



Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

Вариант 10-01

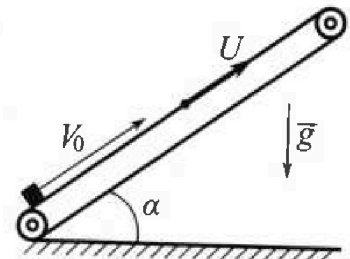
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.



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?

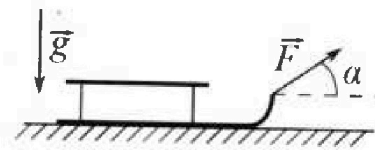
Во втором опыте коробку ставят на ленту транспортера, движущуюся со скоростью $U = 2$ м/с, и сообщают коробке скорость $V_0 = 4$ м/с.

- 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.



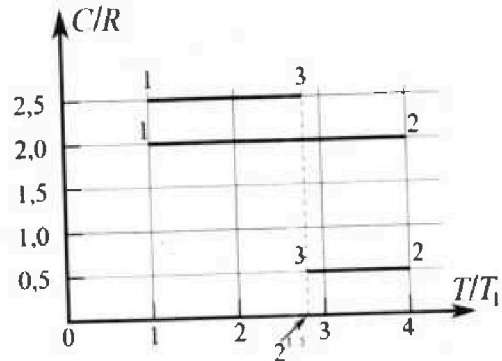
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-01



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

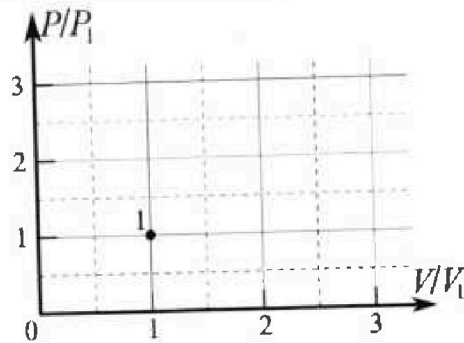
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной R) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1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



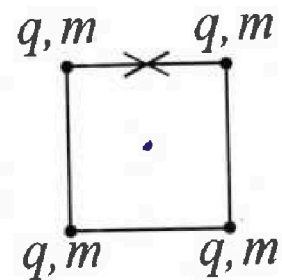
1) Найдите работу A_2 газа в процессе 1-2.

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.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

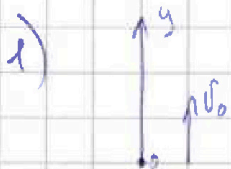
1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

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



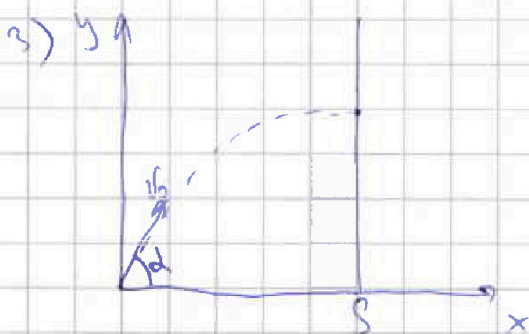
$T = 2c$



$v_y = v_0 - gt$ - уравнение движения
 $y = v_0 t - \frac{gt^2}{2}$

2) при $T = 2$ $v_y = 0$

$v_0 = gt = 10 \cdot 2 = 20 \frac{m}{c}$



Запишем уравнения движения

$v_x = v_0 \cos \alpha$
 $v_y = v_0 \sin \alpha - gt$
 $x = v_0 t \cos \alpha$
 $y = v_0 t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2}$

4) При попадании в стенку $x = S$

$v_0 t \cos \alpha = S$

Также при попадании $v_y = 0$, т.е. попадание в вершину траектории полета мяча, иначе макс $t = \frac{S}{v_0 \cos \alpha}$

$y = S t \sin \alpha - \frac{g S^2}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha} = S t \sin \alpha - \frac{g S^2}{2 v_0^2} (1 + t^2)$

$y = S t \sin \alpha - \frac{g S^2}{2 v_0^2} - \frac{g S^2}{2 v_0^2} t^2$

$y'(t \sin \alpha) = 0$, - максимум функции $y(t \sin \alpha)$

$S - \frac{g S^2}{v_0^2} 2 t \sin \alpha = 0 \Rightarrow S = \frac{g S^2}{v_0^2} t \sin \alpha$

$t \sin \alpha = \frac{v_0^2}{g S}$

$y_{max} = \frac{g S^2}{2 v_0^2} - \frac{g S^2}{2 v_0^2} = \frac{g S^2}{2 v_0^2} \cdot \frac{g^2 S^2}{v_0^4} = \frac{g^3 S^4}{2 v_0^6}$

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!



$$y_{\max} = \frac{gs^2}{2v_0^2} - \frac{g^3s^4}{2v_0^6} = \frac{10 \cdot 20^2}{2 \cdot 20^2} - \frac{10^3 \cdot 20^4}{2 \cdot 20^6}$$

$$y_{\max} = \frac{10}{2} - \frac{10^3}{2 \cdot 20^2} = \frac{10}{2} - \frac{1000}{800} = \frac{10}{2} - \frac{10}{8} =$$

$$= 5 - 1,25 = 3,75 \text{ м}$$

Ответ: $v_0 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

$$y_{\max} = 3,75 \text{ м}$$

$$y_{\max} = \frac{v_0^2}{g} - \frac{gs^2}{2v_0^2} - \frac{gs^2}{2v_0^2} \cdot \frac{v_0^2}{gs}$$

$$y_{\max} = \frac{v_0^2}{g} - \frac{gs^2}{2v_0^2} - \frac{s}{2}$$

$$y_{\max} = \frac{400}{10} - \frac{10 \cdot 400}{2 \cdot 400} - \frac{20}{2} = 40 - 5 - 10 = 25 \text{ м}$$

Ответ: $v_0 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

$$y_{\max} = 25 \text{ м}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

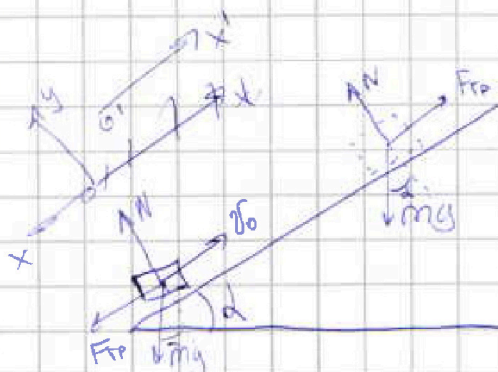
1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

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



$$\begin{aligned} \sin d &= 0,8 \\ v_0 &= 4 \frac{\text{м}}{\text{с}} \\ \mu &= \frac{1}{3} \\ \beta &= 1 \text{ м} \end{aligned}$$



1) Запишем 2 закон Ньютона для тела:

$$Ox: ma = mgsin d + F_{тр}$$

$$Oy: mgcos d = N$$

$F_{тр} = \mu N$, так тело движется $\Rightarrow F_{тр}$ скольжения

$$2) ma = mgsin d + \mu mgcos d$$

$$a = gsin d + \mu gcos d$$

$$a = 10 \cdot 0,8 + \frac{1}{3} \cdot 10 \sqrt{1 - \frac{4^2}{5^2}}$$

$$a = 8 + \frac{10}{3} \cdot \sqrt{\frac{25-16}{25}} = 8 + \frac{10}{3} \cdot \frac{3}{5} = 8 + 2 = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Запишем уравнение движения вдоль оси Ox

$$v = v_0 - at$$

$$S = v_0 t - \frac{at^2}{2}$$

Найдем перемещение до момента $v=0$

$$v_0 = at \Rightarrow t = \frac{v_0}{a}$$

$$S_x = v_0 \frac{v_0}{a} - \frac{a \frac{v_0^2}{a^2}}{2} = \frac{v_0^2}{2a} = \frac{16}{2 \cdot 10} < 1 \Rightarrow \text{нужно рассмотреть время движения } t_{max}$$

Рассмотрим момент, когда тело $v=0$ и $y=0$

$mgsin d$ и $\mu mgcos d$, сравним $F_{тр}$ и $mgsin d$

$\sin d$ и $\mu \cos d$

$$0,8 \text{ и } \frac{1}{3} \cdot \frac{3}{5} \Rightarrow 0,8 > 0,2 \Rightarrow \text{тело поедет вниз}$$

$$ma = mgsin d - \mu mgcos d \quad \text{II закон Ньютона } Ox$$

$$a = gsin d - \mu gcos d = 10 \cdot \frac{4}{5} - \frac{1}{3} \cdot 10 \cdot \frac{3}{5} = 8 - 2 = 6 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

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!

3) Запишем новое уравнение движения на Ox

$$\begin{aligned} v &= at \\ S_x &= \frac{at^2}{2} \end{aligned} \quad \left| \quad S_x = \frac{16}{20} \Rightarrow S_x = S - S_x - \text{недостающий} \right.$$

$$\frac{at^2}{2} = S - S_x \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2}{a}(S - S_x)} = \sqrt{\frac{2}{6}\left(\frac{20-16}{20}\right)}$$

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot 4}{6 \cdot 20}} = \sqrt{\frac{8}{120}} = \sqrt{\frac{1}{15}} \text{ c}$$

$$v = t a_{огр} + t = \frac{v_0}{a_1} + \sqrt{\frac{2}{a}(S - S_x)} = \frac{4}{10} + \sqrt{\frac{1}{15}} = 0,4 + \sqrt{\frac{1}{15}} \text{ c}$$

4) $v_{0z} = v_{огр} + u = 6 \frac{m}{c}$

Запишем ЗСЭ: $E_{ки} - E_{пн} + E_{ки} - E_{кп} = A_{тр}$

$A_{тр} = 0$, так как трение направлено перпендикулярно плоскости движения

$$mgh - 0 + \frac{mv_x^2}{2} - \frac{mv_{0z}^2}{2} = -F_{тр}l, \text{ где } v_x = v \frac{m}{c}$$

$$\sin \alpha = \frac{1}{6} \Rightarrow h = 6 \sin \alpha$$

$$m \cdot 6 \sin \alpha - \frac{mv_x^2}{2} - \frac{mv_{0z}^2}{2} = -\mu mg \cos \alpha \cdot 6$$

$$2(g \sin \alpha + \mu g \cos \alpha) = \frac{v_x^2}{2} - \frac{v_{0z}^2}{2}$$

$$6 = \frac{v_x^2 - v_{0z}^2}{2(g \sin \alpha + \mu g \cos \alpha)} = \frac{6^2 - 2^2}{2\left(10 \cdot \frac{1}{6} + \frac{1}{3} \cdot 10 \cdot \frac{2}{5}\right)}$$

$$6 = \frac{36 - 4}{2(8 + 2)} = \frac{32}{20} = \frac{16}{10} = 1,6 \text{ м}$$

5) Для решения п.3 $v_x = 0 \frac{m}{c}$ $6 = \frac{H}{6 \sin \alpha}$

ЗСЭ: $mgh + 0 - \frac{mv_{0z}^2}{2} = -F_{тр} \frac{H}{\sin \alpha}$

$$H \left(mg + \frac{\mu mg \cos \alpha}{\sin \alpha} \right) = \frac{mv_{0z}^2}{2} \Rightarrow H = \frac{mv_{0z}^2}{2g + 2 \frac{\mu g \cos \alpha}{\sin \alpha}}$$

$$H = \frac{6^2}{2 \cdot 10 + 2 \cdot \frac{10 \cdot \frac{2}{5}}{\frac{1}{6} \cdot \frac{5}{4}}} = \frac{6^2}{20 + 5} = \frac{36}{25} = \frac{144}{100} = 1,44 \text{ м}$$

Ответ: $v = 0,4 + \frac{1}{\sqrt{15}} \text{ c}$, $l = 1,6 \text{ м}$, $H = 1,44 \text{ м}$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

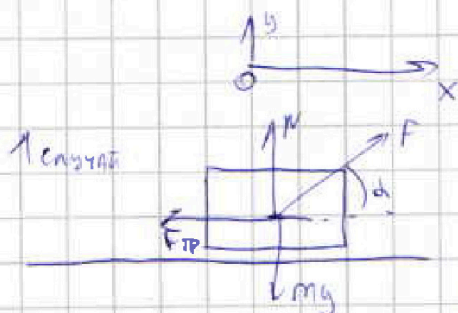
1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

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



$t_1 = t_2 = t$
 v_0
 $\uparrow d$
 $F_1 = F_2 = F$
 μ



Запишем 2 уравнения Ньютона на оси OX и OY.

$$Ox: ma_x = F \cos \alpha - F_{тр}$$

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

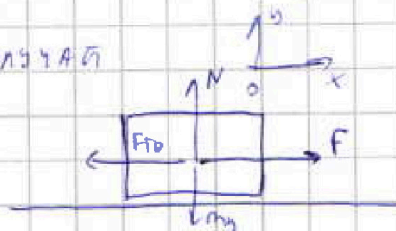
$$F_{тр} = \mu N, \text{ так как не сдвигаемся.}$$

$$2) ma_x = F \cos \alpha - \mu N$$

$$N = mg - F \sin \alpha$$

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

3) 2 м/с



Запишем 2 уравнения Ньютона на оси OX и OY.

$$Ox: ma_x = F - F_{тр}$$

$$Oy: N = mg$$

$$F_{тр} = \mu N, \text{ так как не сдвигаемся}$$

$$ma_x = F - \mu mg$$

$$\text{так } t_1 = t_2 \Rightarrow a_1 = a_2$$

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

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

$$\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$$

$$\mu > 0 \Rightarrow 1 - \cos \alpha > 0 \Rightarrow \cos \alpha < 1$$

3) после прекращения действия силы F, $ma = F_{тр} = \mu N$

$$N = mg \Rightarrow a = \mu g$$

$$v_0 - at = 0 \Rightarrow t = \frac{v_0}{a} = \frac{v_0}{\mu g}$$

$$t = \frac{v_0}{\frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} g} = \frac{v_0 \sin \alpha}{(1 - \cos \alpha) g}$$

Ответ: $\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$, $t = \frac{v_0 \sin \alpha}{(1 - \cos \alpha) g}$

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!



~~Q = C_{12} J \Delta T~~

$T_1 = 400 \text{ K}$
 $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$

1) $Q_{12} = A_{12}' + \frac{3}{2} U_{12}$ \int Закон Геймгольца и Майера
 где A_{12}' - работа газа
 U_{12} - изменение внутренней энергии

$U = \frac{3}{2} J R T$
 $U_{12} = \frac{3}{2} J R (T_2 - T_1)$

2) $Q_{12} = C_{12} J (T_2 - T_1)$

$C_{12} J (T_2 - T_1) = A_{12}' + \frac{3}{2} J R (T_2 - T_1)$

$T_2 = 4T_1$ - из графика

$C_{12} J (4T_1 - T_1) = A_{12}' + \frac{3}{2} J R (4T_1 - T_1)$

$A_{12}' = (2R - 1,5JR) 3T_1$

$A_{11}' = 0,5R) 3T_1 = 0,5 \cdot 8,31 \cdot 13 \cdot 400$

$A_{12}' = 8,31 \cdot 600 = 4986 \text{ Дж}$

~~$A_{12}' = \frac{3}{2} J R 3T_1 - C_{12} J 3T_1$~~

~~$A_{12}' = \frac{3}{2} J R - C_{12} J$~~

~~$C_{12} = 2R$ из графика~~

~~$A_{12}' = 3 \cdot 1 \cdot 400 \left(\frac{3}{2} R - 2R \right)$~~

~~$A_{12}' = -1000 \cdot 0,5R = -600R = -600 \cdot 8,31$~~

~~$A_{12}' = -6 \cdot 831 = -4986 \text{ Дж}$~~

3) $Q_{23} = C_{23} J (T_3 - T_2) = A_{23}' + \frac{3}{2} J R (T_3 - T_2)$

$0,5R) (2^{1,5} T_1 - 4T_1) = A_{23}' + \frac{3}{2} J R (2^{1,5} T_1 - 4T_1)$

$A_{23}' = (2^{1,5} T_1 - 4T_1) \left(-\frac{3}{2} J R + 0,5J R \right) = (2^{1,5} T_1 - 4T_1) (-J R)$

$A_{21}' = J R (4T_1 - 2^{1,5} T_1) = J R T_1 (4 - 2^{1,5})$

4) $Q_{31} = C_{31} J (T_1 - T_3) = A_{31}' + \frac{3}{2} J R (T_1 - T_3)$

$2,5R) (T_1 - 2^{1,5} T_1) = A_{31}' + \frac{3}{2} J R (T_1 - 2^{1,5} T_1)$

$A_{31}' = (T_1 - 2^{1,5} T_1) R$

~~$\eta = \frac{A_{12}' + A_{31}' + A_{21}'}{Q_{12} + Q_{23} + Q_{31}}$~~

$A_{12}' > 0$

$A_{31}' > 0$

$A_{21}' < 0$

но тогда $Q_{12} > 0 \Rightarrow Q_{11} = Q_{12}$

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!



$$Z = \frac{A_{12}^1 + A_{23}^1 + A_{31}^1}{Q_{11}} = \frac{1,5JR\Gamma_1 + JR\Gamma_1(4 - 2^{1,5}) + JR\Gamma_1(1 - 2^{1,5})}{2JR3\Gamma_1}$$

$$Z = \frac{1,5 + 4 - 2^{1,5} + 1 - 2^{1,5}}{6}$$

$$Z = \frac{6,5 - 2^{3,5}}{6}$$

5) $P_1 V_1 = JR\Gamma_1$
 $P_2 V_2 = JR\Gamma_2$
 $P_3 V_3 = JR\Gamma_3$

- уравнения Менделеева для КЛАпейрона

6) $P_1 V_1 = JR\Gamma_1$
 $P_1 V_2 = 4JR\Gamma_1$
 $P_3 V_3 = 2^{1,5}JR\Gamma_1$

$$\Rightarrow \frac{P_2}{P_1} \frac{V_2}{V_1} = 4 \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = 4 \frac{V_1}{V_2}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{1}{4} \frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma}$$

$$P_2 V_2 = 4 P_1 V_1$$

7) ~~$P_1 V_1 = JR\Gamma_1$~~
 ~~$P_2 V_2 = 4JR\Gamma_1$~~
 ~~$P_3 V_3 = 2^{1,5}JR\Gamma_1$~~

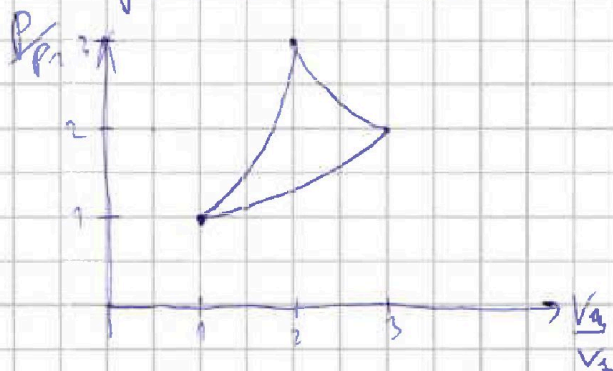
$$\Delta H = \frac{3}{2} JR \Delta T = \frac{3}{2} JR (\Gamma_2 - \Gamma_1)$$

$$P_1 V_1 = JR\Gamma_1$$

$$P_2 V_2 = 4JR\Gamma_1$$

$$\Delta H = \frac{3}{2} JR \left(\frac{P_2 V_2}{JR} - \frac{P_1 V_1}{JR} \right) = \frac{3}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1) = \frac{3}{2} JR 3\Gamma_1$$

$$P_2 V_2 - P_1 V_1 = 3JR\Gamma_1$$



Ответ: $A_{12} = 4586 \text{ Дж}$
 $Z = \frac{6,5 - 2^{3,5}}{6}$

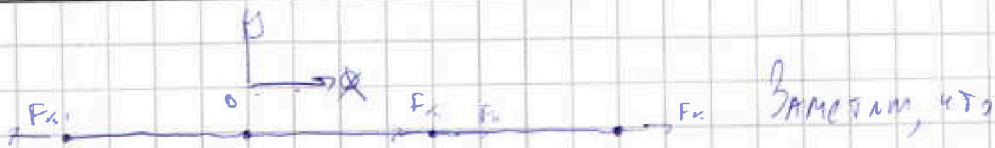
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

МФТИ

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



КЕТ: F_{k1} , т.к. все находится на одной горизонтальной прямой, а
вдоль оси Ox не может быть скорости v_{k1} тогда
будет или менять x или длину нити, второе невозможно
т.к. нить нерастяжима, а первое из-за того что отключают
внешние силы, которые могут его менять $\Rightarrow v = 0$

Ответ: $v = \frac{ku^2}{b^2} \left(1 + \frac{\sqrt{2}}{4}\right)$

$$v = 0$$

$$d = b \frac{\sqrt{5}}{2}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:



1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



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

