

Лабораторная работа №10

Определение молярной массы и плотности воздуха

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

Стеклянная колба, электронные весы, термометр, манометр, насос Камовского.

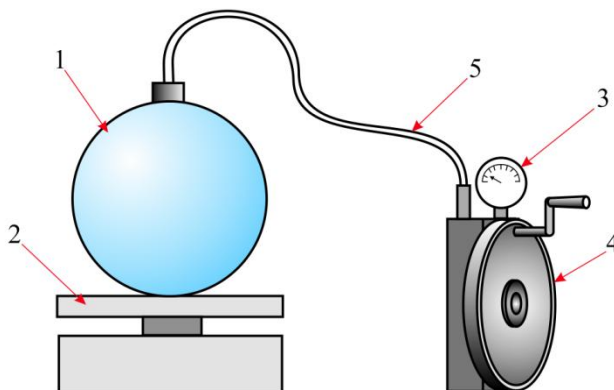


Рис.1. Установка для определения молярной массы: 1 – стеклянная колба с зажимом, 2 – электронные весы, 3 – манометр, 4 – насос Камовского, 5 – резиновый шланг.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Атомом называется наименьшая частица химического элемента.

Молекулой называется наименьшая частица вещества, обладающая его химическими свойствами. Молекула может состоять из одного или нескольких атомов или различных элементов.

Количество вещества – это величина, равная числу структурных элементов (молекул, атомов или ионов), содержащихся в теле, обозначается ν .

Единицей количества вещества является **моль**. В одном моле любого вещества содержится столько же структурных единиц, сколько содержится атомов в 12 г углерода ^{12}C . Это число молекул (атомов) в одном моле носит название **постоянной Авогадро**:

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

Молярной массой называется величина:

$$\mu = m_0 \cdot N_A, \quad (1)$$

где m_0 – масса одной молекулы (или атома) вещества.

В массе m некоторого вещества содержится $\nu = \frac{m}{\mu}$ молей этого вещества.

Воздух при нормальных условиях можно считать *идеальным*. Поэтому в основу опытного определения молярной массы положено уравнение состояния идеального газа – **уравнение Менделеева-Клапейрона**:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT, \quad (2)$$

где p – давление,

V – объем,

m – масса воздуха,

μ – молярная масса,

R – универсальная газовая постоянная,

T – термодинамическая температура.

Для определения молярной массы μ по формуле (2) необходимо измерить массу воздуха m , содержащегося в колбе, что невозможно сделать имеющимися в наличии приборами. Однако, нет необходимости добиваться

полного удаления газа из колбы. Достаточно лишь несколько изменить массу газа.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Пусть в сосуде объемом V находится масса газа m_1 при давлении p_1 , температуре T . Состояние этого газа описывается уравнением:

$$p_1 \cdot V = \frac{m_1}{\mu} \cdot R \cdot T \quad (3)$$

Откачаем теперь часть газа, считая $T = const$ (изотермический процесс) так, чтобы масса газа стала m_2 , а давление p_2 . Тогда уравнение состояния запишется:

$$p_2 \cdot V = \frac{m_2}{\mu} \cdot R \cdot T \quad (4)$$

Вычитая (4) из (3) и преобразуя, получим:

$$\mu = \frac{m_2 - m_1}{p_2 - p_1} \cdot \frac{R \cdot T}{V} \quad (5)$$

Уравнение (5) позволяет определить молярную массу при известных температуре T , объеме V , изменениях массы $m_2 - m_1$ и давления $p_2 - p_1$ газа.

В нашей работе исследуемым газом является воздух, т.е. смесь азота, кислорода и других элементов (первые составляют значительные доли). Для газовой смеси имеет смысл говорить лишь об эффективном или среднем молярной массе $\mu_{сред}$. Но определяется $\mu_{сред}$ экспериментально также по уравнению (5), так как (5) применимо не только к чистым газам, но и газовым смесям.

Действительно, молекулы каждого газа оказывают давление на стенки сосуда независимо от того, какое давление оказывают молекулы других газов.

Допустим, что газ состоит из двух компонентов a и b . Тогда состояние каждой компоненты описывается уравнением Менделеева-Клапейрона:

$$p_a \cdot V = \frac{m_a}{\mu_a} \cdot R \cdot T \quad (6)$$

$$p_b \cdot V = \frac{m_b}{\mu_b} \cdot R \cdot T, \quad (7)$$

где p_a, p_b – парциальные давления газов a и b ,
 m_a, m_b – массы компонентов газовой смеси,
 μ_a, μ_b – молярные массы.

Подставляя уравнения (6) и (7) в закон Дальтона $P_{ab} = p_a + p_b$, после преобразования получим:

$$P_{ab} = \frac{m_a + m_b}{\frac{(m_a + m_b) \cdot \mu_a \cdot \mu_b}{(m_a \cdot \mu_b + m_b \cdot \mu_a)}} \cdot \frac{RT}{V} = \frac{m_{ab}}{\mu_{ab}} \cdot \frac{RT}{V} \quad (8)$$

Из уравнения (8) следует:

$$P_{ab} = \frac{\rho_{ab}}{\mu_{ab}} \cdot RT \quad (9)$$

Из уравнения (9) легко получить выражение:

$$\rho = \frac{P_{ab} \cdot \mu_{ab}}{RT}, \quad (10)$$

где ρ – плотность воздуха в колбе до откачки.

ХОД РАБОТЫ

1. Колбу с воздухом взвесить на электронных весах.
2. С помощью резиновой трубки присоединить колбу к штуцеру насоса и откачать воздух из колбы до отклонения стрелки манометра до отметки 0.8 кгс/см^2 .
3. Закрывать зажимом колбу и отсоединить ее от насоса.
4. Снова взвесить колбу и найти изменение массы газа.
5. Разность атмосферного давления и давления в колбе принять за 0.8 кгс/см^2 . Перевести это значение в Па.
6. Температура воздуха в колбе равна комнатной, она отсчитывается по термометру.
7. Объем колбы указан на самой колбе.
8. Результаты измерений заносятся в таблицу.
9. Измерения проводятся **3 раза**. По данным таблицы и с помощью формул (6) и (10) найти молярную массу и плотность воздуха.
10. Рассчитать относительные и абсолютные погрешности определения и в соответствии с теорией погрешностей записать окончательный результат в форме:

$$\mu_{ab} = \mu_{ab.пред} \pm \Delta\mu \quad \text{и} \quad \rho_{ab} = \rho_{ab.пред} \pm \Delta\rho$$

Таблица

№	m_1	m_2	$m_1 - m_2$	p_1	p_2	$p_1 - p_2$	μ_{ab}	ρ_{ab}
	кг	кг	кг	Па	Па	Па	$\frac{кг}{моль}$	$\frac{кг}{м^3}$
1								
2								
3								
Среднее значение								

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется атомом и молекулой?
2. Что такое количество вещества?
3. Что называют молярной массой?
4. Единица измерения молярной массы?
5. Почему в моле любого вещества всегда одинаковое число молекул?
6. Что такое идеальный газ?
7. В чем заключается метод определения молярной массы воздуха в данной работе?
8. Вывести формулу для определения плотности воздуха