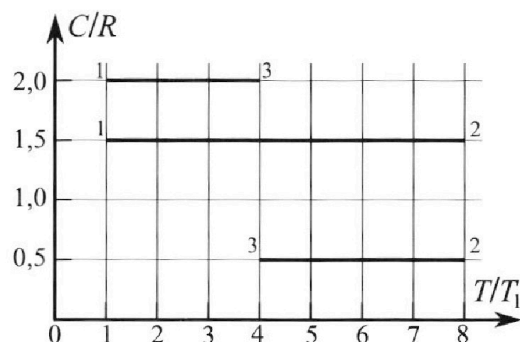


Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

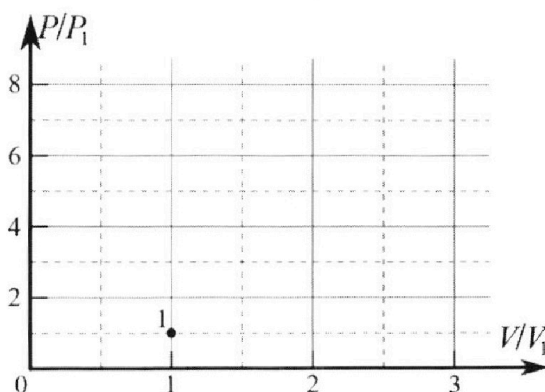
Вариант 10-02

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) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1 (см. рис.). Температура газа в состоянии 1 равна $T_1 = 200$ К, универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

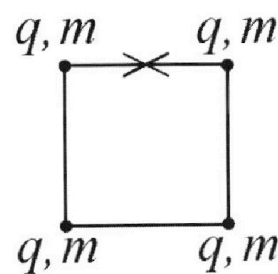


- 1) Найдите работу A_{31} внешних сил над газом в процессе 3-1.
- 2) Найдите КПД η цикла.
- 3) Постройте график цикла в координатах $(P/P_1, V/V_1)$, где P_1 и V_1 давление и объём в состоянии 1. Для построения графика перенесите шаблон (см. ниже) в чистовик своей работы. Точка 1 на графике соответствует состоянию 1 газа в цикле.



5. Четыре заряженных шарика связаны легкими нерастяжимыми нитями так, что шарики находятся в вершинах квадрата со стороной a (см. рис.). Сила натяжения каждой нити T .

- 1) Найдите абсолютную величину $|q|$ заряда каждого шарика. Одну нить пережигают.
 - 2) Найдите кинетическую энергию K 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)?
- Электрическая постоянная ϵ_0 . Действие сил тяжести считайте пренебрежимо малым.





Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

Вариант 10-02

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



1. Футболист наносит удар по мячу, лежащему на горизонтальной площадке. Вектор начальной скорости мяча образует угол $\alpha = 45^\circ$ с горизонтальной плоскостью. Горизонтальное перемещение мяча за время полета $L = 20$ м.

1) Найдите начальную скорость V_0 мяча.

Если футболист направляет мяч под различными углами к горизонту, из той же точки с начальной скоростью V_0 к высокой вертикальной стенке, то наибольшая высота, на которой происходит соударение мяча со стенкой, равна $H = 3,6$ м.

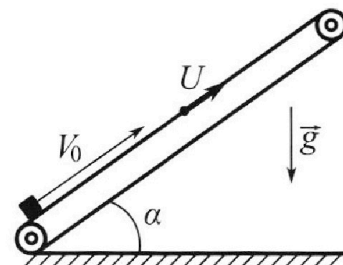
2) На каком расстоянии S от точки старта находится стенка?

Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Мяч движется в плоскости перпендикулярной стенке. Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым.

2. Лента транспортера, предназначенного для подъема грузов, образует с горизонтальной плоскостью угол α такой, что $\sin \alpha = 0,6$ (см. рис.).

В первом опыте небольшую коробку ставят на покоящуюся ленту транспортера и сообщают коробке начальную скорость $V_0 = 6$ м/с. Коэффициент трения скольжения коробки по ленте $\mu = 0,5$.

Движение коробки прямолинейное.



1) Какой путь S пройдет коробка в первом опыте к моменту времени $T = 1$ с?

Во втором опыте коробку ставят на ленту транспортера, движущуюся со скоростью $U = 1$ м/с, и сообщают коробке скорость $V_0 = 6$ м/с (см. рис.).

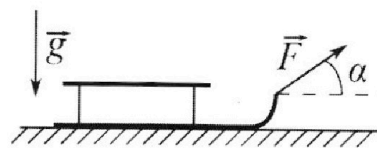
2) Через какое время T_1 после старта скорость коробки во втором опыте будет равна $U = 1$ м/с?

3) На каком расстоянии L от точки старта скорость коробки обратится в ноль во втором опыте? 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 кинетической энергии K на одинаковых участках пути.

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 кинетической энергии K действие внешней силы прекращается.



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

2) Найдите перемещение S санок в процессе торможения до остановки. Ускорение свободного падения g . Санки находятся на горизонтальной поверхности. Движение санок прямолинейное.

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

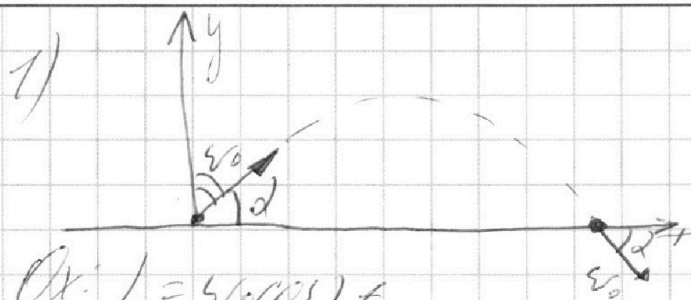
1	2	3	4	5	6	7
☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

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



$\alpha = 45^\circ$
 $L = 20 \text{ м}$
 1) $V_0 = ?$
 2) $h = 3,6 \text{ м}$
 $S = ?$



Ох: $L = V_0 \cos \alpha \cdot t$

Оу: $V_0 \sin \alpha \cdot 0 = V_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}$

$V_0 \sin \alpha = \frac{gt}{2} \quad | \quad \sin \alpha = \cos \alpha = \frac{\sqrt{2}}{2}$

$t = \frac{L}{V_0 \cos \alpha}$

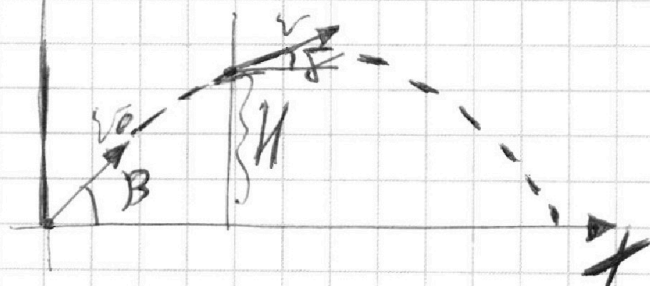
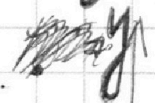
$V_0 \cos \alpha = \frac{gt}{2} \Rightarrow V_0 \cos \alpha = \frac{g \cdot L}{2 V_0 \cos \alpha}$

$V_0^2 \cos^2 \alpha = \frac{gL}{2}$

$V_0^2 = \frac{gL}{2 \cos^2 \alpha}$

$V_0 = \sqrt{\frac{200}{2 \cdot \frac{1}{2}}} = \sqrt{200} \frac{\text{м}}{\text{с}}$

2) $-2gh = V^2 - V_0^2; \quad V_{\text{н}}^2 = V_0^2 - 2gh$
 $= 200 - 20 \cdot 3,6 = 200 - 72$
 $= \sqrt{128} \frac{\text{м}}{\text{с}}$



Ответ: 1) $\sqrt{200} \frac{\text{м}}{\text{с}}$

$\frac{3,6}{7,2}$
 $\frac{200}{72}$
 $\frac{128}{128}$

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

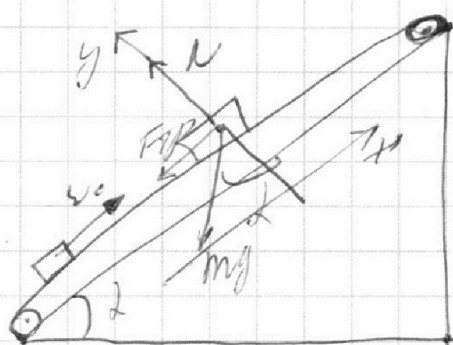
1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

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



2) $\sin \alpha = 0,6$
 $\cos \alpha = 0,8$
 $v_0 = 6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$
 $u = 0,5$
 $L = 4 \text{ м}$
 $g = 10 \text{ м/с}^2$
 1) $S = ?$
 2) $T_1 = ?$
 3) $L = ?$



$a = g$

1) 2 м
 $Oy: N - mg \cos \alpha = 0$
 $N = mg \cos \alpha$
 $Ox: F_{тр} + mg \sin \alpha = 11 \text{ Н}$
 $2 \mu mg \cos \alpha + mg \sin \alpha = 11 \text{ Н}$
 $0,5 \cdot 0,8g + g \cdot 0,6 = 1$

$Ox: S = v_0 T - \frac{g T^2}{2} = 6 \cdot 1 - 5 \cdot 1 = 1 \text{ м}$

2) Переходим в ЦСО (мкмб).

$v_0 = v_{отн} + u$, $v_{отн0} = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ - скорость коробки относительно центра в нач. м.в.
 $v_{отн} = 0$ - скорость коробки относительно центра в конце.

$0 = v_{отн0} - g T_1$; $v_{отн0} = g T_1$; $T_1 = \frac{v_0}{g} = 0,5 \text{ с}$

3) $m A_{тр} = E_2 - E_1$; $A_{тр} = \mu mg \cos \alpha$; $L = \frac{mg L}{2} - \frac{m v_0^2}{2}$; $2 \mu g \cos \alpha L = 2 g L - v_0^2$

$2 \mu g \cos \alpha L = 2 g L \sin \alpha - v_0^2$

$2 g L (\sin \alpha - \mu \cos \alpha) = v_0^2$

$L = \frac{v_0^2}{2g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)} = \frac{36}{20(0,6 - 0,4)} = \frac{36}{20 \cdot 0,2} = \frac{36}{4} = 9 \text{ м}$

Вариант: 1) 1 м
 2) 0,5 с.
 3) 9 м.

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

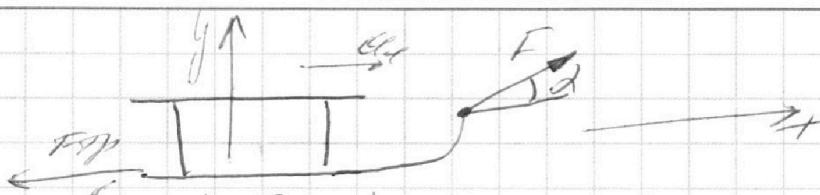
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



3) K, 2

1) $\mu = ?$

2) $s = ?$

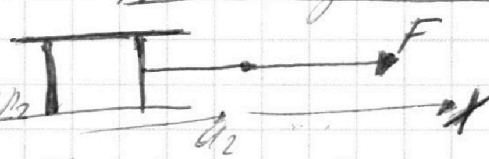


$$Ox: F \cos \alpha - F_{fr} = m \mu$$

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

$$N = mg - F \sin \alpha, F_{fr} = \mu (mg - F \sin \alpha)$$

2).



$$Ox: F - F_{fr} = m a_2$$

$$Oy: N = mg, F_{fr} = \mu mg$$

$$3) \text{ Work: } A_F + A_{F_{fr}} = E_2 - E_1 = K$$

$$A_F = F \cdot s \cos \alpha; A_{F_{fr}} = -\mu mg s$$

$$F s \cos \alpha - \mu mg s = K$$

$$3) \text{ Work: } A_{F_1} + A_F = K, -\mu (mg - F \sin \alpha) s = A_{F_{fr}}$$

$$A_F = F s \cos \alpha, A_{F_{fr}} = -\mu (mg - F \sin \alpha) s = K$$

$$F s \cos \alpha - \mu (mg - F \sin \alpha) s = F s - \mu mg s$$

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

$$\cos \alpha + \mu \sin \alpha = 1$$

$$\mu \sin \alpha = 1 - \cos \alpha$$

$$\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} \quad 1. \text{ Answer}$$

$$3) \text{ Kinetic energy: } E_2 - E_1, A_{F_{fr}} = 0 - K$$

$$F s_1 - \mu mg s_1 = -K, F s_1 - \mu mg s_1 = K$$

$$K = \frac{mv^2}{2}, v^2 = \frac{2K}{m}$$

$$\text{Kinetic energy: } K = \frac{mv^2}{2} = \frac{1}{2} m v^2$$

$$2) s = s_1$$

$$m s_1 = \frac{K}{\mu \sin \alpha}$$

$$s_1 = \frac{K}{\mu \sin \alpha}$$

$$s_1 = \frac{K}{\mu \sin \alpha}$$

$$s_1 = \frac{K}{\mu \sin \alpha}$$

$$s_1 = \frac{K}{\mu \sin \alpha}$$

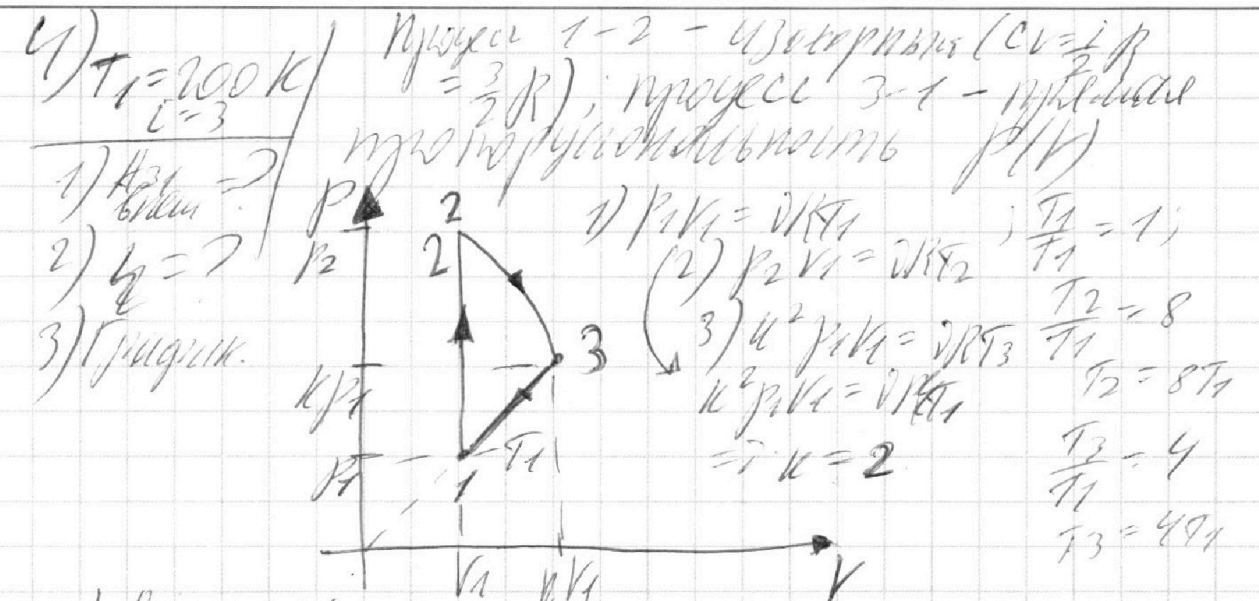
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



$$1) A_{31} = -\frac{1}{2}(P_1 + \kappa P_1)(\kappa V_1 - V_1) = -\frac{1}{2}(\kappa P_1 V_1 - P_1 V_1 + \kappa^2 P_1 V_1 - \kappa P_1 V_1) = -\frac{1}{2}(\kappa^2 P_1 V_1 - P_1 V_1) = -\frac{1}{2}(\nu R T_3 - \nu R T_1)$$

$$A_{31 \text{ в цикле}} = -A_{31} = \frac{1}{2} \nu R T_1 = \frac{1}{2} \cdot 8.31 \cdot 200 = 831 \text{ Дж}$$

$$2) \text{ Процесс } 2-3: Q_{23} = \epsilon \Delta U = \frac{1}{2} \kappa \nu (-4T_1) = -2 \nu R T_1$$

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R (-4T_1) = -6 \nu R T_1$$

$$Q_{23} = A_{23} + \Delta U_{23} \Rightarrow A_{23} = Q_{23} - \Delta U_{23} = -2 \nu R T_1 + 6 \nu R T_1 = 4 \nu R T_1$$

$$A_{\Sigma} = A_{31} + A_{23} = 4 \nu R T_1 - \frac{3}{2} \nu R T_1 = \frac{5}{2} \nu R T_1$$

$$\eta = \frac{A_{\Sigma}}{Q_{12}} = \frac{\frac{5}{2} \nu R T_1}{\frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1)} = \frac{5}{3} \frac{T_1}{T_2 - T_1} = \frac{5}{3} \frac{T_1}{8T_1 - T_1} = \frac{5}{21}$$

$$\boxed{\eta = \frac{5}{21}} \quad \text{②}$$

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

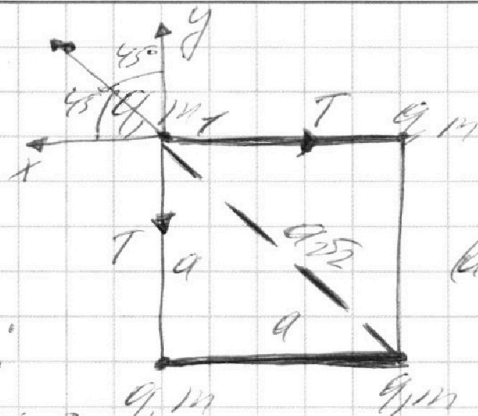
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

5). Т, а

1) $q = ?$

2) $k = ?$

1) Рассч. т-б-б шарик:



$$E = E_2$$

$$E_1 = \frac{kq^2}{2a^2}$$

$$(a/\sqrt{2})^2 = 2a^2$$

$$E_2 = \frac{kq^2}{a^2}$$

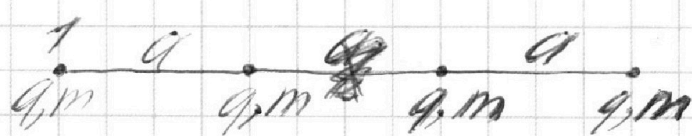
$$Oy: \frac{kq^2}{2a^2} \cdot \cos 45^\circ + \frac{kq^2}{a^2} = T$$

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

$$q^2 = \frac{a^2 T}{k(\frac{\sqrt{2}}{4} + 1)} \quad (1)$$

2).

Рассч. шарик 1.



Ответ: (1). $q = \sqrt{\frac{a^2 T}{k(\frac{\sqrt{2}}{4} + 1)}}$

Энергия шарика в начале:

$$W_1 = \frac{4kq^2}{a} + \frac{2kq^2}{a\sqrt{2}}$$

В конце:

$$W_2 = \frac{3kq^2}{a} + \frac{2kq^2}{2a} + \frac{kq^2}{3a}$$

$$E_2 = W_2 + E_k = \frac{3kq^2}{a} + \frac{2kq^2}{2a} + \frac{kq^2}{3a} + \frac{3mv^2}{2} (3k)$$

ЗСЭ:

$$W_1 = W_2 + E_k$$

$$\frac{4kq^2}{a} + \frac{2kq^2}{a\sqrt{2}} = \frac{3kq^2}{a} + \frac{2kq^2}{2a} + \frac{kq^2}{3a} + 3k$$

$$k = \frac{\frac{4kq^2}{a} + \frac{2kq^2}{a\sqrt{2}} - \frac{3kq^2}{a} - \frac{kq^2}{a} - \frac{kq^2}{3a}}{3}$$

$$(2) k = \frac{\frac{2kq^2}{a\sqrt{2}} - \frac{kq^2}{3a}}{3}$$

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!

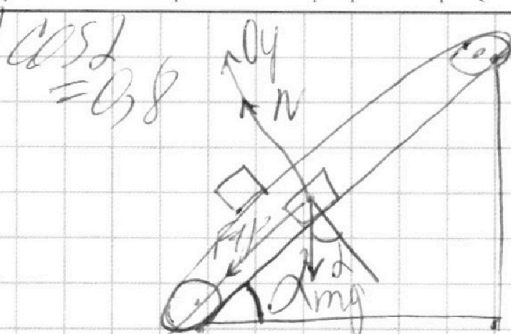
$$\sin \alpha = 0,6$$

$$v_0 = 6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\mu = 0,5$$

$$T = 1 \text{ сек}$$

$$s = ?$$



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

$$N = mg \cos \alpha$$

$$Ox: F_{\text{тр}} + mg \sin \alpha = ma$$

$$\mu mg \cos \alpha + mg \sin \alpha = ma$$

$$\mu g \cos \alpha + g \sin \alpha = a$$

$$0,5g \cdot 0,8 + g \cdot 0,6$$

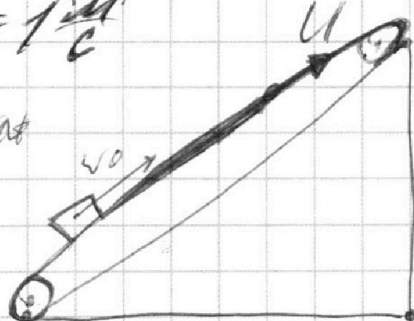
$$0,4g + 0,6g = a, a = g$$

$$Ox: s = v_0 T - \frac{gT^2}{2}$$

$$s = 6 \cdot 1 - 5 \cdot 1 = 1 \text{ м} \quad \text{D}$$



кратчайший



$$v_0 = v_{\text{отн}} + u,$$

$v_{\text{отн}} = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ - скорость
коробки относительно склона
в момент начала.

В момент $v_{\text{отн}} = 0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$
ускоренный коробок
переходит в
условие

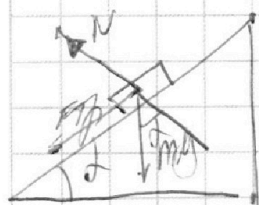
склона.

$$0 = v_{\text{отн}0} - gT_1$$

$$1 \neq 5 - 10T_1$$

$$10T_1 = 4$$

$$T_1 = 0,4 \text{ сек}$$



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

$$Ox: F_{\text{тр}} + mg \sin \alpha = ma$$

$$\mu mg \cos \alpha + mg \sin \alpha = ma$$

$$0,5 \cdot 0,8g + 1 \cdot 0,6g$$

$$= g$$

$$v_{\text{отн}} = gT_1 \quad 1 \neq 5 = v_{\text{отн}}$$

$$T_1 = \frac{4}{10} = 0,4 \text{ сек}$$

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

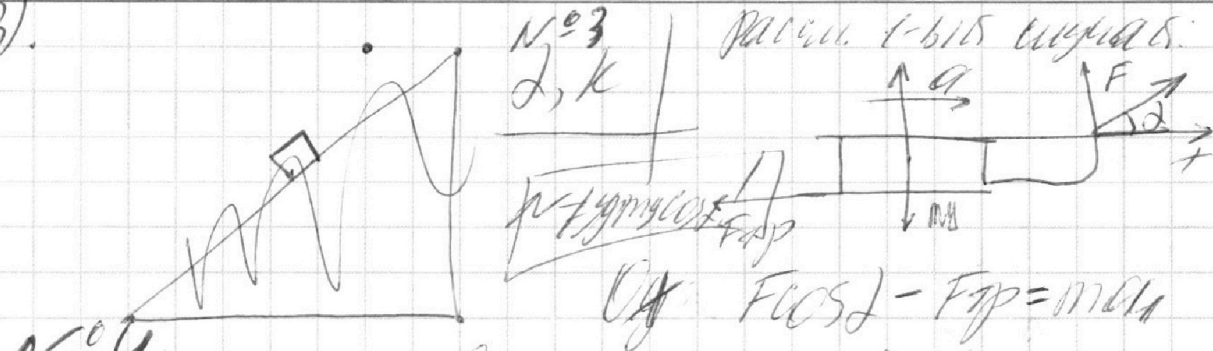
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

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



3).



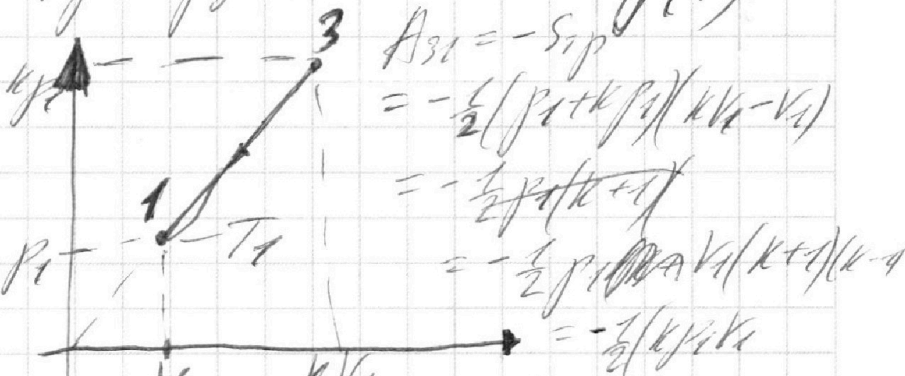
№4.

Уг. $N - mg + F \sin \alpha = 0$
 $N = mg - F \sin \alpha$ (1) Условие.

1) $T_1 = 20 \text{ K}$
 $i = 3; j = 1 \text{ моль}$

Рассчитаем процесс 3-1.

$C = 2R \Rightarrow$ это процесс изохора



$$A_{31} = - \int_{V_1}^{3V_1} P dV = - \int_{V_1}^{3V_1} \left(\frac{P_1}{V_1} V \right) dV = - \frac{1}{2} (P_1 \cdot 3V_1 - P_1 V_1) = - \frac{1}{2} (2P_1 V_1)$$

$$k^2 P_1 V_1 = 2RT_3, P_1 V_1 = RT_1$$

$$T_3 = 4T_1 \text{ из уравнения.}$$

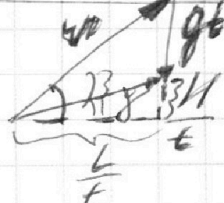
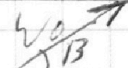
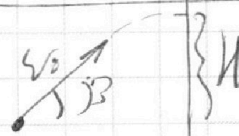
$$k^2 P_1 V_1 = 4RT_1$$

$$\text{Таким образом } T_1 = 1$$

$$\frac{T_3}{T_1} = 4 \Rightarrow T_3 = 4T_1$$

$$A_{31} = - \frac{1}{2} (4RT_1 - RT_1) = - \frac{1}{2} (3RT_1) = - \frac{3}{2} RT_1$$

$$A_{внеш, 31} = -A_{31} = \frac{3}{2} RT_1$$



$$\sin \gamma = \frac{1}{\epsilon \cdot v}$$

$$\sin \beta =$$

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

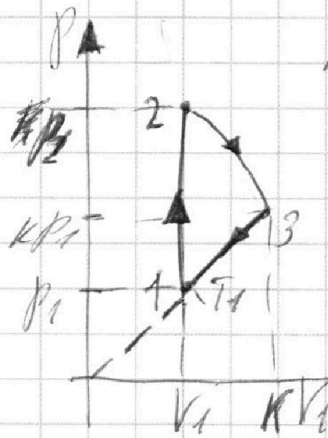
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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!

Процессы 1-2 - изохорный изотермический ($\alpha = \frac{1}{2} R = \frac{3}{2} R$)
2-3 - процесс сжатия
1-3 - процесс изотермический



$$1) P_2 V_1 = P_1 V_2$$

$$2) P_2 V_1 = P_1 V_2; \frac{T_1}{T_2} = 1; \frac{T_2}{T_1} = 8$$

$$P_2 V_1 = 8 P_1 V_1$$

$$3) K^2 P_1 V_1 = P_1 V_3$$

$$T_2 = 8 T_1$$

$$\frac{T_1}{T_1} = 1$$

$$\frac{T_3}{T_1} = 4$$

$$T_2 = 4 T_1$$

$$\eta = \frac{A_{23}}{Q_{12}}$$

$$K^2 P_1 V_1 = 4 P_1 V_1$$

$$P_2 V_1 = 8 P_1 V_1$$

$$P_1 V_1 = P_1 V_2$$

$$P_2 = 8 P_1$$

$$A_{31} = -\frac{1}{2} (P_1 + P_2) (V_2 - V_1) = -\frac{1}{2} (P_1 V_2 + P_2 V_1 - P_1 V_1 - P_2 V_2)$$

$$= -\frac{1}{2} (P_1 V_2 + 8 P_1 V_1 - P_1 V_1 - 8 P_1 V_2)$$

$$= -\frac{1}{2} (7 P_1 V_1 - 7 P_1 V_2) = -\frac{7}{2} P_1 V_1$$

$$A_{31} = \frac{3}{2} P_1 V_1$$

$$Q_{23} = C_V \Delta T = \frac{1}{2} R \cdot V \cdot (-4 T_1)$$

$$\Delta T = T_3 - T_2 = 4 T_1 - 8 T_1 = -4 T_1$$

$$Q_{23} = -2 P_1 V_1$$

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} P_1 V_1 (-4 T_1) = -6 P_1 V_1$$

$$Q_{23} = A_{23} + \Delta U_{23}; A_{23} = Q_{23} - \Delta U_{23} = -2 P_1 V_1 - (-6 P_1 V_1)$$

$$A_{23} = 4 P_1 V_1$$

$$Q_{31} = A_{31} + \Delta U_{31}$$

$$\Delta U_{31} = \frac{3}{2} P_1 V_1 (T_1 - 4 T_1)$$

$$\Delta U_{31} = -\frac{9}{2} P_1 V_1$$

$$P_3 = 2 P_1$$

$$P_2 = 8 P_1$$

$$Q_{12} = \Delta U_{12} = \frac{3}{2} P_1 V_1 (8 T_1 - T_1) = \frac{9}{2} P_1 V_1$$

$$\eta = \frac{A_{23}}{Q_{12}} = \frac{4}{9}$$

$$0.5 \cdot 8 = 4$$