



ЕГЭ-2025 по физике

Термодинамика. Работа газа

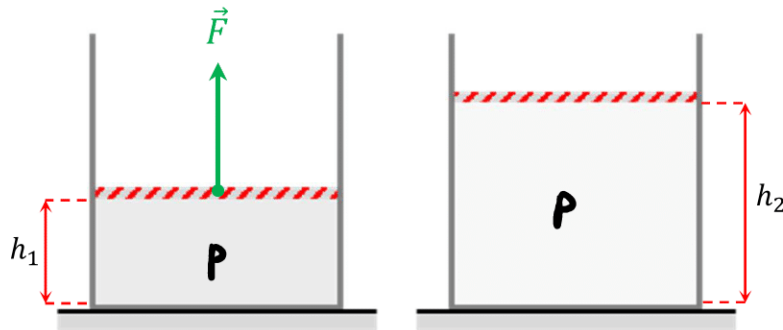
Преподаватель: Бегунов Михаил Игоревич



vk.com/ege_phys

Работа газа

Работа газа – это работа силы давления, с которой газ действует на поршень.



$$A = F \cdot s \cdot \cos \alpha, \quad F = p \cdot S$$

$$S = h_2 - h_1, \quad \alpha = 0 \quad (\cos 0 = 1)$$

$$A = p \cdot S \cdot (h_2 - h_1) = p \cdot (Sh_2 - Sh_1)$$

$$A = p \cdot \Delta V$$

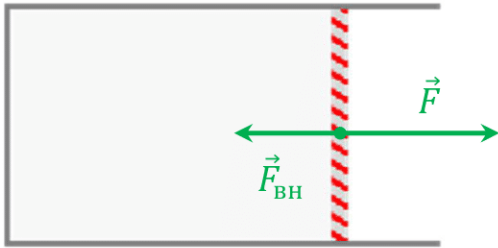
- только в изобарном процессе

$$A' = -A$$

Процесс	Изменение объема	Знак работы	Характеристика процесса
Расширение	$\Delta V > 0$	$A > 0 \quad A' < 0$	работу совершает <u>сам газ</u>
Сжатие	$\Delta V < 0$	$A < 0 \quad A' > 0$	работу совершают внешние силы <u>над газом</u>
Изохорный	$\Delta V = 0$	$A = A' = 0$	работа газа (над газом) равна 0

«Знак» работы определяется «знаком» изменения объема газа.

Работа газа и работа внешних сил



$$A = \Delta E_k, \quad \Delta E_k = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}$$

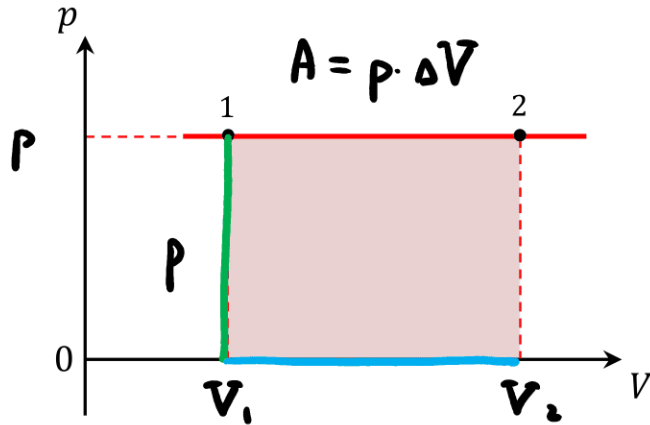
$$A = A_F + A_{\text{гн}}, \quad A_{\text{гн}} = A'$$

$$A_F + A' = \Delta E_k = 0 \Rightarrow A' = -A_F$$

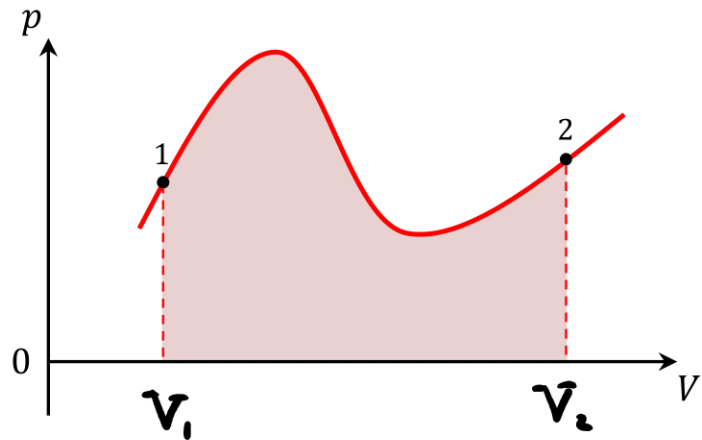
Модули работы газа и работы внешних сил над газом равны при равномерном (медленном) движении поршня.

Графический способ определения работы

В изобарном процессе:



В произвольном процессе:

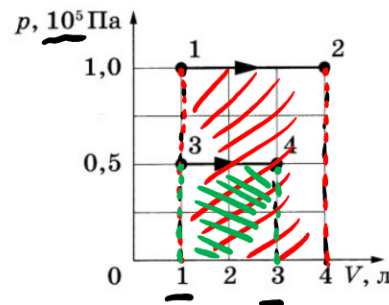


Работа газа в некотором процессе численно равна площади фигуры под графиком этого процесса в координатах p – V (**только!!!**)

Работа газа является *функцией процесса* термодинамической системы, т.е. зависит от конкретного процесса, происходящего с газом.

- 1 На рисунке показано расширение газообразного аргона двумя способами: 1-2 и 3-4. Найдите отношение $\frac{A_{12}}{A_{34}}$ работ газа в процессах 1-2 и 3-4.

Ответ: 3.



$$1 \text{ л} = 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$\textcircled{1} \quad A_{12} = p \cdot \Delta V = 10^5 \cdot (4 - 1) \cdot 10^{-3} = 300 \text{ Дж}$$

$$A_{34} = 0,5 \cdot 10^5 \cdot (3 - 1) \cdot 10^{-3} = 100 \text{ Дж}$$

$$\frac{A_{12}}{A_{34}} = \frac{300}{100} = \underline{3}$$

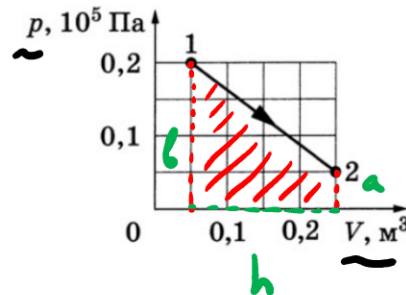
$$\textcircled{2} \quad A_{12} = 12 \text{ Дж}, \quad A_{34} = 4 \text{ Дж}, \quad \text{Д - joules} \quad \square$$

$$\frac{A_{12}}{A_{34}} = \frac{12 \text{ Дж}}{4 \text{ Дж}} = \underline{3}$$

2

Какую работу совершил газ в процессе, изображённом на pV -диаграмме (см. рисунок)?

Ответ: 2,5 кДж.



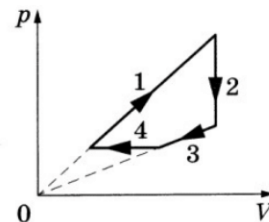
$$S_p = \frac{a+b}{2} \cdot h$$

$$A = \frac{(0,05 + 0,2)}{2} \cdot 10^5 \cdot 0,2 = 0,25 \cdot 10^5 \cdot 0,2 = 2,5 \cdot 10^3 \text{ Дж}$$

3

На рисунке показаны различные процессы изменения состояния идеального газа. Масса газа постоянна. В каком из процессов (1, 2, 3 или 4) работа внешних сил равна нулю?

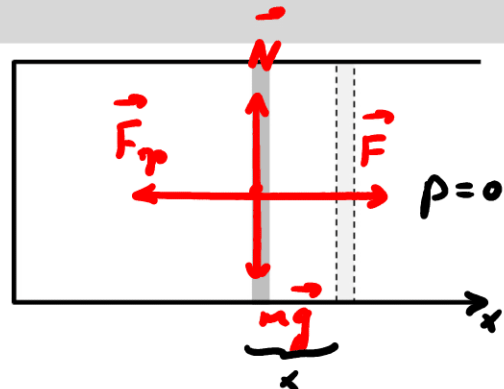
Ответ: 2.



$$A' = 0, A = 0 \Rightarrow \Delta V = 0$$

4

В горизонтальном цилиндрическом сосуде, закрытом поршнем, находится одноатомный идеальный газ. Первоначальное давление газа $p_1 = 4 \cdot 10^5$ Па. Площадь поперечного сечения поршня $S = 25 \text{ см}^2$. В результате **медленного нагрева** поршень сдвинулся на расстояние $x = 10 \text{ см}$. При движении поршня на него со стороны стенок сосуда действует сила трения величиной $F_{\text{тр}} = 3 \cdot 10^3 \text{ Н}$. Найдите общую работу газа. Считать, что сосуд находится в вакууме.



Дано:

Решение:

$$p_1 = 4 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$S = 25 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$x = 0,1 \text{ м}$$

$$F_{\text{тр}} = 3000 \text{ Н}$$

$$1) \text{ При медленном гл-и поршня: } \vec{F} + F_{\text{тр}} = 0$$

$$\underline{0x}: F - F_{\text{тр}} = 0, F = F_{\text{тр}} = \text{const}, F = p \cdot S$$

$$p \cdot S = F_{\text{тр}} \Rightarrow p = \frac{F_{\text{тр}}}{S} = \frac{3000}{25 \cdot 10^{-4}} = 12 \cdot 10^5 \text{ Па} > p_1$$

$\Rightarrow$ будет два процесса: сначала изохорное нагревание, потом — изобарное.

$$2) \text{ Изохорный процесс: } A_1 = 0.$$

$$3) \text{ Изобарный процесс: } A_2 = p \cdot \Delta V, \Delta V = S \cdot x$$

$$A_2 = p \cdot S \cdot x = F_{\text{тр}} \cdot x$$

Далее: 300 Дж

$$4) A = A_1 + A_2 = 0 + F_{\text{тр}} \cdot x = F_{\text{тр}} \cdot x = 3000 \cdot 0,1 = 300 \text{ Дж}$$

Как найти A_2 иначе?

$$A_2 = -A'_2$$

$$A'_2 = A_p = F_p \cdot x \cdot \underbrace{\cos 180^\circ}_{-1}$$



$$A'_2 = -F_p \cdot x \Rightarrow \underline{A_2 = F_p \cdot x}$$

5

Один моль одноатомного идеального газа переводят из состояния 1 в состояние 2 таким образом, что в ходе процесса давление газа возрастает прямо пропорционально его объёму. В результате плотность газа уменьшается в $\alpha = 2$ раза. Газ в ходе процесса совершает работу $A = 5$ кДж. Какова температура газа в состоянии 1?

Дано:

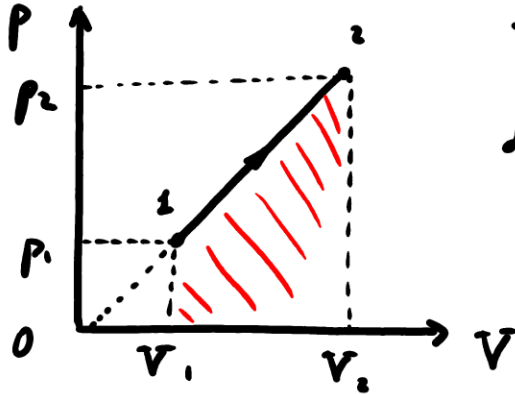
$$\nu = 1 \text{ моль}$$

$$\alpha = 2$$

$$A = 5000 \text{ Дж}$$

$$T_1 = ?$$

Решение:



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

$$\rho \sim V^{-\alpha}$$

$$\alpha = \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{m}{V_1} \cdot \frac{V_2}{m} = \frac{V_2}{V_1}, \quad V_2 = \alpha \cdot V_1$$

$$\rho_2 = \alpha \cdot \rho_1$$

$$A = \frac{P_1 + P_2}{2} \cdot (V_2 - V_1) =$$

$$= \frac{P_1 + \alpha P_1}{2} \cdot (\alpha \cdot V_1 - V_1) =$$

$$= \frac{1}{2} \cdot P_1 \cdot (\alpha + 1) \cdot V_1 \cdot (\alpha - 1) = \frac{1}{2} P_1 \cdot V_1 \cdot (\alpha^2 - 1)$$

$$P_1 \cdot V_1 = \nu R T_1, \quad A = \frac{1}{2} \nu R T_1 (\alpha^2 - 1)$$

$$T_1 = \frac{2A}{\nu R (\alpha^2 - 1)} \approx \underline{401 \text{ K}}$$

Ответ: 401 K.

6

В вакууме закреплен горизонтальный цилиндр. В цилиндре находится гелий, запертый поршнем. Поршень массы $M = 90$ г удерживается упорами и может скользить влево вдоль стенок цилиндра без трения. В поршень попадает пуля массой $m = 10$ г, летящая горизонтально со скоростью $v_0 = 400$ м/с, и застревает в нем. Определите работу, совершенную газом, к моменту времени, когда поршень остановится.

Дано:

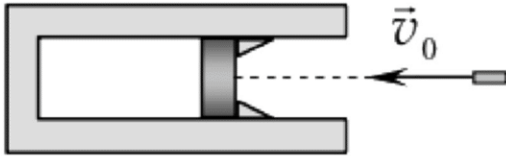
Решение:

$$M = 90 \text{ г}$$

$$m = 10 \text{ г}$$

$$v_0 = 400 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$A = ?$$



$$1) \text{ 3(4): } m \cdot v_0 = (m + M) \cdot v$$

$$v = \frac{m v_0}{m + M} = \frac{10 \cdot 400}{10 + 90} = 40 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$2) A = \Delta E_k, \quad \Delta E_k = 0 - \frac{(m + M) v^2}{2} = - \frac{(m + M) v^2}{2}$$

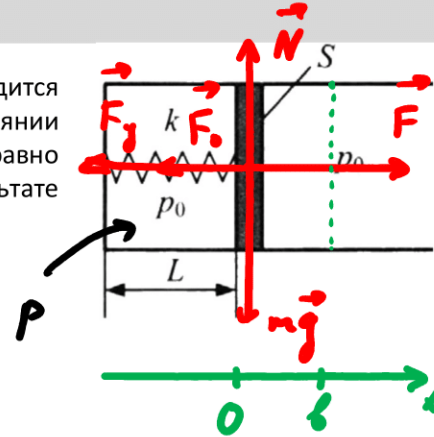
$$A = \underbrace{A_{ng}}_{\uparrow 0} + \underbrace{A_N}_{\uparrow 0} + \underbrace{A_F}_{\text{работа газа}}$$

$$A = - \frac{(m + M) v^2}{2} = - \frac{0,1 \cdot 40^2}{2} = -80 \text{ Дж}$$

$$\text{Ответ: } -80 \text{ Дж}$$

7

В горизонтальном цилиндре с гладкими стенками под массивным поршнем с площадью S находится гелий. Поршень соединён с основанием цилиндра пружиной с жёсткостью k . В начальном состоянии расстояние между поршнем и основанием цилиндра равно L , а давление гелия в цилиндре равно внешнему атмосферному давлению p_0 (см. рис.). Какую работу совершил газ, если в результате нагревания поршень **медленно переместился** вправо на расстояние b ?



Дано: Решение:

 S

1) При медленном сб-е поршня:

 k

$$O_x: F - F_0 - F_y = 0; \quad F = p \cdot S, \quad F_0 = p_0 \cdot S$$

 L

$$F_y = k \cdot x \quad (\Delta l = x) \Rightarrow p \cdot S - p_0 \cdot S - k \cdot x = 0 \quad | : S$$

 b

$$p - p_0 - \frac{k \cdot x}{S} = 0, \quad p = p_0 + \frac{k \cdot x}{S}$$

 p_0

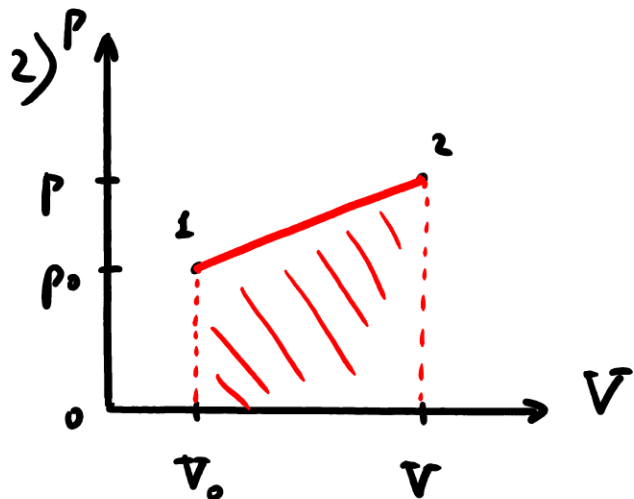
- в начале: $p = p_0 \Rightarrow x_0 = 0$, т.е. пружина
значительно недеформирована

$$V_0 = S \cdot L$$

- в конце: $x = b, \quad p = p_0 + \frac{k \cdot b}{S}$

$$V = S \cdot (L + b)$$

A-?



$$P = P_0 + \frac{\kappa \cdot x}{S}$$

1 чин 408

$$V = V_0 + S \cdot x, \quad Sx = V - V_0, \quad x = \frac{V - V_0}{S}$$

$$P = P_0 + \frac{\kappa}{S} \cdot \frac{V - V_0}{S}, \quad P = P_0 + \frac{\kappa}{S^2} (V - V_0)$$

$$P = P_0 + \frac{\kappa \cdot V}{S^2} - \frac{\kappa V_0}{S^2}$$

$$P = \underbrace{\frac{\kappa}{S^2}}_{\kappa} \cdot V + \underbrace{\left(P_0 - \frac{\kappa V_0}{S^2} \right)}_b$$

$$y = \kappa \cdot x + b$$

$\Rightarrow$ график $P(V)$ - прямая

$$\begin{aligned} A &= \frac{P_0 + P}{2} \cdot (V - V_0) = \frac{P_0 + P_0 + \frac{\kappa l}{S}}{2} \cdot (S l + S l - S l) = \\ &= \left(P_0 + \frac{\kappa l}{2S} \right) \cdot S l = \underbrace{P_0 S l + \frac{\kappa l^2}{2}} \end{aligned}$$

2 способ

$$A = -A', \quad A' = A_{F_0} + A_{F_y}$$

$$A_{F_0} = -F_0 \cdot l = -p_0 S l$$

$$A_{F_y} = -\Delta E_n = -\left(\frac{\kappa \cdot l^2}{2} - 0\right) = -\frac{\kappa l^2}{2} \quad A' = -p_0 S l - \frac{\kappa l^2}{2}$$

$$\underline{A = p_0 S l + \frac{\kappa l^2}{2}}$$

$$\text{Ответ: } A = p_0 S l + \frac{\kappa l^2}{2}.$$