана находилась в положении равновесия. Плавную подгонку компенсирующего давления делали первоначально, сжимая или разрежая газ перемещением уровня ртути, которая подавалась из сосуда, поднимаемого или опускаемого кремальерой. Позднее регулировку давления сильно улучшили, применив сжимаемую винтом гофрированную металлическую муфту.

Измеряя давление газа в термометре при температуре кипения кислорода или водорода, делали четыре отсчета давления, которые чередовали с отсчетом упругости паров в конденсационных термометрах и с измерением сопротивления платиновых термометров. Давление измеряли ртутным манометром, производя отсчеты с помощью катетометра с миллиметровой шкалой и нониусом в $1/20$ деления, и контролировали измерения по инварной линейке. Трубки манометра имели диаметр 15 мм. При измерениях давления учитывали непостоянство температуры ртути и капиллярную депрессию.

4. По измеренным давлениям, после введения поправок на тепловое расширение медных стенок резервуара термометра и на отступление гелия от идеальных газовых законов, определялась термодинамическая температура.

Вычисления вели по формуле:

$$T_{(H_2)} = T_{(O_2)} \frac{p_{(H_2)}}{p_{(O_2)}} + \Delta + T_{(H_2)} [B_{(O_2)} - B_{(H_2)}] p_0,$$

где $T_{(H_2)}$ — температура кипения водорода, $T_{(O_2)}$ — температура кипения кислорода, $p_{(H_2)}/p_{(O_2)}$ — отношение измеренных и исправленных давлений, Δ — поправка на тепловое расширение резервуара, $B_{(O_2)}$ — второй вириальный коэффициент эмпирического уравнения состояния гелия при температуре кипения кислорода, $B_{(H_2)}$ — второй вириальный коэффициент при температуре кипения водорода, p_0 — давление термометрического газа при $273,16^\circ\text{K}$.

Поправку Δ вычисляли по литературным данным⁽²⁾. Относительное изменение объема составляло $-1,14 \cdot 10^{-3}$, что эквивалентно $-0,023^\circ$. Для $B_{(O_2)}$ было принято значение $0,480 \cdot 10^{-3}$, для $B_{(H_2)}$ было принято значение $-0,180 \cdot 10^{-3}$.

Поправка на неидеальность газа близка (в зависимости от точного значения давления) к $+0,045^\circ$. Сумма поправок составляла $\sim +0,022^\circ$.

5. В декабре 1950 г. была проделана серия предварительных измерений: I наполнение $20,354^\circ$, I наполнение $20,391^\circ$, II наполнение $20,398^\circ$, II наполнение $20,393^\circ$, III наполнение $20,396^\circ$, III наполнение $20,339^\circ$, среднее $20,378^\circ$; вероятная погрешность среднего $\pm 0,007^\circ$.

После введения некоторых мелких улучшений, главным образом, улучшения регулировки компенсирующего давления в дополнительной камере термометра, в июне 1951 г. была произведена серия окончательных измерений.

В результате получены следующие значения: I наполнение $20,380^\circ$, II наполнение $20,379^\circ$, $20,389^\circ$, III наполнение $20,381^\circ$, $20,370^\circ$, среднее $20,380^\circ$; вероятная погрешность среднего $\pm 0,0022^\circ$.

Мы приняли для температуры кипения водорода «естественного» состава (25% параводорода) значение $20,380^\circ\text{K}$. Разность между температурами кипения водорода «естественного» состава и водорода равновесного при температуре кипения (99,97% параводорода), определенная при посредстве термометров сопротивления, составляет, по нашим данным, $0,116^\circ$. Отсюда для температуры кипения равновесного водорода получается значение $20,264^\circ\text{K}$.

Московский государственный институт
мер и измерительных приборов

Поступило
8 I 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ П. Г. Стрелков, Изв. АН СССР, сер. физ., 14, 115 (1950). ² W. Keesom
F. van Agt and A. Jansen, Leiden Communications, No. 182a (1926).