

## Группа 12. Физика

Дата: 23.10.2021

Уроки № 31, 32

Тип урока: комбинированный урок

### Темы уроков:

**Газовые законы. Закон Бойля – Мариотта. Закон Гей – Люссака. Закон Шарля.  
Контрольная работа №4: «Температура. Уравнение состояния идеального газа и газовые законы».**

### *Задание:*

*Ознакомиться с текстом по теме урока. Написать в тетради краткий конспект.  
Ответить на контрольные вопросы. Выполнить контрольную работу.*

---

### План конспекта:

1. Газовые законы
2. Изопроцессы
3. Изотермический процесс. Закон Бойля – Мариотта
4. Равновесное состояние
5. Изобарный процесс. Закон Гей – Люссака
6. Изохорный процесс. Закон Шарля.
7. Схема «Газовые законы».

---

### Газовые законы

*Вспомните, состояние какого газа описывает уравнение Менделеева—Клапейрона.*

*Можно ли универсальную газовую постоянную считать фундаментальной постоянной?*

С помощью уравнения состояния идеального газа можно исследовать процессы, в которых масса газа и один из трёх параметров — давление, объём или температура — остаются неизменными.

#### **Запомни**

Количественные зависимости между двумя параметрами газа при фиксированном значении третьего называют **газовыми законами**.

Процессы, протекающие при неизменном значении одного из параметров, называют **изопроцессами**.



Слово «изопроцесс» — сложное слово, первая часть

которого происходит от греческого слова *isos* — равный, одинаковый.

Отметим, что в действительности ни один процесс не может протекать при строго фиксированном значении какого-либо параметра. Всегда имеются те или иные воздействия, нарушающие постоянство температуры, давления или объёма. Лишь в лабораторных условиях удаётся поддерживать постоянство того или иного параметра с высокой точностью, но в действующих технических устройствах и в природе это практически неосуществимо. Изопроцесс — это идеализированная модель реального процесса, которая только приближённо отражает действительность.

### Изотермический процесс.

#### Запомни

Процесс изменения состояния системы макроскопических тел (термодинамической системы) при постоянной температуре называют **изотермическим**.



Слово «изотермический» происходит от греческих слов *isos* — равный, одинаковый и *therme* — теплота.

Для поддержания температуры газа постоянной необходимо, чтобы он мог обмениваться теплом с большой системой — термостатом. Иначе при сжатии или расширении температура газа будет меняться. Термостатом может служить атмосферный воздух, если температура его заметно не меняется на протяжении всего процесса. Согласно уравнению состояния идеального газа (10.4), если масса газа не изменяется, в любом состоянии с неизменной температурой произведение давления газа на его объём остаётся постоянным:

$$pV = \text{const при } T = \text{const.} \quad (10.6)$$

Этот вывод был сделан английским учёным Р. Бойлем (1627—1691) и несколько позже французским учёным Э. Мариоттом (1620—1684) на основе эксперимента. Поэтому он носит название *закона Бойля—Мариотта*.

#### Закон Бойля—Мариотта

Для газа данной массы отношение давления газа к его объёму постоянно.

Закон Бойля—Мариотта справедлив обычно для любых газов, а также и для их смесей, например для воздуха. Лишь при давлениях, в несколько сотен раз больших атмосферного, отклонения от этого закона становятся существенными.

#### Запомни

Кривую, изображающую зависимость давления газа от объёма при постоянной температуре, называют **изотермой**.



Начертите изотермы в осях  $p, T$  и  $V, T$ .

Изотерма газа изображает обратно пропорциональную зависимость между давлением и объёмом. Кривую такого рода в математике называют *гиперболой* (рис. 10.1).

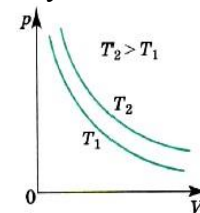


Рис. 10.1

Различным постоянным температурам соответствуют различные изотермы. При повышении температуры газа давление согласно уравнению состояния (10.4) увеличивается, если  $V = \text{const}$ . Поэтому изотерма, соответствующая более высокой температуре  $T_2$ , лежит выше изотермы, соответствующей более низкой температуре  $T_1$  (см. рис. 10.1).

Для того чтобы процесс происходил при постоянной температуре, сжатие или расширение газа должно происходить очень медленно. Дело в том, что, например, при сжатии газ нагревается, так как при движении поршня в сосуде скорость и соответственно кинетическая энергия молекул после ударов о поршень увеличиваются, а следовательно, увеличивается и температура газа. Именно поэтому для реализации изотермического процесса надо после небольшого смещения поршня подождать, когда температура газа в сосуде опять станет равной температуре окружающего воздуха.

Кроме этого, отметим, что при быстром сжатии давление под поршнем сразу становится больше, чем во всём сосуде. Если значения давления и температуры в различных точках объёма разные, то в этом случае газ находится в неравновесном состоянии и мы не можем назвать значения температуры и давления, определяющие в данный момент состояние системы. Если систему предоставить самой себе, то температура и давление постепенно выравниваются, система приходит в равновесное состояние.

#### Запомни

**Равновесное состояние** — это состояние, при котором температура и давление во всех точках объёма одинаковы.

Параметры состояния газа могут быть определены, если он находится в равновесном состоянии.

#### Запомни

Процесс, при котором все промежуточные состояния газа являются равновесными, называют **равновесным процессом**.

Очевидно, что на графиках зависимости одного параметра от другого мы можем изображать только равновесные процессы.

### Изобарный процесс

#### Запомни

Процесс изменения состояния термодинамической системы при постоянном давлении называют **изобарным**.

#### Интересно

Слово «изобарный» происходит от греческих слов *isos* — равный, одинаковый и *baros* — вес, тяжесть.

Согласно уравнению (10.4) в любом состоянии газа с неизменным давлением отношение объёма газа к его температуре остаётся постоянным:

$$\frac{V}{T} = \text{const при } p = \text{const.} \quad (10.7)$$

Этот закон был установлен экспериментально в 1802 г. французским учёным Ж. Гей-Люссаком (1778—1850) и носит название *закона Гей-Люссака*.

### Закон Гей-Люссака

Для газа данной массы при постоянном давлении отношение объёма к абсолютной температуре постоянно.

Согласно уравнению (10.7) объём газа при постоянном давлении пропорционален температуре:

$$V = \text{const} \cdot T. \quad (10.8)$$

### Запомни

Прямую, изображающую зависимость объёма газа от температуры при постоянном давлении, называют **изобарой**.

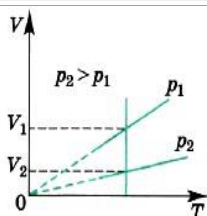


Рис. 10.2

Разным давлениям соответствуют разные изобары (рис. 10.2). Проведём на рисунке произвольную изотерму. С ростом давления объём газа при постоянной температуре согласно закону Бойля—Мариотта уменьшается. Поэтому изобара, соответствующая более высокому давлению  $p_2$ , лежит ниже изобары, соответствующей более низкому давлению  $p_1$ .

В области низких температур все изобары *идеального* газа сходятся в точке  $T = 0$ . Но это не означает, что объём *реального* газа обращается в нуль. Все газы при сильном охлаждении превращаются в жидкости, а к жидкостям уравнение состояния (10.4) неприменимо. Именно поэтому, начиная с некоторого значения температуры, зависимость объёма от температуры проводится на графике штриховой линией. В действительности таких значений температуры и давления у вещества в газообразном состоянии быть не может.



Начертите изобары в осях  $p$ ,  $T$  и  $p$ ,  $V$ .

Изобарным можно считать расширение газа при нагревании его в цилиндре с подвижным поршнем, если внешнее давление постоянно. Давление в цилиндре постоянно и равно сумме атмосферного давления и давления  $m_p g/S$  поршня.

### Запомни

Процесс изменения состояния термодинамической системы при постоянном объёме называют **изохорным**.

### Интересно

Слово «изохорный» происходит от греческих слов *isos* — равный, одинаковый и *chora* — место, пространство, занимаемое чем-нибудь.

Из уравнения состояния (10.4) вытекает, что в любом состоянии газа с неизменным объёмом отношение давления газа к его температуре остаётся постоянным:

$$\frac{p}{T} = \text{const при } V = \text{const.} \quad (10.9)$$

Этот газовый закон был установлен в 1787 г. французским физиком Ж. Шарлем (1746—1823) и носит название *закона Шарля*.

#### Закон Шарля

Для газа данной массы отношение давления к абсолютной температуре постоянно, если объём не меняется.

Согласно уравнению (10.9) давление газа при постоянном объёме пропорционально температуре:

$$p = \text{const} \cdot T. \quad (10.10)$$



#### Запомни

Прямую, изображающую зависимость давления газа от температуры при постоянном объёме, называют *изохорой*.

Разным объёмам соответствуют разные изохоры. Также проведём на рисунке произвольную изотерму (рис. 10.3). С ростом объёма газа при постоянной температуре давление его, согласно закону Бойля— Мариотта, падает. Поэтому изохора, соответствующая большему объёму  $V_2$ , лежит ниже изохоры, соответствующей меньшему объёму  $V_1$ .

В соответствии с уравнением (10.10) все изохоры идеального газа начинаются в точке  $T = 0$ . Значит, давление идеального газа при абсолютном нуле равно нулю.

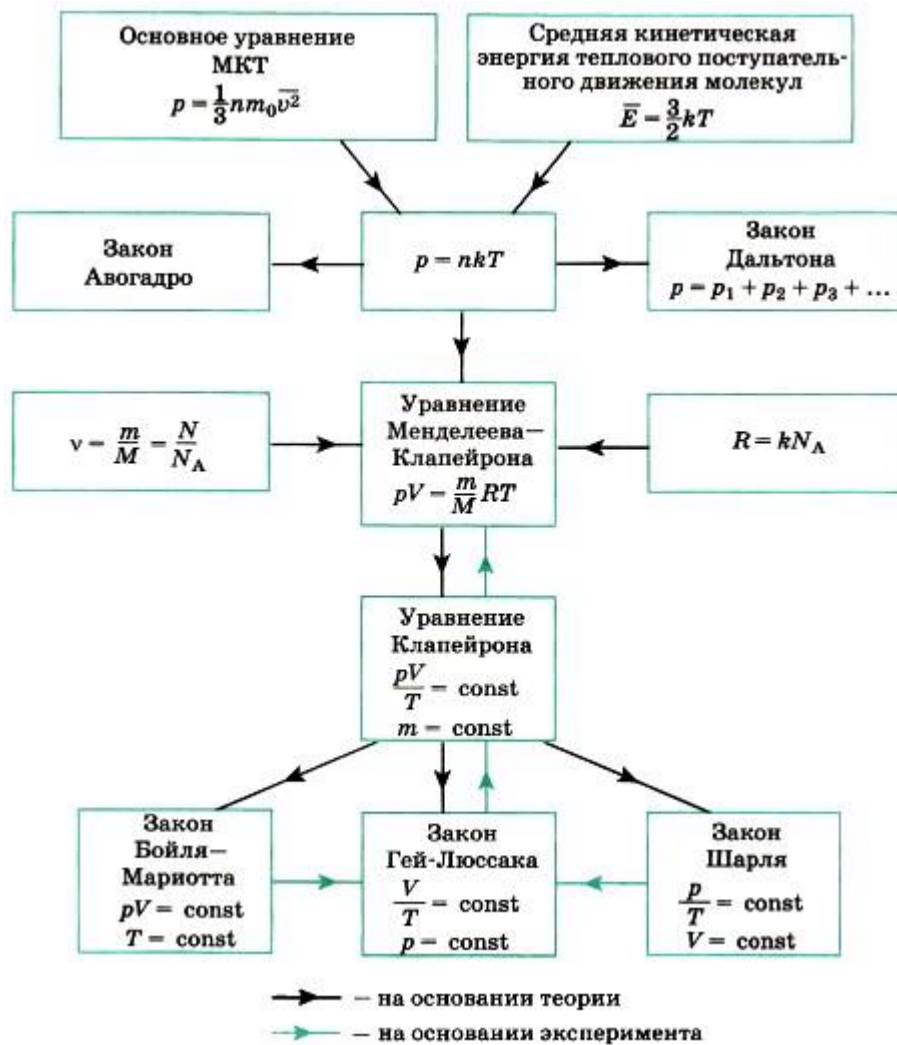
Увеличение давления газа в любом сосуде или в электрической лампочке при нагревании можно считать изохорным процессом. Изохорный процесс используется в газовых термометрах постоянного объёма.



Можно ли утверждать, что изохорный процесс равновесный?

С какими процессами вы встречаетесь в повседневной жизни?

В заключение составим опорную схему (рис. 10.4) и покажем логические переходы, связывающие различные законы и уравнения.



### Контрольные вопросы:

1. Вы надули щёки. При этом и объём, и давление воздуха у вас во рту увеличиваются. Как это согласовать с законом Бойля—Мариотта?
2. Как можно осуществить изотермический, изобарный и изохорный процессы? Какое состояние системы (газа) считается равновесным?
3. Как качественно объяснить газовые законы на основе молекулярно-кинетической теории?

### Контрольная работа №4: «Температура. Уравнение состояния идеального газа и газовые законы»

1. Два газа находятся в тепловом равновесии. Какие параметры у них совпадают?
2. Сколько молекул содержится в трёх молях воды?
3. Какой объём занимает углекислый газ ( $M=44 \cdot 10^{-3}$  кг/моль) массой 9 кг при давлении  $4 \cdot 10^5$  Па и температуре  $37^0$  С ?
4. Объём газ изотермически увеличился вдвое. Какое было начальное давление газа, если конечное давление –  $10^5$  Па?
5. Какие формулы подтверждают утверждение: Температура – мера средней кинетической энергии молекул?

---

### Литература:

Мякишев Г. Я. Физика 10 класс. Учебник для общеобразовательных учреждений. М., 2010. главы 9, 10