

## Лабораторная работа №24

### Изучение изотермического процесса в газах

**Цель работы:** экспериментальным путем проверить верность закона Бойля – Мариотта (доказать постоянство произведения  $PV$ ).

Виртуальная лаборатория «Изучение изотермического процесса в газах» - <http://efizika.ru/html5/24/index.html>.

Установка моделирует лабораторную работу «Изучение изотермического процесса в газах».

#### Краткая теория

Для реальных и идеальных газов, уравнение состояния можно описать тремя параметрами  $P$ ,  $V$ ,  $T$  и получить уравнение состояния идеального газа:

$$pV = \nu RT = \frac{m}{M} RT. \quad (1)$$

Это соотношение может принять такой вид (с учетом для одного моля любого газа):

$$pV = RT.$$

В 1834 году, физиком Бенуа Поль Эмиль Клапейрон, было открыто уравнение устанавливающее зависимость между давлением, объемом и температурой газа. Это уравнение имеет вид:

$$pV = (\nu_1 + \nu_2 + \nu_3 + \dots) \cdot RT.$$

В форме (1) оно было впервые записано Дмитрием Ивановичем Менделеевым. Поэтому уравнение состояния газа называется уравнением Клапейрона – Менделеева.

Объединенный газовый закон для любой постоянной массы газа (а значит, и для одного моля газа) имеет вид:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2},$$

или

$$\frac{PV}{T} = \text{const.}$$

Необходимо выделить, что задолго до того, как уравнение состояния идеального газа было теоретически получено на основе молекулярно-кинетической модели, закономерности поведения газов в различных условиях были хорошо исследованы опытным путем. Поэтому уравнение  $PV = \frac{m}{M} RT$  можно рассматривать как обобщение опытных фактов, которые находят объяснение в молекулярно-кинетической теории.

Газ может участвовать в различных тепловых процессах, при которых могут изменяться все параметры, описывающие его состояние ( $P$ ,  $V$  и  $T$ ). Процессы могут быть изображены на диаграмме состояний (например, в

координатах  $P, V$ ) в виде некоторой траектории, каждая точка которой представляет равновесное состояние.

Интерес представляют процессы, в которых один из параметров ( $P, V$  или  $T$ ) остается неизменным. Такие процессы называются изопроцессами.

Для пояснения приведем пример.

Возьмем цилиндрический сосуд с плотно притертым поршнем. Если, перемещая поршень, изменять объем газа в сосуде то, температура газа тоже будет изменяться, однако если охлаждая сосуд при сжатии газа или нагревая при расширении можно достичь того, что температура будет постоянной при изменениях объема и давления, такой процесс называется изотермическим ( $T = \text{const}$ ).

Предоставим газу возможность расширяться и производить при этом работу против сил внешнего давления. Это можно осуществить следующим образом. Пусть в большой бутылки находится сжатый воздух, имеющий комнатную температуру. Сообщим бутылку с внешним воздухом, дадим воздуху в бутылки возможность расширяться, выходя из небольшого отверстия наружу, и поместим в струе расширяющегося воздуха термометр. Термометр покажет температуру, заметно более низкую, чем комнатная, а что будет указывать на понижение температуры воздуха в струе.

Следовательно, сжатие газа внешней силой вызывает его нагревание, а расширение газа сопровождается его охлаждением.

Из уравнения  $pV = \nu RT$  состояния идеального газа следует, что при постоянной температуре  $T$  и неизменном количестве вещества  $\nu$  в сосуде произведение давления  $P$  газа на его объем  $V$  должно оставаться постоянным:

$$pV = \text{const}$$

Процесс изменения давления и объема газа при постоянной температуре называется изотермическим процессом. График зависимости давления газа от его объема при изотермическом процессе называется изотермой. На плоскости ( $P, V$ ) изотермы изображаются при различных значениях температуры  $T$  семейством гипербол  $P \sim 1 / V$  (рис. 1).

Так как коэффициент пропорциональности в этом соотношении увеличивается с ростом температуры, изотермы, соответствующие более высоким значениям температуры, располагаются на графике выше изотерм, соответствующих меньшим значениям температуры.

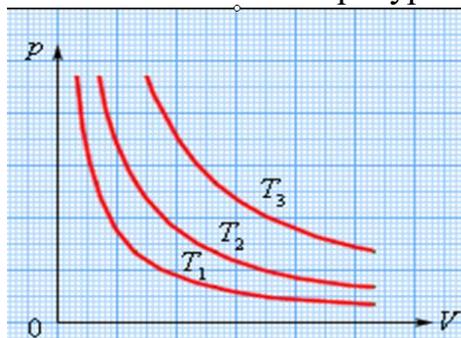


Рис. 1. Семейство изотерм на плоскости ( $p, V$ ):  $T_3 > T_2 > T_1$

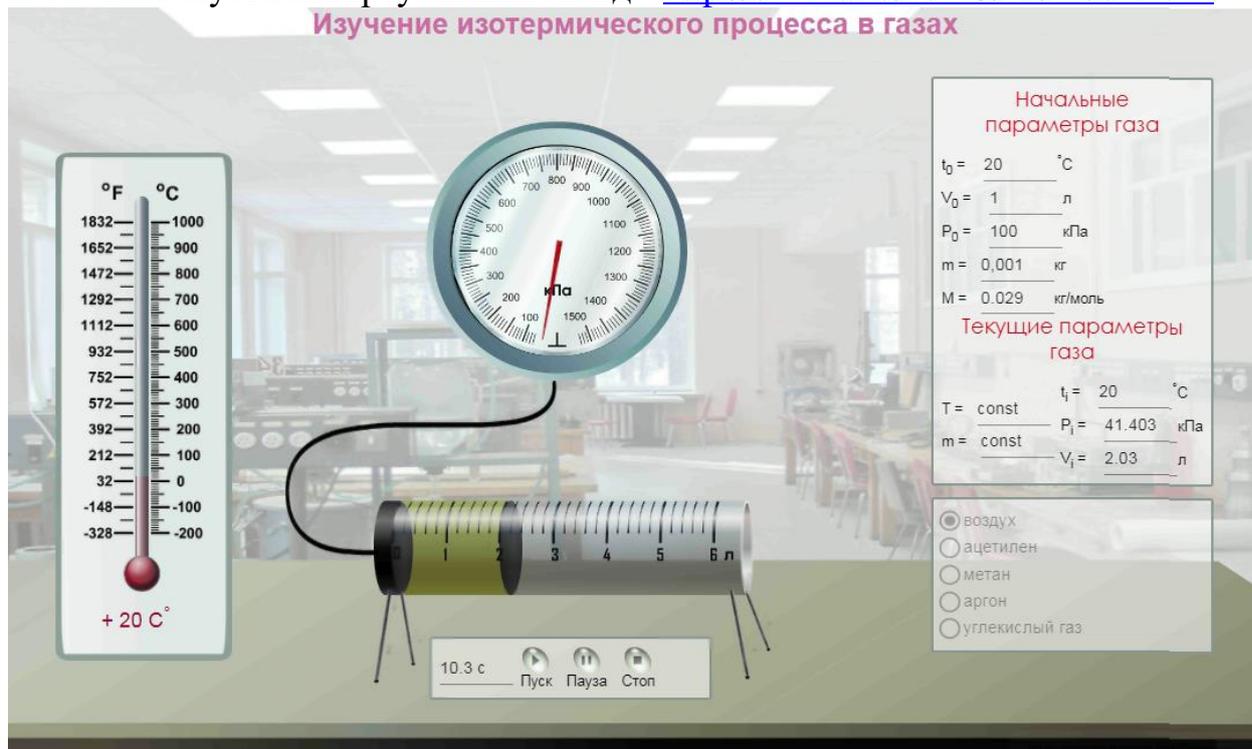
Уравнение изотермического процесса, выражающее зависимость давления от объема газа при постоянной температуре было получено из эксперимента английским физиком Р. Бойлем (1662 г.) и независимо французским физиком Э. Мариоттом (1676 г.). Поэтому это уравнение называют законом Бойля–Мариотта

$$P_1V_1 = P_2V_2.$$

Однако закон Бойля-Мариотта перестает выполняться, если перейти к большим давлениям.

### Ход работы

1. Запустить виртуальный стенд - <http://efizika.ru/html5/24/index.html>.



2. Установить начальные параметры газа: давление  $P_0$ , температуру  $t_0$  и объем  $V_0$ .
3. Выбрать для исследования газ из пяти возможных: воздух, ацетилен, метан, аргон, углекислый газ.
4. Нажать на кнопку «Пуск» для начала нагревания газа.
5. При достижении кратных температур или давлений останавливать нагрев кнопкой «Пауза».
6. Снять показания установившегося объема газа  $V_i$  и давления  $P_i$  и найти произведение  $P_iV_i$ .
7. Продолжить нагрев, нажав на кнопку «Пуск».
8. Вновь останавливать нагрев кнопкой «Пауза».
9. Записать значения конечного объема  $V_i$  при увеличении давления  $P_i$ .
10. Найти произведение  $P_iV_i$  и убедиться в их примерном равенстве, т.е. в справедливости закона Бойля-Мариотта.
11. Определить оценку абсолютной и относительной погрешностей измерения.

12. Данные исследования занести в таблицу.

№, п/п	газ	$M$ , кг/моль (молярная масса)	$m$ , кг (масса газа)	Начальные показатели			
				$P_0$ , кПа (давление)	$V_0$ , м <sup>3</sup> (объем)	$t_0$ , °С (температура по Цельсию)	$T_0$ , К (температура Кельвина)
1							
2							

Конечные показатели				$P_i V_i$ , кПа·м <sup>3</sup>	$P_0 V_0$ , кПа·м <sup>3</sup>	$\Delta(PV)$ , кПа·м <sup>3</sup>	$\varepsilon_{(PV)}$ , %
$P_i$ , кПа (давление)	$V_i$ , м <sup>3</sup> (объем)	$t_i$ , °С (температура по Цельсию)	$T_i$ , К (температура Кельвина)				

13. Сформулировать выводы.

### Контрольные вопросы

1. Записать уравнение состояния идеального газа.
2. Объяснить в чем состоит суть закона Бойля – Мариотта.
3. Зарисовать график изотермического процесса, и рассказать в чем его отличие от других изопрцессов.
4. Каким физиком было получено уравнение устанавливающее связь между давлением, объемом и температурой газа? Записать это уравнение.
5. Из чего состоит экспериментальная установка? Для чего служат те или иные приборы?
6. Запишите основные приборы и оборудование, необходимые для проведения данной работы.

### Список литературы

1. Курс физики. Т. 1: Механика. Молекулярная физика / И.В. Савельев. – М.: Наука, 1989.
2. Молекулярная физика / А.К. Кикоин, И.К. Кикоин. – М.: Наука, 1976.
3. Лабораторный практикум по физике / Под ред. А.С. Ахматова – М.: «Высшая школа», 1980.
4. Техническое описание экспериментальной установки ФПТ1-8.
5. Практические рекомендации по обработке результатов измерений: Методические указания / Сост.: Л.П. Муркин, Н.В. Мышкина. – Куйбышев: КуАИ, 1992.