

## Лабораторная работа 1.14

### ПРОВЕРКА ЗАКОНА БОЙЛЯ-МАРИОТТА

И.А. Анищенко, К.В. Куликовский, А.С. Елшин

*Цель работы:* проверка выполнения закона Бойля-Мариотта для воздуха при комнатной температуре.

*Задание:* измерить давление воздуха в сосуде при комнатной температуре и рассчитать объем воздуха для 15 различных положений поршня, получить значения для трёх различных количеств воздуха в сосуде, представить полученные значения в виде  $P$ - $V$  диаграммы, проверить справедливость закона Бойля–Мариотта для воздуха при комнатной температуре.

*Подготовка к выполнению лабораторной работы:* изучить основные газовые законы, ознакомиться с измерительной аппаратурой, ответить на контрольные вопросы.

### Библиографический список

1. Савельев И.В. Курс общей физики. В 3-х томах. Том 1. Механика. Молекулярная физика. - СПб.: Издательство «Лань», 2018, гл. 10, § 86.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Издательский центр «Академия», 2016, гл. 8, §§ 41, 42.

### Контрольные вопросы

1. Сформулируйте закон Бойля-Мариотта.
2. Дайте определение идеального газа
3. Опишите экспериментальную установку.
4. Какой процесс называется изотермическим?
5. Начертите две изотермы в осях  $P$ - $V$  и скажите, как они отличаются по температуре (при  $m=const$ ) и массе газа (при  $T=const$ )?
6. Дайте определение количества вещества.
7. Что такое молярная масса и чему она равна для кислорода, азота и воздуха?
8. Запишите уравнение Клапейрона - Менделеева.
9. Какие газовые законы идеального газа Вам известны?
10. Чему равна комнатная температура по шкале Кельвина?

### Теоретическое введение

Состояние некоторой массы  $m$  идеального газа определяется тремя термодинамическими параметрами: давлением  $P$ , объемом  $V$  и температурой  $T$ .

Между этими параметрами существует определенная связь, называемая уравнением состояния

$$\frac{PV}{T} = \text{const} \quad (1)$$

Многие газы при комнатной температуре и нормальном давлении можно считать идеальными. Чем выше температура и ниже давление реального газа, тем его свойства ближе к идеальному газу. Согласно модели идеального газа: 1) собственный объем молекул газа пренебрежимо мал по сравнению с объемом, в котором находится газ, т.е. молекулы можно считать материальными точками; 2) между молекулами газа отсутствуют силы взаимодействия, т.е. потенциальная энергия взаимодействия молекул много меньше кинетической энергии их теплового движения; 3) столкновения молекул газа между собой и со стенками сосуда являются абсолютно упругими.

Уравнение состояния некоторой массы  $m$  идеального газа, называемое также уравнением Клапейрона-Менделеева, записывается следующим образом

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

где  $\mu$  – молярная масса (масса одного моля вещества),  $\nu$  – количество вещества (число молей). Моль это количество вещества, в котором содержится число частиц (атомов, молекул), равное числу атомов в 12 г изотопа углерода  $^{12}\text{C}$ . Опытным путем установлено, что в одном моле различных веществ содержится  $6,02 \times 10^{23}$  частиц. Это число называется постоянной Авогадро  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ .

При нормальных условиях ( $P_0 = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ,  $T_0 = 273 \text{ К}$ ) один моль любого газа занимает объем  $V_M = 22,4 \text{ л}$ . Универсальная газовая постоянная  $R$  может быть рассчитана по формуле

$$R = \frac{P_0 V_M}{T_0} = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}. \quad (3)$$

Закон Бойля-Мариотта, установленный опытным путем, описывает поведение идеального газа при постоянной температуре для данной массы газа. Согласно этому закону произведение давления газа на его объем есть величина постоянная

$$PV = \text{const}, \text{ при } T = \text{const}, m = \text{const} \quad (4)$$

Кривая, изображающая зависимость между давлением  $P$  и объемом  $V$  при постоянной температуре, называется изотермой. Изотермы представляют собой

гиперболы (см. рис. 1), расположенные на графике  $P$ - $V$  тем выше, чем выше температура, при которой происходит процесс ( $T_1 < T_2 < T_3$ ).

### Описание аппаратуры и методики измерений

Схема установки показана на рис. 2. С помощью манометра 1 измеряют давление  $P$  воздуха в цилиндрическом сосуде 5, значения давления представляются в кПа. Объем  $V$  воздуха в цилиндрическом сосуде изменяется за счет движения поршня 4 с помощью ручки 6. Этот объем вычисляется как произведение площади  $S$  поперечного сечения поршня на расстояние  $X$ , пройденное поршнем относительно положения нулевого объема, измеряемое по шкале 7. Для точного анализа следует также учесть «мертвый» объем  $V_0$  воздуха в манометре, наличие которого невозможно избежать.

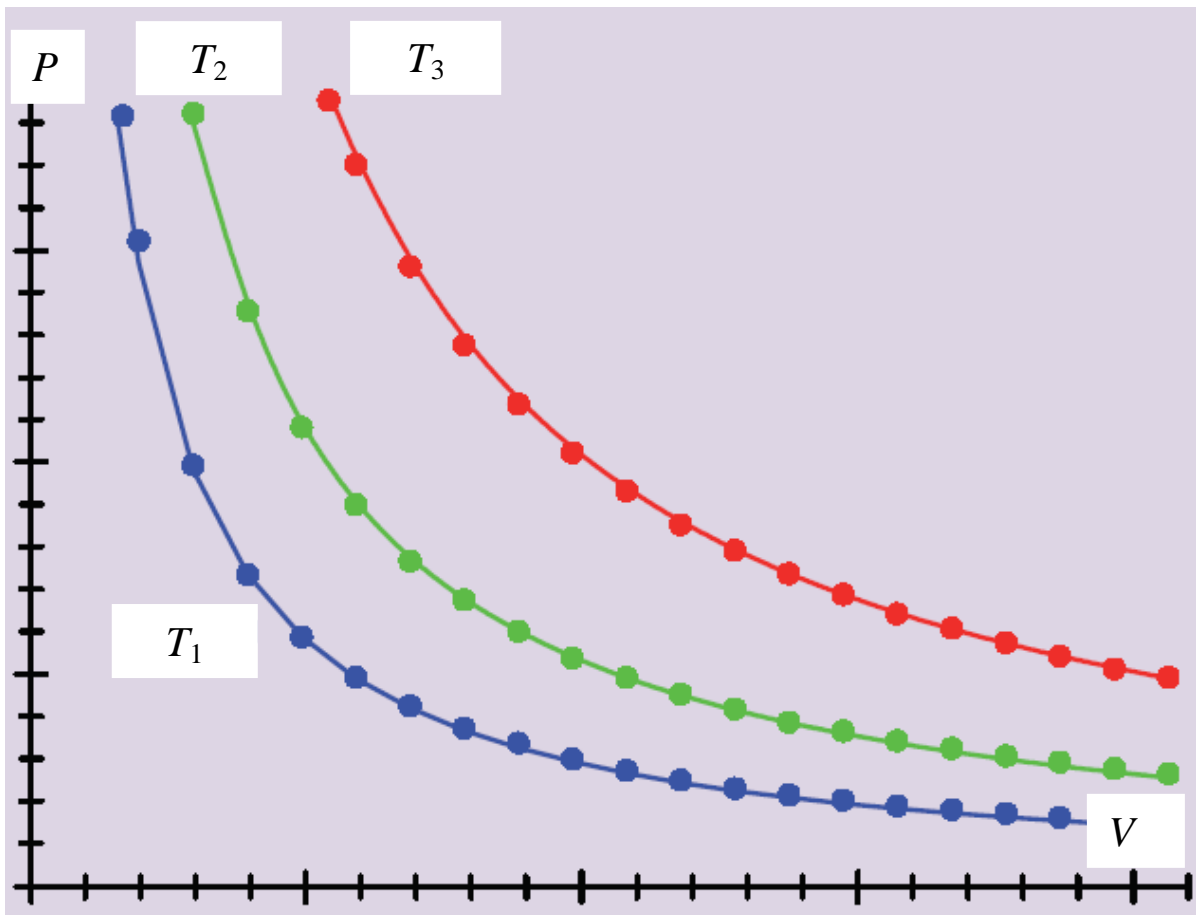


Рис. 1

Количество воздуха  $\nu$  в сосуде зависит от начального объема  $V_1$  сосуда, в который воздух попадает через открытый перед началом опыта клапан 2. Во время опыта клапан 2 держится закрытым. Давление в сосуде не должно пре-

вышать 350 кПа (3,5 бар). Клапан 3 служит для сброса воздуха, если давление превышает норму.

### Порядок выполнения работы

1. Открыть клапан 2, повернув его против часовой стрелки. Выставить поршень 4 в крайнее правое положение, медленно поворачивая ручку 6, при этом воздух займет весь объем цилиндра.
2. Выждать 3 мин и закрыть клапан 2, повернув его по часовой стрелке. Перемещая поршень 4, медленно поворачивая ручку 6, и изменяя тем самым объем воздуха в сосуде, провести (по шкале 7) 12÷15 замеров расстояния  $X$  (через 1 см), пройденного поршнем относительно нулевого объема.
3. Одновременно с замерами расстояния  $X$  измерить с помощью манометра 1 давление  $P$  воздуха в сосуде, соответствующее расстоянию  $X$ .

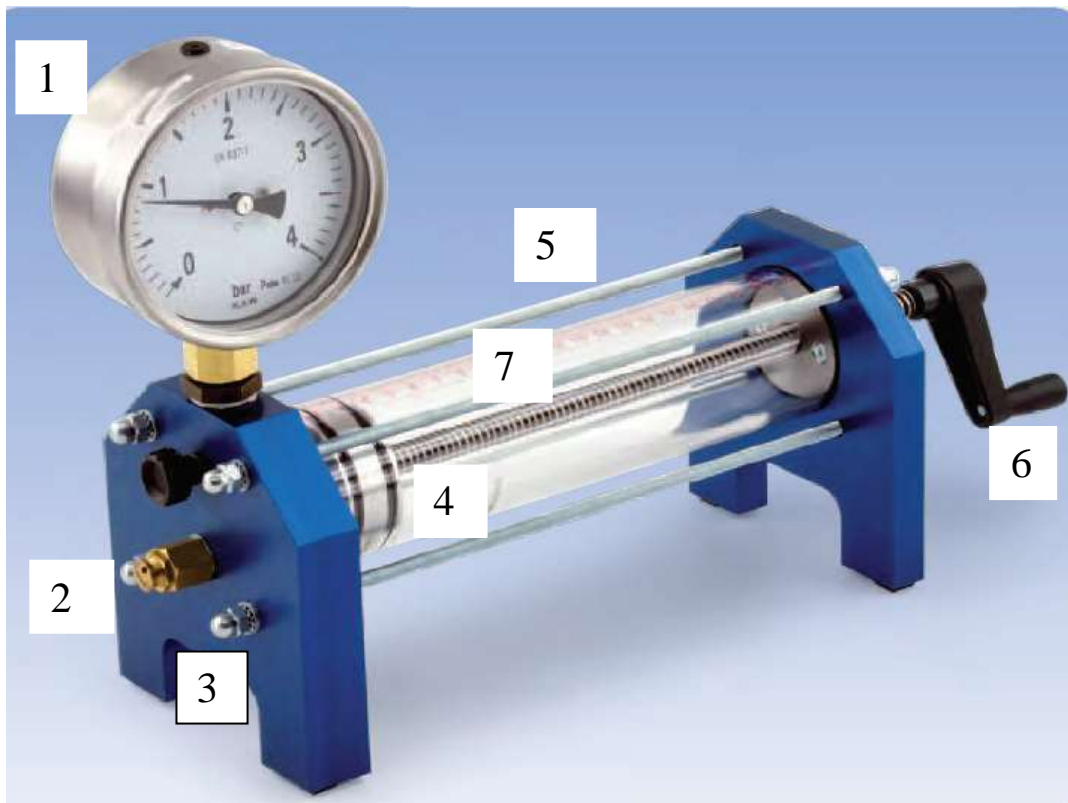


Рис. 2

4. Провести измерения для двух других количеств  $v$  воздуха ( $v_2, v_3$ ). Для этого при открытом клапане 2 (повернув его против часовой стрелки) сначала выставить поршень, медленно повернув ручку 6, на расстояние 17 см по шкале 7, и далее, выждав 3 мин., повторить пункты 2-3. Затем при открытом клапане 2. поставить поршень на расстояние 15 см по шкале 7 и, выждав 3 мин., повторить пункты 2-3.

5. Результаты измерений давления  $P$  (в кПа) и расстояния  $X$  (в см) относительно положения нулевого объема для трёх различных количеств ( $v_1, v_2, v_3$ ) воздуха занести в таблицы 1, 2, 3.

Таблица 1

№	$v_1$ , моль	$X$ , см	$V$ , см <sup>3</sup>	$P$ , кПа	$PV$ , Па·м <sup>3</sup>
1					
2					
...					

Таблица 2

№	$v_2$ , моль	$X$ , см	$V$ , см <sup>3</sup>	$P$ , кПа	$PV$ , Па·м <sup>3</sup>
1					
2					
...					

Таблица 3

№	$v_3$ , моль	$X$ , см	$V$ , см <sup>3</sup>	$P$ , кПа	$PV$ , Па·м <sup>3</sup>
1					
2					
...					

### Обработка результатов измерений

1. Рассчитать объем  $V$  воздуха в сосуде для каждого из 15 положений поршня для трёх различных количеств ( $v_1, v_2, v_3$ ) воздуха в сосуде по формуле

$$V = V_0 + X \frac{\pi d^2}{4}, \quad (5)$$

где  $V_0 = 20 \text{ см}^3$  - «мёртвый» объем воздуха в манометре,  $X$  - расстояние, измеренное по шкале 7 относительно положения нулевого объема,  $d = 50 \text{ мм}$  - диаметр поршня. Занести значения объема в таблицы 1, 2, 3 для трёх различных количеств ( $v_1, v_2, v_3$ ) воздуха в сосуде.

2. Рассчитать произведение  $PV$  для каждого из 15 положений поршня для трёх различных количеств ( $v_1, v_2, v_3$ ) воздуха в сосуде и подставить значения в таблицы 1, 2, 3.
3. Построить графики в виде диаграмм  $P$ - $V$  для трёх различных количеств ( $v_1, v_2, v_3$ ) воздуха в сосуде (см. рис. 1).

4. Рассчитать количества ( $v_1, v_2, v_3$ ) воздуха при комнатной температуре, соответствующие каждой диаграмме, по формуле

$$v = \frac{PV}{RT}. \quad (6)$$

В качестве произведения  $PV$  взять первое значение из таблиц 1, 2, 3. Подставить полученные значения ( $v_1, v_2, v_3$ ) в таблицы 1, 2, 3.

5. Для количества воздуха  $v_1$  рассчитать относительную погрешность по формуле

$$E = \frac{\Delta(PV)}{PV} = \frac{\Delta P}{P} + \frac{\Delta X}{X} + 2 \frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta \pi}{\pi}, \quad (7)$$

где  $\Delta P = 5$  кПа,  $\Delta X = 0,5$  мм,  $\Delta d = 0,5$  мм,  $\Delta \pi = 0,005$  при  $\pi = 3,14$ , и рассчитать абсолютную погрешность по формуле

$$\Delta(PV) = E \cdot (PV). \quad (8)$$

В качестве произведения  $PV$  взять первое значение из таблиц 1, 2, 3.

6. Для количества воздуха  $v_1$  сравнить произведения  $PV$  для различных положений поршня, и убедиться, что в пределах погрешности

$$PV = \text{const} \quad (9)$$