Глава III.4

Решение задач на закон Шарля

Закон Шарля

1. *Какова физическая сущность термического коэффициента давления?*

Решение. Запишем закон Шарля в виде: $p = p_o(1 + \gamma t^o) = p_o + p_o\gamma t^o$, где p_o – давление газа при 0^oC, t^o – температура газа, γ – термический коэффициент давления.

Определим разность давлений газа при температуре t^o и 0^oC:

$$\Delta p = p - p_o = p_o\gamma t^o.$$

Отсюда $\gamma = \dfrac{p - p_o}{p_o t^o}$.

Таким образом, термический коэффициент давления показывает, на какую долю от давления при 0^oC изменяется давление газа при изменении температуры на 1^oC.

Численное значение коэффициента γ составляет 1/(273 К).

2. *Нагретый стакан плотно ставят кверху дном на клеёнку стола. После остывания стакана его трудно снять с клеёнки. Почему?*

Решение. Воздух в стакане (после прижатия к клеёнке) изохорически охлаждается. При этом его давление (и сила давления) на дно стакана и боковые стенки уменьшается. Силы атмосферного давления прижимают стакан к клеёнке.

3. *При температуре 35°С давление газа в закрытом сосуде было 125 кПа. Каким станет давление при температуре -15°С?*

Дано: $t^o_1 = 35^oC$; $t^o_2 = -15^oC$; $T_1 = 308$ К; $T_2 = 258$ К; $p_1 = 125$ кПа

p_2 – ?

Решение. Запишем для двух состояний газа закон Шарля и определим давление p_2 газа при температуре t^o_2:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \Rightarrow p_2 = \frac{T_2}{T_1} p_1$$

Вычислим результат: $p_2 = \frac{258К}{308К} \cdot 125\,кПа = 104{,}7\,кПа.$

Предложим ещё один вариант решения этой задачи.

Запишем для двух состояний газа закон Шарля:

$p_1 = p_o(1 + \gamma t^o_1)$ – давление газа при температуре t^o_1.

$p_2 = p_o(1 + \gamma t^o_2)$ – давление газа при температуре t^o_2.

Давление p_o газа при 0^oC определим из выражения для p_1 и подставим в выражение для p_2:

$$p_o = \frac{p_1}{1+\gamma t_1^o} \Rightarrow \quad p_2 = \frac{1+\gamma t_2^o}{1+\gamma t_1^o} p_1.$$

Вычислим результат:

$$p_2 = \frac{1+\frac{1}{273^o C}\cdot(-15^o C)}{1+\frac{1}{273^o C}\cdot 35^o C} \cdot 125\,кПа = 104{,}7\,кПа.$$

Ответ: 104,7 кПа.

4. *При температуре 10°С давление газа в закрытом сосуде составляет 120 кПа. При какой температуре давление газа составит 150 кПа?*

Дано: $T_1 = 283$ К; $p_1 = 120$ кПа; $p_2 = 150$ кПа

T_2 – ?

Решение. Запишем для двух состояний газа закон Шарля и определим температуру T_2:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \Rightarrow T_2 = \frac{p_2}{p_1} T_1.$$

Вычислим результат:

$$T_2 = \frac{150\text{кПа}}{120\text{кПа}} \cdot 283\text{К} = 353{,}75\text{К}; \quad t_2^{\circ} = 80{,}75^{\circ}\text{C}.$$

Предложим ещё один вариант решения этой задачи.

Запишем для двух состояний газа закон Шарля:

$p_1 = p_o(1 + \gamma t^o_1)$ – давление газа при температуре t^o_1.

$p_2 = p_o(1 + \gamma t^o_2)$ – давление газа при температуре t^o_2.

Давление p_o газа при 0^oC определим из выражения для p_1 и подставим в выражение для p_2:

$$p_o = \frac{p_1}{1+\gamma t_1^o} \Rightarrow \quad p_2 = \frac{1+\gamma t_2^o}{1+\gamma t_1^o} p_1.$$

Отсюда

$$1+\gamma t_2^o = \frac{p_2}{p_1}\left(1+\gamma t_1^o\right); \; \gamma t_2^o = \frac{p_2}{p_1}\left(1+\gamma t_1^o\right) - 1$$

$$t_2^o = \frac{p_2}{p_1} \cdot \frac{1+\gamma t_1^o}{\gamma} - \frac{1}{\gamma}.$$

Вычислим результат:

$$t_2^o = \frac{150кПа}{120кПа} \cdot \frac{1 + \frac{1}{273^o C} \cdot 10^o C}{\frac{1}{273^o C}} - \frac{1}{\frac{1}{273^o C}} = 80{,}75^o C.$$

Ответ: 353,75 К; 80,75^{o}С.

5. *Какова первоначальная температура газа в закрытом сосуде, если при нагревании на 280 К давление газа возросло в 2 раза?*

Дано: $\Delta T = 280$ К; $p_2/p_1 = 2$

T_1 – ?

Решение. Запишем закон Шарля для двух состояний газа:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

Преобразуем выражение для T_2:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_1 + \Delta T}{T_1} = 1 + \frac{\Delta T}{T_1}.$$

Отсюда $\frac{\Delta T}{T_1} = \frac{p_2}{p_1} - 1 \Rightarrow T_1 = \frac{\Delta T}{\frac{p_2}{p_1} - 1} -$ начальная температура газа.

Вычислим результат: $T_1 = \frac{280К}{2-1} = 280К.$

Ответ: 280 К; 7°С.

6. *Баллон, наполненный воздухом при нормальных условиях, закрыт клапаном площадью 25 см² и весом 300 Н. При какой температуре воздух откроет клапан?*

Дано: $S = 25$ см^2 = 0,0025 м^2; $P = 300$ Н; $T_1 = 273$ К; $p_1 = 10^5$ Па

T_2 – ?

Решение. Запишем для двух состояний воздуха в баллоне закон Шарля:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

Давление p_2 внутри баллона в момент открытия клапана уравновешивает атмосферное давление p_1 и давление $p_3 = P/S$, создаваемое весом поршня, т.е. $p_2 = p_1 + p_3$.

Тогда $$\frac{p_1 + \frac{P}{S}}{p_1} = \frac{T_2}{T_1}; \; 1 + \frac{P}{Sp_1} = \frac{T_2}{T_1}.$$

Отсюда $T_2 = \left(1 + \frac{P}{Sp_1}\right)T_1$ – конечная температура воздуха.

Вычислим результат:

$$T_2 = \left(1 + \frac{300\,\text{Н}}{0{,}0025\,\text{м}^2 \cdot 10^5\,\text{Па}}\right)273\,\text{К} = 600{,}6\,\text{К}.$$

Ответ: 600,6 К; 327,6°С.