

рисунке) пропускается вода с более высокой температурой t_1 , а через другой (правый) холодная вода, имеющая температуру t_2 .

Открытые концы трубок, которые по существу являются манометрическими, поскольку уровни жидкости в них отражают разность давлений в вертикальных коленях, находятся при комнатной температуре. Плотность жидкости в обеих манометрических трубках ρ_k определяется при этой температуре.

Следуя [1] (стр. 315), получим далее выражение для β . Как видно, по разности уровней жидкости на рисунке, левое колено прибора горячее, а правое - холодное. Высота H обоих колен одинакова, и разность уровней жидкости в верхней части трубок равна $h_1 - h_2$, где h_1 относится к горячему колену, а h_2 к холодному. Соответственно плотности жидкости обозначаются как ρ_1 в левом (горячем) и ρ_2 в правом (холодном) коленях ($\rho_2 > \rho_1$).

Поскольку давление столба жидкости выражается как произведение плотности жидкости на ускорение свободного падения g и на высоту столба, то разность давлений в вертикальных коленях равна $(\rho_2 - \rho_1)gH$, где ρ_2 и ρ_1 - плотности жидкости в холодном и горячем коленях. Эта разность давлений уравнивается разностью давлений в манометрических трубках $(h_1 - h_2)\rho_k g$, откуда

$$(\rho_2 - \rho_1)gH = (h_1 - h_2)\rho_k g \quad (2)$$

Объемы V_1 и V_2 одной и той же массы жидкости при разных температурах ($t_1 > t_2$) связаны между собой соотношением

$$V_1 = V_2(1 + \beta \Delta t), \quad \text{или} \quad \left(\frac{V_1}{V_2} \right) = 1 + \beta \Delta t,$$

где $\Delta t = t_1 - t_2$ и β - коэффициент теплового расширения. Тогда для отношения плотностей ρ_1 и ρ_2 жидкостей в горячем (t_1) и холодном (t_2) коленях, которое обратно отношению объемов, имеем

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{1}{1 + \beta \Delta t}, \quad \text{или} \quad \rho_1 = \frac{\rho_2}{1 + \beta \Delta t}$$

Отношение плотностей жидкости в манометрических трубках и жидкости в холодном колене, соответственно, равно:

$$\frac{\rho_k}{\rho_2} = \frac{1}{1 + \beta \Delta t_k},$$

где $\Delta t_k = t_k - t_2$ - разность комнатной температуры и температуры жидкости в холодном колене.

Поделив слагаемые в формуле (2) на ρ_2 и подставив соотношения для плотностей, получим для коэффициента β квадратное уравнение

$$\beta^2 H \Delta t_k + \beta [H - (h_1 - h_2)] = \frac{(h_1 - h_2)}{\Delta t} \quad (3)$$

Откуда коэффициент объемного теплового расширения жидкости равен

$$\beta = \frac{[H - (h_1 - h_2)]}{2H \Delta t_k} \left\{ -1 + \sqrt{1 + \frac{4H(h_1 - h_2)}{[H - (h_1 - h_2)]^2} \cdot \frac{\Delta t_k}{\Delta t}} \right\} \quad (4)$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ОБЪЁМНОГО ТЕПЛОВОГО РАСШИРЕНИЯ ЖИДКОСТИ

Принадлежности - установка в сборе, включающая в себя прибор с сообщающимися сосудами в виде двух вертикальных трубок с исследуемой жидкостью; термостат для нагревания одной из двух трубок; криостат для охлаждения одной из трубок.

Цель работы - рассмотреть метод Дюлонга и Пти определения коэффициента объемного теплового расширения жидкости и провести определение этого коэффициента для исследуемой жидкости.

Введение. Тепловое расширение жидкости характеризуется коэффициентом объемного расширения β , который выражается относительным изменением объема V при изменении температуры T на 1 К:

$$\beta = \frac{1}{V} \frac{dV}{dT} \quad (1)$$

Из методов определения коэффициента β наиболее простым является непосредственное измерение увеличения объема жидкости при повышении её температуры на известную величину. Однако в таком случае кроме жидкости расширяется и сосуд, в котором она находится. Изменение объема сосуда при нагревании лишает этот метод должной точности и приводит к необходимости вносить соответствующую поправку, что существенно усложняет задачу. Свободным от такого недостатка является предложенный Дюлонгом и Пти способ, который использован в настоящей работе.

Отметим, что с повышением температуры коэффициент объемного теплового расширения жидкости растёт, тогда, как в случае газа он уменьшается. Так, для идеального газа, исходя из его уравнения состояния (уравнения Клапейрона-Менделеева), можно показать, что коэффициент объемного расширения при постоянном давлении выражается согласно (1) как $\beta = \frac{1}{T}$. Зависимость коэффициента объемного расширения от температуры у жидкостей по сравнению с газом слабее и сам коэффициент меньше по своему численному значению ([1], стр. 310).

Описание метода Дюлонга и Пти. Определение коэффициента объемного теплового расширения β жидкости методом Дюлонга и Пти основано на использовании равновесия двух столбов одной и той же жидкости в сообщающихся сосудах, когда жидкость в них имеет различную температуру и соответственно неодинаковую плотность. В этом случае высоты столбов обратно пропорциональны плотностям жидкости в них, т. е. более нагретая жидкость, как имеющая плотность меньше чем холодная, поднимется выше холодной.

Такая ситуация с разными уровнями одной и той же жидкости в сообщающихся сосудах показана на рис.1, где представлена схема прибора. Исследуемая жидкость заполняет две сообщающиеся вертикальные трубки, открытые концы которых сведены вместе для удобства отсчета разностей уровней. Оба вертикальных колена этой системы помещаются в термостаты в виде сосудов-«рубашек», через один из которых (левый на

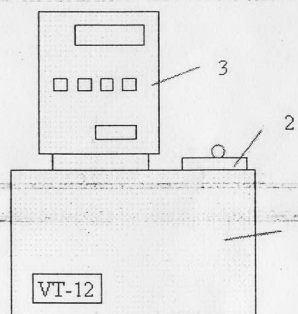


Рис.2

включения режима установки температуры 5, кнопки изменения значений температуры 6-уменьшение температуры и 7 – увеличение, , сетевой тумблер 8.



Рис.3

Внимание! Категорически запрещается устанавливать на термостате температуру выше 70 °С. Перед выполнением работы тщательно ознакомьтесь с порядком работы и настройкой термостата. Заранее подготовьте таблицу. Конструктивные особенности лабораторной установки не позволяют быстро охладить воду в термостате. ИЗМЕРЕНИЯ МОЖНО ПРОВЕСТИ ТОЛЬКО ОДИН РАЗ ЗА ЗАНЯТИЕ.

Внимание! Категорически запрещается устанавливать на криостате температуру ниже 5 °С. Криостат поддерживает температуру постоянной с помощью термостатируемой жидкости. В зависимости от вида термостатируемой жидкости возможно ее охлаждение и до отрицательных температур. Для этого дополнительно имеются режим быстрого охлаждения и рабочий режим медленного охлаждения. Т.к. термостатируемой жидкостью является вода, рекомендуется устанавливать температуру на криостате не ниже 5 °С и использовать только режим медленного охлаждения.

Измерения

1. Включить термостат и криостат в сеть и установить на них одинаковое значение температуры $t_1 = t_2 = 35$ °С. Для этого нажать кнопку 5 на лицевой части блока

Отметим, что формула (4) сильно упрощается, если манометрические трубки находятся не при комнатной температуре, а помещаются в термостат, поддерживающий их при температуре холодного колена. Тогда плотности жидкости в манометрических трубках и в холодном колене совпадают, и в формуле (2) можно произвести замену: $\rho_1 = \rho_2$. В этом случае коэффициент β находится по формуле (см. [1]):

$$\beta = \frac{h_1 - h_2}{[H - (h_1 - h_2)] \Delta t}$$

В описанном методе определения коэффициента объемного расширения жидкости не требуется вносить поправку на тепловое расширение материала трубки, так как давление столба жидкости зависит только от его высоты и от плотности жидкости, но не зависит от его диаметра.

Описание прибора

Схема прибора показана на рис.1. Исследуемая жидкость заполняет трубку, которой придана показанная на рисунке форма. Открытые концы трубки сведены вместе для удобства отсчета разности уровней. Оба вертикальных колена трубки помещаются в термостаты В₁ и В₂, представляющие собой сосуды, через которые пропускается вода с заданной температурой. С помощью этих сосудов – «рубашек» устанавливается требуемая разность температур жидкости в обоих коленах трубки.

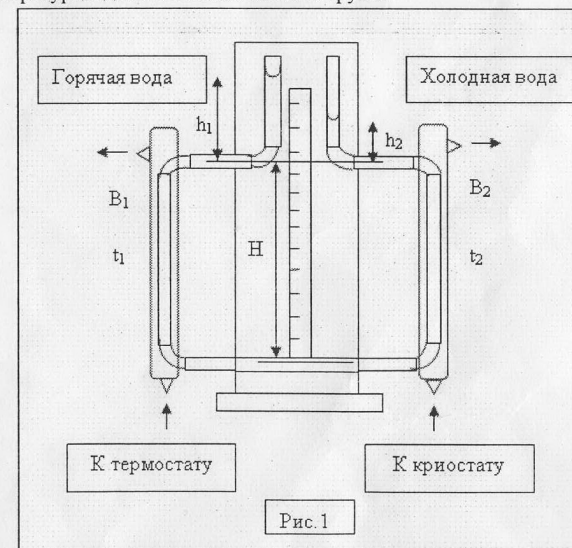


Рис.1

Воду с температурой t_1 с помощью термостата пропускают через левое колено, а воду с температурой t_2 прокачивают с помощью криостата через правое колено. Термостат и криостат позволяют поддерживать заданную температуру воды постоянной. Работа термостата основана на поддержании заданной температуры с помощью нагрева термостатируемой жидкости. Поддержание заданной температуры осуществляется посредством электронного регулятора.

Контрольные вопросы.

1. Объясните тепловое расширение тел с точки зрения молекулярно-кинетической теории
2. Что называется температурным коэффициентом объемного расширения?
3. Поясните метод Дюлонга и Пти. Выведите рабочую формулу (4), по которой вычисляется значение коэффициента объемного расширения жидкости. Что является основным преимуществом метода Дюлонга и Пти по сравнению с другими методами определения коэффициента объемного расширения?
4. Объясните особенности теплового расширения воды.
5. Какое значение имеет тепловое расширение тел в природе и технике.

Список рекомендуемой литературы

1. Кикоин А.К., Кикоин И.К. Молекулярная физика. М.: Наука, 1976. 480 с.

терморегулирования. При этом должен загореться индикатор режима установки температуры 2 и на индикаторном табло 4 появиться установленное ранее значение. Кнопками 6 ∇ и \triangle 7 установить на индикаторе $t_1 = 35^\circ\text{C}$. При этом необходимо учитывать, что от длительности удерживания кнопки нажатой, увеличивается шаг изменения установки температуры. Выключить режим установки температуры, еще раз нажав кнопку 5. При этом загорится лампа индикатора режима текущей температуры 3 и лампа индикатора включения нагревателя 1 (красная лампа). Идет нагрев до заданной температуры. При приближении к заданной температуре красная лампа индикатора начинает мигать. То же самое выполнить для установки температуры $t_2 = 35^\circ\text{C}$ на криостате.

2. Примерно через 5 – 10 минут установиться заданная температура. При этом красная лампочка индикатора 1 перестанет «мигать». Измерить h_1 и h_2 . Данные записать в таблицу.
3. Повторить пункты 1 и 2 для температур на термостате $t_1 = 40^\circ\text{C}, 45^\circ\text{C}, 50^\circ\text{C}, 55^\circ\text{C}, 60^\circ\text{C}, 65^\circ\text{C}$ и соответствующих температур на криостате $t_2 = 30^\circ\text{C}, 25^\circ\text{C}, 20^\circ\text{C}, 15^\circ\text{C}, 10^\circ\text{C}, 5^\circ\text{C}$. Для каждой пары температур измерить высоты h_1 и h_2 непосредственным отсчетом по шкале, к которой прилегают манометрические трубки. Данные измерений записать в таблицу.
4. По окончании работы установить на термостате $t_1 = 30^\circ\text{C}$ и на криостате $t_2 = 20^\circ\text{C}$, согласно п.1. Выключить термостат и криостат тумблером 8.
5. Измерить и записать над таблицей значение высоты H уровня столба жидкости в коленях прибора рис.1

Обработка результатов измерений

1. По формуле (4) определить коэффициент объемного расширения касторового масла.
2. Из всех полученных значений найти среднее $\bar{\beta}$.
3. Вычислить полуширину доверительного интервала по формуле

$$\Delta\beta = t_{p,n} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{\beta} - \beta_i)^2}{n(n-1)}},$$

где $t_{p,n}$ – коэффициент Стьюдента, n – число измерений, p – доверительная вероятность 0,95 (для лабораторных работ).

4. Окончательный результат представить в виде $\beta = (\bar{\beta} \pm \Delta\beta)$ при $p = 0,95$.

5. Полученный результат сравнить с табличным значением. Записать вывод.

Таблица

$H = \dots$ мм $t_k = \dots$ $^\circ\text{C}$

| № п/п | $t_1, ^\circ\text{C}$ | $t_2, ^\circ\text{C}$ | $h_1, \text{мм}$ | $h_2, \text{мм}$ | $(h_1 - h_2), \text{мм}$ | $\Delta t, ^\circ\text{C}$ | $\Delta t_k, ^\circ\text{C}$ | $\beta, ^\circ\text{C}^{-1}$ | $(\bar{\beta} - \beta_i)$ | $(\bar{\beta} - \beta_i)^2$ |
|----------|-----------------------|-----------------------|------------------|------------------|--------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 1. | | | | | | | | | | |
| 2. | | | | | | | | | | |
| 3. | | | | | | | | | | |
| 4. | | | | | | | | | | |
| 5. | | | | | | | | | | |
| 6. | | | | | | | | | | |
| Ср. | | | | | | | | | | |
| Σ | | | | | | | | | | |