



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.

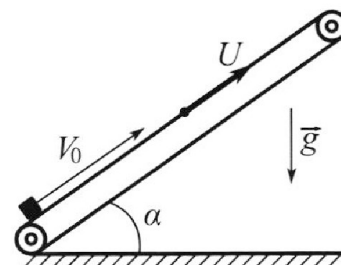
1) Найдите начальную скорость V_0 мяча.

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 возд уха 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.

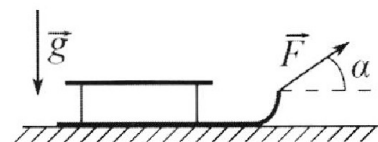
В первом случае санки тянут, действуя постоянной по модулю силой, направленной под углом α к горизонту (см. рис.).

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.





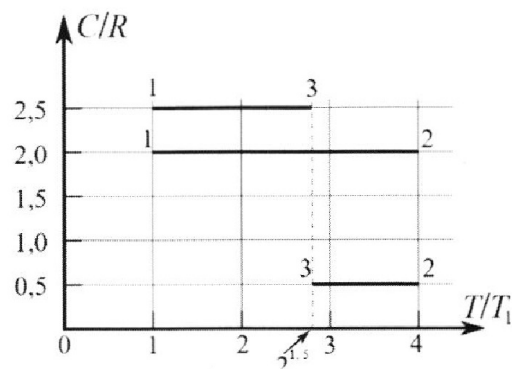
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-01

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



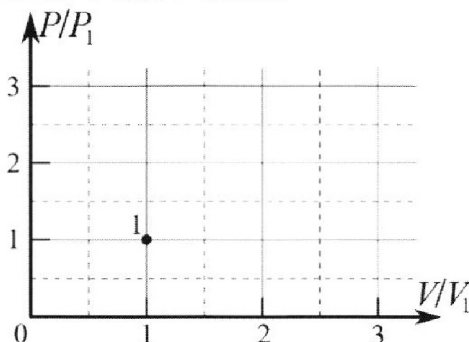
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной R) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1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



1) Найдите работу A_{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.



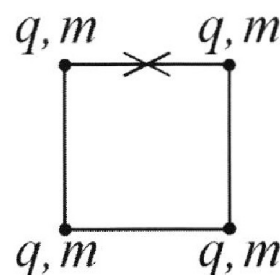
5. Четыре заряженных шарика связаны легкими нерастяжимыми нитями так, что шарики находятся в вершинах квадрата со стороной b (см. рис.). Масса каждого шарика m , заряд q .

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.

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) При подъеме на макс. высоту скорости шара $v = 0$. Из кинематики: $v = v_0 - gT$ (на вертикаль. ось направ. вверх)
 $0 = v_0 - gT \Rightarrow v_0 = gT = 10 \frac{м}{с^2} \cdot 2с = 20 \frac{м}{с}$.
 Ответ: $20 \frac{м}{с}$.

- 2) Пусть шар кинут под углом α к горизонту, он ударится об стенку спустя время t



$$x: S = v_x \cdot t, \quad v_x = v_0 \cdot \cos \alpha \Rightarrow S = v_0 \cos \alpha \cdot t \Rightarrow t = \frac{S}{v_0 \cos \alpha}$$

$$y: h = v_{0y} \cdot t - \frac{1}{2} g t^2, \quad v_{0y} = v_0 \cdot \sin \alpha$$

$$h = v_0 \cdot \sin \alpha \cdot \frac{S}{v_0 \cos \alpha} - \frac{1}{2} g \frac{S^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha} = S \cdot \tan \alpha - \frac{1}{2} g \frac{S^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha}$$

$$\frac{1}{\cos^2 \alpha} = \frac{\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}{\cos^2 \alpha} = \tan^2 \alpha + 1$$

$$\Rightarrow h = S \cdot \left(\tan \alpha - \frac{1}{2} g \frac{S}{v_0^2} \tan^2 \alpha - \frac{1}{2} g \frac{S}{v_0^2} \right)$$

подставим зад. изм. в см:

$$h = 20 \cdot \left(\tan \alpha - \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot \frac{20}{20^2} \tan^2 \alpha - \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot \frac{20}{20^2} \right) =$$

~~$$20 \tan \alpha - 5 \tan^2 \alpha + \tan \alpha - 5$$~~

$$= -5 \tan^2 \alpha + 20 \tan \alpha - 5 = 5 \cdot (-\tan^2 \alpha + 4 \tan \alpha - 1) \quad [м]$$

Ищем $h_{\max} \Rightarrow$ найдем максимум выраж. $-\tan^2 \alpha + 4 \tan \alpha - 1$

см. продолж. на обр. ст.



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!

$$y = -x^2 + 4x - 1$$

график - парабола с ветвями вниз
 $\Rightarrow$ максимум в вершине;
 $x_0 = \frac{-4}{-2} = 2$

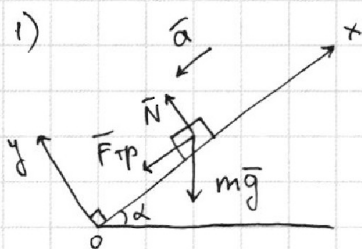
$$y_{\max} = -2^2 + 4 \cdot 2 - 1 = 3$$

$$\Rightarrow h_{\max} = 5 \cdot 3 \text{ м} = 15 \text{ м.}$$

Ответ: 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!



$$\sin \alpha = 0,8 \Rightarrow \cos \alpha = \sqrt{1 - 0,8^2} = 0,6 \quad (\alpha < 90^\circ)$$

Предположим, коробка пройдет путь S до того, как остановится. Тогда $F_{тр}$ против оси Ox .

По II закону Ньютона: $mg + F_{тр} + N = ma$

x: $-mg \cos(90^\circ - \alpha) - F_{тр} = -ma$

$mg \sin \alpha + F_{тр} = ma$

$F_{тр} = \mu \cdot N$ (тепло-эквивалент)

y: $-mg \cos \alpha + N = 0$

$N = mg \cos \alpha$

$$\Rightarrow mg \sin \alpha + \mu mg \cos \alpha = ma \Rightarrow a = g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) = 10 \frac{m}{c^2} \cdot (0,8 + \frac{0,6}{3}) = 10 \frac{m}{c^2}$$

~~на координатных: на ось Ox~~
 ~~$S = v_0 T - \frac{1}{2} a T^2$~~
~~Подставим в см:~~
 ~~$\frac{1}{2} \cdot 10 T^2 - 4 T + 1 = 0$~~
 ~~$5 T^2 - 4 T + 1 = 0$~~
 ~~$\Delta = 4$~~

Тогда до остановки пройдет время t_0 :

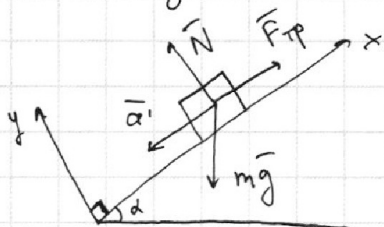
$v = v_0 - at_0, \quad v = 0$

$at_0 = v_0 \Rightarrow t_0 = \frac{v_0}{a} = \frac{4 \frac{m}{c}}{10 \frac{m}{c^2}} = 0,4 \text{ c}$

За это время пройдет путь:

$S_0 = v_0 t_0 - \frac{1}{2} a t_0^2 = 4 \frac{m}{c} \cdot 0,4 \text{ c} - \frac{1}{2} \cdot 10 \frac{m}{c^2} \cdot (0,4)^2 \text{ c}^2 = 0,8 \text{ м}$

$S_0 < S \Rightarrow$ после этого пути пройти еще $0,2 \text{ м}$ вниз



Аналогично по II закону Ньютона:

$$\begin{cases} N = mg \cos \alpha \\ -mg \sin \alpha + F_{тр} = -ma' \end{cases}; \quad F_{тр} = \mu \cdot N$$

$ma' = mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha$

$\Rightarrow a' = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) = 6 \frac{m}{c^2}$

см. продолж. на обр. ст.

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!



Тогда путь $S'_0 = S - S_0 = 0,2 \text{ м}$ коробка пройдет за время t'_0 :

$$S'_0 = a' \frac{t'^2_0}{2} \quad (\text{т.к. после остановки})$$

$$\Rightarrow t'_0 = \sqrt{\frac{2S'_0}{a'}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,2 \text{ м}}{15 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}} = \sqrt{\frac{1}{15}} \text{ с}$$

$$\text{Т.о. } T = t_0 + t'_0 = (0,4 + \sqrt{\frac{1}{15}}) \text{ с}$$

$$\text{Ответ: } (0,4 + \frac{1}{\sqrt{15}}) \text{ с.}$$

- 2) $v_0 = 4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $u = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}} \Rightarrow$ отн. пенту коробка движется со скоростью $v = v_0 - u = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Если скорости коробки сравня-
ются со скоростью пента u , то отн. пенту
коробка останавливается, пусть через время t .

Аналогично 1) коробка замедляется с $a = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Тогда в с.о. пента:

$$0 = v - at \Rightarrow t = \frac{v}{a} = 0,2 \text{ с}$$

$$L = L_k + L_n = vt - \frac{1}{2}at^2 + u \cdot t = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 0,2 \text{ с} - \frac{1}{2} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot (0,2)^2 \text{ с}^2 + 2 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 0,2 \text{ с} = 0,6 \text{ м.}$$

пройдет коробка
отн. пенту

проедет сама пента

$$\text{Ответ: } 0,6 \text{ м.}$$

- 3) Если скорости коробки $0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, то отн. пенту ее скорость
 $v' = 0 \frac{\text{м}}{\text{с}} - u = -2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

Из 2) до остановки коробка переместится на $L = 0,9 \text{ м}$,
поэтому, насколько она оведет обратно, пока ее
скорость не достигнет $v' = -2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ отн. пенту.

Аналогично 1) коробка ускоряет с ускорением $a' = 6 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Тогда в с.о. пента

$$v' = -a't' \Rightarrow t' = -\frac{v'}{a'} = \frac{2 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{6 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \frac{1}{3} \text{ с.}$$

~~пройдет коробка~~

$$L' = L'_k + L'_n = -\frac{1}{2}a't'^2 + u \cdot t' = -\frac{1}{2} \cdot 6 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot \frac{1}{9} \text{ с}^2 + 2 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \frac{1}{3} \text{ с} = \frac{1}{3} \text{ м.}$$

$$\text{Тогда суммарно коробка уедет на } L' + L = \frac{14}{15} \text{ м.}$$

$$H = (L' + L) \cdot \sin \alpha = \frac{56}{75} \text{ м.}$$

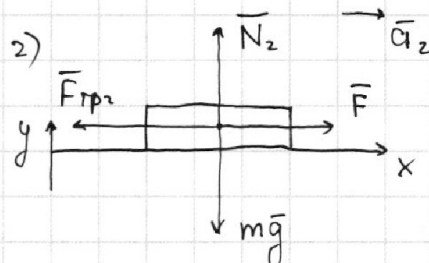
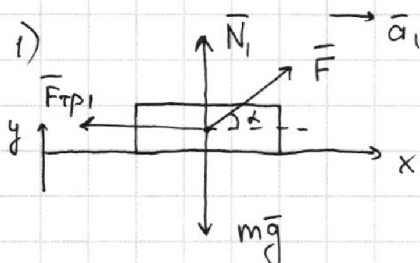
$$\text{Ответ: } \frac{56}{75} \text{ м.}$$

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!



Пусть на график в обоих случаях уходит время t



По II 3-му Ньютона:

$$\begin{aligned} 1) \quad & \bar{N}_1 + \bar{F} + m\bar{g} + \bar{F}_{тр1} = m\bar{a}_1 \\ & y: N_1 + F \sin \alpha - mg = 0 \\ & x: F \cos \alpha - F_{тр1} = ma_1 \\ \Rightarrow \quad & F_{тр1} = \mu N_1 = \mu mg - \mu F \sin \alpha \end{aligned}$$

$$F \cos \alpha - \mu mg + \mu F \sin \alpha = ma_1$$

$$\Rightarrow a_1 = \frac{F \cos \alpha + F \mu \sin \alpha - \mu mg}{m}$$

$$\begin{aligned} 2) \quad & \bar{N}_2 + \bar{F} + m\bar{g} + \bar{F}_{тр2} = m\bar{a}_2 \\ & y: N_2 - mg = 0 \\ & x: F - F_{тр2} = ma_2 \\ \Rightarrow \quad & F_{тр2} = \mu N_2 = \mu mg \end{aligned}$$

$$F - \mu mg = ma_2$$

$$\Rightarrow a_2 = \frac{F - \mu mg}{m}$$

из кинематики: $v_0 = at \Rightarrow a_1 = a_2 = a$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \quad & F \cos \alpha + F \mu \sin \alpha - \mu mg = F - \mu mg \\ & F \cos \alpha + F \mu \sin \alpha - F = 0 \quad F \neq 0 \\ & \mu \sin \alpha = 1 - \cos \alpha \Rightarrow \mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} \end{aligned}$$

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

Санки останавливаются $\Rightarrow$ из кинематики:
 $0 = v_0 - at \Rightarrow v_0 = at \Rightarrow T = \frac{v_0}{a}$

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

$$T = \frac{v_0 m}{F - \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} mg} = \frac{mv_0 \sin \alpha}{F - mg(1 - \cos \alpha)}$$

Ответ: 2) $\frac{mv_0 \sin \alpha}{F - mg(1 - \cos \alpha)}$



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) Если c - молярная теплоёмкость, то $Q = c \nu \Delta T$

$$A_{12} = Q_{12}$$

$$A_{12} = 2R \cdot 1 \text{ моль} \cdot (4T_1 - T_1) = 2 \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 1 \text{ моль} \cdot 3 \cdot 400 \text{ К} \approx$$

$$\approx 20 \text{ кДж}$$

Ответ: 20 кДж

3) 3-й закон Ньютона - Квантрон.

$$P \cdot V = \nu \cdot R \cdot T$$

$$\frac{P \cdot V}{T} = \text{const}$$

При $T = \text{const}$ P и V обратно пропорциональны

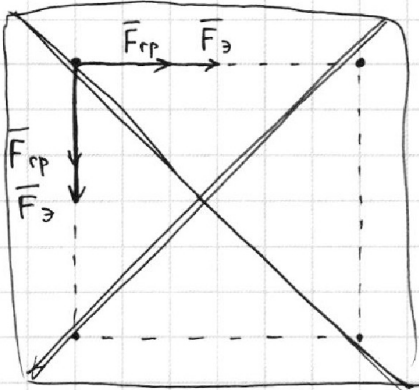
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

МФТИ

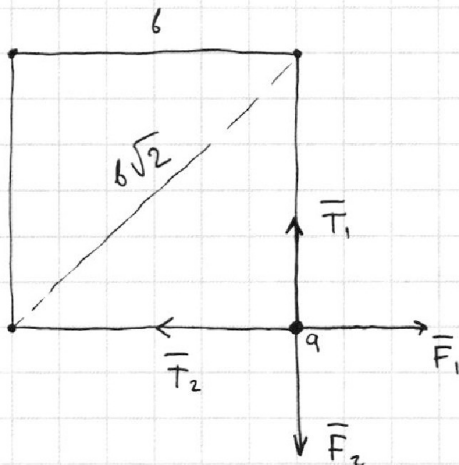
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



Т.к. все шарики одинаковые,
то конструкция симметрична,
все силы натяжения
одинаковы по Т, все
гравитационные и электр-
ические силы, с которыми
заряды действуют друг на
друга, тоже равны: $F_г, F_э$.
(по модулю)

1) Тогда $T = F_г + F_э = G \frac{m^2}{b^2} + k \frac{q^2}{b^2}$ по 3-му всемирному
закону Ньютона и 3-му закону Кулона, т.к. заряды покоятся.
Если пренебрегать действием гравитационных сил
Ответ:

Т.к. заряды не притягиваются друг к другу и нити в
натяжении, то заряды отталкиваются: $\vec{T}$ и сила
взаимодействия для данных зарядов
направлены в противоположные
стороны.



Т.к. заряды изначально покоятся,
то по 1-му закону Ньютона:
 $\vec{T}_1 + \vec{T}_2 + \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 0$
 $\Rightarrow T = F$, F - сила взаимодействия
зарядов.

$$T = F = F_э + F_г = k \frac{q^2}{b^2} + G \frac{m^2}{b^2}$$

из 3-го Кулона и 3-го всемир. тяг.

$$|\vec{T}_1| = |\vec{T}_2| = T$$

$$|\vec{F}_1| = |\vec{F}_2| = F$$

$\Rightarrow$ если пренебрегать действием гравитационных сил:

Ответ: 1) $T = k \frac{q^2}{b^2}$.

2) Пусть перетянут верхнюю нить, тогда из симметрии
понятно, что выдвинутые заряды будут только по
см. продолжение на обр. ст. вертикали.

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!

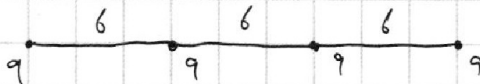


Пусть все заряды будут двигаться со скоростью v .
Запишем ЗСЭ для системы из зарядов.

Укажем только потенциальную энергию:

$$\sum E_p = 4 \cdot k \frac{q^2}{b} + 2k \frac{q^2}{b\sqrt{2}} = k \frac{q^2}{b} (4 + \sqrt{2}); \quad \sum E_k = 0$$

После ~~вычисления~~ перемещения нити:



$$\sum E_p' = 3k \frac{q^2}{b} + 2k \frac{q^2}{2b} + k \frac{q^2}{3b} = k \frac{q^2}{b} \left(4 + \frac{1}{3}\right) = \frac{13}{3} k \frac{q^2}{b}$$

$$\sum E_k' = 4 \frac{mv^2}{2} = 2mv^2$$

$$\text{По ЗСЭ: } k \frac{q^2}{b} (4 + \sqrt{2}) = \frac{13}{3} k \frac{q^2}{b} + 2mv^2$$

$$\sqrt{2} \cdot k \frac{q^2}{b} = \frac{1}{3} k \frac{q^2}{b} + 2mv^2$$

$$mv^2 = k \frac{q^2}{b} \left(\frac{1}{\sqrt{2}} - \frac{1}{6} \right)$$

$$mv^2 = k \frac{q^2}{b} \cdot \frac{6\sqrt{2} - 2}{12}$$

$$\Rightarrow v^2 = \frac{(6\sqrt{2} - 2)k}{12} \cdot \frac{q^2}{mb}$$

Ответ: 2)

$$v = \sqrt{\frac{(6\sqrt{2} - 2)k}{12} \cdot \frac{q^2}{mb}}$$

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

$$\frac{1}{\cos^2 \alpha} = \frac{\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}{\cos^2 \alpha} = \tan^2 \alpha + 1$$

$$\frac{0.4}{6} = \frac{4}{60} = \frac{1}{15}$$

$$0.6^2 + 0.8^2 = 0.36 + 0.64 = 1$$

$$2 \cdot 3 = 6$$

$$6 \cdot 400 = 2400$$

$$2400 \cdot 8,31 = 24 \cdot 831$$

V ↑ ↓ ↑

$$v = v_0 - aT$$

$$aT = v_0 \Rightarrow T = \frac{v_0}{a} = 0,4$$

$$P \cdot V = \frac{m}{\mu} RT$$

$$S = 4 \cdot 0,4 - \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 0,16 =$$

$$P \cdot V = \nu RT$$

$$= 1,6 - 0,8 = 0,8$$

$$0,4 - 0,2 + 0,4 = 0,8 - 0,2 = 0,6$$

$$P \cdot V = \nu RT$$

$$-\frac{1}{3} u + \frac{2}{3} u = \frac{1}{3} u$$

$$Q = c \nu \Delta T$$

$$\nu = 1 \text{ моль}$$

$$A = Q$$

$$A = c \nu \Delta T$$

$$0,6 \quad \frac{6}{10} = \frac{3}{5} + \frac{1}{3} = \frac{9+5}{15} = \frac{14}{15} u$$

$$14 \cdot 0,8 = 1,4 \cdot 8 = 8 + 3,2 = 11,2$$

$$11,2 \cdot 5 = 56 + 1 = 57$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} - \frac{1}{6} = \frac{6 - \sqrt{2}}{6\sqrt{2}} = \frac{6\sqrt{2} - 2}{12}$$

$$15 \cdot 5 = 25 \cdot 3 = 75$$

$$\begin{array}{r} + 831 \\ 24 \\ \hline 3324 \\ 1662 \\ \hline 13944 \end{array}$$

$$F_g = k \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$F_{\text{пр}} = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$Q = cm \Delta t$$

$$Q = c \nu \Delta t$$

$$e = \frac{Q}{\nu \Delta t}$$



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!

