

Лабораторная работа № 7

Определение массы моля и плотности воздуха

Цель работы: экспериментальное определение массы моля и плотности воздуха при нормальных условиях.

Краткая теория

В системе СИ моль является единицей измерения количества вещества, находящегося в любом состоянии (твердом, жидком, газообразном). В моле вещества содержится столько структурных единиц (атомов, молекул), сколько имеется атомов в 0,012 кг изотопа углерода ${}^6\text{C}^{12}$. Это число атомов, установленное опытным путем, называется числом Авогадро и равно $6,022 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹. Для однородных газов масса в килограммах численно равна молярному весу газа.

Для воздуха, как смеси газов, главным образом азота и кислорода, масса моля будет определяться массой, выраженной в килограммах, заключенной в объеме 22,4 м³ при нормальных условиях ($P_0 = 1 \text{ атм.} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ и $T_0 = 273,16 \text{ К}$). Определение массы моля производится с использованием уравнения Менделеева-Клапейрона:

$$PV = \frac{M}{\mu} RT, \quad (1)$$

где P – давление, при котором находится газ (Па),

V – объем, занимаемый газом (м³),

M – масса газа в данном объеме (кг),

R – универсальная газовая постоянная ($R=8,31 \text{ Дж} \times \text{моль/К}$),

T – абсолютная температура (К).

При этом производится измерение физических величин, определяющих данное состояние, т. е. давления, температуры, объема и массы воздуха в этом объеме.

Определение массы воздуха в колбе (M) возможно только при полной откачке его из сосуда, что практически сложно осуществить.

Рассмотрим воздух в двух состояниях: при давлении P_1 (атмосферное) до откачки части воздуха и при давлении P_2 после откач-

ки части воздуха из сосуда колбы с помощью форвакуумного насоса.

Уравнения для этих состояний запишем в виде:

$$P_1 V = \frac{M'}{\mu} RT, \quad (2)$$

$$P_2 V = \frac{M''}{\mu} RT, \quad (3)$$

где M' и M'' - массы газа в сосуде до и после откачки воздуха, т. е. соответственно при давлениях P_1 и P_2 . Объем колбы и температура среды в обоих случаях остаются постоянными.

Вычитая из первого уравнения второе, получим:

$$(P_1 - P_2)V = (M' - M'') \frac{RT}{\mu}. \quad (4)$$

Очевидно, что изменение массы газа ($M' - M''$) равно разности ($M_1 - M_2$), где M_1 и M_2 массы колбы с газом до и после откачки воздуха. Исходя из этого уравнение (4) можно переписать в виде:

$$(P_1 - P_2)V = (M_1 - M_2) \frac{RT}{\mu}, \quad (5)$$

откуда

$$\mu = \frac{(M_1 - M_2)RT}{(P_1 - P_2)V} = \frac{(M_1 - M_2)RT}{P_m V}, \quad (6)$$

где за $(P_1 - P_2)$ принимают показание манометра в конце цикла откачки воздуха из колбы.

Выполнение работы

Приборы и материалы: технические весы, набор разновесов, колба с краном, форвакуумный насос, манометр, термометр.

1. Определив точность технических весов, взвешиванием находят массу колбы M_1 при открытом кране (вносим в таблицу 1).

2. Откачивают воздух из колбы до минимально возможного давления P_2 , записываем показание манометра в таблицу 1 (P_m) и одновременно закрываем кран колбы.

3. Колбу с откаченным воздухом взвешиваем и таким образом определяем M_2 (вносим в таблицу 1).

4. По комнатному термометру (со шкалой Цельсия) определяют температуру. При проведении вычислений температура переводится в Кельвины.

5. Объем V и относительная ошибка $\Delta V/V$ указаны на чехле колбы.

Полученные значения заносят в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты измерений

$M_1(\text{кг})$	$M_2(\text{кг})$	$\Delta M_1 = \Delta M_2$	$P_m(\text{Па})$	$\Delta P_m(\text{Па})$	$V(\text{м}^3)$	$\Delta V/V$	$t(^{\circ}\text{C})$	$\Delta t(^{\circ}\text{C})$

Расчет искомых величин

По полученным данным вычисляем массу моля воздуха по формуле (6).

Определив массу моля, вычисляем плотность воздуха, применяя формулу:

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{P\mu}{RT}. \quad (7)$$

Подставляя вместо P и T величины соответствующие нормальным условиям, т. е. $P_0 = 1 \text{ атм.} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ и $T_0 = 273,16 \text{ К}$ находим плотность воздуха при нормальных условиях:

$$\rho_0 = \frac{P_0\mu}{RT_0}. \quad (8)$$

Вычисление погрешностей и окончательный результат

Относительная погрешность при определении массы моля вычисляется по формуле:

$$E_{\mu} = \frac{\Delta\mu}{\mu} = \frac{\Delta M_1 + \Delta M_2}{M_1 - M_2} + \frac{\Delta T}{T} + \frac{\Delta P}{P_m} + \frac{\Delta V}{V}. \quad (9)$$

Погрешности ΔM_1 и ΔM_2 , получающиеся при взвешивании берутся равными половине цены наименьшего деления (точности) весов, а погрешности ΔT и ΔP принимаются равными половине цены наименьшего деления термометра и манометра.

Абсолютная погрешность определения массы моля:

$$\Delta\mu = E_{\mu}\mu. \quad (10)$$

Относительная погрешность при определении плотности воздуха вычисляется по формуле:

$$E_{\rho} = \frac{\Delta\rho_0}{\rho_0} = \frac{\Delta P_0}{P_0} + \frac{\Delta\mu}{\mu} + \frac{\Delta T_0}{T_0}. \quad (11)$$

Ввиду того, что P_0 и T_0 не измеряются, а заданы, то $\Delta P_0 = 0$ и $\Delta T_0 = 0$. Поэтому получаем

$$E_{\rho} = \frac{\Delta\rho_0}{\rho_0} = \frac{\Delta\mu}{\mu} = E_{\mu}, \quad (12)$$

отсюда

$$\Delta\rho_0 = \rho_0 E_{\rho}. \quad (13)$$

Окончательный результат записывается в виде:

$$\mu_{\text{воздуха}} = \mu \pm \Delta\mu, \quad (14)$$

$$\rho_{\text{воздуха}} = \rho_0 \pm \Delta\rho_0. \quad (15)$$

Сравнивают полученные результаты с табличными значениями.

Записывают выводы.

Контрольные вопросы

1. Что называется молем вещества?
2. Что называется плотностью? В каких единицах она измеряется?
3. Записать уравнение состояния идеального газа в форме закона Менделеева-Клайперона.
4. Вывести расчетную формулу для определения массы моля воздуха в данной работе.
5. Как вычислить плотность воздуха при нормальных условиях, зная массу моля?
6. Что называется давлением?