

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. ВЛАЖНОСТЬ

Внутренняя энергия – функция состояния

Макроскопические системы, изучаемые в молекулярной физике и термодинамике, находятся, как правило, в покое. Их механическая энергия не меняется.

Энергетические преобразования в тепловых явлениях сопровождаются изменениями энергии, обусловленной внутренней структурой вещества и называемой внутренней энергией.

Согласно определению,

внутренняя энергия U термодинамической системы равна сумме кинетических энергий движения молекул и потенциальных энергий взаимодействия между ними:

$$U = E_k + E_{\text{П}}.$$

Из молекулярно-кинетической теории мы знаем, что кинетические энергии молекул определяются температурой T . Следовательно, сумма кинетических энергий молекул системы является функцией ее температуры: $E_k = E_k(T)$.

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. ВЛАЖНОСТЬ

Из механики вы знаете, что потенциальная энергия взаимодействия тел зависит от их взаимного расположения, расстояния между ними. С другой стороны, расстояния между молекулами зависят от объема V системы: при увеличении объема данной массы газа расстояния между молекулами увеличиваются. Итак, сумма потенциальных энергий взаимодействия между молекулами есть функция объема системы $E_{\Pi} = E_{\Pi}(V)$.

В рамках молекулярно-кинетической теории мы ограничимся только случаем идеального газа, молекулы которого не взаимодействуют на расстоянии.

Итак, потенциальная энергия взаимодействия между молекулами идеального газа равна нулю: $E_{\Pi}(V) = 0$.

Следовательно, *внутренняя энергия идеального газа зависит только от его температуры:*

$$U = U_k(T) = E_k(T).$$

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. ВЛАЖНОСТЬ

Молекулярно-кинетическая теория приводит к следующему выражению для внутренней энергии идеального одноатомного газа, молекулы которого совершают только поступательное движение:

$$U = \frac{3}{2} \nu RT = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT,$$

где ν - количество моль газа, R - универсальная газовая постоянная, T - температура газа.

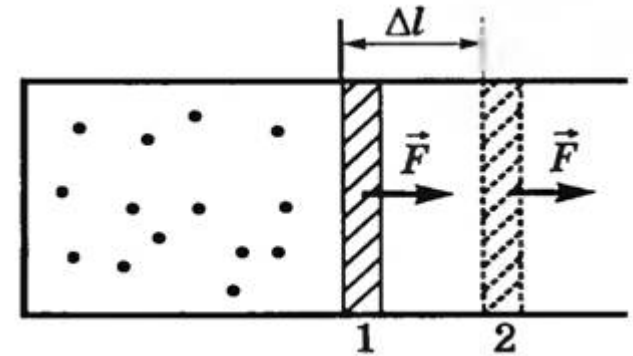
Внутренняя энергия тела определяет его тепловое состояние и изменяется при переходе из одного состояния в другое. В данном состоянии тело обладает вполне определенной внутренней энергией, не зависящей от того, в результате какого процесса оно перешло в данное состояние. Поэтому внутреннюю энергию называют *функцией состояния тела*.

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. ВЛАЖНОСТЬ

Работа газа в термодинамических процессах

Внутренняя энергия тела может изменяться, если действующие на него внешние силы совершают работу (положительную или отрицательную).

Рассмотрим вначале изобарный процесс. Пусть в цилиндре с подвижным поршнем находится газ при температуре T_1 .



Будем медленно нагревать газ до температуры T_2 . Газ будет изобарически расширяться, и поршень переместится из положения 1 в положение 2 на расстояние Δl . Сила давления газа при этом совершит работу над внешними телами. Так как $p = \text{const}$, то и сила давления $F = p \cdot S$ тоже постоянная. Поэтому работу этой силы можно рассчитать по формуле

$$L = F \cdot \Delta l = p \cdot S \cdot \Delta l = p \cdot \Delta V,$$

где ΔV — изменение объема газа.

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. ВЛАЖНОСТЬ

Если объем газа не изменяется (изохорный процесс), то работа газа равна нулю.

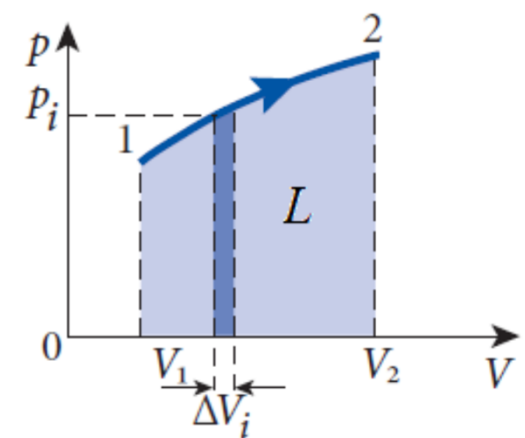
Газ выполняет работу только в процессе изменения своего объема.

При расширении ($\Delta V > 0$) газа совершается положительная работа ($L > 0$); при сжатии ($\Delta V < 0$) газа совершается отрицательная работа ($L < 0$).

Если рассматривать работу внешних сил L' ($L' = -L$), то при расширении ($\Delta V > 0$) газа $L' < 0$; при сжатии ($\Delta V < 0$) $L' > 0$.

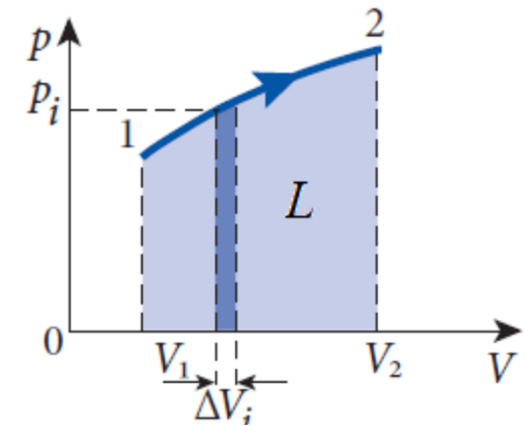
В случае переменного давления работа газа находится графическим методом.

Кривую функции $p = f(V)$ можно представить как ломаную, состоящую из большого количества изохор и изобар.



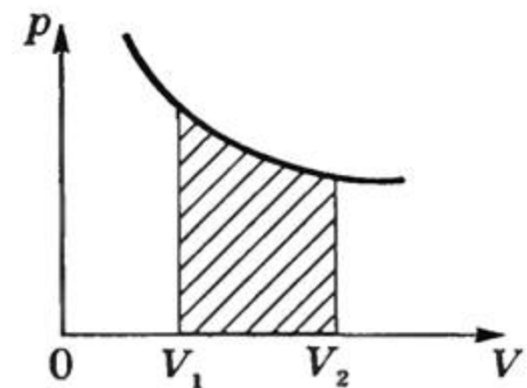
ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. ВЛАЖНОСТЬ

Работа на изохорных участках равна нулю, а суммарная работа на всех изобарных участках будет равна площади заштрихованной фигуры.



При изотермическом процессе ($T=const$) работа равна площади заштрихованной фигуры, изображенной на рисунке.

Видно, что при изменении объема газа работа будет зависеть от способа перехода (т.е. от процесса: изотермический, изобарный, изохорный).



Следовательно, можно сделать вывод, что работа в термодинамике является функцией процесса и не является функцией состояния.

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. ВЛАЖНОСТЬ

Количество теплоты. Калорические коэффициенты

Внутренняя энергия тела может изменяться не только в результате совершаемой работы, но и вследствие *теплообмена*.

При тепловом контакте тел внутренняя энергия одного из них может увеличиваться, а другого – уменьшаться. В этом случае говорят о тепловом потоке от одного тела к другому.

Количеством теплоты Q , полученным телом, называют изменение внутренней энергии тела в результате теплообмена.

Опыт показывает, что количество теплоты, необходимое для нагревания тела массой m от температуры T_1 до температуры T_2 , рассчитывается по формуле

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T,$$

где c — удельная теплоемкость вещества

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}, \quad [c]_{СИ} = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. ВЛАЖНОСТЬ

Удельная теплоемкость c численно равна количеству теплоты, которое необходимо сообщить телу массой 1 кг, чтобы нагреть его на 1 К.

Первый закон термодинамики является обобщением закона сохранения и превращения энергии для термодинамической системы. Он формулируется следующим образом:

количество теплоты, полученное системой, идет на изменение ее внутренней энергии и совершение работы над внешними телами:

$$Q = \Delta U + L.$$

Первый закон термодинамики является обобщением опытных фактов. Согласно этому закону, энергия не может быть создана или уничтожена; она передается от одной системы к другой и превращается из одной формы в другую.

Важным следствием первого закона термодинамики является утверждение о невозможности создания машины, способной совершать полезную работу без потребления энергии извне и без каких-либо изменений внутри самой машины (*perpetuum mobile*).

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. ВЛАЖНОСТЬ

6.16.* В сосуд налито 6,9 кг воды при 25°C. Найти массу пара, взятого при 100°C, необходимого для нагревания этой массы воды до температуры кипения. Удельная теплоемкость воды равна 4,2 кДж/(кг·К), удельная теплота парообразования воды равна 2300 кДж/кг. (Отв.: 0,945 кг).

Дано:

$$m_1 = 6,9 \text{ кг}$$

$$T_1 = 25^\circ \text{C} = 298 \text{ K}$$

$$T_2 = 100^\circ \text{C} = 373 \text{ K}$$

$$c_1 = 4,2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$\Theta = 100^\circ \text{C} = 373 \text{ K}$$

$$\lambda_{\text{II}} = 2300 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$m_2 - ?$$

Решение:

$$Q_{\text{пол}} + Q_{\text{отд}} = 0 \Leftrightarrow Q_{\text{пол}} = |Q_{\text{отд}}|$$

$$Q_{\text{пол}} = c_1 m_1 \Delta T = c_1 m_1 (\Theta - T_1)$$

$$Q_{\text{отд}} = \lambda_{\text{II}} m_2$$

$$c_1 m_1 (\Theta - T_1) = \lambda_{\text{II}} m_2 \Rightarrow m_2 = \frac{c_1 m_1 (\Theta - T_1)}{\lambda_{\text{II}}}$$

$$m_2 = \frac{4200 \cdot 6,9 \cdot (373 - 298)}{2300 \cdot 10^3} = 0,945 \text{ (кг)}.$$

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. ВЛАЖНОСТЬ

6.18.* Воду, взятую при температуре 0°C , доводят до кипения и наполовину превращают в пар. При этом было израсходовано количество теплоты равное 3100 кДж. Найти начальную массу воды, если ее удельная теплоемкость равна $4,2$ кДж/(кг·К), а удельная теплота парообразования 2260 кДж/кг. (**R.**: 2 кг).

Дано:

$$T_1 = 0^{\circ}\text{C} = 273\text{K}$$

$$T_2 = 100^{\circ}\text{C} = 373\text{K}$$

$$m_2 = \frac{m}{2}$$

$$Q = 3100 \text{ кДж}$$

$$c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$\lambda_{\text{п}} = 2260 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

 $m - ?$

Решение:

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$Q_1 = cm(T_2 - T_1)$$

$$Q_2 = \lambda_{\text{п}} \frac{m}{2}$$

$$Q = cm(T_2 - T_1) + \lambda_{\text{п}} \frac{m}{2} \Rightarrow$$

$$2Q = [2c(T_2 - T_1) + \lambda_{\text{п}}] m \Rightarrow$$



ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. ВЛАЖНОСТЬ

$$2Q = [2c(T_2 - T_1) + \lambda_{II}] m \Rightarrow m = \frac{2Q}{2c(T_2 - T_1) + \lambda_{II}}$$

$$m = \frac{2 \cdot 3100 \cdot 10^3}{2 \cdot 4200 \cdot (373 - 273) + 2260 \cdot 10^3} = 2 \text{ (КГ)}.$$

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. ВЛАЖНОСТЬ

6.20.* Для приготовления ванны необходимо смешать холодную воду при 15°C с горячей водой при 60°C . Какую массу горячей воды необходимо взять, чтобы получить 135 кг воды при температуре 36°C ? (**Отв.:** 60 кг).

Дано:

$$T_1 = 15^{\circ}\text{C} = 288\text{K}$$

$$T_2 = 60^{\circ}\text{C} = 333\text{K}$$

$$m = 135\text{ кг}$$

$$\Theta = 36^{\circ}\text{C} = 309\text{K}$$

$$m_2 - ?$$

Решение:

$$Q_{\text{пол}} + Q_{\text{отд}} = 0 \Leftrightarrow Q_{\text{пол}} = |Q_{\text{отд}}|$$

$$Q_{\text{пол}} = cm_1(\Theta - T_1)$$

$$|Q_{\text{отд}}| = |cm_2(\Theta - T_2)|$$

$$cm_1(\Theta - T_1) = cm_2(T_2 - \Theta)$$

$$m = m_1 + m_2$$



ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. ВЛАЖНОСТЬ

$$(m - m_2)(\Theta - T_1) = m_2(T_2 - \Theta) \Rightarrow$$

$$m\Theta - mT_1 - m_2\Theta + m_2T_1 = m_2T_2 - m_2\Theta$$

$$m(\Theta - T_1) = m_2(T_2 - T_1)$$

$$m_2 = \frac{m(\Theta - T_1)}{T_2 - T_1}$$

$$m_2 = \frac{135(309 - 288)}{333 - 288} = 63 \text{ (кг)}.$$

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. ВЛАЖНОСТЬ

6.21.* Чтобы охладить 2 л воды, взятой при 80°C , до 60°C , в неё добавляют холодную воду при 10°C . Какой объем холодной воды требуется добавить? (**Отв.:** 0,8 л).

Дано:

Решение:

$$m_1 = 2 \text{ л} = 2 \text{ кг}$$

$$T_1 = 80^{\circ}\text{C} = 353 \text{ К}$$

$$\Theta = 60^{\circ}\text{C} = 333 \text{ К}$$

$$T_2 = 10^{\circ}\text{C} = 283 \text{ К}$$

$$Q_{\text{пол}} + Q_{\text{отд}} = 0 \Leftrightarrow Q_{\text{пол}} = |Q_{\text{отд}}|$$

$$Q_{\text{пол}} = cm_2 (\Theta - T_2)$$

$$|Q_{\text{отд}}| = |cm_1 (\Theta - T_1)|$$



$$m_2 - ?$$

$$cm_1 (\Theta - T_1) = cm_2 (\Theta - T_2) \Rightarrow$$

$$m_2 = \frac{m_1 (\Theta - T_1)}{\Theta - T_2}, \quad m_2 = \frac{2(353 - 333)}{333 - 283} = 0,8 \text{ (кг)}.$$

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. ВЛАЖНОСТЬ

6.22.* Для определения удельной теплоемкости технического масла нагревает в одинаковых условиях равные массы масла и воды. Через некоторое время температура воды увеличилась на $2,8^{\circ}\text{C}$, а температура масла на 8°C . Найти удельную теплоемкость масла, если удельная теплоемкость воды равна $4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$. (Отв.: $1470 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$).

Дано:

$$\Delta T_v = 2,8^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_m = 8^{\circ}\text{C}$$

$$c_v = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$$

 $c_m - ?$

Решение:

$$Q_v = Q_m$$

$$Q_v = c_v \cdot m \cdot \Delta T_v$$

$$Q_m = c_m \cdot m \cdot \Delta T_m$$

$$c_m \cdot m \cdot \Delta T_m = c_v \cdot m \cdot \Delta T_v \Rightarrow$$

$$c_m = \frac{c_v \cdot \Delta T_v}{\Delta T_m}, \quad c_m = \frac{4200 \cdot 2,8}{8} = 1470 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}} \right).$$

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. ВЛАЖНОСТЬ

6.25.* Какое наименьшее количество теплоты необходимо сообщить 0,5 кг свинца, взятого при 27°C, чтобы обратить его в жидкость? Температура плавления свинца равна 327°C, удельная теплоемкость $1,3 \cdot 10^2$ Дж/(кг·К). Удельная теплота плавления $2,5 \cdot 10^4$ Дж/кг. (Отв.: 32 кДж).

Дано:

$$m = 0,5 \text{ кг}$$

$$T_1 = 27^\circ \text{C} = 300 \text{ К}$$

$$T_2 = 327^\circ \text{C} = 600 \text{ К}$$

$$c = 1,3 \cdot 10^2 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$\lambda_{\text{Пл}} = 2,5 \cdot 10^4 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

 $Q = ?$

Решение:

$$Q = Q_1 + Q_{\text{Пл}}$$

$$Q_1 = cm(T_2 - T_1)$$

$$Q_{\text{Пл}} = \lambda_{\text{Пл}} \cdot m$$

$$Q = cm(T_2 - T_1) + m\lambda_{\text{Пл}},$$

$$Q = 1,3 \cdot 10^2 \cdot 0,5(600 - 300) + 0,5 \cdot 2,5 \cdot 10^4 = \\ = 32000 \text{ (Дж)}.$$



ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. ВЛАЖНОСТЬ

6.36.* С какой минимальной скоростью должна лететь льдинка при 0°C , чтобы при ударе о преграду она полностью расплавилась? Удельную теплоту плавления льда принять равной $3,2 \cdot 10^5$ Дж/кг. (**Отв.:** 800 м/с).

Дано:

$$T = 0^\circ\text{C} = 273\text{K}$$

$$\lambda_{\text{Пл}} = 3,2 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$v - ?$

Решение:

$$E_k = Q_{\text{Пл}}$$

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

$$Q_{\text{Пл}} = m \cdot \lambda_{\text{Пл}}$$

$$\frac{mv^2}{2} = m\lambda_{\text{Пл}} \Rightarrow$$

$$v = \sqrt{2 \cdot \lambda_{\text{Пл}}}, \quad v = \sqrt{2 \cdot 3,2 \cdot 10^5} = 800 \left(\frac{\text{М}}{\text{с}} \right).$$

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. ВЛАЖНОСТЬ

6.52.* Газу передано 6225 Дж теплоты. Изменение его внутренней энергии равно 3735 Дж. Считая процесс изобарным, найти давление газа, если изменение его объема равно 0,03 м³. (Отв.: 83 кПа).

Дано:

$$Q = 6225 \text{ Дж}$$

$$\Delta U = 3735 \text{ Дж}$$

$$p = \text{const}$$

$$\Delta V = 0,03 \text{ м}^3$$

$$p = ?$$

Решение:

$$Q = \Delta U + L$$

$$p = \text{const} \Rightarrow L = p \cdot \Delta V$$

$$Q - \Delta U = p \cdot \Delta V \Rightarrow$$

$$p = \frac{Q - \Delta U}{\Delta V}, \quad p = \frac{6225 - 3735}{0,03} = 83 \cdot 10^3 \text{ (Па)}.$$

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. ВЛАЖНОСТЬ

6.54.* Три моля газа получили в изобарном процессе 4980 Дж теплоты. Температура газа изменилась на $\Delta T = 80$ К. Найти изменение внутренней энергии газа. Принять $R = 8,3$ Дж/(моль·К). (Отв.: 2988 Дж).

Дано:

$$\nu = 3 \text{ моль}$$

$$p = \text{const}$$

$$Q = 4980 \text{ Дж}$$

$$\Delta T = 80 \text{ К}$$

$$R = 8,3 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

$$\Delta U - ?$$

Решение:

$$Q = \Delta U + L \Rightarrow \Delta U = Q - L$$

$$p = \text{const} \Rightarrow L = p \cdot \Delta V$$

$$\left. \begin{array}{l} pV_1 = \nu RT_1 \\ pV_2 = \nu RT_2 \end{array} \right\} \longrightarrow p(V_2 - V_1) = \nu R(T_2 - T_1) \Rightarrow$$

$$p \cdot \Delta V = \nu R \cdot \Delta T \Rightarrow L = \nu R \cdot \Delta T$$

$$\Delta U = Q - \nu R \cdot \Delta T,$$

$$\Delta U = 4980 - 3 \cdot 8,3 \cdot 80 = 2988 \text{ (Дж)}.$$

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. ВЛАЖНОСТЬ

6.55.* В изохорном процессе газ получил $Q_1 = 2490$ Дж теплоты. Какое количество теплоты должен получить этот газ, чтобы совершить работу $A = 1660$ Дж в изобарном процессе, если изменение его температуры такое же, как и в первом случае? (Отв.: 4,15 кДж).

Решение:

Дано:

$$V = const$$

$$Q_1 = 2490 \text{ Дж}$$

$$L = 1660 \text{ Дж}$$

$$p = const$$

$$\Delta T_1 = \Delta T_2$$

$$Q_2 = ?$$

$$V = const \Rightarrow L_0 = 0 \Rightarrow Q_1 = \Delta U_1$$

$$p = const \Rightarrow Q_2 = \Delta U_2 + L$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu \cdot R \cdot \Delta T \Rightarrow \Delta T_1 = \Delta T_2 \Rightarrow \Delta U_1 = \Delta U_2$$

$$Q_2 = Q_1 + L,$$

$$Q_2 = 2490 + 1660 = 4150 \text{ (Дж)}.$$

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. ВЛАЖНОСТЬ

6.57.* Найти высоту водопада, если известно, что у его основания вода нагрелась на $\Delta T = 0,01$ К. Считать, что на нагревание воды пошло 30% механической энергии. Принять удельную теплоемкость воды $c = 4,2 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К), ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². (Отв.: 14 м).

Дано:

$$\Delta T = 0,01 \text{ К}$$

$$Q = 0,3 E$$

$$c = 4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$h - ?$$

Решение:

$$E = E_{\text{П}} = mgh$$

$$Q = 0,3 E_{\text{П}}$$

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

$$\left. \begin{array}{l} E = E_{\text{П}} = mgh \\ Q = 0,3 E_{\text{П}} \\ Q = c \cdot m \cdot \Delta T \end{array} \right\} c \cdot m \cdot \Delta T = 0,3 \cdot mgh \Rightarrow$$

$$h = \frac{c \cdot \Delta T}{0,3 \cdot g}, \quad h = \frac{4,2 \cdot 10^3 \cdot 0,01}{0,3 \cdot 10} = 14 \text{ (м)}.$$

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. ВЛАЖНОСТЬ

6.60.* При сообщении газу количества теплоты 5 кДж, его внутренняя энергия возрастает на 3 кДж, а объем – на 0,02 м³. Определить давление газа, считая его постоянным. (Отв.: 100 кПа).

Дано:

$$Q = 5 \text{ кДж}$$

$$\Delta U = 3 \text{ кДж}$$

$$\Delta V = 0,02 \text{ м}^3$$

$$p = ?$$

Решение:

$$p = \text{const} \Rightarrow Q = \Delta U + L$$

$$L = p \cdot \Delta V$$

$$Q = \Delta U + p \cdot \Delta V \Rightarrow Q - \Delta U = p \cdot \Delta V \Rightarrow$$

$$p = \frac{Q - \Delta U}{\Delta V}, \quad p = \frac{(5 - 3) \cdot 10^3}{0,02} = 100 \cdot 10^3 \text{ (Па)}.$$

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. ВЛАЖНОСТЬ

6.71.* Тепловая машина, КПД которой равен 30 %, совершила полезную работу 270 Дж. Какое количество теплоты получила машина от нагревателя за это время? (Отв.: 900 Дж).

Дано:

$$\eta = 30\%$$
$$L_{\text{пол}} = 270 \text{ Дж}$$

$$Q - ?$$

Решение:

$$\left. \begin{aligned} \eta &= \frac{L_{\text{пол}}}{L_{\text{затр}}} \\ L_{\text{затр}} &= Q \end{aligned} \right\} \eta = \frac{L_{\text{пол}}}{Q} \Rightarrow$$

$$Q = \frac{L_{\text{пол}}}{\eta}, \quad Q = \frac{270}{0,3} = 900 \text{ (Дж)}.$$

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. ВЛАЖНОСТЬ

6.72.* Рабочее тело теплового двигателя, КПД которого равен 26 %, за один цикл получает от нагревателя количество теплоты 16 кДж. Какое количество теплоты отдает холодильнику рабочее тело за один цикл? (**Отв.:** 12 кДж).

Дано:

$$\eta = 26 \%$$

$$Q_1 = 16 \text{ кДж}$$

$$Q_2 = ?$$

Решение:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \Rightarrow$$

$$\frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \eta \Rightarrow Q_2 = Q_1 (1 - \eta)$$

$$Q_2 = 16 \cdot 10^3 (1 - 0,26) = 11,84 \cdot 10^3 \text{ (Дж)}.$$

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. ВЛАЖНОСТЬ

6.74.* Пуля массой $m = 8$ г вылетает из ствола ружья со скоростью $v = 600$ м/с, при этом сгорает порох массой $m_1 = 0,8$ г. Найти КПД выстрела. Принять удельную теплоту сгорания пороха $q = 4 \cdot 10^6$ Дж/кг. (**Отв.:** 45 %).

Дано:

$$m = 8 \text{ г}$$

$$v = 600 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$m_1 = 0,8 \text{ г}$$

$$q = 4 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$$\eta - ?$$

Решение:

$$\eta = \frac{L_{\text{пол}}}{L_{\text{затр}}}$$

$$L_{\text{пол}} = E_k = \frac{mv^2}{2}$$

$$L_{\text{затр}} = Q = m_1 \cdot q$$

$$\eta = \frac{m \cdot v^2}{2 \cdot m_1 \cdot q},$$

$$\eta = \frac{8 \cdot 10^{-3} \cdot 600^2}{2 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 10^6} = \frac{2880}{6400} = 0,45; \quad \eta = 45 \%$$

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. ВЛАЖНОСТЬ

Влажность

Известно, что $2/3$ нашей планеты покрыто водой. Так как испарение происходит при любой температуре, в нижних слоях атмосферы Земли всегда находятся водяные пары.

Величина, характеризующая содержание водяных паров в атмосфере Земли, называется влажностью воздуха.

Для количественного описания влажности воздуха различают влажность *абсолютную* и *относительную*.

Величина, равная плотности водяных паров ρ в атмосфере, называется абсолютной влажностью.

Степень влажности воздуха зависит от температуры. Одна и та же плотность водяных паров в атмосфере прохладным весенним днем может быть близка к насыщению и воздух будет влажным, а в жаркий летний день – далека от насыщения и воздух будет сухим. Итак, важно знать, насколько пары близки к состоянию насыщения.

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. ВЛАЖНОСТЬ

Относительная влажность представляет собой величину, выражаемую, как правило, в процентах и численно равную отношению между плотностью водяных паров ρ , находящихся в атмосфере при данной температуре, и плотностью насыщенных паров $\rho_{\text{нас.}}$ при этой температуре:

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_{\text{нас.}}} \cdot 100 \%$$

Если использовать связь между плотностью и давлением то относительную влажность можно найти с помощью давлений:

$$\varphi = \frac{p}{p_{\text{нас.}}} \cdot 100 \%$$

где p – давление водяных паров в атмосфере при данной температуре, а $p_{\text{нас.}}$ – давление насыщенных водяных паров при этой же температуре.

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. ВЛАЖНОСТЬ

Экспериментально доказано, что изменение температуры влияет на влажность воздуха.

Температура, при которой в процессе охлаждения воздуха при постоянном давлении пары воды становятся насыщенными, называется точкой росы.

Нормы влажности по ГОСТу

Ученые определили комфортную влажность воздуха в квартире. Рекомендации указаны в ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях».

Зимой — 30—45%, но не больше 60%

Летом — 30—60%, но не больше 65%

Для кухни, ванной и туалета влажность не нормируется. Там она может достигать 100%. Обычно в этих комнатах предусмотрена вентиляция, поэтому высокая влажность непостоянная.

Влажность в остальных комнатах не должна быть выше 65%, иначе могут начать размножаться плесневые грибки и микробы, портится деревянная и мягкая мебель.

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. ВЛАЖНОСТЬ

6.77. В комнате объемом 30 м^3 находится воздух с абсолютной влажностью 25 г/м^3 . Какова масса водяного пара в комнате?

(Отв.: $0,75 \text{ кг}$).

Решение:

Дано:

$$V = 30 \text{ м}^3$$

$$\rho = 25 \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$$

$$m - ?$$

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho \cdot V,$$

$$m = 25 \cdot 10^{-3} \cdot 30 = 0,75 \text{ (кг)}.$$

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. ВЛАЖНОСТЬ

6.78. В некотором сосуде находится воздух с относительной влажностью 80%. Давление насыщенных водяных паров при данной температуре равно 1,8 кПа. Каково давление водяных паров в данном сосуде? (**Отв.:** 1,44 кПа).

Дано:

$$\varphi = 80 \%$$

$$p_{\text{нас.}} = 1,8 \text{ кПа}$$

$$p - ?$$

Решение:

$$\varphi = \frac{p}{p_{\text{нас.}}} \cdot 100 \% \Rightarrow$$

$$p = \frac{\varphi}{100} \cdot p_{\text{нас.}}$$

$$p = 0,8 \cdot 1,8 = 1,44 \text{ (кПа)}.$$

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. ВЛАЖНОСТЬ

6.79.* В комнате объемом 30 м^3 находится воздух с абсолютной влажностью 20 г/м^3 . Какой будет абсолютная влажность воздуха, если в комнату испарить 60 г воды? (Отв.: $0,022 \text{ кг/м}^3$).

Дано:

$$V = 30 \text{ м}^3$$

$$\rho = 20 \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$$

$$m_1 = 60 \text{ г}$$

$$\rho_1 = ?$$

Решение:

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho \cdot V$$

$$\rho_1 = \frac{m + m_1}{V}$$



$$\rho_1 = \frac{\rho \cdot V + m_1}{V},$$

$$\rho_1 = \frac{20 \cdot 10^{-3} \cdot 30 + 60 \cdot 10^{-3}}{30} = 0,022 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right).$$

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. ВЛАЖНОСТЬ

6.80.** В комнате объемом 60 м^3 находится воздух с абсолютной влажностью 15 г/м^3 при температуре 27°C . В комнате положили широкий сосуд с водой. Сколько воды испарится, если давление насыщенных водяных паров при данной температуре равно $3,32 \text{ кПа}$. Универсальную газовую постоянную принять равной $8,3 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}$. (Отв.: $0,54 \text{ кг}$).

Дано:

$$V = 60 \text{ м}^3$$

$$\rho = 15 \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$$

$$T = 27^\circ\text{C} = 300 \text{ К}$$

$$p_{\text{нас.}} = 3,32 \text{ кПа}$$

$$R = 8,3 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$$

$$M = 18 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

Решение:

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho \cdot V$$

$$p_{\text{нас.}} \cdot V = \frac{m + m_1}{M} RT \Rightarrow \frac{p_{\text{нас.}} \cdot V \cdot M}{R \cdot T} = m + m_1 \Rightarrow$$

$$m_1 = \frac{p_{\text{нас.}} \cdot V \cdot M}{R \cdot T} - m \Rightarrow m_1 = \frac{p_{\text{нас.}} \cdot V \cdot M}{R \cdot T} - \rho \cdot V,$$

$$m_1 = \frac{3,32 \cdot 10^3 \cdot 60 \cdot 18 \cdot 10^{-3}}{8,3 \cdot 300} - 15 \cdot 10^{-3} \cdot 60 = 0,54 \text{ (кг)}.$$

$m_1 = ?$

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. ВЛАЖНОСТЬ

6.81.** В цилиндре под поршнем находится 3 г водяного пара при температуре 27°C . Газ изотермически сжимается. При каком объеме выпадет роса? Давление насыщенных водяных паров при $t = 27^\circ\text{C}$ $p_{\text{н}} = 3,32$ кПа. Универсальная газовая постоянная $R = 8,3$ Дж/(моль·К). (Отв.: $0,125$ м³).

Дано:

$$m = 3 \text{ г}$$

$$T = 27^\circ\text{C} = 300 \text{ К}$$

$$p_{\text{нас.}} = 3,32 \text{ кПа}$$

$$R = 8,3 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

$$M = 18 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

 $V - ?$

Решение:

$$p_{\text{нас.}} V = \frac{m}{M} RT \Rightarrow V = \frac{m \cdot R \cdot T}{M \cdot p_{\text{нас.}}},$$

$$V = \frac{3 \cdot 10^{-3} \cdot 8,3 \cdot 300}{18 \cdot 10^{-3} \cdot 3,32 \cdot 10^3} = 0,125 \text{ (м}^3\text{)}.$$

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. ВЛАЖНОСТЬ

6.82.** В цилиндре под поршнем находится вода массой $m_1 = 35$ мг и пар массой $m_2 = 25$ мг при температуре $t = 27^\circ\text{C}$. Газ изотермически расширяется. При каком объеме вода в цилиндре полностью испарится? Давление насыщенных водяных паров при $t = 27^\circ\text{C}$ равна 3,32 кПа. Универсальная газовая постоянная $R = 8,3$ Дж/(моль·К). (Отв.: 2,5 л).

Дано:

$$m_1 = 35 \text{ мг}$$

$$m_2 = 25 \text{ мг}$$

$$T = 27^\circ\text{C} = 300 \text{ К}$$

$$p_{\text{нас.}} = 3,32 \text{ кПа}$$

$$R = 8,3 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

$$M = 18 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

Решение:

$$p_{\text{нас.}} V = \frac{m_1 + m_2}{M} RT \Rightarrow V = \frac{(m_1 + m_2) \cdot R \cdot T}{M \cdot p_{\text{нас.}}},$$

$$V = \frac{(35 + 25) \cdot 10^{-6} \cdot 8,3 \cdot 300}{18 \cdot 10^{-3} \cdot 3,32 \cdot 10^3} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ (м}^3\text{)}.$$

 $V = ?$

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. ВЛАЖНОСТЬ

6.83.** В комнате при температуре $t_1 = 27^\circ\text{C}$ относительная влажность $\varphi_1 = 12\%$. Какой станет относительная влажность, если температура в комнате постепенно понизится до $t_2 = 14^\circ\text{C}$. Давление насыщенных водяных паров при $t_1 = 27^\circ\text{C}$ и $t_2 = 14^\circ\text{C}$ равны 3,6 кПа и 1,6 кПа, соответственно. (**Отв.:** 25,83 %).

Решение:

Дано:

$$T_1 = 27^\circ\text{C} = 300\text{ K}$$

$$\varphi_1 = 12\%$$

$$T_2 = 14^\circ\text{C} = 287\text{ K}$$

$$p_{1\text{нас.}} = 3,6\text{ кПа}$$

$$p_{2\text{нас.}} = 1,6\text{ кПа}$$

$$\varphi_2 = ?$$

$$\varphi_1 = \frac{p_1}{p_{1\text{нас.}}} \Rightarrow p_1 = \varphi_1 \cdot p_{1\text{нас.}}$$

$$p_1 \cdot V = \frac{m}{M} R \cdot T_1 \Rightarrow \frac{V \cdot M}{m \cdot R} = \frac{T_1}{p_1}$$

$$p_2 \cdot V = \frac{m}{M} R \cdot T_2 \Rightarrow \frac{V \cdot M}{m \cdot R} = \frac{T_2}{p_2}$$

$$\varphi_2 = \frac{p_2}{p_{2\text{нас.}}} \Rightarrow p_2 = \varphi_2 \cdot p_{2\text{нас.}}$$



ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. ВЛАЖНОСТЬ

$$\frac{T_1}{\varphi_1 \cdot p_{1 \text{ нас.}}} = \frac{T_2}{\varphi_2 \cdot p_{2 \text{ нас.}}} \Rightarrow$$

$$\varphi_2 = \frac{\varphi_1 \cdot T_2 \cdot p_{1 \text{ нас.}}}{T_1 \cdot p_{2 \text{ нас.}}},$$

$$\varphi_2 = \frac{12 \cdot 3,6 \cdot 287}{300 \cdot 1,6} = 25,83 (\%).$$

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. ВЛАЖНОСТЬ