

30.10.2025. 8-ЗУ-25 Физика Гаврилина О.О.

Оформить конспект.(основные понятия, законы, формулы)

Уравнение состояния идеального газа. Газовые законы.

Основное уравнение молекулярнокинетической теории газов вплотную приблизило нас к установлению связей между этими параметрами.

Уравнение, связывающее три макроскопических параметра p , V и T , называют уравнением состояния идеального газа.

Подставим в уравнение $p = nkT$ выражение для концентрации молекул газа. концентрацию газа можно записать так:

$$pV = \frac{m}{M} kN_A T. \quad (10.2)$$

где N_A — постоянная Авогадро, m — масса газа, M — его молярная масса.

Произведение постоянной Больцмана k и постоянной Авогадро N_A называют универсальной (молярной) газовой постоянной и обозначают буквой R :

$$R = kN_A = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ 1/моль} = 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}.$$

Подставляя в уравнение (10.2) вместо kN_A универсальную газовую постоянную R , получаем уравнение состояния идеального газа произвольной массы


$$pV = \frac{m}{M} RT. \quad (10.4)$$

Единственная величина в этом уравнении, зависящая от рода газа, — это его молярная масса.

Из уравнения состояния вытекает связь между давлением, объёмом и температурой идеального газа, который может находиться в двух любых состояниях.

Если индексом 1 обозначить параметры, относящиеся к первому состоянию, а индексом 2 — параметры, относящиеся ко второму состоянию, то согласно уравнению (10.4) для газа данной массы

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{m}{M} R \quad \text{и} \quad \frac{p_2 V_2}{T_2} = \frac{m}{M} R.$$

Правые части этих уравнений одинаковы, следовательно, должны быть равны и их левые части:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} = \text{const.} \quad (10.5)$$

Известно, что один моль любого газа при нормальных условиях ($p_0 = 1 \text{ атм} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$, $t = 0 \text{ }^\circ\text{С}$ или $T = 273 \text{ К}$) занимает объём 22,4 л. Для одного моля газа, согласно соотношению (10.5), запишем:

$$\frac{pV}{T} = \frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{1,013 \cdot 10^5 \cdot 22,4 \cdot 10^{-3}}{273} \frac{\text{Па} \cdot \text{м}^3}{\text{моль} \cdot \text{К}} = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}.$$

Получили значение **универсальной газовой постоянной R**.

Таким образом, для одного моля любого газа

$$\frac{pV}{T} = R.$$

Уравнение состояния в форме (10.4) было впервые получено великим русским учёным Д. И. Менделеевым. Его называют **уравнением Менделеева—Клапейрона**.

Уравнение состояния в форме (10.5) называется **уравнением Клапейрона** и представляет собой одну из форм записи уравнения состояния.

Уравнение состояния не надо выводить каждый раз, его надо запомнить. Неплохо было бы помнить и **значение универсальной газовой постоянной**:

$$R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

Газовые законы

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

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

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

Изотермический процесс.

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

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:

$$pV = \text{const при } T = \text{const.}$$

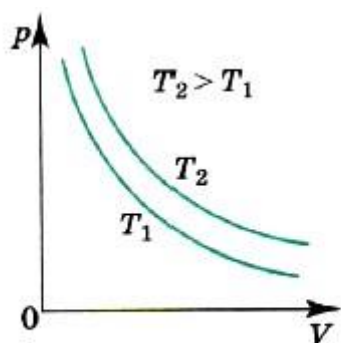
Этот вывод был сделан английским учёным Р. Бойлем (1627—1691) и несколько позже французским учёным Э. Мариоттом (1620—1684) на основе эксперимента. Поэтому он носит название закона Бойля—Мариотта.

Закона Бойля—Мариотта

Для газа данной массы при постоянной температуре произведение давления газа на его объём 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.

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



$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

Рис. 10.1

Изобарный процесс.

Процесс изменения состояния термодинамической системы при постоянном давлении называют изобарным.

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*.

Закона 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:

$$V = \text{const} \cdot T.$$

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

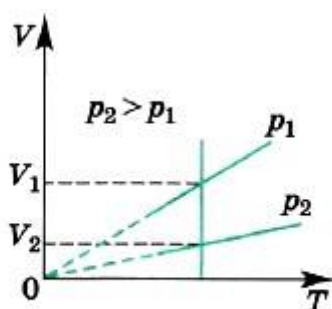


Рис. 10.2

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \rightarrow T_2 V_1 = T_1 V_2$$

Изохорный процесс.

Процесс изменения состояния термодинамической системы при постоянном объёме называют изохорным.

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*.

Закона 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:

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

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

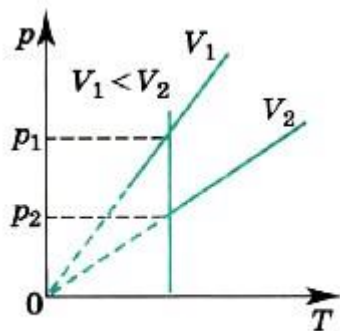


Рис. 10.3

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \rightarrow T_2 P_1 = T_1 P_2$$