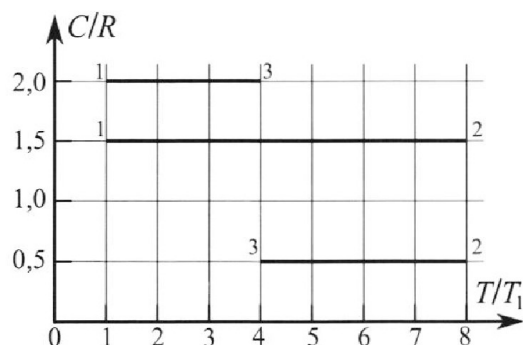


Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

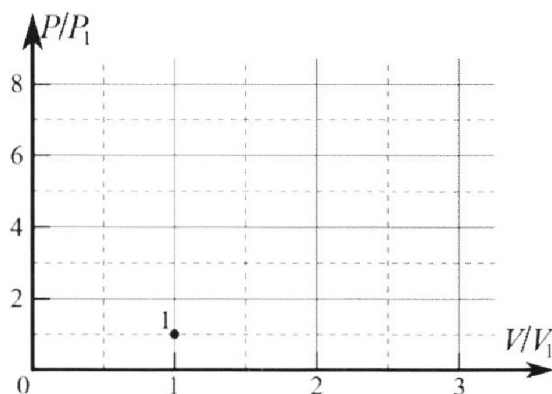
Вариант 10-02

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).

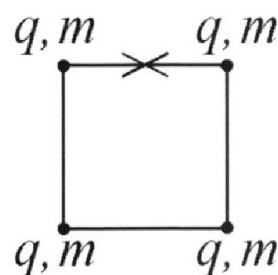


- 1) Найдите работу A_{31} внешних сил над газом в процессе 3-1.
- 2) Найдите КПД η цикла.
- 3) Постройте график цикла в координатах $(P/P_1, V/V_1)$, где P_1 и V_1 давление и объём в состоянии 1. Для построения графика перенесите шаблон (см. ниже) в чистовик своей работы. Точка 1 на графике соответствует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

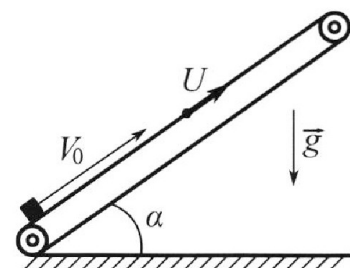
2) На каком расстоянии S от точки старта находится стенка?

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.).

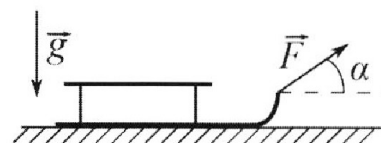
2) Через какое время T_1 после старта скорость коробки во втором опыте будет равна $U = 1$ м/с?

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.

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

Дано:

$$\alpha = 45^\circ \quad g = 10 \text{ м/с}^2$$

$$L = 20 \text{ м}$$

$$H = 3,6 \text{ м}$$

1) v_0 - ?

2) S - ?

Решение:



1) Найдем нач. скор. мяча v_0

$$\begin{cases} \vec{r}(t) = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a} t^2}{2} \\ \vec{v}(t) = \vec{v}_0 + \vec{a} t \end{cases} \quad \begin{cases} x: x(t) = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2} \approx v_0 \cos \alpha \frac{t^2}{2} \\ y: y(t) = y_0 + v_{0y} t + \frac{a_y t^2}{2} \approx v_0 \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2} \end{cases}$$

$$t_n - \text{время полета мяча} \Rightarrow x(t_n) = L \Rightarrow v_0 \cos \alpha t_n = L \Rightarrow t_n = \frac{L}{v_0 \cos \alpha}$$

$$y(t_n) = 0$$

$$v_0 \sin \alpha t_n - \frac{gt_n^2}{2} = 0 \Rightarrow v_0 \sin \alpha \cdot \frac{L}{v_0 \cos \alpha} - \frac{g}{2} \cdot \frac{L^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha} = 0$$

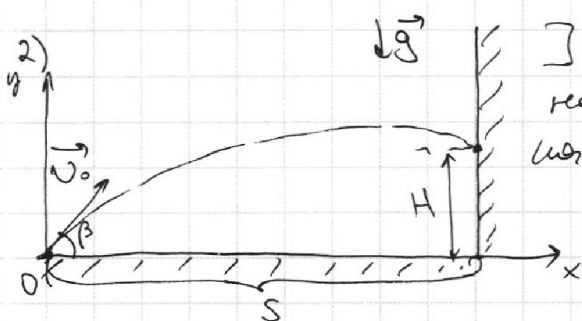
$$\tan \alpha L - \frac{gL^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} = 0 \quad \text{Триг. тожд: } \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1 \Rightarrow \cos^2 \alpha = \frac{1}{\tan^2 \alpha + 1}$$

$$\tan \alpha L - \frac{gL^2}{2v_0^2} (\tan^2 \alpha + 1) = 0 \quad | \cdot 2v_0^2$$

$$2 \tan \alpha L v_0^2 - gL^2 (\tan^2 \alpha + 1) = 0 \Rightarrow v_0^2 = \frac{gL^2 (\tan^2 \alpha + 1)}{2 \tan \alpha L} =$$

$$= \sqrt{\frac{gL (\tan^2 \alpha + 1)}{2 \tan \alpha}} = \sqrt{\frac{10 \text{ м/с}^2 \cdot 20 \text{ м} \cdot (1+1)}{2 \cdot 1}} = \sqrt{10 \cdot 10 \cdot 2} = 10\sqrt{2} \text{ м/с}$$

$$\text{Ответ: } v_0 = 10\sqrt{2} \text{ м/с}$$



2) β - угол, под которым футболист направил мяч, и он ударил его о стену на канонической высоте $H = 3,6 \text{ м}$.

$$\begin{cases} y(t) = v_0 \sin \beta t - \frac{gt^2}{2} \\ x(t) = v_0 \cos \beta t \end{cases}$$

t_n - время до удара.

$$\begin{cases} y(t_n) = H \\ x(t_n) = S \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} v_0 \sin \beta t_n - \frac{gt_n^2}{2} = H \\ v_0 \cos \beta t_n = S \end{cases} \Rightarrow t_n = \frac{S}{v_0 \cos \beta}$$

$$v_0 \sin \beta \cdot \frac{S}{v_0 \cos \beta} - \frac{g}{2} \cdot \frac{S^2}{v_0^2 \cos^2 \beta} = H$$

$$\tan \beta \cdot S - \frac{gS^2}{2v_0^2} (\tan^2 \beta + 1) = H$$

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!



$$H(\beta) = -\frac{gS^2}{2v_0^2} \tan^2 \beta + S \tan \beta - \frac{gS^2}{2v_0^2}$$

Значит зависимость $H(\beta)$ — квадратичная функ с ветвями
вниз. График — парабола. $\Rightarrow$ максимальное знач
достиг в вершине $\tan \beta = -\frac{b}{2a}$

$b = S$ $a = -\frac{gS^2}{2v_0^2}$

$$\tan \beta = \frac{+S}{\frac{-gS^2}{v_0^2}} = \frac{v_0^2 \cdot S}{gS^2} = \frac{v_0^2}{gS} \quad (\text{тангенс угла, при котором достигается максимальная высота } H)$$

$$H = -\frac{gS^2}{2v_0^2} \cdot \frac{v_0^4}{g^2 S^2} + S \cdot \frac{v_0^2}{gS} - \frac{gS^2}{2v_0^2} =$$

$$= -\frac{v_0^2}{2g} + \frac{v_0^2}{g} - \frac{gS^2}{2v_0^2} = \frac{v_0^2}{2g} - \frac{gS^2}{2v_0^2} = H \quad | \cdot v_0^2 g$$

$$S = \frac{v_0^4 - H v_0^2 g}{g^2} = \frac{v_0^2 (v_0^2 - Hg)}{g^2} \Rightarrow \frac{v_0^4 - g^2 S^2}{g^2} = H \cdot v_0^2 g$$

$$\frac{(105)^4 - 3,6 (105)^2 \cdot 10 \cdot 10^2}{(10 \cdot 10^2)^2} =$$

$$= \frac{105 \text{ м/с}}{10 \text{ м/с}^2} \cdot \sqrt{(105 \text{ м/с})^2 - 3,6 \cdot 10 \cdot 10^2}$$

$$= \sqrt{2} \cdot \sqrt{200 - 36} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{164} =$$

$$= \sqrt{2} \sqrt{2} \cdot \sqrt{82} = 2\sqrt{82} \text{ м}$$

$$\text{Отв: } S = 2\sqrt{82} \text{ м}$$

$$v_0 = 105 \text{ м/с}$$

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!



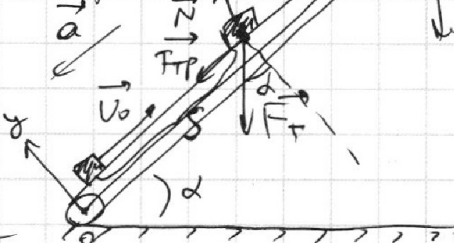
Дано (N2)

$\sin \alpha = 0,6$
 $v_0 = 6 \text{ м/с}$
 $\mu = 0,5$
 $T = 1 \text{ с}$
 $U = 1 \text{ м/с}$
 $g = 10 \text{ м/с}^2$

$S = ?$
 $T_1 = ?$
 $L = ?$

Решение:

1) Первый ответ



$T = 1 \text{ с}$

m - масса
коробки

$$F_{\Sigma} = m\vec{a}$$

$$\vec{F}_T + \vec{F}_{Tr} + \vec{N} = m\vec{a}$$

$$y: -F_T \cdot \cos \alpha + 0 + N = 0$$

$$N = mg \cos \alpha$$

$$x: -mg \cdot \sin \alpha - \mu N = -ma$$

$$\cancel{mg \sin \alpha} - \cancel{mg \sin \alpha} - \mu mg \cos \alpha = -ma \Rightarrow$$

$$mg \sin \alpha + \mu mg \cos \alpha = ma \Rightarrow a = g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$$

$$\vec{v}(t) = \vec{v}_0 + \vec{a}t$$

$$\vec{r}(t) = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2}$$

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

$$T^2 = S$$

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

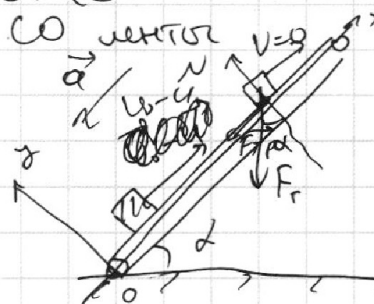
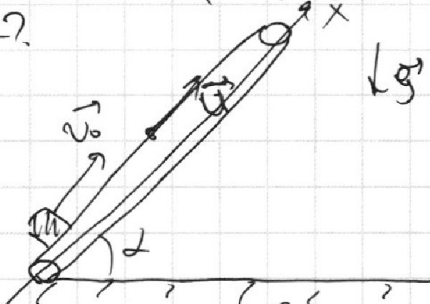
$$= 6 - 5 \cdot 1 \cdot 1 = 1 \text{ м}$$

$$Отб: S = 1 \text{ м}$$

2) Второй ответ.

Лента движется со скоростью $U = 1 \text{ м/с}$, скорость коробки на ленте $v_0 = 6 \text{ м/с}$

$T_1 = ?$



$$\vec{v}_{адс} = \vec{v}_0$$

$$\vec{v}_{л} = \vec{U}$$

$$\vec{v}_{отл} = \vec{v}_0 - \vec{U}$$

$$v_{отл x} = v_0 - U$$

Через какое время T_1 скорость $v_0 = U \Rightarrow v_{отл} = 0 \text{ м/с}$

$$F_{\Sigma} = m\vec{a} \quad \vec{F}_T + \vec{N} + \vec{F}_{Tr} = m\vec{a} \quad x: -mg \sin \alpha - \mu N = -ma$$

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

$$\mu mg \sin \alpha + \mu mg \cos \alpha = -ma \Rightarrow a = g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$$

$$\vec{v}(t) = \vec{v}_0 + \vec{a}t \quad x: v_x(t) = v_0 - U - at$$

$$v_x(T_1) = 0: v_0 - U - g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \cdot T_1 = 0$$

$$T_1 = \frac{v_0 - U}{g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)} = \frac{6 \text{ м/с} - 1 \text{ м/с}}{10 \text{ м/с}^2 \cdot (0,6 + 0,5 \cdot 0,8)} = \frac{5 \text{ м/с}}{10 \text{ м/с}^2} = 0,5 \text{ с}$$

$$Отб: T_1 = 0,5 \text{ с}$$

$$S = 1 \text{ м}$$



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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐



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

3) $u_{sc} = 0$ (L-?)

Вопрос 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!

№3

Дано:

$$v_0 = 0 \text{ м/с}$$

$$W_k = K$$

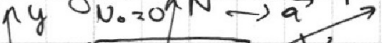
$$F, \alpha, g$$

$$\mu = ?$$

$$S = ?$$

Решение:

1 шаг: $v_0 = 0$



$$\vec{F}_{\Sigma} = m\vec{a}$$

$$\vec{F}_T + \vec{F}_{\text{тр}} + \vec{N} + \vec{F} = m\vec{a}$$

$$y: -Mg + N + F \cdot \sin \alpha = 0 \Rightarrow N = Mg - F \sin \alpha \Rightarrow$$

$$F_{\text{тр}} = \mu N = \mu (Mg - F \sin \alpha)$$

Закон сохранения энергии $\Delta W = A_{\text{ст. сил}}$ (потенциальная энергия)

энергия снарядов не сум, т.к. они движутся по траектории.

пути $\Rightarrow$ работу энергии не учитываем. $A_{\text{ст. сил}}$ - работа сил F и $F_{\text{тр}}$.

$$\frac{Mv_1^2}{2} - \frac{M \cdot 0^2}{2} = \vec{F} \cdot \vec{L} + \vec{F}_{\text{тр}} \cdot \vec{L} = F \cdot L \cos \alpha - \mu (Mg - F \sin \alpha) \cdot L$$

$$\frac{Mv_1^2}{2} = K \text{ по условию} \Rightarrow K = FL \cos \alpha - \mu (Mg - F \sin \alpha) L \quad (1)$$

$$\frac{Mv_1^2}{2} = K \text{ по условию} \Rightarrow K = FL \cos \alpha - \mu (Mg - F \sin \alpha) L \quad (1)$$

$$\frac{Mv_1^2}{2} = K \text{ по условию} \Rightarrow K = FL \cos \alpha - \mu (Mg - F \sin \alpha) L \quad (1)$$

$$\frac{Mv_1^2}{2} = K \text{ по условию} \Rightarrow K = FL \cos \alpha - \mu (Mg - F \sin \alpha) L \quad (1)$$

$$\frac{Mv_1^2}{2} = K \text{ по условию} \Rightarrow K = FL \cos \alpha - \mu (Mg - F \sin \alpha) L \quad (1)$$

$$\frac{Mv_1^2}{2} = K \text{ по условию} \Rightarrow K = FL \cos \alpha - \mu (Mg - F \sin \alpha) L \quad (1)$$

$$\frac{Mv_1^2}{2} = K \text{ по условию} \Rightarrow K = FL \cos \alpha - \mu (Mg - F \sin \alpha) L \quad (1)$$

$$\frac{Mv_1^2}{2} = K \text{ по условию} \Rightarrow K = FL \cos \alpha - \mu (Mg - F \sin \alpha) L \quad (1)$$

$$\frac{Mv_1^2}{2} = K \text{ по условию} \Rightarrow K = FL \cos \alpha - \mu (Mg - F \sin \alpha) L \quad (1)$$

$$\frac{Mv_1^2}{2} = K \text{ по условию} \Rightarrow K = FL \cos \alpha - \mu (Mg - F \sin \alpha) L \quad (1)$$

$$\frac{Mv_1^2}{2} = K \text{ по условию} \Rightarrow K = FL \cos \alpha - \mu (Mg - F \sin \alpha) L \quad (1)$$

$$\frac{Mv_1^2}{2} = K \text{ по условию} \Rightarrow K = FL \cos \alpha - \mu (Mg - F \sin \alpha) L \quad (1)$$

$$\frac{Mv_1^2}{2} = K \text{ по условию} \Rightarrow K = FL \cos \alpha - \mu (Mg - F \sin \alpha) L \quad (1)$$

$$\frac{Mv_1^2}{2} = K \text{ по условию} \Rightarrow K = FL \cos \alpha - \mu (Mg - F \sin \alpha) L \quad (1)$$

$$\frac{Mv_1^2}{2} = K \text{ по условию} \Rightarrow K = FL \cos \alpha - \mu (Mg - F \sin \alpha) L \quad (1)$$

$$\frac{Mv_1^2}{2} = K \text{ по условию} \Rightarrow K = FL \cos \alpha - \mu (Mg - F \sin \alpha) L \quad (1)$$

$$\frac{Mv_1^2}{2} = K \text{ по условию} \Rightarrow K = FL \cos \alpha - \mu (Mg - F \sin \alpha) L \quad (1)$$

$$\frac{Mv_1^2}{2} = K \text{ по условию} \Rightarrow K = FL \cos \alpha - \mu (Mg - F \sin \alpha) L \quad (1)$$

$$\frac{Mv_1^2}{2} = K \text{ по условию} \Rightarrow K = FL \cos \alpha - \mu (Mg - F \sin \alpha) L \quad (1)$$

$$\frac{Mv_1^2}{2} = K \text{ по условию} \Rightarrow K = FL \cos \alpha - \mu (Mg - F \sin \alpha) L \quad (1)$$

$$\frac{Mv_1^2}{2} = K \text{ по условию} \Rightarrow K = FL \cos \alpha - \mu (Mg - F \sin \alpha) L \quad (1)$$

$$\frac{Mv_1^2}{2} = K \text{ по условию} \Rightarrow K = FL \cos \alpha - \mu (Mg - F \sin \alpha) L \quad (1)$$

$$\frac{Mv_1^2}{2} = K \text{ по условию} \Rightarrow K = FL \cos \alpha - \mu (Mg - F \sin \alpha) L \quad (1)$$

$$\frac{Mv_1^2}{2} = K \text{ по условию} \Rightarrow K = FL \cos \alpha - \mu (Mg - F \sin \alpha) L \quad (1)$$

$$\frac{Mv_1^2}{2} = K \text{ по условию} \Rightarrow K = FL \cos \alpha - \mu (Mg - F \sin \alpha) L \quad (1)$$

$$\frac{Mv_1^2}{2} = K \text{ по условию} \Rightarrow K = FL \cos \alpha - \mu (Mg - F \sin \alpha) L \quad (1)$$

$$\frac{Mv_1^2}{2} = K \text{ по условию} \Rightarrow K = FL \cos \alpha - \mu (Mg - F \sin \alpha) L \quad (1)$$

$$\frac{Mv_1^2}{2} = K \text{ по условию} \Rightarrow K = FL \cos \alpha - \mu (Mg - F \sin \alpha) L \quad (1)$$

$$\frac{Mv_1^2}{2} = K \text{ по условию} \Rightarrow K = FL \cos \alpha - \mu (Mg - F \sin \alpha) L \quad (1)$$

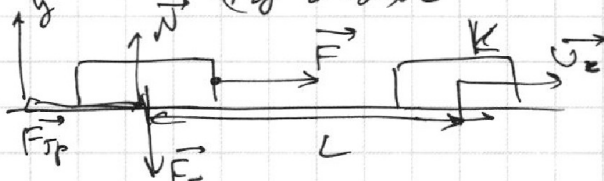
$$\frac{Mv_1^2}{2} = K \text{ по условию} \Rightarrow K = FL \cos \alpha - \mu (Mg - F \sin \alpha) L \quad (1)$$

L - расстояние которое проходит снаряд.

M - масса снаряда.

v_1 - ~~конечная~~ скорость после разгона в 1 шаг.

2 шаг:



$$\vec{F}_{\Sigma} = m\vec{a}$$

$$\vec{F}_T + \vec{F}_{\text{тр}} + \vec{N} = m\vec{a}$$

$$y: -Mg + N = 0 \Rightarrow N = Mg$$

$$F_{\text{тр}} = \mu N = \mu Mg$$

$$\Delta W = A_{\text{ст. сил}}$$

$$K - 0 = FL - \mu Mg \cdot L \Rightarrow (F - \mu Mg) L = K \quad (2)$$

$$K = L (F \cos \alpha - \mu Mg + \mu F \sin \alpha) \quad (1)$$

$$K = L (F \cos \alpha - \mu Mg + \mu F \sin \alpha) \quad (1)$$

$$K = L (F - \mu Mg) \quad (2)$$

$$(1) = (2): F \cos \alpha - \mu Mg + \mu F \sin \alpha = F - \mu Mg$$

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

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

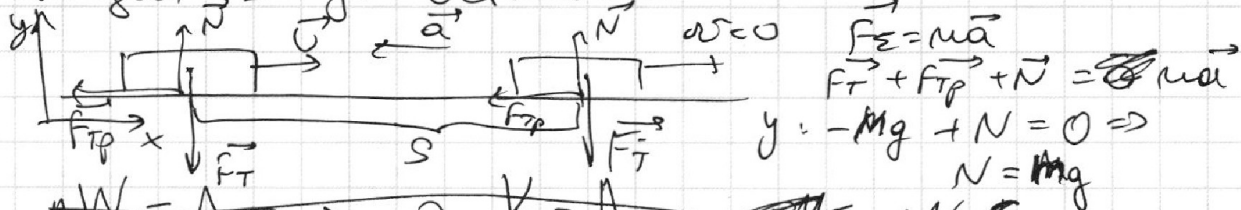
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

с) S - ?

В обоих случаях ~~слож~~ канки бретают кин энергию
K. Масса канок (m) 6 и 2 суче огном $\Rightarrow$
свор после разрыва тоже огном:

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

Найдем S до остановки



$$\Delta W = A_{CT} \Rightarrow 0 - K = A_{F_{TP}} = -\mu N \cdot S$$

$$0 - \mu N = -Ma \quad K = \mu N S = \mu Mg S$$

$$+ \mu Mg = +Ma \Rightarrow a = \mu g$$

$$0 = L \cos \alpha - \mu Mg L + \mu \sin \alpha L \quad L \cos \alpha + \mu \sin \alpha L = L = 0$$

$$\Delta W = A_{CT} = A_{F_{TP}}$$

$$0 - K = -F_{TP} \cdot S = -\mu N \cdot S \Rightarrow K = \mu N S = \mu mg S \Rightarrow$$

$$K = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} \cdot mg \cdot S \Rightarrow S = \frac{K \sin \alpha}{(1 - \cos \alpha) mg}$$

Ответ: $\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$
 $S = \frac{K \sin \alpha}{(1 - \cos \alpha) mg}$

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!



Дано:

Цикл 1-2-3-1

$\nu = 1 \text{ моль}$

$Z = 3$ (одноатомный газ)

$\frac{C}{R} \left(\frac{T}{T_1} \right)$

$T_1 = 200 \text{ К}$

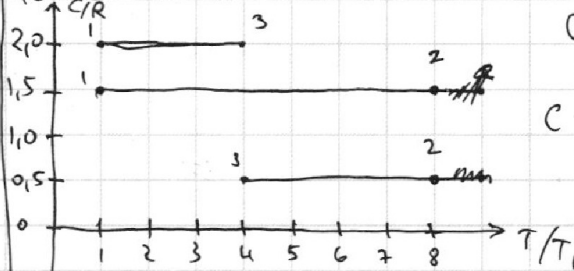
$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$

$A_{31} = ?$

$\eta = ?$

$\left(\frac{p}{p_1} \right) \left(\frac{V}{V_1} \right) = ?$

Решение:



$$Q = \Delta U + A_{\text{газа}} \left(\frac{T_{\text{кон}}}{T_{\text{нач}}} \right)$$

$$C \cdot \nu \cdot \Delta T = \frac{i}{2} \nu R \Delta T + p \Delta V$$

Изохорный процесс

$$C \cdot \nu \cdot \Delta T = \frac{i}{2} \nu R \Delta T + 0$$

$$C_V = \frac{i}{2} R$$

$$\frac{C_V}{R} = \frac{i}{2} = \frac{3}{2}$$

Изобарный процесс

$$C \cdot \nu \cdot \Delta T = \frac{i}{2} \nu R \Delta T + \nu R \Delta T$$

$$C_P = \left(\frac{i}{2} + 1 \right) R$$

$$\frac{C_P}{R} = \frac{3}{2} + 1 = \frac{5}{2}$$

$pV^n = \text{const}$ (полиотический процесс с n постоянным) $pV = \nu RT$, $\nu = 1 \Rightarrow pV = RT$

$$\eta = \frac{C - C_P}{C - C_V}$$

Процесс 1-2:

$$pV = \text{const} \Rightarrow p = \text{const} \Rightarrow p = V \cdot \text{const}$$

$$C = 2R \Rightarrow \eta = \frac{2R - 2,5R}{2R - 1,5R} = \frac{-0,5R}{0,5R} = -1 \Rightarrow$$

Процесс 2-3:

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

$$p = \frac{\text{const}}{V^2}$$

$$C = 0,5R \Rightarrow \eta = \frac{0,5R - 2,5R}{0,5R - 1,5R} = \frac{-2R}{-R} = 2 \Rightarrow$$

Процесс 3-1:

$$C = 2R : \eta = 2R -$$

Процесс 1-2:

$$C = 1,5R : \eta = \frac{1,5R - 2,5R}{1,5R - 1,5R} = \frac{-1R}{0} = \infty$$

Изохорный процесс: $V = \text{const}$, $p = \text{const}$.

Процесс 2-3:

$$C = 0,5R : \eta = \frac{0,5R - 2,5R}{0,5R - 1,5R} = \frac{-2R}{-R} = 2$$

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

$$p \cdot \frac{R^2 T^2}{V^2} = \text{const} \Rightarrow \frac{T^2}{p} = \text{const} \Rightarrow p = \frac{T^2}{\text{const}}$$

Процесс 3-1:

$$C = 2R : \eta = \frac{2R - 2,5R}{2R - 1,5R} = \frac{-0,5R}{0,5R} = -1$$

$$pV^{-1} = \text{const} \Rightarrow p = V \cdot \text{const}$$

$$p = \frac{RT}{V} \cdot \text{const} \Rightarrow p = \frac{RT}{V} \cdot \text{const}$$

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

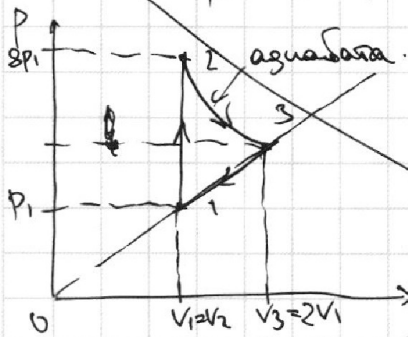
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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!

$PV = DRT$ (упр. - е. М.-В.) $\gamma = 1 \Rightarrow PV = RT \Rightarrow T = \frac{PV}{R}$
 $1 \rightarrow 2$: ~~изохора~~ $\frac{P}{T} = \text{const}$ $\frac{P}{T} = \frac{R}{V}$ $\frac{P_1}{T_1} = \frac{R}{V} = \frac{P_2}{8T_1}$
 $P_2 = 8P_1$



$2 \rightarrow 3$: $PV^\gamma = \text{const}$

$$8P_1 \cdot V_1^2 = P_3 \cdot V_3^2$$

$$8P_1 \cdot V_1 = R \cdot 8T_1 \quad \Rightarrow \quad 8P_1 V_1 = 2P_3 V_3$$

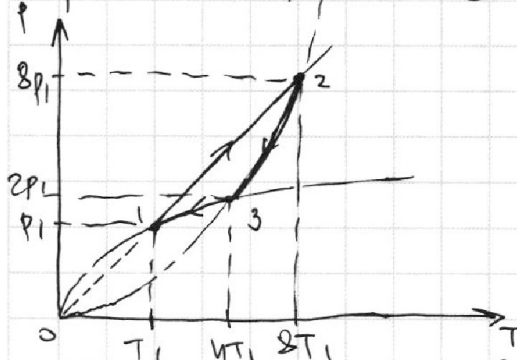
$$P_3 \cdot V_3 = R \cdot 4T_1$$

$$P_3 = \frac{4RT_1}{2V_1} = 2R \cdot \frac{T_1}{V_1} = 2R \cdot \frac{8P_1}{R} = 16P_1$$

$$8P_1 V_1^2 \cdot V_1 = P_3 V_3 \cdot V_3$$

$PV = DRT$ (упр. - е. Менделеева-Кузнецова)

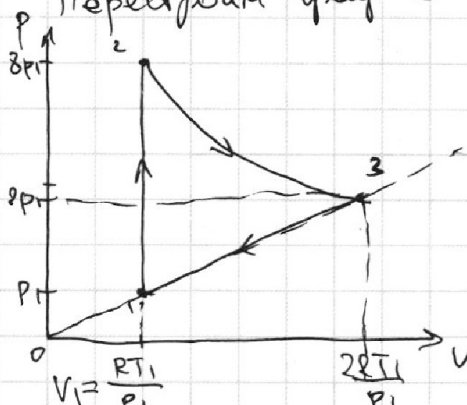
$\gamma = 1$ $\Rightarrow PV = RT$



$$P_1 = \text{const} \cdot T_1 \quad \Rightarrow \quad P_2 = 8P_1$$

$$\frac{P_2}{P_3} = \frac{T_2^2}{T_3^2} = \frac{64T_1^2}{16T_1^2} = 4 \quad \Rightarrow \quad P_3 = \frac{P_2}{4} = 2P_1$$

Перестроим график в координатах $P(V)$



$$2 \rightarrow 3: P = \frac{T}{\text{const}} \quad \Rightarrow \quad P = \frac{RT}{\text{const} \cdot V^2} = PV^2 = \text{const}$$

$$3 \rightarrow 1: P = \sqrt{T} \cdot \text{const} \quad \Rightarrow \quad P^2 = T \cdot \text{const} \quad \Rightarrow \quad P = \frac{RT}{V} = \text{const}$$

$$2P_1 \cdot V_3 = R \cdot 4T_1$$

$$V_3 = \frac{2RT_1}{P_1}$$

$$A_{31} = S_{\text{под кривой}} = \frac{2RT_1}{P_1} \cdot \frac{2RT_1}{P_1} - \frac{P_1 \cdot RT_1}{P_1} = -2RT_1^2 + \frac{RT_1^2}{2} = -\frac{3RT_1^2}{2} = -3 \cdot 8,31 \cdot 200^2 = -249300 \text{ Дж}$$

$$3 \text{ H-T}: A_{31} = -A_{31} = 249300 \text{ Дж (внешние силы)}$$

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) Найти КПД.

$\eta = \frac{A}{Q^+}$ работа газа.

Q^+ — количество теплоты

→ $Q^+ = Q_{12} + Q_{23} + Q_{31}$ (не Q_{12})

$$A = \oint p dV = A_{12} + A_{23} + A_{31} =$$

Процесс 2 → 3: $pV^2 = \text{const}$ $8p_1 \cdot \left(\frac{RT_1}{p_1}\right)^2 = \text{const} = 8p_1 \cdot \frac{R^2 T_1^2}{p_1^2} =$

$$A_{23} = \int_{\frac{2RT_1}{p_1}}^{\frac{RT_1}{p_1}} \frac{\text{const}}{V^2} dV = \left(-\frac{1}{V} \right) \left(\frac{2RT_1}{p_1} \right) =$$

$$= \left(-\frac{1}{\frac{2RT_1}{p_1}} - \left(-\frac{1}{\frac{RT_1}{p_1}} \right) \right) = \left(-\frac{p_1}{2RT_1} + \frac{p_1}{RT_1} \right) \text{const} =$$

$$= \frac{p_1}{2RT_1} \cdot \frac{8R^2 T_1^2}{p_1} = 4RT_1$$

$$A_{31} = -1,5RT_1 \Rightarrow A_{\text{цикл}} = 0 + 4RT_1 - 1,5RT_1 = 2,5RT_1$$

$$Q^+ : 1 \rightarrow 2 : Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} = \frac{3}{2} R(T_2 - T_1) = \frac{3}{2} R \cdot 7T_1 = \frac{21}{2} RT_1$$

$$Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23} = \frac{3}{2} R(T_3 - T_2) + 4RT_1 = \frac{3}{2} R \cdot (-4T_1) + 4RT_1 = 0 \Rightarrow$$

→ $Q_{31} < 0$

$$Q^+ = \frac{21}{2} RT_1$$

$$\eta = \frac{2,5RT_1}{\frac{21}{2} RT_1} = \frac{5}{2} \cdot \frac{2}{21} = \frac{5}{21}$$

Ответ: $A_{\text{цикл}} = \frac{5}{2} RT_1 = 2,5RT_1$
 $\eta = \frac{5}{21}$

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1
☐

2
☐

3
☐

4
☒

5
☐

6
☐

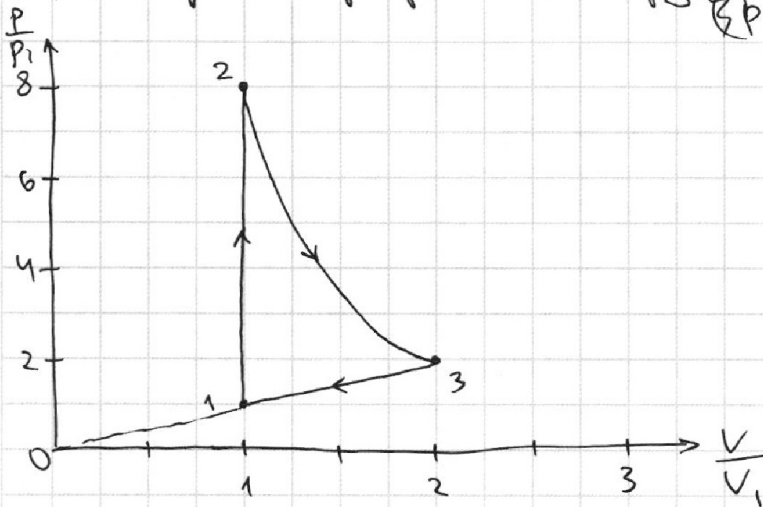
7
☐

 МФТИ

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



3) Построим график в координатах $\left(\frac{P}{P_1}, \frac{V}{V_1}\right)$.



Ответ: $A_{31} = \frac{3}{2} RT_1 = 2493 \text{ Дж}$

$$\eta = \frac{5}{21}$$

пр. см выше

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!

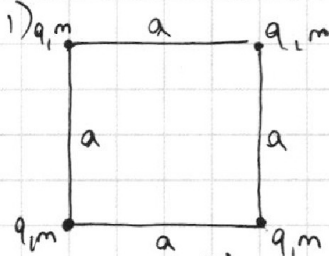


№5

Дано:

a, T, ϵ_0
 $|q| - ?$
 $k - ?$

Решение:



Шарик может быть заряжен отрицательным зарядом или же положительным. В обоих случаях заменим, что если когда шарик зарядим положит. $q > 0$. Они будут отталкиваться друг от друга. Но мы можем применить расч. или там же.

Каждый шарик создает эл. поле с зарядом $E = \frac{kq}{r^2} \Rightarrow F = Eq$ - сила действ. на заряд b поле другого заряда.

$$F_{12} = F_{21} = \frac{kq}{a^2} \cdot q$$

$$F_{23} = F_{32} = \frac{kq}{a^2} \cdot q$$

$$F_{34} = F_{43} = \frac{kq}{a^2} \cdot q \quad F_{14} = F_{41} = \frac{kq}{a^2} \cdot q$$

$$F_{13} = F_{31} = \frac{kq}{(\sqrt{2}a)^2} \cdot q \quad F_{42} = F_{24} = \frac{kq}{(\sqrt{2}a)^2} \cdot q$$

Запишем первое условие равновесия (равнодейств. сил, действ. на заряд равна 0) для ~~каждого~~ ~~заряда~~ ~~шарика~~ шарика (пусть ~~шарика~~ ~~шарика~~ 1).

в проекции на ось x : $F_{13} + F_{14} \cdot \cos(45^\circ) + F_{12} \cdot \cos(45^\circ) - \frac{kq^2}{2a^2} + \frac{kq^2}{a^2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{kq^2}{a^2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} - 2T \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 0$

$$kq^2 + \sqrt{2}kq^2 + \sqrt{2}kq^2 - 2\sqrt{2}Ta^2 = 0$$

$$kq^2(1 + 2\sqrt{2}) = 2\sqrt{2}Ta^2 \Rightarrow q^2 = \frac{2\sqrt{2}Ta^2}{k(1 + 2\sqrt{2})} \quad \text{---}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

$$\text{---} q^2 = \frac{2\sqrt{2} \cdot Ta^2 \cdot 4\pi\epsilon_0}{(1 + 2\sqrt{2})} = \frac{2\sqrt{2} \cdot Ta^2 \cdot 4\pi\epsilon_0 (2\sqrt{2} - 1)}{7} =$$

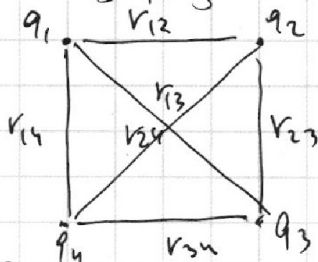
$$= \frac{8\sqrt{2}Ta^2\pi\epsilon_0(2\sqrt{2}-1)}{7} \Rightarrow q = \sqrt{\frac{8\sqrt{2}Ta^2\pi\epsilon_0(2\sqrt{2}-1)}{7}}$$

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) Одну нить пережигают. Найдем кинетическую энергию любого шарика K после того как шарики скатятся на одну плоскость. Рассмотрим систему из четырех зарядов связанных тремя нитями. Введем формулу для энергии взаимодействия этих зарядов эл. полем.



$$W = \frac{kq_1q_2}{r_{12}} + \frac{kq_2q_4}{r_{24}} + \frac{kq_2q_3}{r_{23}} + \frac{kq_1q_4}{r_{14}} + \frac{kq_1q_3}{r_{13}} + \frac{kq_3q_4}{r_{34}} \quad (\text{общая формула})$$

Запишем потенциальную энергию W_p $\left(\frac{kq^2}{a} + \frac{kq^2}{\sqrt{2}a} + \frac{kq^2}{a} + \frac{kq^2}{a} + \frac{kq^2}{\sqrt{2}a} + \frac{kq^2}{a} = \frac{kq^2}{a}(4 + \sqrt{2}) \right)$

$$W_{p2} = \frac{kq^2}{a} + \frac{kq^2}{2a} + \frac{kq^2}{a} + \frac{kq^2}{3a} + \frac{kq^2}{2a} + \frac{kq^2}{a} = \frac{13kq^2}{3a}$$

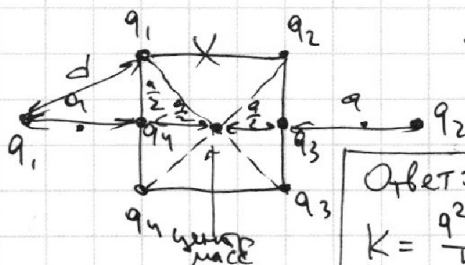
В силу симметрии рисунка можно понять, что скорости двух верхних шариков будут одинаковы и двух нижних. Также в начале пережигания скорости шариков равны 0 $\Rightarrow$ импульс системы равен 0 $\Rightarrow$ по закону сохранения импульса для излученной системы, ~~и~~ импульс в конце тоже должен быть равен 0. Значит по модулю скорости каждого шарика равны $\Rightarrow$ у них одинак кин. энергия K :

Закон сохранения энергии: $W_{p1} = W_{p2} + 4K$

$$\frac{kq^2}{a}(4 + \sqrt{2}) = \frac{13kq^2}{3a} + 4K \quad \left(\cdot 3a \rightarrow 3kq^2(4 + \sqrt{2}) = 13kq^2 + 12Ka \right)$$

$$12Ka = (3\sqrt{2} - 1)kq^2 \Rightarrow K = \frac{kq^2(3\sqrt{2} - 1)}{12a} = \frac{q^2(3\sqrt{2} - 1)}{12a \cdot 4\pi\epsilon_0}$$

3) Найдем расстояние d . (от левого верхнего шарика до места его отрыва). Заметим, что на систему из 4-х шаров и 3-х нитей не действуют внешние силы $\Rightarrow$ по тл о движении центра масс он не меняется. Значит:



$$d = \sqrt{a^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2} = \sqrt{a^2 + \frac{a^2}{4}} = \frac{\sqrt{5}a}{2}$$

$$\text{Ответ: } q = \sqrt{\frac{8\sqrt{2}Ta^2\pi\epsilon_0(3\sqrt{2}-1)}{7}} \\ K = \frac{q^2(3\sqrt{2}-1)}{48a\pi\epsilon_0} \\ d = \frac{\sqrt{5}a}{2}$$

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 ☒ 2 ☒ 3 ☒ 4 ☒ 5 ☒ 6 ☒ 7 ☒

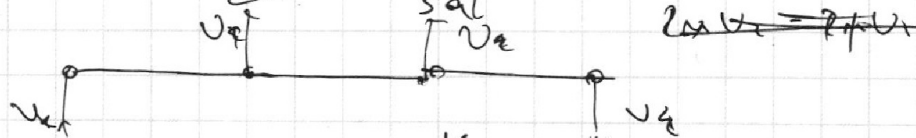
МФТИ

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

Черновик

$W_1 = \left(\frac{kq_1 q_2}{r_{12}} + \frac{kq_1 q_3}{r_{13}} \right)$
 $W_2 = \frac{kq_2 q_3}{r_{23}}$
 $W = \frac{kq_1 q_2}{r_{12}} + \frac{kq_1 q_3}{r_{13}} + \frac{kq_2 q_3}{r_{23}}$
 $W = \frac{kq_1 q_2}{r_{12}} + \frac{kq_2 q_4}{r_{24}} + \frac{kq_2 q_3}{r_{23}} +$
 $+ \frac{kq_1 q_4}{r_{14}} + \frac{kq_1 q_3}{r_{13}} + \frac{kq_3 q_4}{r_{34}} \quad \ominus$
 $\sqrt{a^2 + \frac{a^2}{4}} = \frac{\sqrt{5}a}{2}$
 $\ominus \left(\frac{kq^2}{a} + \frac{kq^2}{2a} + \frac{kq^2}{a} + \frac{kq^2}{3a} + \frac{kq^2}{2a} + \frac{kq^2}{a} \right) = W_{p.k}$
 $= \frac{3kq^2}{2a} + \frac{kq^2}{2a} + \frac{kq^2}{a} = \frac{4kq^2}{2a} + \frac{kq^2}{3a} = \frac{13kq^2}{3a}$
 $W_{p.i} = \frac{kq^2}{a} + \frac{kq^2}{\sqrt{2}a} + \frac{kq^2}{a} + \frac{kq^2}{a} + \frac{kq^2}{\sqrt{2}a} + \frac{kq^2}{a} =$
 $= \frac{4kq^2}{a} + \frac{\sqrt{2}kq^2}{a} = \frac{kq^2}{a} (4 + \sqrt{2})$

~~$W_{p.i} = \frac{kq^2}{a} + \frac{kq^2}{\sqrt{2}a} + \frac{kq^2}{a} + \frac{kq^2}{a} + \frac{kq^2}{\sqrt{2}a} + \frac{kq^2}{a} =$~~



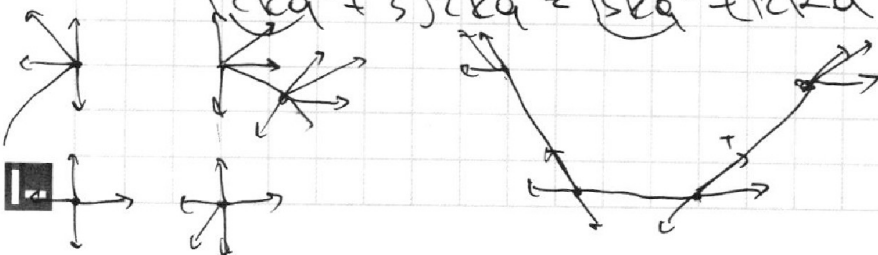
$\frac{kq^2}{a} (4 + \sqrt{2}) = \frac{13kq^2}{3a} + K \cdot 4 \cdot 3a$

$3kq^2 (4 + \sqrt{2}) = 13kq^2 + 12Ka$

$12kq^2 + 3\sqrt{2}kq^2 = 13kq^2 + 12Ka$

$12Ka = 3\sqrt{2}kq^2 - kq^2$

$K = \frac{kq^2 (3\sqrt{2} - 1)}{12a}$





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!

