Университет ИТМО

Отчёт по лабораторной работе №4
«Изучение свойств идеального газа на примере воздуха»

Выполнил: Федюкович С. А.

Факультет: МТУ “Академия ЛИМТУ”

Группа: S3100

Проверил: Пшеничников В. Е.

Санкт-Петербург

2018

Цель работы

1. Экспериментальная проверка уравнения состояния идеального газа.

2. Определение температуры абсолютного нуля по шкале Цельсия.

Теоретические основы лабораторной работы

В том случае, когда состояние газа далеко от области фазовых превращений, его с достаточной степенью точности можно считать идеальным. В качестве идеального газа в работе используется обычный атмосферный воздух.

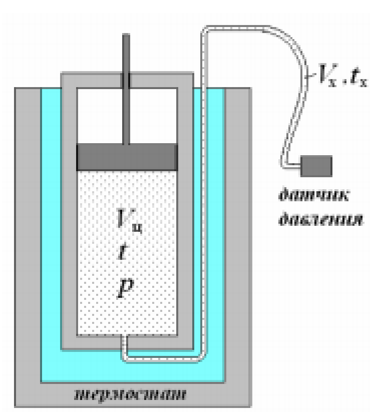
Для произвольной массы m идеального газа справедливо следующее уравнение состояния;

$$pV = \frac{m}{\mu} RT, \tag{1}$$

где p — давление, V — объем, μ — молярная масса, T — абсолютная температура газа, R — универсальная газовая постоянная. Это уравнение называется уравнением Менделеева-Клапейрона.

Нулю абсолютной температуры по шкале Цельсия соответствует значение $273,15°C$. Градусы шкалы абсолютной температуры (шкалы Кельвина) и шкалы Цельсия выбраны одинаковыми. Поэтому значение абсолютной температуры связано со значением температуры по шкале Цельсия формулой:

$$T(K) = t(°C) - t_o = t(°C) + 273,15°C. \tag{2}$$



Пусть исследуемый газ находится в цилиндре с контролируемым рабочим объемом $V_ц$, масса газа в цилиндре $m_ц$. Температура t цилиндра с газом поддерживается постоянной.

Датчик давления, работающий при комнатной температуре, вынесен за пределеы рабочего объёма и соединён с последним трубкой. Объём газа V_x в этой трубке мал по сравнению с рабочим объёмом $V_ц$. В соединительной трубке также находится газ массой m_x при некоторой неизвестной средней температуре t_x, лежащей в интервале от комнатной температуры до температуры t рабочего объёма.

В работе измеряется зависимость давления р газа от велечины рабочего объёма $V_ц$ при разных значениях температуры t (от $20°C$ до $60°C$). Выведем соотношение, связывающее рабочий объём и давление газа при постоянной температуре. Общее количество вещества в рабочем объёме и соединительной трубке в течение всей работы остаётся постоянным.

$$v = (m_ц + m_x)/\mu \tag{3}$$

Выражая массы газа $m_ц$ и m_x из уравнения состояния (1), абсолютную температуру из соотношения (2), и подставляя найденные выражения в формулу (3), получим:

$$v = \frac{pV_ц}{R(t-t_o)} + \frac{pV_x}{R(t_x-t_o)} \tag{4}$$

Из этого уравнения найдем искомое соотношение:

$$V_ц = \frac{vR(t-t_o)}{p} - \frac{V_x(t-t_o)}{(t_x-t_o)} \tag{5}$$

Из-за перераспределения газа между объёмами $V_ц$ и в процессе измерения температура может изменяться. Однако, при относительно малой величине изменением второго слагаемого в формуле (5) можно пренебречь. Поэтому при неизменной температуре t зависимость рабочего объёма $V_ц$ от обратного давления $1/p$ является линейной.

$$K = vR(t-t_o), \tag{6}$$

Угловой коэффициент этой зависимости в свою очередь, линейно меняется с температурой и обращается в нуль при абсолютном нуле температур. Таким образом, изучение зависимости К(t) позволяет найти значение t_o.

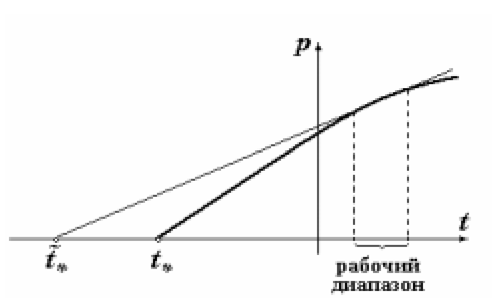
Рассмотрим другой, более точный, способ определения величины t_o. Если для разных температур измерение давления проводить при одних и тех же значениях объёма, то полученные данные легко преобразуются в зависимость давления от температуры при разных значения рабочего объёма газа. Теоретический вид этой зависимости получается из уравнения (5):

$$p = \frac{vR(t-t_o)}{V_ц(1+x(t))} \approx \frac{vR(t-t_o)}{V_ц}(1+x(t)), \tag{7}$$

где $x(t) = \frac{V_x(t-t_o)}{V_ц(t_x-t_o)}$. Справедливость приближенного равенства в формуле (7) обусловлена тем, что значения функции $x(t)$ малы, и для малых х можно воспользоваться формулой приближенных вычислений:

$$(1+x)^\alpha \approx 1+\alpha x. \tag{8}$$

В данном случае $\alpha = -1$.



При неизменном рабочем объёме $V_ц$ график зависимости давления от температуры в соответствии с формулой (7) должен быть почти линейным. Причем давление должно обращаться в нуль как раз при $t = t_o$. Из-за малости функции $x(t)$ отклонение от линейности невилико, и при измерении в ограниченном диапазоне температур практичечки незаметно. Но, если искать значение t_o с помощью линейной аппроксимации экспериментальной зависимости $p(t)$, экстраполируя аппроксимирующую прямую до пересечения с осью t, то найденное приближенное значение окажется систематически смещённым влево относительно истинного значения . Причина этого в следующем. Величина $x(t)$ в первом приближении линейно растущая функция температуры, с учетом этого график функции $p(t)$ из уравнения (7) оказывается параболой выпуклой вверх. Аппроксимирующая прямая, параметры которой найдены по точнкам в рабочем диапазоне температур, идет практически по касательной к этому графику, «промахиваясь» мимо истинного значения , как изображено на рис. 1. Однако, можно показать, что разность при малом отношении $V_x/V_ц$ должна убывать обратно пропорционально объёму $V_ц$. Поэтому, правильное значение температуры абсолютного нуля может быть найдено как предел:

$$t_o = \lim_{1/V_ц \to 0} \widetilde{t_o} \tag{9}$$

линейным продолжением графика зависимости $\widetilde{t_o}$ от $1/V_ц$ к значению $1/V_ц = 0$.