

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уфимский государственный авиационный технический университет»**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЛЯРНОЙ МАССЫ И ПЛОТНОСТИ ГАЗА
МЕТОДОМ ОТКАЧКИ**

**Методические указания к лабораторной работе № 124
по дисциплине «Физика»**

Уфа 2013

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уфимский государственный авиационный технический университет»

Кафедра физики

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЛЯРНОЙ МАССЫ И ПЛОТНОСТИ ГАЗА
МЕТОДОМ ОТКАЧКИ

Методические указания к лабораторной работе № 124
по дисциплине «Физика»

Уфа 2013

Составители: В. В. Лазарев, Р. А. Халфин

УДК 533.12 (07)

ББК 22.365 (Я7)

Определение молярной массы и плотности газа методом откачки: Методические указания к лабораторной работе № 124 по дисциплине «Физика» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост.: В. В. Лазарев, Р. А. Халфин – Уфа, 2013. – 11 с.

Определяются молярная масса и плотность воздуха методом откачки. Кратко рассмотрено уравнение состояния идеального газа, приводятся теория метода, описание установки, порядок выполнения и обработка результатов измерений.

Предназначены для студентов технических вузов, изучающих дисциплину «Физика» по разделу «Молекулярная физика и термодинамика» на всех направлениях подготовки бакалавров и специалистов.

Табл. 1. Ил. 1. Библ.: 3 назв.

Рецензенты: канд. физ.-мат. наук, доц. Трофимова Е. В.,
канд. тех. наук, доц. Грахов П. А.

Уфимский государственный
авиационный технический университет, 2013

Содержание

Введение.....	4
1. Цели работы	4
2. Задачи	5
3. Теоретическая часть	5
4. Экспериментальная установка и принцип ее работы.....	8
5. Требования по технике безопасности	9
6. Задание	9
7. Методика выполнения заданий	9
8. Контрольные вопросы	10
9. Требования к содержанию и оформлению отчета.....	11
10. Критерии результативности выполнения лабораторной работы .	11
Список литературы.....	11

Лабораторная работа № 124

Определение молярной массы и плотности газа методом откачки

Введение

Молекулярная физика и термодинамика – разделы физики, в которых изучаются макроскопические процессы в телах, связанные с огромным числом содержащихся в них атомов и молекул. Для исследования этих процессов применяют два качественно различных и взаимно дополняющих друг друга метода: статистический (молекулярно - кинетический) и термодинамический. Первый лежит в основе молекулярной физики, а второй – термодинамики.

В результате выполнения данной лабораторной работы формируются следующие **компетенции**:

- способность демонстрировать базовые знания в области общенаучных дисциплин и готовность использовать основные законы в профессиональной деятельности;
- способность проводить эксперименты по заданной методике, обрабатывать результаты, оценивать их погрешность и достоверность.

Перечисленные компетенции формируются через **умения**:

- работать с измерительными приборами;
 - рассчитывать физические величины по экспериментальным данным;
 - анализировать результаты опыта;
 - оформлять отчет;
- а также **владения**:
- теоретическим материалом;
 - навыками измерения физических величин по приборам;
 - технологией обработки экспериментальных данных.

1. Цели работы

1. Изучение одного из методов определения молярной массы и плотности газа.
2. Определение молярной массы и плотности газа методом откачки.

2. Задачи

1. Закрепление студентами знаний молекулярно-кинетической теории идеального газа.
2. Овладение методом определения молярной массы и плотности газа.
3. Приобретение навыков проведения измерений и умения обработки получаемых при этом данных.

3. Теоретическая часть

Состояние некоторой массы газа определяется значениями трёх термодинамических параметров: давления P , температуры T и объёма V . Эти параметры закономерно связаны друг с другом, так что изменение одного из них влечёт за собой изменение других. Указанная связь может быть задана аналитически в виде функции

$$F(P, V, T) = 0. \quad (3.1)$$

Соотношение, связывающее между собой термодинамические параметры какого-либо тела, называется уравнением состояния этого тела. Следовательно, (3.1) представляет собой уравнение состояния данной массы газа.

Если решить (3.1) относительно какого-либо из параметров, например P , уравнение состояния примет вид

$$P = f(V, T). \quad (3.2)$$

Это значит, что состояние газа определяется только двумя параметрами (например, давлением и объёмом, давлением и температурой или, наконец, объёмом и температурой), третий параметр однозначно определяется двумя другими. Если уравнение состояния известно в явном виде, то любой параметр можно вычислить, зная два других.

При не очень высоких давлениях, но достаточно высоких температурах газ можно считать идеальным. Под идеальным газом подразумевают такой газ, в котором:

- 1) собственный объём молекул газа пренебрежимо мал по сравнению с объёмом сосуда;
- 2) между молекулами газа отсутствуют силы взаимодействия;
- 3) столкновения молекул газа между собой и со стенками сосуда считают абсолютно упругими.

Состояние такого газа описывается уравнением Менделеева-Клапейрона

$$PV = \frac{m}{\mu} RT, \quad (3.3)$$

где P – давление газа, V – объём газа, m – масса газа, μ – молярная масса газа, $R = 8,31$ Дж/(моль·К) – универсальная газовая постоянная, T – абсолютная температура газа.

Молярной массой называется масса одного моля вещества. В международной системе единиц измерения СИ эта величина измеряется в кг/моль.

Молем 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 . Молярную массу газа можно определить из уравнения газового состояния.

Из уравнения (3.3) можно получить формулу для молярной массы газа

$$\mu = \frac{mRT}{PV}. \quad (3.4)$$

Если измерение давления P , объёма V , температуры T газа, т.е. параметров газа, входящих в формулу (3.4), не вызывает особенных трудностей, то определение массы газа выполнить практически невозможно, так как взвешивание газа возможно только вместе с емкостью, в котором он находится. Поэтому для определения молярной массы газа μ необходимо исключить из суммарной массы измерений массу колбы. Это можно сделать, рассмотрев уравнение состояния двух масс m_1 и m_2 одного и того же газа при неизменных температуре T и объёме V .

Пусть в колбе объёмом V находится газ массой m_1 при давлении P_1 и температуре T . Уравнение состояния (3.3) для этого газа имеет вид

$$P_1V = \frac{m_1}{\mu} RT. \quad (3.5)$$

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

$$P_2V = \frac{m_2}{\mu} RT. \quad (3.6)$$

Из уравнений (3.5) и (3.6) получим

$$\mu = \frac{m_1 - m_2}{P_1 - P_2} \cdot \frac{RT}{V}. \quad (3.7)$$

Полученная формула (3.7) даёт возможность определить молярную массу газа μ , если известны температура, объём, изменение массы газа (но не сама масса), а также изменение давления.

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

Формула (3.7) пригодна и для определения молярной массы μ смеси газов. Найденное в этом случае значение μ представляет собой некоторую среднюю или эффективную молярную массу смеси газов. Молярная масса смеси газов может быть рассчитана и теоретически.

Пусть в сосуде объёмом V имеется находящаяся в состоянии теплового равновесия смесь различных газов, не реагирующих химически друг с другом. Для такой смеси уравнение состояния имеет вид

$$PV = \frac{m}{\mu_c} RT, \quad (3.8)$$

где μ_c – молярная масса смеси газов.

С другой стороны, согласно закону Дальтона давление смеси газов равно сумме парциальных давлений её компонентов

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n, \quad (3.9)$$

где $P_i = \frac{m_i}{\mu_i} \frac{RT}{V}$ – парциальное давление, $i = 1, 2, 3, \dots, n$ – компоненты

в смеси газов.

Из уравнений (3.8) и (3.9) получим

$$\mu_c = \frac{1}{\frac{m_1}{m} \frac{1}{\mu_1} + \frac{m_2}{m} \frac{1}{\mu_2} + \dots + \frac{m_n}{m} \frac{1}{\mu_n}}, \quad (3.10)$$

где $\frac{m_1}{m}, \frac{m_2}{m}, \dots, \frac{m_n}{m}$ – относительное содержание каждой компоненты в смеси газов; m_i и μ_i – соответственно масса и молярная масса i -ой компоненты, $m = \sum m_i$ – масса всей смеси.

Если известна молярная масса газа, то можно легко определить ещё одну важную характеристику газа – его плотность ρ . Плотность

газа – это масса единицы объёма газа

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (3.11)$$

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

$$\rho = \frac{P \mu}{RT}. \quad (3.12)$$

Плотность смеси газов можно вычислить по формуле (3.12), подразумевая под μ эффективную молярную массу смеси.

4. Экспериментальная установка и принцип ее работы

Для определения молярной массы воздуха предназначена установка ФПТ 1-12, общий вид которой показан на рис. 4.1.

Рабочим элементом установки является стеклянная колба 4, соединённая со стрелочным вакуумметром 6, показания которого « P » есть разность между атмосферным давлением в лаборатории P_0 и давлением в колбе P_K .

Колба имеет узкую длинную горловину, соединённую с помощью резиновой трубки с краном 7 и с входным патрубком измерительного блока 1, а тот, в свою очередь, с компрессором 5. Колба установлена на тарелке электронных весов 3. Значение объёма V колбы указано на рабочем месте.

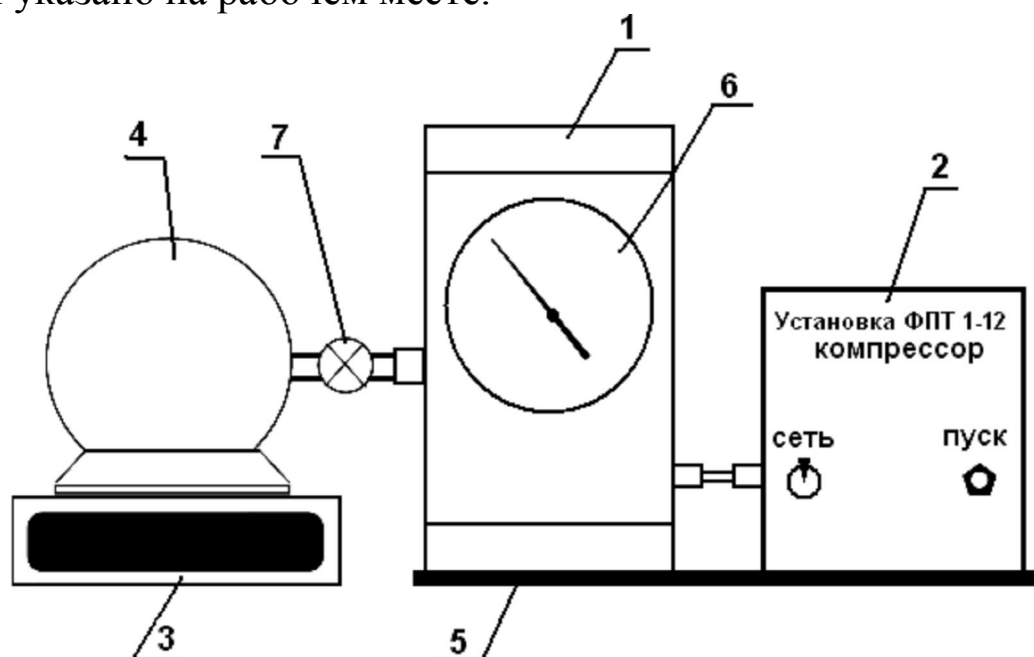


Рис. 4.1. Общий вид экспериментальной установки ФПТ 1-12:

1 – блок измерительный; 2 – блок приборный; 3 – весы; 4 – колба;

5 – стойка; 6 – вакуумметр; 7 – кран

5. Требования по технике безопасности

1. Перед началом выполнения лабораторной работы, внимательно ознакомьтесь с описанием экспериментальной установки.

2. Все электрические приборы, используемые в экспериментальной установке, должны быть обязательно заземлены.

3. Запрещается класть какие-либо посторонние предметы на приборы экспериментальной установки.

4. Запрещается прикасаться к оголенным участкам электропроводки. При обнаружении таковых обратиться к преподавателю.

5. По окончании измерений необходимо тумблерами выключить лабораторную установку и привести в порядок рабочее место. Электрические вилки из розеток не вынимать.

6. Задание

Определение молярной массы и плотности воздуха методом откачки.

7. Методика выполнения заданий

До включения электронных весов в сеть 220 В необходимо:

- снять защитное устройство с весов;
- снять колбу с чашки весов, при этом на ней не должно быть никаких предметов;
- включить источник питания;
- электронные весы покажут на табло следующие буквы и цифры: С1, 2, 3, 4, 5, 6, 8;
- нажать на клавишу «F», подождать некоторое время и после появления на табло цифр 0,00 начать измерения;
- поставить колбу на чашку весов и закрыть защитным устройством.

1. С помощью электронных весов определить массу колбы с воздухом ($m_0 + m_1$) при давлении P_1 (m_0 – масса колбы, m_1 – масса воздуха).

2. Включив компрессор тумблером «Пуск» и открыв кран, откачать воздух из колбы. Определить массу колбы с воздухом ($m_0 + m_2$) при давлении P_2 . Полученные результаты занести в табл. 7.1.

3. Повторить измерения согласно пунктам 2-3 не менее 3 раз.
4. Измерить температуру воздуха в лаборатории.
5. Выключить установку тумблером «Сеть».
6. Полученные измерения занести в табл. 7.1.
7. Для каждого проведённого измерения определить массу откачанного воздуха ($m_1 - m_2$) и разность давлений ($P_1 - P_2$).
8. По формуле (3.7) вычислить для каждого измерения значение молярной массы воздуха μ . Найти среднее значение $\langle \mu \rangle$.
9. По формуле (3.12) вычислить для каждого измерения плотность воздуха, используя найденное значение молярной массы μ .
10. Вычислить абсолютную и относительную погрешности измерений молярной массы воздуха μ и плотности воздуха ρ .
11. Сравнить полученные данные молярной массы и плотности воздуха с табличными данными справочной литературы.

Таблица 7.1

№ измерения	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

8. Контрольные вопросы

1. Что такое молярная масса вещества, в каких единицах она измеряется?
2. Запишите и объясните уравнение Менделеева-Клайперона. В каких случаях его можно использовать для практических вычислений?
3. При каких условиях газ можно считать идеальным?
4. Как теоретически рассчитать молярную массу смеси газов?
5. Что такое плотность газа и как её можно определить экспериментально?
6. Выведите расчётную формулу для определения молярной массы.
7. Почему молярную массу газа нельзя определить непосредственно, используя уравнение Менделеева-Клайперона?
8. В чём заключается метод откачки для определения молярной массы газа?
9. Перечислите основные источники погрешностей измерений в лабораторной работе.

9. Требования к содержанию и оформлению отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Ф.И.О., номер группы студента, выполнившего работу.
2. Название лабораторной работы, номер и цель работы.
3. Приборы и принадлежности для выполнения работы.
4. Блок-схему установки и основные расчётные формулы.
5. Таблицу с результатами измерений.
6. Формулы, подробные вычисления и вычисления погрешностей измерений;
7. Выводы по результатам работы.

10. Критерии результативности выполнения лабораторной работы

Лабораторная работа считается выполненной, если студент:

- усвоил основные понятия о молярной массе и плотности смеси газов;
- качественно провел эксперимент;
- правильно выполнил вычисления и получил достоверные конечные результаты;
- выполнил экспериментальную и расчетную части работы;
- составил отчет, соответствующий предъявленным к нему требованиям;
- сформулировал выводы о проделанной работе;
- грамотно ответил на все контрольные вопросы.

Список литературы

1. 1. *Савельев И. В.* Курс общей физики Т. 1. – Спб.: Издательство «Лань», 2012.
2. *Кикоин И. К., Кикоин А. К.* Молекулярная физика. – СПб: Лань, 2008.
3. *Сивухин Д. В.* Курс общей физики. Учеб. пособие для вузов. Т. 2. – М: Физматлит. Изд-во МФТИ, 2010.

Составители: ЛАЗАРЕВ Владимир Валентинович
ХАЛФИН Раис Ахуньянович

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЛЯРНОЙ МАССЫ И ПЛОТНОСТИ ГАЗА МЕТОДОМ ОТКАЧКИ

Методические указания к лабораторной работе № 124
по дисциплине «Физика»

Подписано в печать 2013. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman.
Усл. печ. л. 1,1. Уч-изд.л. 0,9. Тираж 100 экз. Заказ №
ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный
технический университет»
Центр оперативной полиграфии УГАТУ
450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12