

Лабораторная работа №5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОЙ МАССЫ И ПЛОТНОСТИ ГАЗА МЕТОДОМ ОТКАЧКИ.

Цель работы – ознакомление с одним из методов определения молекулярной массы и плотности газа.

Теория метода.

Молекулярной (молярной) массой называется масса одного моля вещества. В единицах СИ эта величина измеряется в килограммах на моль. Модем какого-либо вещества называется количество этого вещества, содержащее столько же структурных элементов (молекул, атомов и т.д.), сколько атомов содержится в 0,012 кг изотопа углерода ^{12}C . Молекулярную массу газа можно определить из уравнения газового состояния.

При не очень высоких давлениях, но достаточно высоких температурах газ можно считать идеальным. Состояние такого газа описывается уравнением Менделеева-Клапейрона:

$$P \cdot V = \frac{m}{\mu} \cdot R \cdot T, \quad (12.1)$$

где P – давление газа; V – объем газа; m – масса газа; μ – молярная масса газа; $R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль}\cdot\text{К})$ – универсальная газовая постоянная; T – абсолютная температура газа.

Из уравнения (12.1) можно получить формулу для молярной массы газа:

$$\mu = \frac{m \cdot R \cdot T}{P \cdot V}. \quad (12.2)$$

Если измерение давления P , объема V , температуры T газа, т.е. параметров газа, входящих в формулу (12.2) не вызывает особых трудностей, то определение массы газа выполнить практически невозможно, так как взвешивание газа возможно только вместе с колбой, в которой он находится. Поэтому для определения μ необходимо исключить массу сосуда. Это можно сделать, рассмотрев уравнение состояния двух масс m_1 и m_2 одного и того же газа при неизменных температуре T и объеме V .

Пусть в колбе объемом V находится газ массой m_1 при давлении P_1 и температуре T . Уравнение состояния (12.1) для этого газа имеет вид

$$P_1 \cdot V = \frac{m_1}{\mu} \cdot R \cdot T. \quad (12.3)$$

Откачаем часть газа из колбы, не изменяя его температуры. После откачки масса газа, что оставалась в колбе, и его давление уменьшились. Обозначим их соответственно m_2 и P_2 и снова запишем уравнение состояния

$$P_2 \cdot V = \frac{m_2}{\mu} \cdot R \cdot T. \quad (12.4)$$

Из уравнений (12.3) и (12.4) получим:

$$\mu = \frac{m_1 - m_2}{P_1 - P_2} \cdot \frac{R \cdot T}{V}. \quad (12.5)$$

Полученная формула (12.5) дает возможность определить μ , если известно изменение массы газа (но не сама масса), а также изменение давления, температура и объем газа.

В данной работе исследуемым газом является воздух, который представляет собой смесь азота, кислорода, аргона и других газов.

Формула (12.5) пригодна и для определения μ смеси газов. Найденное в этом случае значение и представляет собой некоторую среднюю или эффективную молярную массу смеси газов. Молярная масса смеси газов может быть рассчитана и теоретически, если известно процентное содержание и молярная масса каждого из газов, входящих в состав смеси, по формуле

$$\mu_c = \frac{1}{\frac{m_1}{m} \cdot \frac{1}{\mu_1} + \frac{m_2}{m} \cdot \frac{1}{\mu_2} + \dots + \frac{m_n}{m} \cdot \frac{1}{\mu_n}}, \quad (12.6)$$

где $\frac{m_1}{m}, \frac{m_2}{m}, \dots, \frac{m_n}{m}$ – относительное содержание каждого газа; $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$ – молярные массы газов.

Если известна молярная масса газа, то можно легко определить еще одну важную характеристику газа – его плотность ρ . Плотность газа – это масса единицы объема газа:

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (12.7)$$

Определив $\frac{m}{V}$ из уравнения Менделеева-Клапейрона, получим

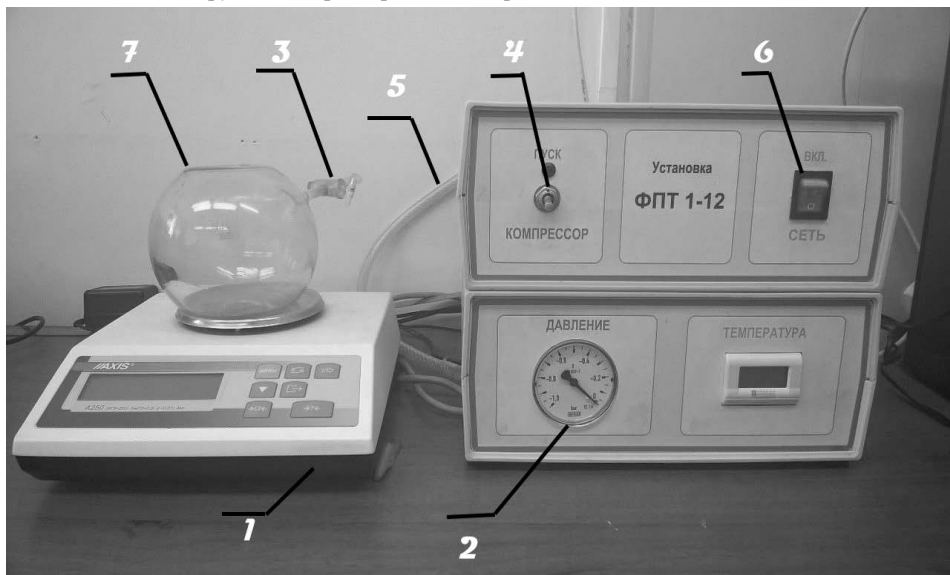
$$\rho = \frac{P \cdot \mu}{R \cdot T}. \quad (12.8)$$

Плотность смеси газов можно вычислить по формуле (12.8), подразумевая под μ эффективную молярную массу смеси.

Экспериментальная установка

Для определения молекулярной массы воздуха предназначена экспериментальная установка ФПТ1-12, общий вид которой показан на рисунке 12.1.

Рисунок 12.1 Общий вид экспериментальной установки ФПТ1-12:
1 – весы; 2 – вакуумметр; 3 – вакуумный кран; 4 – компрессор; 5 – входной патрубком компрессора; 6 – измерительный блок; 7 – колба



Рабочим элементом установки является стеклянная колба 7, соединенная со стрелочным вакуумметром 2, показания которого P есть разность между давлением в колбе и атмосферным давлением. Колба имеет отросток с краном 3, который с помощью резиновой трубки соединяется с входным патрубком 5 компрессора 4. Колба установлена на тарелке электронных весов 1. Значение объема V колбы указано в паспорте.

Порядок выполнения работы

1. Подать напряжение питания на электронные весы, включив установку тумблером «Сеть».
2. С помощью электронных весов определить массу колбы с воздухом (m_0+m_1) при давлении P_1 .
3. Соединить входной патрубок 5 с помощью шланга с колбой 7 (вакуумный кран 3 должен быть открыт).
4. Включив компрессор тумблером «Пуск» и, открыв кран, откачать воздух из колбы до давления P_2 , после чего, закрыв кран 3 и выключив компрессор, и отсоединив шланг от колбы 7, определить с помощью весов массу колбы с воздухом (m_0+m_2) при давлении P_2 . Полученные результаты занести в таблицу 12.1
5. Повторить измерения по пп. 2-4 не менее 3 раз.
6. Измерить температуру воздуха в лаборатории.
7. Выключить установку тумблером «Сеть».

№ изм.	m_0+m_1 , кг	m_0+m_2 , кг	m_1-m_2 , кг	P_1 , Па	P_2 , Па	P_1-P_2 , Па	T , К	μ , кг/моль	ρ , кг/м ³

Обработка результатов измерения

1. Для каждого проведенного измерения определить массу откачанного воздуха ($m_1 - m_2$) и разность давлений ($P_1 - P_2$).
2. По формуле (12.5) вычислить для каждого измерения значение молекулярной массы воздуха μ . Найти среднее значение $\langle \mu \rangle$.
3. По формуле (12.8) вычислить для каждого измерения плотность воздуха, используя найденное значение молярной массы μ .
4. Оценить погрешность результатов измерений.

Контрольные задания

1. Что такое молекулярная масса вещества и в каких единицах она измеряется?
2. Запишите и объясните уравнение Менделеева-Клапейрона. В каких случаях его можно использовать для практических вычислений?
3. Как теоретически рассчитать молекулярную массу смеси газов?
4. Что такое плотность газа и как ее можно определить экспериментально?
5. Выведите расчетную формулу для определения молярной массы, которая используется в данной работе.
6. Почему молярную массу газа нельзя определить непосредственно, используя уравнение Менделеева-Клапейрона?
7. В чем заключается метод откачки для определения молярной массы газа?
8. Основные источники погрешностей данного метода измерения.