



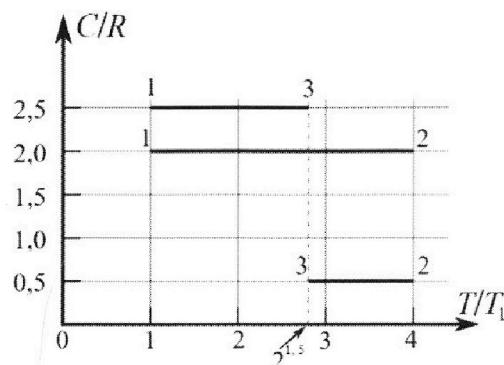
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-01

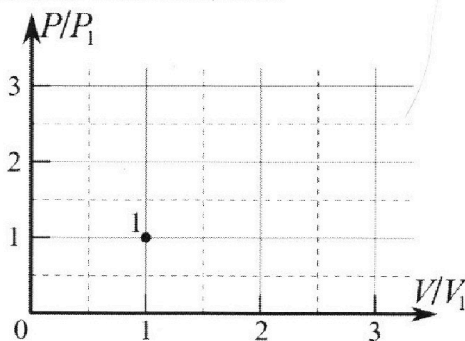
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.



4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной R) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1 (см. рис.). Температура газа в состоянии 1 $T_1 = 400$ К, универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

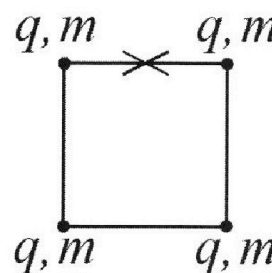


- 1) Найдите работу A_{12} газа в процессе 1-2.
- 2) Найдите КПД η цикла.
- 3) Постройте график цикла в координатах $(P/P_1, V/V_1)$, где P_1 и V_1 давление и объём в состоянии 1. Для построения графика перенесите шаблон (см. ниже) в чистовик своей работы. Точка 1 на графике соответствует состоянию 1 газа в цикле.



5. Четыре заряженных шарика связаны легкими нерастяжимыми нитями так, что шарики находятся в вершинах квадрата со стороной b (см. рис.). Масса каждого шарика m , заряд q .

- 1) Найдите силу T натяжения нитей. Одну нить пережигают.
- 2) Найдите скорость V любого, выбранного Вами шарика, в тот момент, когда шарики будут находиться на одной прямой.
- 3) На каком расстоянии d от точки старта будет находиться в этот момент любой из двух шариков, изначально расположенных сверху (на рисунке)?



Коэффициент пропорциональности в законе Кулона k . Действие сил тяжести считайте пренебрежимо малым.



Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

Вариант 10-01

Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.



1. Мяч, посланный теннисистом вертикально вверх, поднимается на максимальную высоту за $T = 2$ с.

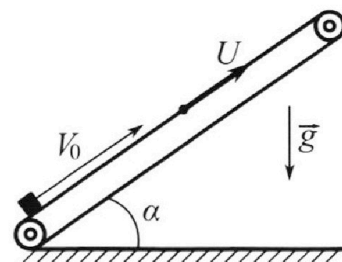
1) Найдите начальную скорость V_0 мяча.

2) Теннисист посылает мяч с начальной скоростью V_0 под различными углами к горизонту в направлении высокой вертикальной стенки, находящейся на расстоянии $S = 20$ м от места броска. На какой максимальной высоте мяч ударяется о стенку?

Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Мяч движется в плоскости перпендикулярной стенке. Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым. Все высоты отсчитываются от точки старта.

2. Лента транспортера, предназначенного для подъема грузов, образует с горизонтальной плоскостью угол α такой, что $\sin \alpha = 0,8$ (см. рис.).

В первом опыте небольшую коробку ставят на покоящуюся ленту транспортера и сообщают коробке начальную скорость $V_0 = 4$ м/с. Коэффициент трения скольжения коробки по ленте $\mu = \frac{1}{3}$. Движение коробки прямолинейное.



1) За какое время T после старта коробка пройдет в первом опыте путь $S = 1$ м?

Во втором опыте коробку ставят на ленту транспортера, движущуюся со скоростью $U = 2$ м/с, и сообщают коробке скорость $V_0 = 4$ м/с.

2) На каком расстоянии L от точки старта скорость коробки во втором опыте будет равна $U = 2$ м/с?

3) На какой высоте H , отсчитанной от точки старта, скорость коробки во втором опыте станет равной нулю? Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Все кинематические величины измерены в лабораторной системе отсчета.

3. Санки дважды разгоняют из состояния покоя до одной и той же скорости V_0 за одинаковое время.

В первом случае санки тянут, действуя постоянной по модулю силой, направленной под углом α к горизонту (см. рис.).

Во втором случае такая же по модулю сила, приложенная к санкам, направлена горизонтально. После достижения скорости V_0 действие внешней силы прекращается.

1) Найдите коэффициент μ трения скольжения санок по горизонтальной поверхности.

2) Через какое время T после прекращения действия силы санки остановятся? Ускорение свободного падения g .

Санки находятся на горизонтальной поверхности. Движение санок прямолинейное.

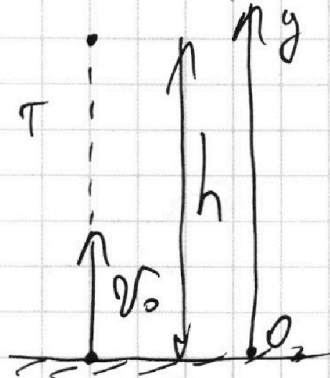


1	2	3	4	5	6	7
☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

√ 1 (стр. 1)

$T = 2e, S = 20 \text{ м}$



1) $v_0 - ?$

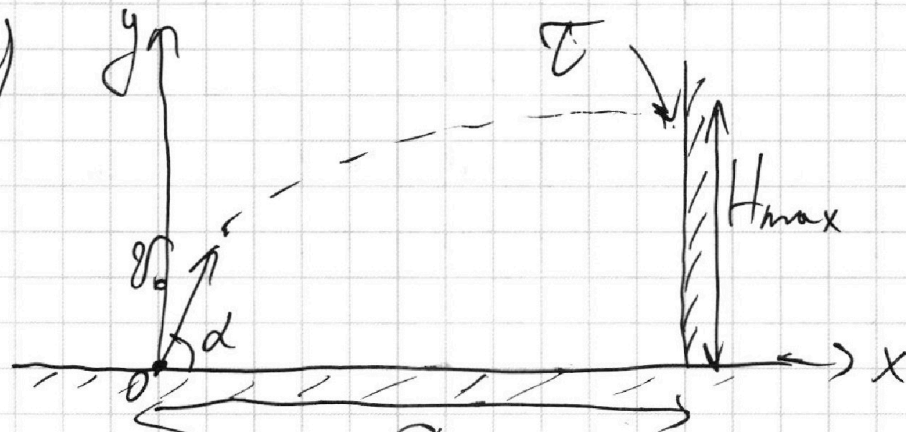
2) $H_{\max} - ?$ - макс. высота на которой мог удариться шарик

1) Oy: $h = v_0 T - \frac{gT^2}{2}$

$v_0 - gT = 0 \Rightarrow v_0 = gT$

$v_0 = 10 \text{ м/с}^2 \cdot 2e = \underline{20 \text{ м/с}}$

2)



Oy: $y(t) = v_0 \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2}$

Ox: $x(t) = v_0 \cos \alpha t \Rightarrow t = \frac{x(t)}{v_0 \cos \alpha}$

$\Rightarrow y(t) = x(t) \tan \alpha - \frac{g}{2} \cdot \frac{x^2(t)}{v_0^2 \cos^2 \alpha} =$

$= x(t) \tan \alpha - \frac{g}{2} \cdot \frac{x^2(t)}{v_0^2} (1 + \tan^2 \alpha)$ - уравнение траектории

3) при $t = T: x(T) = S; y(T) = H$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



5.1 (стр. 2)

$$(\operatorname{tg}^2 \alpha)' = \frac{1}{\cos^2 \alpha}$$

$$y(\alpha) = S \operatorname{tg} \alpha - \frac{g S^2}{2 v_0^2} (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha) \quad (*)$$

Возьмем производную, чтобы найти $y_{\max}(\alpha) = H_{\max}$:

$$y'(\alpha) = S \cdot \frac{1}{\cos^2 \alpha} - \frac{g S^2}{2 v_0^2} \cdot 2 \operatorname{tg} \alpha \cdot \frac{1}{\cos^2 \alpha}$$

$$\text{при } y_{\max}(\alpha) = H_{\max} \quad y'(\alpha) = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{S}{\cos^2 \alpha_0} = \frac{g S^2 \operatorname{tg} \alpha_0}{v_0^2 \cos^2 \alpha_0} \Leftrightarrow \begin{cases} \cos \alpha_0 \neq 0, \\ v_0^2 = g S \operatorname{tg} \alpha_0 \end{cases} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} \alpha_0 \neq \frac{\pi}{2} + \pi n, n \in \mathbb{Z}, \\ \operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{v_0^2}{g S} \end{cases}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{(20 \text{ м/с})^2}{10 \text{ м/с}^2 \cdot 20 \text{ м}} = \frac{400}{200} = 2$$

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = 2$$

4) Подставим $\operatorname{tg} \alpha = 2$ в (*):

$$H_{\max} = y(\alpha_0) = S \cdot 2 - \frac{g \cdot S^2}{2 v_0^2} \cdot (1 + 4) = 2 \cdot 20 \text{ м} - \frac{10 \text{ м/с}^2 \cdot (20 \text{ м})^2}{2 \cdot (20 \text{ м/с})^2} \cdot 5 = 40 \text{ м} - 25 \text{ м} = \underline{15 \text{ м}}.$$



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐

 **МФТИ**

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

51 (мст3)

Ответ: 1) 20 м/с;
2) 15 м.

1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

$$\sqrt{2}(\text{м/с}) \sin \alpha = 0,8$$

$$v_0 = 4 \text{ м/с}; \mu = \frac{1}{3}$$

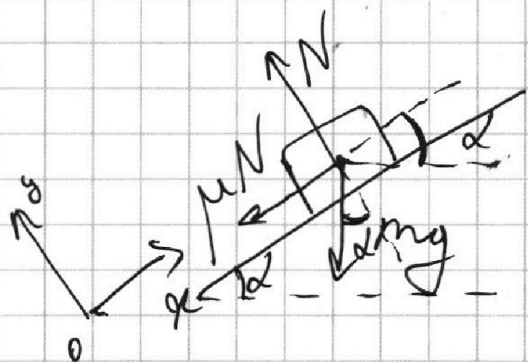
$$S = 1 \text{ м}$$

$\downarrow g$ 1) $T = ?$

• начало отсчета ("0") -
точка начала движения
коробки

1) Составлю силы, действующие на коробку:

Запишу II закон Ньютона,
спроецировав его на
оси Ox и Oy :



$$\begin{aligned} O_x: m a_x &= -m g \sin \alpha - \mu N \\ O_y: m \cdot 0 &= N - m g \cos \alpha \end{aligned} \quad \Rightarrow$$

$$\Rightarrow a_x = -g \sin \alpha - \mu g \cos \alpha$$

$$\begin{aligned} 2) v_x(t) &= v_{0x} + a_x t \\ x(t) &= v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2} \end{aligned} \quad \Rightarrow$$

$$\begin{aligned} 3) \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha &= 1 \Rightarrow \cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} \\ \cos \alpha &= \sqrt{1 - \left(\frac{4}{5}\right)^2} = \frac{3}{5} \end{aligned}$$

1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

√2 (лист 2) Т

4) ~~х(х) = S~~, тогда

$$\frac{a_x T^2}{2} + v_0 T - S = 0$$

$$\frac{g T^2}{2} (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) - v_0 T + S = 0$$

Решу это ур-ие относительно Т:

$$D = v_0^2 - 2g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)S = (4 \text{ м/с})^2 - 2 \cdot 10 \text{ м/с}^2 \cdot (0,8 + \frac{1}{3} \cdot \frac{3}{5}) \cdot 1 \text{ м} = (16 - 20) \text{ м}^2/\text{с}^2 = -4 \text{ м}^2/\text{с}^2 < 0 \Rightarrow \text{ур-ие не имеет решений}$$

→ в первом опыте коробка не успеет проехать путь $S = 1 \text{ м}$ до полной остановки

5) Найдю путь S_1 , который "она" успеет проехать до остановки:

$$v_x(T_{\text{ост}}) = v_{0x} + a_x T_{\text{ост}} = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_{\text{ост}} = \frac{v_{0x}}{-a_x} = \frac{v_0}{g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}$$

$$S_1 = \frac{v_0^2}{2g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)} = \frac{4^2}{2 \cdot 10 \cdot (0,8 + \frac{1}{3} \cdot \frac{3}{5})} = 0,4 \text{ м}$$

$T_{\text{ост}}$ - время, через которое коробка остановится

1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

№2 (миср 3)

$$S_1 = x(T_{\text{миср}}) = v_0 T_{\text{миср}} - \frac{g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) T_{\text{миср}}^2}{2}$$

$$S_1 = 4 \text{ м/с} \cdot 0,4 \text{ с} - \frac{10 \text{ м/с}^2}{2} \cdot \left(\frac{4}{5} + \frac{1}{3} \cdot \frac{3}{5} \right) \cdot 0,4^2 \text{ с} =$$

$$= 1,6 \text{ м} - 0,8 \text{ м} = 0,8 \text{ м}$$

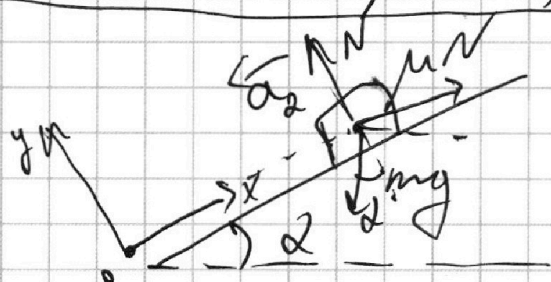
6) Значит, коробке останется проехать:

$$S_2 = S - S_1$$

$$S_2 = 1 \text{ м} - 0,8 \text{ м} = 0,2 \text{ м}$$

7) Пусть коробка не идет
вниз, тогда $F_{\text{тр}} = \mu N$

Запишем еще раз
II закон Ньютона,
спроецировав его на
ось:



$$Ox: m a_2 = mg \sin \alpha - \mu N$$

$$Oy: m \cdot 0 = N - mg \cos \alpha \Rightarrow$$

$$\Rightarrow a_2 = g \sin \alpha - \mu g \cos \alpha$$

$$a_2 = 10 \text{ м/с}^2 \cdot \left(\frac{4}{5} - \frac{1}{3} \cdot \frac{3}{5} \right) > 0 \Rightarrow \text{коробка может двигаться}$$

$$S_2 = \frac{a_2 T_2^2}{2} \Rightarrow T_2 = \sqrt{\frac{2 S_2}{a_2}}$$

$$T_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot (S - S_1)}{g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,2 \text{ м}}{10 \text{ м/с}^2 \cdot (0,8 - 0,4)}} = \sqrt{\frac{0,4 \text{ с}}{4}} = \sqrt{0,1} \text{ с}$$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

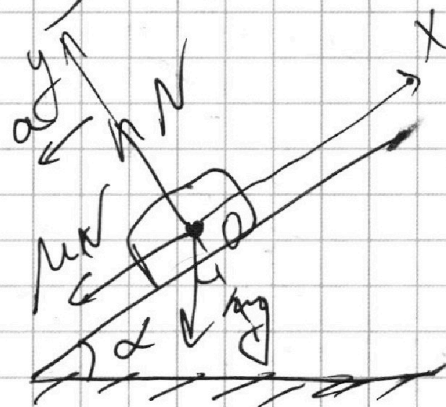
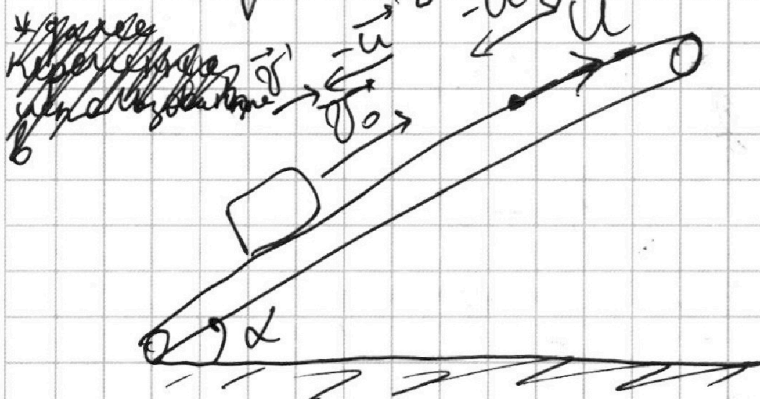
$$\frac{\sqrt{2}(m+4)}{t_2 = \sqrt{\frac{1}{15}}} c$$

$$7) T = T_1 + T_2$$

$$T = 0,4c + \sqrt{\frac{1}{15}} c = \frac{4}{10} c + \frac{\sqrt{15}}{15} c =$$

$$= \frac{12 + 2\sqrt{15}}{30} c.$$

8) II случай (движущаяся лента):



Перемещение в СО ленты: $\vec{v}' = \vec{v} - \vec{u}$

$$v' = 4 \text{ м/с} - 2 \text{ м/с} = 2 \text{ м/с}$$

относительная v коробки (от-но ленты)

Тогда $v^* = u$ при $v' = 0$

9) Запишем II з-к Ньютона, спрявав его на Ox и Oy :

$$Oy: N - mg \cos \alpha = 0$$

$$Ox: m a_x = -\mu N - mg \sin \alpha \Rightarrow a_x = -g \sin \alpha - \mu g \cos \alpha$$

1 2 3 4 5 6 7

☐ ☒ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

$\sqrt{2}(\text{мст } 5)$

10) $\tau_{\text{ост}}$ - время остановки корабки от начального
 пути во II случае (~~10/14/10~~) $\gamma'(\tau_{\text{ост}}) = 0$

$$T_{\text{out}} = \frac{y_0 - u}{a} = \frac{y_0 - u}{g(\sin 2 + \mu \cos 2)} = 0,2 \text{ c}$$

$$11) L = \gamma_0 T_{out} - \frac{\Delta T_{out}^2}{2} = \gamma_0 - \frac{\gamma_0 - u}{g(\sin\alpha + \mu \cos\alpha)} - \frac{(\gamma_0 - u)^2}{2g(\sin\alpha + \mu \cos\alpha)}$$

Kitzinger

$$= \frac{v_0 - u}{g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)} \cdot \left(v_0 - \frac{v_0 - u}{2} \right) = \frac{v_0^2 - u^2}{2g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}$$

$$L = \frac{\sqrt{(4 \text{ m/c})^2 - (2 \text{ m/c})^2}}{2 \cdot 10^8 \text{ c}^2 \cdot \left(\frac{4}{5} + \frac{1}{3} \cdot \frac{3}{5}\right)} = \frac{12 \text{ m}}{20} = \underline{\underline{0,6 \text{ m}}}$$

12) $\sigma(T_0) = 0 \Rightarrow \vec{\sigma} + \vec{u} = 0 \Rightarrow \vec{\sigma} = -\vec{u}$
 $\uparrow$ $\uparrow$
 ACO const

$\Rightarrow |\vec{v}'| = |\vec{u}|$; $\vec{v}' \neq \vec{u}$ — Тогда скорость корабля

13) $a_{2x} = g \cdot (-\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$ в лабораторной 50
(см. н. 6 - Изучение - расстановка) будет равно 0.

сн здесь не помещалась)

• μ не зависит от ψ

1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

$\sqrt{2}$ (м/с)

14) $T_0 = T_{act} + T' \Rightarrow T' = T_0 - T_{act}$

• T_0 - время, через которое $v(T_0) = 0$
(абсолютный)

• T_{act} - время, при котором $v'(T_{act}) = 0$
(относительное)

• T' - время, за которое коробка разогнана
с 0 м/с до 2 м/с в СО левая и "затормозена"
с 2 м/с до 0 м/с в ПСО

15) v_1, v_2

$v(t) = 0$

$u_x + a_x T' = 0$

$u - g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) T' = 0$

$T' = \frac{u}{g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)} = \frac{2 \text{ м/с}}{10 \text{ м/с}^2 \cdot \left(\frac{4}{5} - \frac{1}{3} \cdot \frac{3}{5} \right)} = \frac{2}{10 \cdot \frac{3}{5}}$

$= \frac{1}{5} \cdot \frac{3}{5} \text{ с} = \frac{1}{3} \text{ с} \Rightarrow T_0 = T_{act} + T' =$

$= \frac{v_0 - u}{g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)} + \frac{u}{g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)} =$

$= \frac{v_0 \sin \alpha - u \sin \alpha - v_0 \mu \cos \alpha + u \mu \cos \alpha}{g(\sin^2 \alpha - \mu^2 \cos^2 \alpha)} =$

1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

52 (мст 7)

$$T_0 = \frac{v_0 (\sin \alpha - \mu \cos \alpha) + 2\mu \cos \alpha}{g (\sin^2 \alpha - \mu^2 \cos^2 \alpha)} = \frac{0,8}{15} \text{ c}$$

$$16) S_k' = \frac{a_2 \tau'^2}{2} -$$

— путь коробки за τ' (от 2 м/с в ЛОС
до 0 м/с)

$$17) S_{\text{полн}} = L_1 - S_k = L_1 - \frac{a_2 \tau'^2}{2} - \text{перемещение коробки}$$

$$S_{\text{полн}} = L_1 + S_k' - S_k = L_1 + u \tau' - \frac{a_2 \tau'^2}{2}$$

↑ перемещение коробки
↑ путь предмета вверх за τ'
за всё время

$$S_{\text{полн}} = 0,6 \text{ м} + 2 \text{ м/с} \cdot \frac{0,8}{15} \text{ c} -$$

$$- 10 \text{ м/с}^2 \cdot (0,8 - \frac{1}{3} \cdot \frac{3}{4}) \cdot (\frac{0,8}{15})^2 = 0,6 \text{ м} + \frac{16}{15} \text{ м} - \frac{64}{5 \cdot 15} \text{ м} =$$

$$= \frac{3 \cdot 15}{5} \text{ м} + \frac{16 \cdot 15}{15} \text{ м} - \frac{64}{75} \text{ м} = \frac{45 + 80 - 64}{75} \text{ м} = \frac{61}{75} \text{ м}$$

$$18) H = S_{\text{полн}} \sin \alpha = \frac{61}{75} \text{ м} \cdot 0,8 = \frac{244}{375} \text{ м}$$



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

$\sqrt{2}$ (лист 8)

Ответ: 1) $T = \frac{12 + 15\sqrt{2}}{30} \text{ с}$

2) $L_1 = 0,6 \text{ м}$

3) $H = \frac{244}{375} \text{ м}$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

№3 (лист 3) при $\theta > 0$ $F_{тр} = \mu N$

II 3-я Ньютон, спроецированные на Ox и Oy :

$$\begin{aligned} O_x: ma_x &= -\mu N \\ O_y: 0 &= N - mg \end{aligned} \Rightarrow \begin{aligned} ma_x &= -\mu mg \\ a_x &= -\mu g \end{aligned}$$

$$\Rightarrow T = \frac{v_0}{\mu g} = \frac{v_0 \sin \alpha}{(1 - \cos \alpha)g}$$

Ответ: 1) $\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$;
2) $T = \frac{v_0 \sin \alpha}{(1 - \cos \alpha)g}$.

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

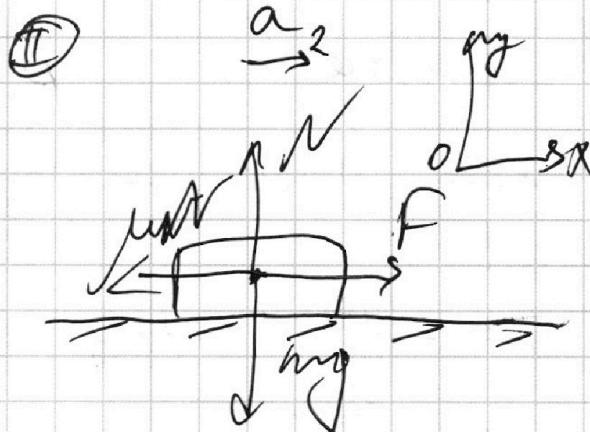
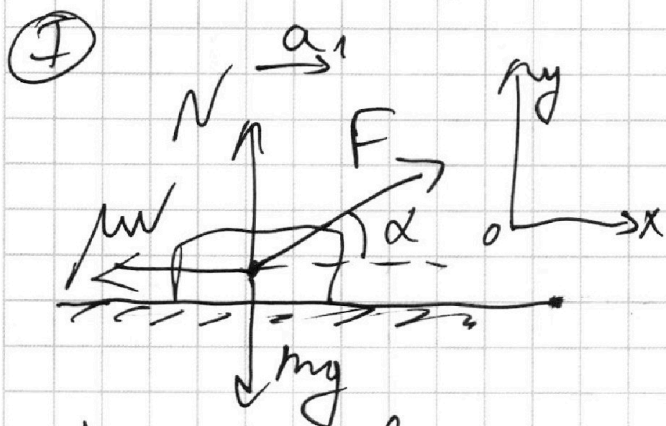
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

$\sqrt{3} \text{ (м/с)}$ $v_0; 2;$



1) $T_1; T_2$ — время, за которое разогрелся камень
в I и II случаях соответственно;

$$v_{01} = v_{02} = v_0; T_1 = T_2 = T \Rightarrow$$

$$\Rightarrow a_1 = a_2 = \frac{v_{01}}{T_1} = \frac{v_{02}}{T_2} = a$$

a_1 и a_2 — ускорение, с которым разогрелся
камень в I и II случаях

$$(F = \text{const}; v > 0 \Rightarrow \mu N = \text{const} \Rightarrow a_1 = \text{const}) \Rightarrow$$

$$a_2 = \text{const}$$

$$\Rightarrow a = \text{const}$$

2) Запишем II з-н Ньютона, спроецировав
его на оси Ox и Oy для I-го и II-го
случаев:

$$\textcircled{I}: \begin{cases} Ox: ma = F \cos \alpha - \mu N_1 \\ Oy: 0 = N_1 - mg \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} ma = F \cos \alpha - \mu mg \\ N_1 = mg \end{cases}$$

$$a = \frac{F}{m} \cos \alpha - \mu g$$

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

$\sqrt{3}$ (мет 2)

1) ~~$Ox: \mu N = F \rightarrow$~~
 ~~$Oy: 0 =$~~

$Ox: F \cos \alpha - \mu N_1 = ma$

$Oy: 0 = N_1 + F \sin \alpha - mg \Rightarrow N_1 = mg - F \sin \alpha \Rightarrow$

$\Rightarrow ma = F \cos \alpha - \mu mg + \mu F \sin \alpha$

$a = \frac{F \cos \alpha}{m} - \mu g + \frac{\mu F \sin \alpha}{m}$

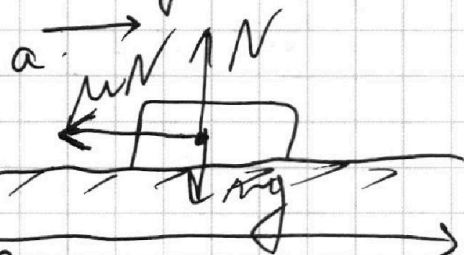
3) $a_1 = a_2 = a : (u_I \text{ и } u_{II})$

$\frac{F}{m} - \mu g = \frac{F \cos \alpha}{m} - \mu g + \frac{\mu F \sin \alpha}{m}$

$\frac{F}{m} \cdot (1 - \cos \alpha) = \mu \cdot \frac{F \sin \alpha}{m}$
 $\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$

($a_x < 0$)

4) II: без гравитации F: $v_x(t) = v_{0x} + a_x t =$



~~$v_{0x} = 0$~~
 $v_x(T) = 0 \Rightarrow T = \frac{-v_{0x}}{a_x}$

~~Или можно, если $a_x < 0$~~

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

$\omega_4(\text{мет})$ 1/A₁₂ - ?

$T_1 = 400\text{K}, J = 1\text{ моль}; i = 3$

1) $Q = A + \Delta U$

$Q = C J \Delta T$

Для процесса $1 \rightarrow 2$: $C = 2R$ (по графику)

$\Delta T_{12} = 4T_1 - T_1 = 3T_1$ (по графику)

$\Delta U_{12} = \frac{i}{2} J R \Delta T$; $\Delta U_{12} = \frac{3}{2} J R \cdot 3T_1$

$\Rightarrow A_{12} = Q - \Delta U = 2R J \cdot 3T_1 - \frac{9}{2} J R T_1 =$
 $= J R T_1 \cdot (6 - 4,5) = \frac{3}{2} J R T_1$

$A_{12} = \frac{3}{2} J R T_1 = \frac{3}{2} \cdot 1\text{ моль} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}} \cdot 400\text{K} =$
 $= 4986\text{ Дж}$

2) $\eta = \frac{A}{Q_+} = \frac{Q_+ - Q_-}{Q_+} = 1 - \frac{|Q_-|}{Q_+}$

3) $Q = C J (T_k - T_n)$

по графику: цикл состоит из 3-х процессов, каждый - с постоянной теплоемкостью (C), значит, в каждом процессе Q линейно зависит от ΔT , при этом если $\Delta T > 0$, то $Q = Q_+$, если $\Delta T < 0$, то $Q = -Q_-$.



1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

√4 (мет 2)

по графику + программ. выбор:

в процессах 1-2 ~~1-2~~ → Q_+ (тепло, ~~находящееся~~ ^{появляется})

2-3 и 3-1 → Q_- (тепло, ^{отводится})

тепло, находящееся в процессе 12
→ $Q_+ = Q_{12}$

$|Q_{23}|$ - тепло, отводи-
мое в процессе 23

$$|Q_-| = |Q_{23} + Q_{31}|$$

$|Q_{31}|$ - тепло отводимое
в процессе 31

4) Посчитано Q для каждого из процессов:

$$\bullet Q_{12} = C_{12} \Delta T_{12} = 2R \Delta (4T_1 - T_1) = 6RT_1$$

$$\bullet Q_{23} = C_{23} \Delta T_{23} = 0,5R \Delta (2^{\frac{3}{2}} - 4)T_1 = RT_1 \cdot \frac{1}{2} \cdot (2\sqrt{2} - 4) = (\sqrt{2} - 2)RT_1$$

$$\bullet Q_{31} = C_{31} \Delta T_{31} = 2,5R \Delta (T_1 - 2^{\frac{3}{2}}T_1) = RT_1 \cdot \frac{5}{2} \cdot (1 - 2\sqrt{2}) = \left(\frac{5}{2} - 5\sqrt{2}\right)RT_1$$

$$5) Q_+ = Q_{12} = 6RT_1$$

$$|Q_-| = |Q_{23} + Q_{31}| = RT_1 \cdot (\sqrt{2} - 2 + 2,5 - 5\sqrt{2}) = RT_1 \cdot \left(\frac{1}{2} - 4\sqrt{2}\right) = RT_1 \cdot \frac{8\sqrt{2} - 1}{2}$$

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

$\sqrt{4}(\text{мг}3)$

$$6) \eta = 1 - \frac{Q_-}{Q_+} = 1 - \frac{\cancel{JRT_1} \cdot \frac{8\sqrt{2}-1}{2}}{\cancel{JRT_1} \cdot 6} =$$

$$= 1 - \frac{8\sqrt{2}-1}{12} = \frac{12 - 8\sqrt{2} + 1}{12} = \frac{13 - 8\sqrt{2}}{12}$$

$$\boxed{\eta = \frac{13 - 8\sqrt{2}}{12}}$$

7) Для построения графика необходимо найти координаты точек 1, 2, 3

• ~~состояние~~ состояние 1:

$$P_1 V_1 = JRT_1 \quad \text{— уравнение Менделеева — Клапейрона}$$

• состояние 2:

$$P_2 V_2 = JRT_2 ; \quad P_2 V_2 = 4JRT_1$$

• состояние 3:

$$P_3 V_3 = JRT_3 ; \quad P_3 V_3 = 2\sqrt{2} JRT_1$$

$$\Rightarrow \frac{P_2 V_2}{P_1 V_1} = 4 ; \quad \frac{P_3 V_3}{P_1 V_1} = 2\sqrt{2}$$

8) процесс 3-1: $C = 2,5R$

известно, что $C_p = \frac{i+2}{2} R$ — процесс при $p = \text{const}$

~~по у.~~ по у. $i=3 \Rightarrow C_p = 2,5R \Rightarrow$
 $\Rightarrow$ в процессе 3-1 можно считать, что $p = \text{const}$

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

54 (лист 4)

В процессе $3 \rightarrow 1$ $p = \text{const} \Rightarrow p_1 = p_3$

$$\frac{V_3 p_3}{V_1 p_1} = 2\sqrt{2} \Rightarrow V_3 = 2\sqrt{2} \cdot V_1$$

$$\eta = \frac{A_{1231}}{Q_+} \Rightarrow A_{1231} = \eta Q_+ = 6JRT_1 \cdot \frac{13 - 8\sqrt{2}}{12} =$$

$$= \frac{13 - 8\sqrt{2}}{2} JRT_1$$

2
10) Рассмотрим работу газа в процессе $2 \rightarrow 3$:

$$Q_{23} = C_{23} \Delta T_{23} = \frac{1}{2} JRT_{23}$$

$$Q_{23} = A_{23}^{\text{газа}} + \Delta U_{23} = A_{23}^{\text{газа}} + \frac{3}{2} JRT_{23} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A_{23}^{\text{газа}} = -JRT_{23} = JRT_1(4 - 2\sqrt{2})$$

$$11) A_{12}^{\text{газа}} = \frac{3}{2} JRT_1$$

$$\Rightarrow A_{12}^{\text{газа}} = \frac{3}{2} p_1 V_1$$

$$12) p_1 V_1 = JRT_1$$

$$A_{23}^{\text{газа}} = (4 - 2\sqrt{2}) p_1 V_1$$

13) если $C = \text{const}$, то

этот процесс — политропный $\Rightarrow$

$$\Rightarrow pV^n = \text{const}, n = \frac{C - C_p}{C - C_v}, \text{ где } C_p = \frac{5}{2} R$$

$$C_v = \frac{3}{2} R$$

(при $i=3$)

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

4 (мат 5)

- где процесс 2→3:

$$\kappa_{23} = \frac{0,5R - 2,5R}{0,5R - 1,5R} = 2 \Rightarrow PV^2 = \text{const}$$

$\Rightarrow P \sim V^{-2}$
- квадратичная зависимость
(см. график)

- где процесс 1→2:

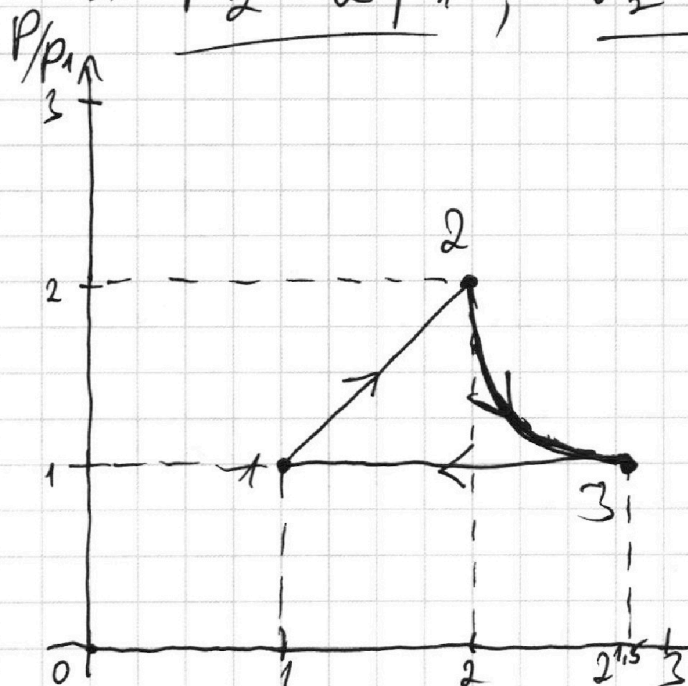
$$\kappa_{12} = \frac{2R - 2,5R}{2R - 1,5R} = -1 \Rightarrow PV = \text{const}$$

$$\frac{P_2 V_2}{P_1 V_1} = 1 \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \frac{V_1}{V_2}$$

$$\text{н. 7: } \frac{P_2 V_2}{P_1 V_1} = 4$$

$$\Rightarrow \frac{2^2 P_1 V_1}{P_1 V_1} = 4 \Rightarrow 2 = 2$$

$$\Rightarrow P_2 = 2P_1; \quad V_2 = 2V_1$$



- 1→2 - прямая пропор-ция
- 2→3 - квадратичная зависимость ($P \sim \frac{1}{V^2}$)
- 3→1 - линейная зависимость ($P = \text{const}$)

Ответ: 1) $A_{12} = \frac{3}{2} R \Delta T = 4986 \text{ Дж}$
2) $\eta = \frac{13 - 8\sqrt{2}}{12}$
3) см. график

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

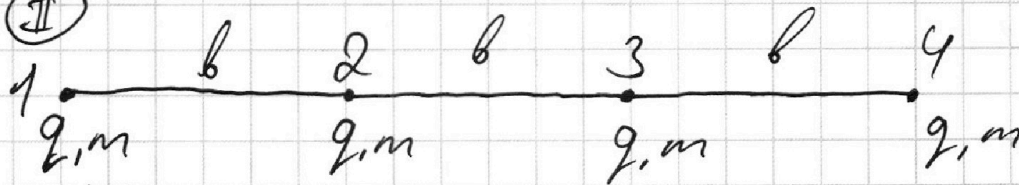
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

55 (мст2)

3) II



проверку аналогии с механическим
взаимодействием:

$$E_n = mgh \rightarrow E_n = qEh = F_k h =$$

$$= \frac{kq^2}{r^2} h$$

4) ЗСЭ где система: $v_1 = v_2 = v_3 = v_4 = v$

$$4 \cdot \frac{mv^2}{2} + \frac{kq^2}{b} \cdot 6 + \frac{kq^2}{2b} \cdot 4 + \frac{kq^2}{3b} \cdot 6 =$$

$$= \frac{kq^2}{b} \cdot 8 + \frac{kq^2}{b\sqrt{2}} \cdot 4$$

$$2mv^2 = \frac{kq^2}{b^2} \cdot (8 + \sqrt{2} - 2 - 2 - 6)$$

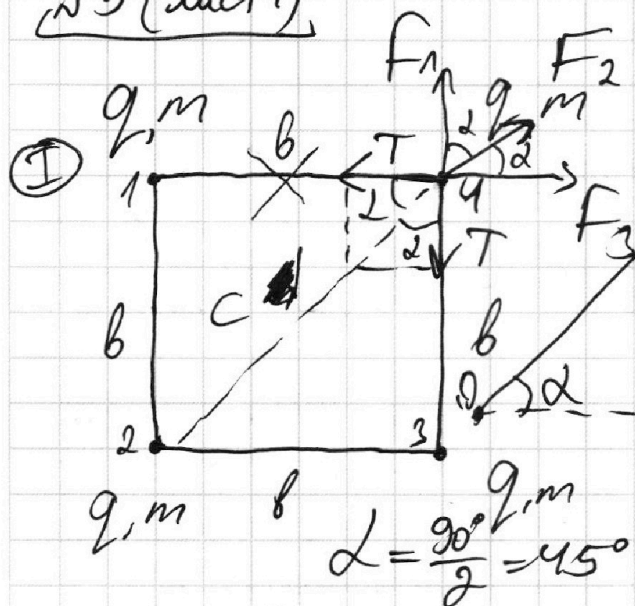
$$v^2 = \frac{kq^2}{2mb^2} \cdot (2\sqrt{2} - 2) = \frac{kq^2(\sqrt{2} - 1)}{mb^2}$$

$$v = \frac{q}{b} \cdot \sqrt{\frac{k(\sqrt{2} - 1)}{m}} \quad \text{ОТвет:}$$

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

№5 (лист 1)



1) расставить сил,
действующие на
один из шариков:

$$F_k = \frac{kq_1q_2}{r^2}$$

система симметрична,
когда на остальные
будут действовать
такие же сил

$$F_1 = \frac{kq^2}{b^2} = F_3$$

$$F_2 = \frac{kq^2}{c^2}, \quad c = b\sqrt{2} \Rightarrow F_2 = \frac{kq^2}{2b^2}$$

2) Спроецируем все сил, действующие
на один шарик, на ось Ox :

$$F_2 + F_1 \cos \alpha + F_3 \cos \alpha = 2T \cos \alpha$$

$$\frac{kq^2}{2b^2} + 2 \frac{kq^2}{b^2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 2T \frac{\sqrt{2}}{2};$$

$$T = \frac{kq^2}{b^2} \cdot \left(\frac{1}{2\sqrt{2}} + 1 \right) = \frac{kq^2}{b^2} \cdot \frac{\sqrt{2} + 2\sqrt{2}}{4}$$

Ответ: $1/T = \frac{2\sqrt{2} + \sqrt{2}}{4}$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



Черновик

$$L_1 = 3$$

$$L_2 = 1$$

$$x_1 = 31$$

$$600$$

$$\frac{4986}{18} = 277$$

$$y(L_1) = 20 \cdot 3 - \frac{10 \cdot 20}{2 \cdot 20^2} \cdot (1 + 3^2) = 60 - 5 \cdot 10$$

$$y(L_2) = 20 \cdot 1 - 5 \cdot (1 + 1^2) = 20 - 10$$

$$\mu_{ax} = -mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha$$

$$S = \frac{v_0^2}{2a}$$

$$\sin \alpha = \frac{4}{5}$$

$$\cos \alpha = \frac{3}{5}$$

$$E_n = q \cdot \frac{ES}{(4\pi\epsilon_0/c)^2} \quad a = 10 \cdot 0,8 + \frac{1}{3} \cdot 10 \cdot \frac{3}{5} = 8 + 2$$

$$2^{\frac{3}{2}} = \sqrt{8} = 2\sqrt{2} \quad S = \frac{v_0^2 - v_x^2}{2a}$$

$$v_0^2 = v_x^2 + 2as$$

$$S = v_0 t - \frac{a t^2}{2} = v_0 \frac{v_0 - v_x}{a} + \frac{a}{2} \cdot v_0$$

$$q, m$$

$$v_x^2 = (4m/c)^2 - 2 \cdot 10 \cdot \left(\frac{4}{5} + \frac{1}{3} \cdot \frac{3}{5} \right) \cdot 1m = 9m$$

$$f_p = \frac{i+2}{2} = \frac{5}{2} \quad f_v = \frac{3}{2}$$

$$x(0,4c) = 4 \cdot 0,4 - \frac{10 \cdot 0,4^2}{2} = 1,6 - 0,8 = 0,8$$

$$x(t) = v_0 t - \frac{a t^2}{2} \quad t = \frac{4m/c}{10 \cdot 1} = 0,4c$$



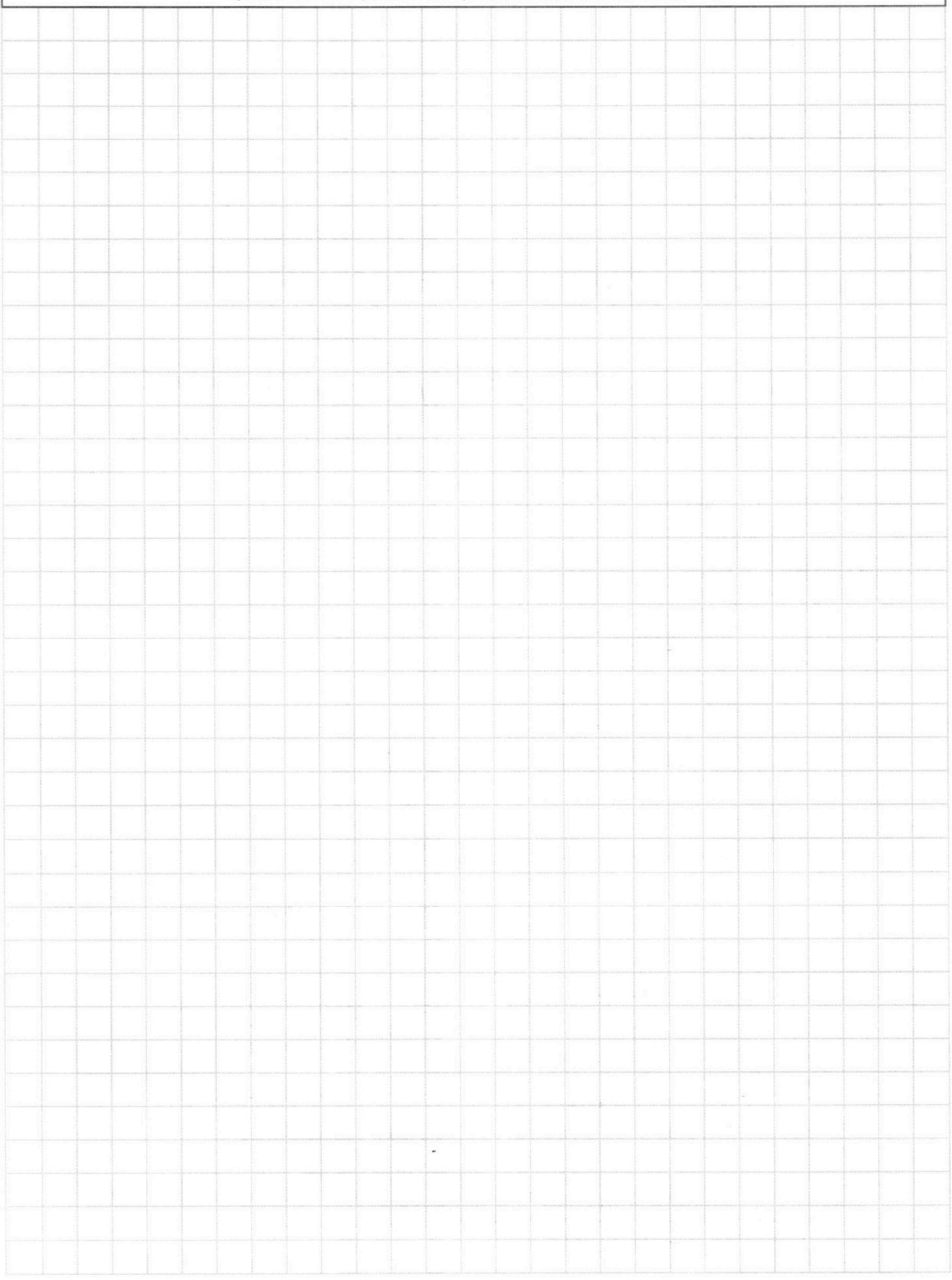
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐



Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

52 (мет 7) Черновик

$$T' = \frac{v_0 (\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{g (\sin \alpha - \mu \cos \alpha) (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)} =$$

$$\frac{v_0}{g (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)} = \frac{4 \text{ м/с}}{\frac{1}{3} + \frac{1}{3}} =$$

$$T' = \frac{v_0 (\sin \alpha - \mu \cos \alpha) - 2 \mu \sin \alpha}{g (\sin^2 \alpha - \mu^2 \cos^2 \alpha)} = \frac{8}{15}$$

$$= \frac{4 \text{ м/с} \cdot \left(\frac{4}{3} - \frac{1}{3} \cdot \frac{3}{3} \right) - 2 \cdot 2 \text{ м/с} \cdot 0,8}{10 \text{ м/с}^2 \cdot \left(\left(\frac{4}{3} \right)^2 - \left(\frac{1}{3} \right)^2 \cdot \left(\frac{3}{5} \right)^2 \right)} = \frac{12}{5} = 2,4$$

$$= \frac{12}{5} = 2,4$$

$$T' = \frac{v_0}{g (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)} = \frac{4 \text{ м/с}}{10 \text{ м/с}^2 \cdot 1} = 0,4 \text{ с}$$

$$T' = \frac{v_0 (\sin \alpha - \mu \cos \alpha) + 2 \mu \cos \alpha}{g (\sin^2 \alpha - \mu^2 \cos^2 \alpha)} = \frac{32}{60}$$

$$= \frac{4 \text{ м/с} \cdot \left(\frac{4}{3} - \frac{1}{3} \cdot \frac{3}{3} \right) + 2 \cdot 2 \text{ м/с} \cdot 0,6}{10 \text{ м/с}^2 \cdot \frac{15}{25}} = \frac{2,4 + 2,4}{6} = 0,8$$



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:



 МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

2 (лист 8)

Ответ: 1) $t = \frac{12 + 2\sqrt{15}}{30}$ с ;
2) $L = 0,6$ м ;
3) $\frac{244}{375}$ м.

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

Черновик (2→3)

$$Q = C_V \Delta T = \frac{1}{2} R \Delta T$$

$$Q = A_{21}^{газа} + \Delta U = A_{21}^{газа} + \frac{3}{2} R \Delta T \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A_{21}^{газа} = - R \Delta T_{21} = R(4T_1 - 2\sqrt{2}T_1)$$

3→1

$$Q = A_{31}^{газа} + \frac{3}{2} R \Delta T = \frac{5}{2} R \Delta T$$

$$A_{31}^{газа} = R \Delta T_{31} = - R(2\sqrt{2}T_1 - T_1)$$

~~черновик~~ $c = \text{const} \rightarrow PV^n = \text{const}$

$$PV^2 = \text{const}$$

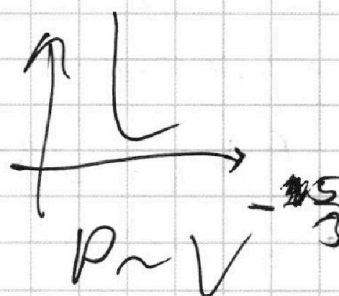
$$\eta = \frac{C - C_p}{C - C_v}$$

$$\eta_{23} = \frac{0,5 - 2,5}{0,5 - 1,5} = 2 = \frac{-2}{-1}$$

$$PV^2 = \text{const}$$

$$\eta_{31} = \frac{2 - 1}{2 - 1}$$

$$p'(V) = (V^{-2})' = -2 \cdot V^{-3}$$



$$PV^2 = \text{const}$$

$$p = \frac{1}{V^2}$$

$$-2 = \frac{C - 2,5}{C - 1,5}$$

$$-2C + 3 = C - 2,5$$

$$3C = 5,5$$

$$C = \frac{11}{6}$$