

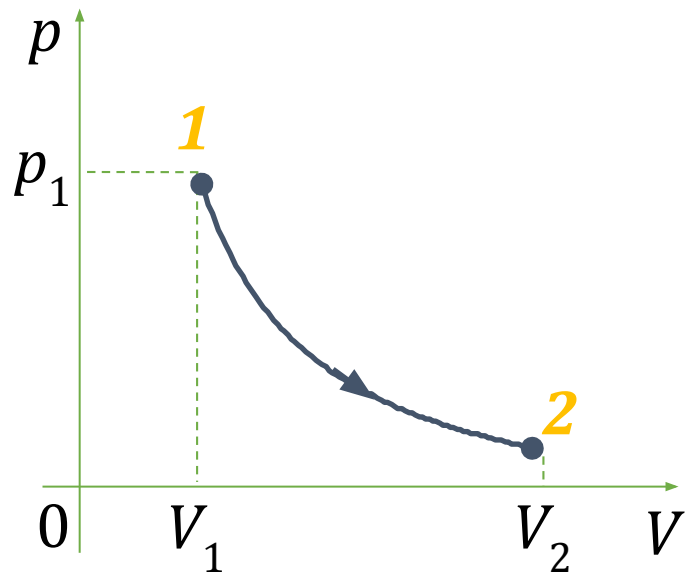
КОНСУЛЬТАЦИЯ ПО ФИЗИКЕ

Лубенченко О. И., кафедра физики им. В. А. Фабриканта
НИУ «МЭИ», 2021 г.

Задача 1

Один моль азота расширился при постоянной температуре 300 К от объёма 2 л до объёма 5 л. Найти работу и изменение внутренней энергии газа, а также количество теплоты, переданное газу.

РЕШЕНИЕ



$$Q = \Delta U + A$$

$$\Delta U = 0$$

$$pV = \text{const} \implies pV = p_1V_1 \implies p(V) = \frac{p_1V_1}{V}$$

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p(V) dV = \int_{V_1}^{V_2} p_1V_1 \frac{dV}{V} = p_1V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Задача 1

$$pM_1 = \quad \boxed{\cancel{ART} \quad \ln \frac{V_2}{V_1}} \quad \boxed{\cancel{QRT} \quad \ln \frac{V_2}{V_1}}$$

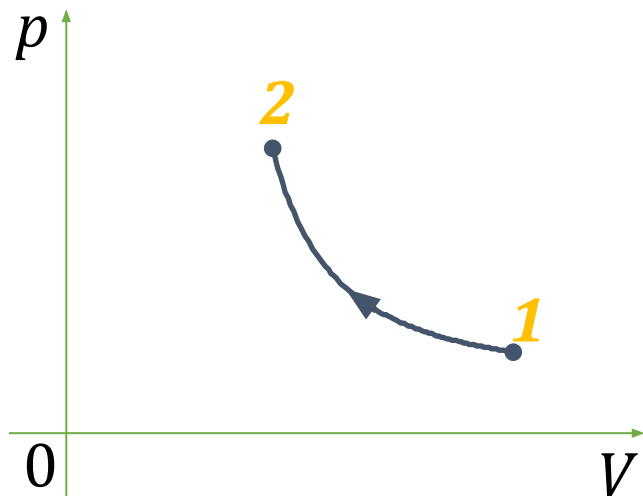
ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЁТ

$$Q = A = \text{Дж} \quad 8,31 \cdot 300 \ln \frac{5}{2} = 2,28 \cdot 10^3 (\quad)$$

Задача 2

Два моля двухатомного идеального газа претерпели адиабатный процесс. Начальная температура 300 К, конечная — 350 К. Найти работу и изменение внутренней энергии газа, а также количество теплоты, переданное газу.

РЕШЕНИЕ



$$Q = 0$$

$$Q = U + A \implies A = -\Delta U$$

$$\Delta U = \frac{i}{2} \nu (T_2 - T_1)$$

$$A = \frac{i}{2} \nu (T_1 - T_2)$$

ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЁТ

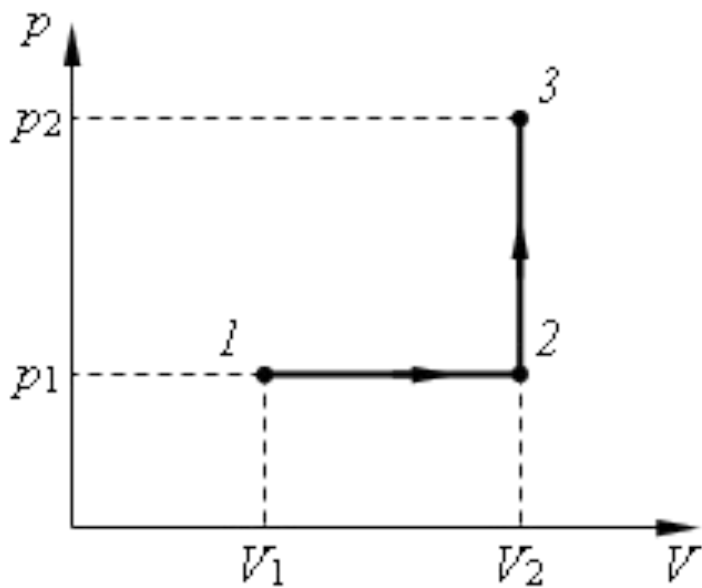
$$i = 5 \quad \Delta U = \frac{5}{2} \cdot 2 \cdot 8,31 \cdot (350 - 300) = 2,1 \cdot 10^3 \text{ ()}$$

$$A = -2,1 \cdot 10^3 \text{ ()}$$

Задача 3

На рисунке изображён график процесса, происходящего с идеальным газом. Найти работу газа. Газ — аргон; $V_1 = 1,0$ л; $V_2 = 3V_1$; $p_1 = 0,10$ МПа; $p_2 = 2p_1$.

РЕШЕНИЕ



$$A = A_{12} + A_{23} \quad A_{12} = p_1 (V_2 - V_1) = 2p_1 V_1 \quad A_{23} = 0$$

$$A = 2p_1 V_1$$

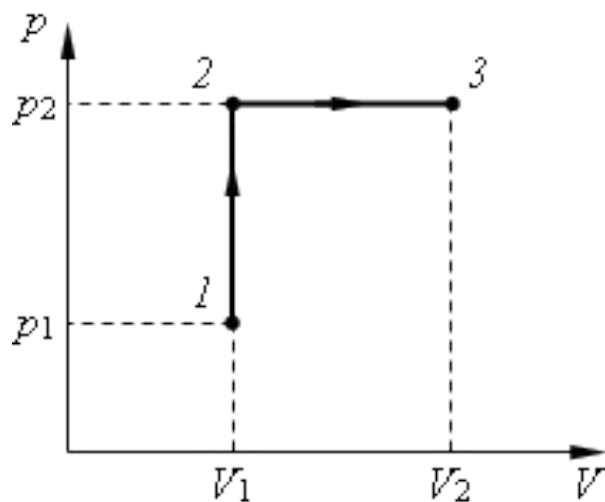
ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЁТ

$$A = 2 \cdot 0,10 \cdot 10^5 \cdot 1,0 \cdot 10^{-3} = 200 (\quad)$$

Задача 4

На рисунке изображён график процесса, происходящего с идеальным газом. Найти количество теплоты, переданное газу. Газ — метан, $V_1 = 1,0$ л; $V_2 = 4V_1$; $p_1 = 1,0$ МПа; $p_2 = 3p_1$.

РЕШЕНИЕ



$$Q = \Delta U + A$$

$$\Delta U = \frac{i}{2} p (V_3 - V_1) \quad p_1 V_1 = \quad p_2 V_2 =$$

$$\Delta U = \frac{i}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) = \frac{i}{2} (3p_1 \cdot 4V_1 - p_1 V_1) = \frac{11i}{2} p_1 V_1$$

$$A = A_{12} + A_{23} \quad A_{12} = 0 \quad A_{23} = p_2 (V_2 - V_1) = 3p_1 \cdot 3V_1 = 9p_1 V_1$$

Задача 4

$$Q = \frac{11i}{2} p_1 V_1 + 9 p_1 V_1 \longrightarrow Q = \left(\frac{11i}{2} + 9 \right) p_1 V_1$$

ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЁТ

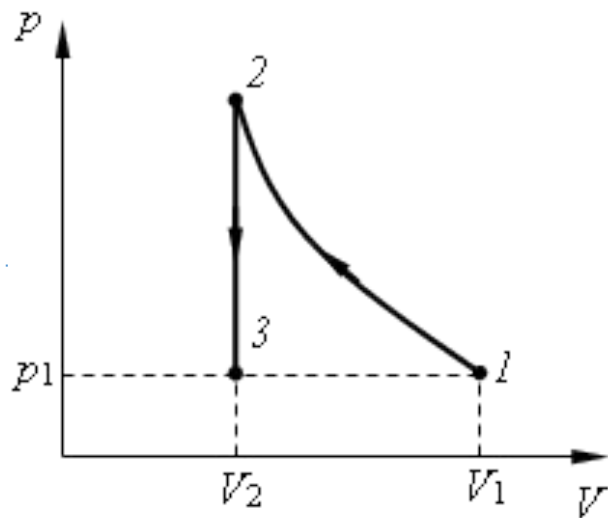
$$i = 6$$

$$Q = \left(\frac{11 \cdot 6}{2} + 9 \right) \text{ Дж} \cdot 1,0 \cdot 10^6 \cdot 1,0 \cdot 10^{-3} = 4,2 \cdot 10^4 (\quad)$$

Задача 5

На рисунке изображён график процесса, происходящего с идеальным газом. Найти изменение внутренней энергии газа. Газ – гелий; $V_1 = 15$ л; $V_2 = V_1/2$; $p_1 = 0,40$ МПа. Процесс 1-2 — адиабатный.

РЕШЕНИЕ



$$\begin{aligned}
 \Delta U &= \frac{i}{2} R (T_3 - T_1) \\
 \text{3-1: } \frac{V_1}{T_1} &= \frac{V_2}{T_3} \implies T_3 = \frac{V_2}{V_1} T_1 \implies \Delta U = \frac{i}{2} R T_1 \left(\frac{V_2}{V_1} - 1 \right) \\
 p_1 V_1 &= p_1 V_1 \implies \Delta U = \frac{i}{2} p_1 V_1 \left(\frac{V_2}{V_1} - 1 \right) = \frac{i}{2} p_1 (V_2 - V_1)
 \end{aligned}$$

Задача 5

$$\Delta U = -\frac{i}{4} p_1 V_1$$

ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЁТ

$$i = 3$$

$$\Delta U = -\frac{3}{4} \cdot 4,0 \cdot 10^5 \cdot 1,5 \cdot 10^{-2} = -4,5 \cdot 10^3 (\quad)$$

Задача 6

В сосуде имеется смесь двух газов (массы m_1 и m_2 , молярные массы μ_1 и μ_2). Объём сосуда равен V , температура смеси T . Найти давление в сосуде.

РЕШЕНИЕ

З-н Дальтона: $p = p_1 + p_2$

$$\begin{cases} p_1 V = \frac{m_1}{\mu_1} RT \\ p_2 V = \frac{m_2}{\mu_2} RT \end{cases} \Rightarrow p = \left(\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} \right) \frac{RT}{V}$$

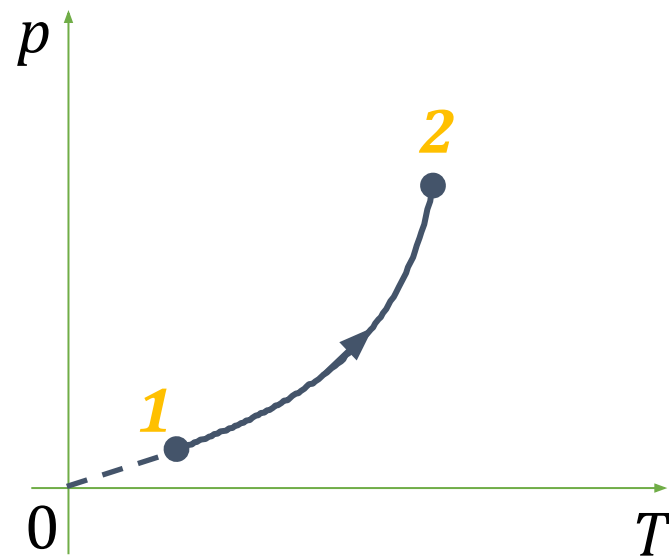
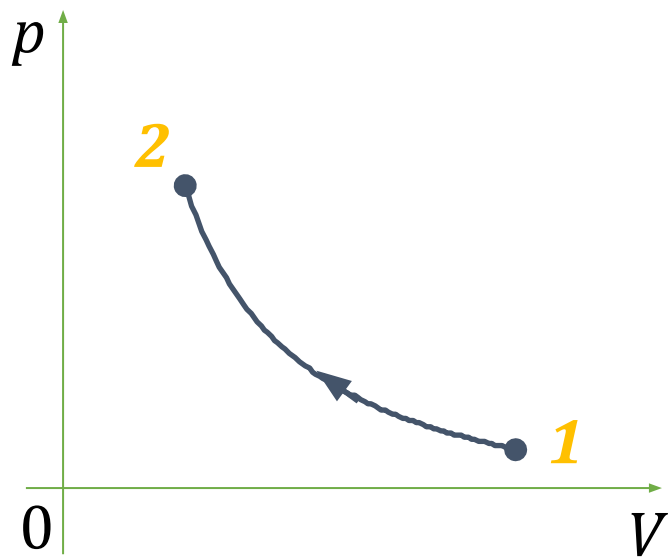
Задача 7

Давление газа при нагревании изменяется по закону $p = \alpha T^2$, где α — положительная константа. Построить графики этого процесса в координатах (p, V) , (p, T) .

РЕШЕНИЕ

$$\begin{cases} pR^2T^2 = \\ \alpha T^2 \end{cases} \quad \Rightarrow \quad \alpha = \left(\frac{pV}{\nu R} \right)^2 \quad \Rightarrow \quad p = \frac{\nu^2 R^2}{\alpha V^2}$$

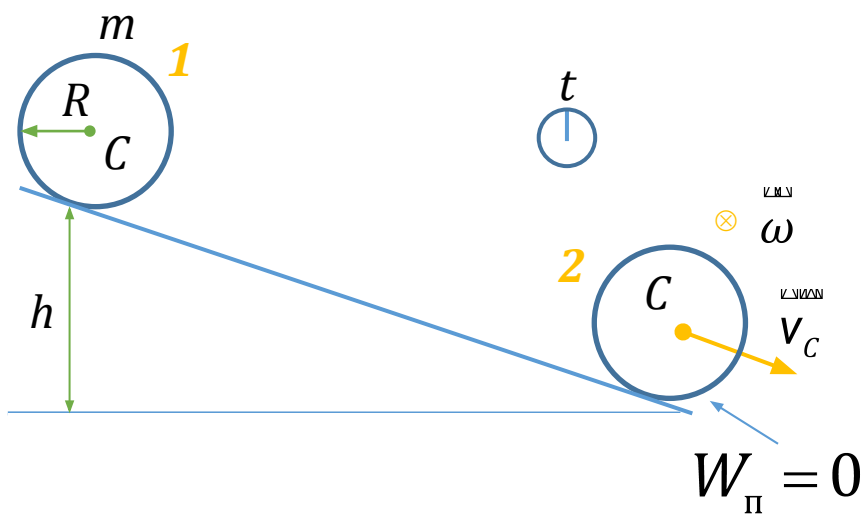
Задача 7



Задача 8

Тонкий обруч скатывается без проскальзывания с наклонной плоскости с высоты 0,20 м. Найти скорость центра обруча в нижней точке плоскости.

РЕШЕНИЕ



Объект исследования: обруч — ТТ
ИСО — лабораторная

ЗСМЭ: $W = \text{const}$ $\leftarrow A^{\text{НП}} = 0$

$$\Delta W_{\text{К}} + \Delta W_{\text{П}} = 0$$

$$\Delta W_{\text{К}} = W_{\text{К2}} - W_{\text{К1}} = \frac{mv_C^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2} - 0$$

Задача 8

$$\Delta W_{\Pi} = W_{\Pi 2} - W_{\Pi 1} = 0 - mgh$$

$$\frac{mv_c^2}{2} + \frac{\omega^2}{2} - mgh = 0$$

$$\omega = \frac{v_c}{R} \text{ (качение без проскальзывания)} \quad I = mR^2$$

$$\frac{\cancel{m}v_c^2}{2} + \frac{\cancel{m}R^2v_c^2}{2R^2} - \cancel{m}gh = 0 \longrightarrow v_c = \sqrt{gh}$$

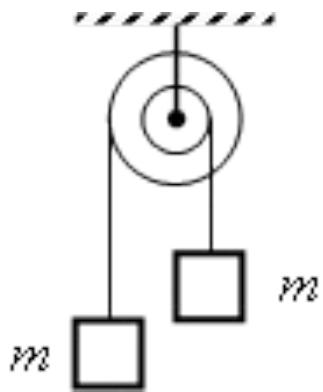
ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЁТ

$$v_c = \sqrt{9,8 \cdot 2,0 \cdot 10^{-1}} = 1,4 \left(\frac{\text{М}}{\text{с}} \right)$$

Задача 9

На рисунке изображена система грузов на невесомых нерастяжимых нитях, намотанных на массивный блок, момент инерции которого равен I , радиусы шкивов R и $2R$. Блок может вращаться вокруг своей оси без трения, нити не проскальзывают по блоку. Массы грузов указаны на рисунке. Найти ускорения грузов и натяжения нитей.

РЕШЕНИЕ



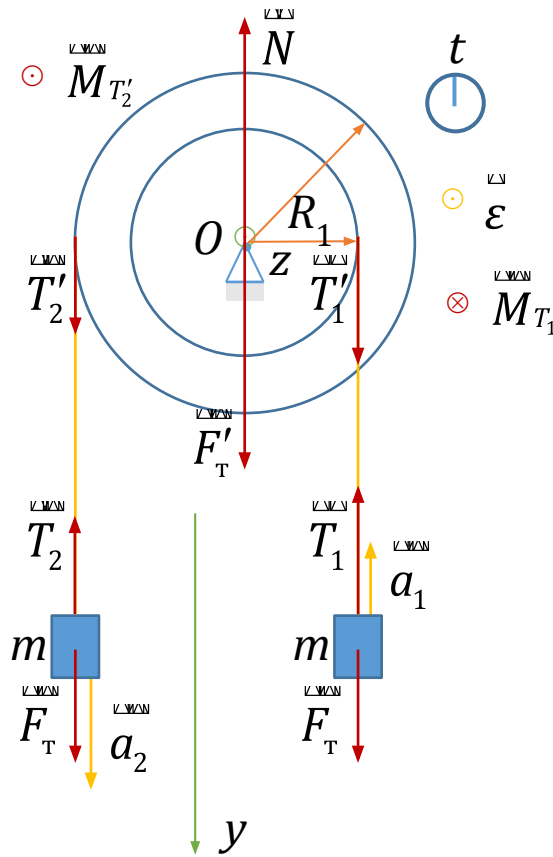
Объект исследования: блок — ТТ, груз **1** — МТ, груз **2** — МТ

ИСО — лабораторная

II закон Ньютона (для груза **1**): $ma_1 = F_1 + T$

II закон Ньютона (для груза **2**): $ma_2 = F_2 + T$

Задача 9



ОУДВД (для блока): $\vec{\epsilon} = \vec{M}_{F'_T} + \vec{M}_N + \vec{M}_{T'_1} + \vec{M}_{T'_2}$

$$\begin{cases} \vec{y}: -ma_1 = F_1 - \\ \vec{y}: ma_2 = F_2 - \\ \vec{z}: IT \ddot{\varphi} = R_2 T_2 - R_1 T_1 \end{cases}$$

Дополнительные соотношения:

$$F_T = mg \quad (\text{закон всемирного тяготения})$$

$$\begin{cases} T'_1 = T_1 \\ T'_2 = T_2 \end{cases} \quad (\text{нити невесомы})$$

$$\begin{cases} a_1 R = a_2 R \\ a_1 R = a_2 R \end{cases} \quad (\text{нити нерастяжимы и не проскальзывают по блоку})$$

Задача 9

$$\begin{cases} -T_1 R + mg - m a_1 \\ 2T_2 R + mg - m a_2 \\ \varepsilon = T_1 R - T_2 R \end{cases} \quad (R_1 = R, R_2 = 2R) \quad \begin{cases} T_1 = mg + m a_1 \\ T_2 = mg - 2m a_2 \\ \varepsilon = T_1 R - T_2 R \end{cases} \implies \varepsilon = 2(mg - 2m a_2) R - (mg + m a_1) R$$

$$\varepsilon + 4mR a_2 + mR a_1 = 2mgR - mgR \implies \varepsilon = \frac{mgR}{I + 5mR^2}$$

$$a_1 = \frac{mgR^2}{I + 5mR^2}$$

$$a_2 = \frac{2mgR^2}{I + 5mR^2}$$

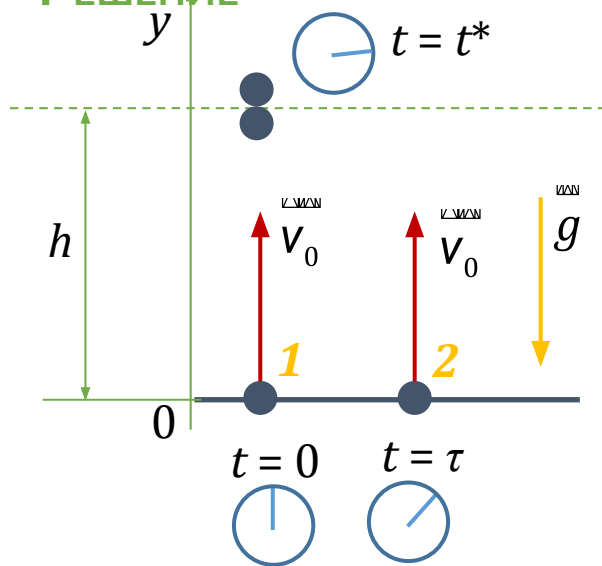
$$T_1 = mg + m a_1 = mg \left(1 + \frac{mR^2}{I + 5mR^2} \right) \quad T_1 = mg \frac{I + 6mR^2}{I + 5mR^2}$$

$$T_2 = mg - 2m a_2 = mg \left(1 - \frac{4mR^2}{I + 5mR^2} \right) \quad T_2 = mg \frac{I + mR^2}{I + 5mR^2}$$

Задача 10

Камень бросают вертикально вверх со скоростью v_0 . Через время τ из той же точки с такой же скоростью бросают второй камень. На какой высоте камни столкнутся?

РЕШЕНИЕ



Объект исследования: камень **1** — МТ, камень **2** — МТ
ИСО — земля

Кинематический закон (для камня **1**): $r_1(t) = r_0 + v_0 t + \frac{gt^2}{2}$

Кинематический закон (для камня **2**):

$$r_2(t) = r_0 + v_0 (t - \tau) + \frac{g(t - \tau)^2}{2}$$

Задача 10

$$y_1(t) = v_0 t - \frac{gt^2}{2} \quad y_2(t) = v_0(t - \tau) - \frac{g(t - \tau)^2}{2}$$

При $t = t^*$

$$y_1(t^*) = y_2(t^*) = h \implies v_0 t^* - \frac{gt^{*2}}{2} = v_0(t^* - \tau) - \frac{g(t^* - \tau)^2}{2}$$

$$\cancel{v_0 t^*} - \frac{\cancel{gt^{*2}}}{2} = \cancel{gt^*} - v_0 - \frac{\cancel{gt^{*2}}}{2} + \tau v_0 - \frac{g^2}{2} \implies t^* = \frac{v_0}{g} + \frac{\tau}{2}$$

Задача 10

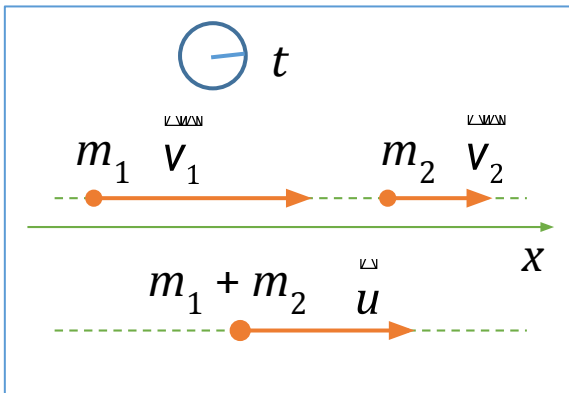
$$h = v_0 t^* - \frac{gt^{*2}}{2} = v_0 \left(\frac{v_0 \tau}{g} + \frac{\tau}{2} \right) - \frac{g}{2} \left(\frac{v_0}{g} + \frac{\tau}{2} \right)^2 = \frac{v_0^2}{g} + \frac{v_0 \cancel{g} \tau}{2} - \frac{v_0^2}{2g} - \frac{v_0 \cancel{g} \tau}{2} - \frac{g \tau^2}{8}$$

$$h = \frac{v_0^2}{2g} - \frac{g \tau^2}{8}$$

Задача 11

Два тела массами 2,0 кг и 4,0 кг движутся в одну сторону вдоль одной прямой со скоростями, по модулю соответственно равными 5,0 м/с и 2,5 м/с, и испытывают абсолютно неупругий удар. Найти скорости тел после удара.

РЕШЕНИЕ



Объект исследования: механическая система — тело **1** (МТ) + тело **2** (МТ)

ИСО — лабораторная

ЗСИ: $\vec{P} = \text{const}$ ← удар

$$\vec{m}_1 \vec{v}_1 + \vec{m}_2 \vec{v}_2 = (\vec{m}_1 + \vec{m}_2) \vec{u}$$

$$x: m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) u \longrightarrow u = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}$$

Задача 11

ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЁТ

$$u = \frac{2,0 \cdot 5,0 + 4,0 \cdot 2,5}{2,0 + 4,0} = 1,67 \left(- \right)$$

Задача 12

Зная уравнение движения материальной точки, записанное в СИ:
 $x(t) = 3t^2 + t + 8$, найти скорость и ускорение точки через время 3 с после начала движения.

РЕШЕНИЕ

$$v_x = \frac{dx}{dt} = 6t + 1 \quad \boxed{v = (6t + 1)i}$$

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = 6 \quad \boxed{a = 6i}$$

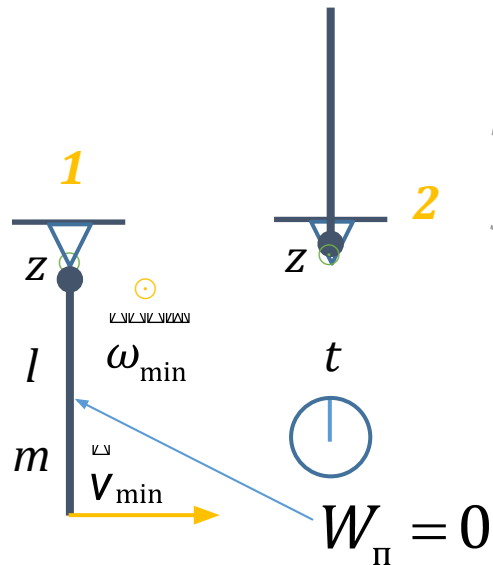
ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЁТ

$$v = 6 \cdot 3 + 1 = 19 \left(\frac{\text{М}}{\text{с}} \right) \quad a = 6 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$$

Задача 13

Однородный стержень длиной l может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси, проходящей через один из его концов. Какую минимальную скорость нужно сообщить нижнему концу стержня, чтобы он сделал полный оборот в вертикальной плоскости?

РЕШЕНИЕ



Объект исследования: стержень — ТТ
ИСО — лабораторная

ЗСМЭ: $W = \text{const} \leftarrow A^{\text{НП}} = 0$

$$\Delta W_{\text{К}} + \Delta W_{\text{П}} = 0$$

$$\Delta W_{\text{К}} = W_{\text{К2}} - W_{\text{К1}} = 0 - \frac{I \omega_{\text{min}}^2}{2} \quad \Delta W_{\text{П}} = W_{\text{П2}} - W_{\text{П1}} = mgl - 0$$

$$W_{\text{П}} = 0$$

Задача 13

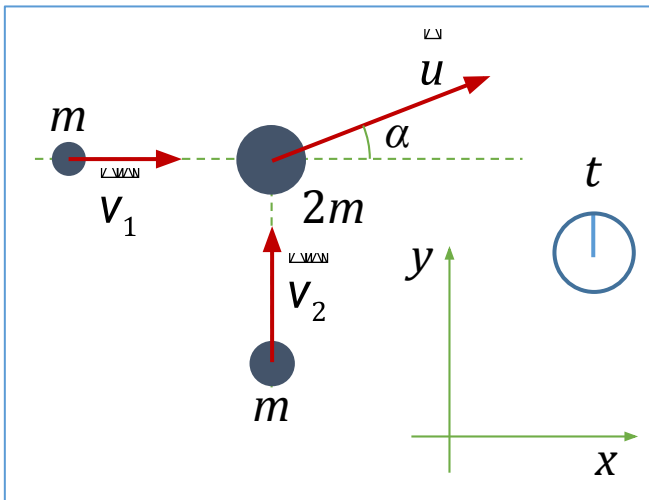
$$-\frac{\omega_{\min}^2}{2} + mgl = 0 \implies \omega_{\min} = \sqrt{\frac{2mgl}{I}}$$

$$I = \frac{ml^2}{3} \quad v_{\min} = \omega_{\min} l \quad v_{\min} = l \sqrt{\frac{2mgl \cdot 3}{ml^2}} \implies v_{\min} = \sqrt{6gl}$$

Задача 14

Два тела одинаковой массы m движутся по взаимно перпендикулярным прямым со скоростью v и испытывают абсолютно неупругий удар. Найти скорость и кинетическую энергию системы после удара.

РЕШЕНИЕ



Объект исследования: механическая система — тело **1** (МТ) + тело **2** (МТ)

ИСО — лабораторная

$$\text{ЗСИ: } \overline{P} = \text{const} \leftarrow \sum \overline{F}^{\text{внеш}} = 0 \text{ удар}$$

$$\overline{m}v_1 + \overline{m}v_2 = \overline{2m}u$$

$$\alpha: m\overline{v} = 2m\overline{u}\cos\alpha$$

$$\alpha: m\overline{v} = 2m\overline{u}\sin\alpha$$

Задача 14

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{mv}{mv} = 1 \longrightarrow \boxed{\alpha = \frac{\pi}{4}}$$

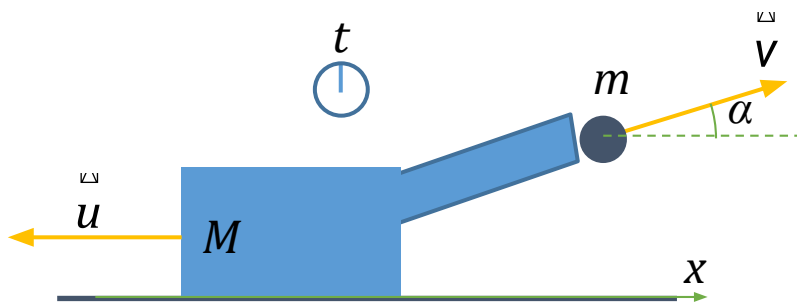
$$2m^2 v^2 = (2m)^2 u^2 (\cos^2 + \sin^2) \longrightarrow \boxed{u = \frac{v}{\sqrt{2}}}$$

$$W_{\text{к}} = \frac{2mu^2}{2} = mu^2 = \frac{mv^2}{2} \longrightarrow \boxed{W_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2}}$$

Задача 15

Пушка массы M стоит на гладкой горизонтальной поверхности. Пушка выстреливает снарядом массы m под углом α к горизонту. Скорость пушки после выстрела равна u . Найти скорость снаряда при выстреле.

РЕШЕНИЕ



Объект исследования: механическая система — пушка (ТТ) + снаряд (МТ)

ИСО — лабораторная

$$\text{ЗСИ: } P_x = \text{const} \leftarrow \sum F_x^{\text{внеш}} = 0$$

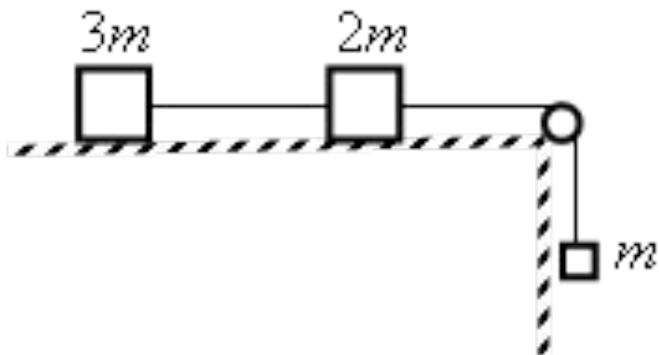
$$0 = mv \cos \alpha - Mu$$

$$v = \frac{Mu}{m \cos \alpha}$$

Задача 16

На рисунке изображена система тел, соединённых невесомыми нерастяжимыми нитями. Массы тел указаны на рисунке. Блок невесом и может вращаться вокруг своей оси без трения. Найти модуль ускорения тел и силу натяжения всех нитей. Трением пренебречь.

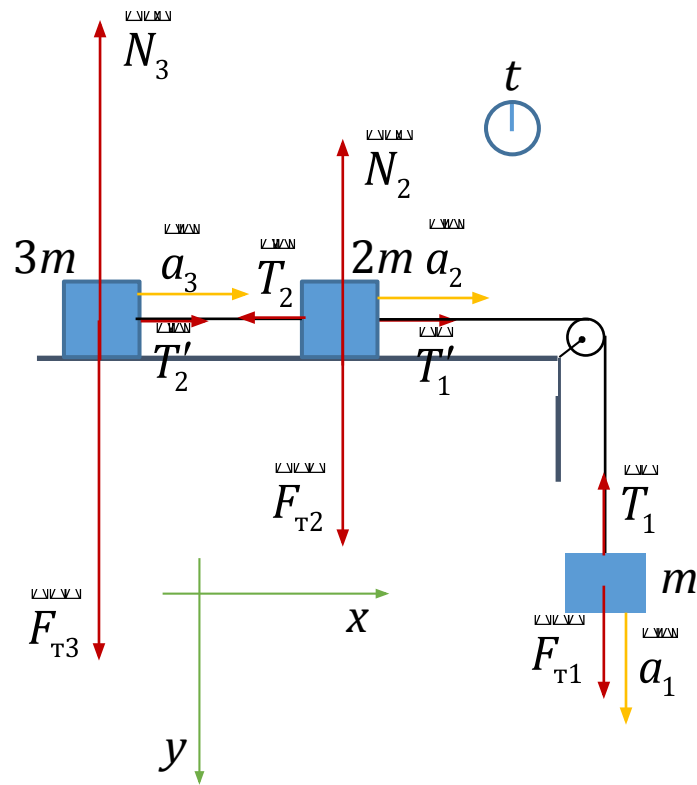
РЕШЕНИЕ



Объект исследования: груз **1** (МТ), груз **2** (МТ), груз **3** (МТ)

ИСО — лабораторная

Задача 16



II закон Ньютона: $m a_{11} = F_1 + T$

$$2m a_{22} = F_2 + N_1 + T_2' + T$$

$$3m a_{33} = F_3 + N_2 + T'$$

$$x: 2m a_2 = T_1' - T_2$$

$$3m a_3 = T_2'$$

$$y: m a_{11} = F_1 - T$$

Задача 16

Дополнительные соотношения:

$$F_{T_1} = mg \quad (\text{закон всемирного тяготения})$$

$$a_1 = a_2 = a_3 = a \quad (\text{нити нерастяжимы})$$

$$T'_1 = T_1, T'_2 = T_2 \quad (\text{нити невесомы})$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 2ma = T_1 - T_2 \\ 3ma = T_2 \\ ma = mg - T_1 \end{array} \right.$$

$$\longrightarrow 2ma + 3ma + ma = T_1 - T_2 + T_2 + mg - T_1 = mg \longrightarrow a = \frac{g}{6}$$

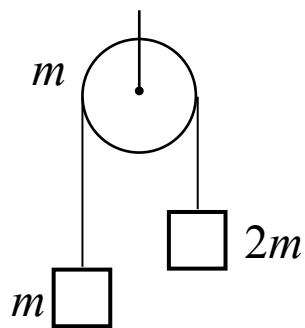
$$T_2 = \frac{3mg}{6} \longrightarrow T_2 = \frac{mg}{2}$$

$$\frac{mg}{6} = mg - T_1 \longrightarrow T_1 = \frac{5mg}{6}$$

Задача 17

На рисунке изображена система грузов, соединённых невесомыми нерастяжимыми нитями, одна из которых перекинута через массивный блок — сплошной цилиндр. Блок может вращаться вокруг своей оси без трения, нить не проскальзывает по блоку. Массы грузов и блока указаны на рисунке. Найти модули ускорений грузов и натяжение нити.

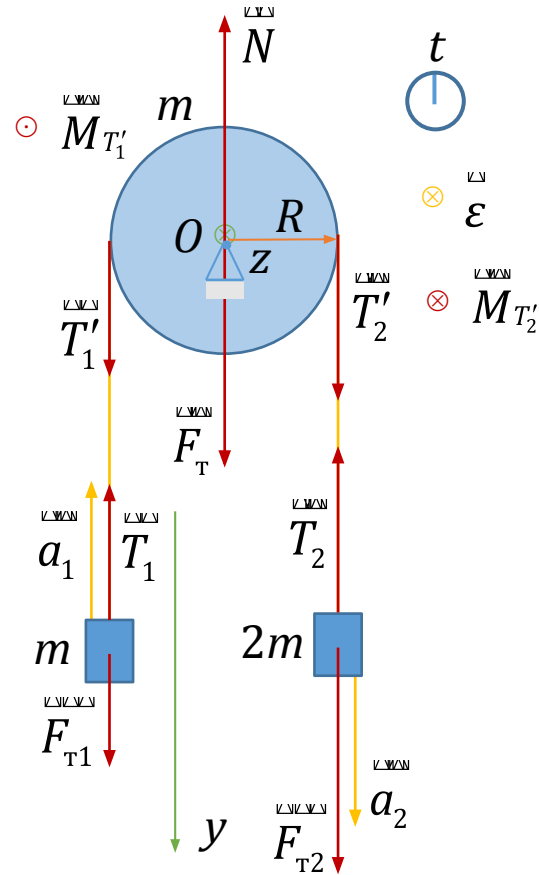
РЕШЕНИЕ



Объект исследования: груз **1** (МТ), груз **2** (МТ), блок (ТТ)

ИСО — лабораторная

Задача 17



II закон Ньютона (для груза 1): $ma_{11} = F_1 + T$

II закон Ньютона (для груза 2): $2ma_{22} = F_2 + T$

ОУДВД (для блока): $\epsilon = M_{F_T} + M_N + M_{T_1'} + M_{T_2'}$

$$\begin{cases} \mathcal{Y}: -ma_{11} = F_1 - \\ \mathcal{Y}: 2ma_{22} = F_2 - \\ \mathcal{Z}: IT - R_2 T - R_1 T' \end{cases}$$

Дополнительные соотношения:

$$F_{T1} = mg, F_{T2} = 2mg \quad (\text{закон всемирного тяготения})$$

$$T_1' = T_1, T_2' = T_2 \quad (\text{нить невесома})$$

Задача 17

$a_1 R = a_2 = a =$ (нить нерастяжима и не проскальзывает по блоку)

$$I = \frac{mR^2}{2}$$

$$\begin{cases} -T_1 a = mg - m a \\ 2T_2 a = 2mg - 2m a \\ \frac{mR^2}{2} \frac{a}{R} = T_2 R - T_1 R \end{cases} \longrightarrow \begin{cases} T_1 = mg + ma \\ T_2 = 2mg - 2ma \\ \frac{ma}{2} = 2mg - 2ma - mg - ma \end{cases} \longrightarrow \frac{7ma}{2} = mg$$

$$a = \frac{2}{7}g$$

$$T_1 = \frac{9}{7}mg$$

$$T_2 = \frac{10}{7}mg$$