

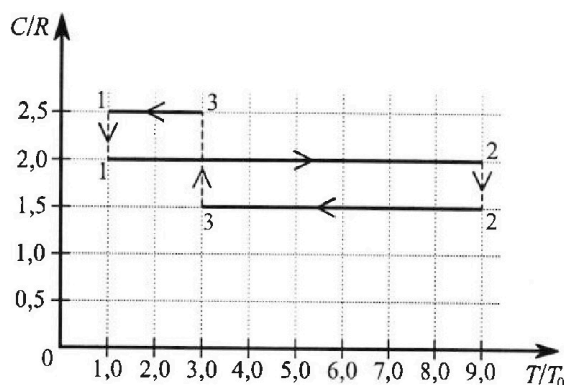
Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2025

Вариант 10-04

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



4. Подъемник грузов приводится в движение с помощью тепловой машины, в которой $\nu = 5$ моль одноатомного идеального газа участвуют в цикле 1-2-3-1. Зависимость молярной теплоемкости газа в цикле от температуры представлена на графике к задаче, $T_0 = 300$ К.

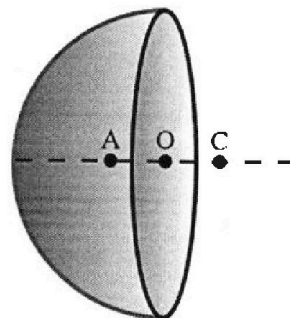


1. Постройте график процесса в координатах $(P/P_0, V/V_0)$, здесь P_0, V_0 – давление и объем газа в состоянии 1.

2. Какую работу A_1 газ совершает за один цикл?

3. На какую высоту H подъемник медленно переместит груз массой $M = 400$ кг за $N = 20$ циклов тепловой машины? Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с², универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К). Считайте, что в каждом цикле половина работы газа за цикл преобразуется в полезную работу подъемника.

5. По поверхности закреплённой диэлектрической полусферы однородно распределен заряд Q . Точки А, О, С находятся на оси симметрии (см. рис.). Точка О удалена от всех точек полусферы на расстояние R . Из точки А стартовала с нулевой начальной скоростью частица, масса которой m , заряд q . Частица движется по прямой АС и на большем по сравнению с R расстоянии от точки О кинетическая энергия частицы равна K .



1. Найдите скорость V_O частицы в точке О. Электрическая постоянная

ϵ_0 . Действие на частицу всех сил кроме кулоновских пренебрежимо мало.

2. Найдите скорость V_C частицы в точке С. Точки А и С находятся на неизвестных равных расстояниях от точки О.

Эффекты, связанные с поляризацией диэлектрика, считайте пренебрежимо малыми. Скорость частицы в любой точке траектории мала по сравнению со скоростью электромагнитных волн в вакууме.



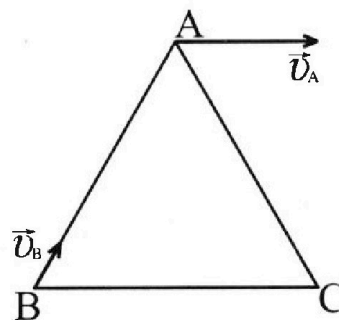
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 10-04

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



1. Вырезанную из однородного листа металла пластину в форме равностороннего треугольника ABC (см. рис.) положили на гладкую горизонтальную плоскость и толкнули. Пластина пришла в движение. В момент $t = 0$ оказалось, что скорость $\vec{v}_B$ вершины B направлена вдоль стороны BA и по величине равна $v_B = 0,4$ м/с, а скорость $\vec{v}_A$ точки A параллельна стороне BC. Длины сторон треугольника $a = 0,4$ м.



1. Найдите модуль v_A скорости вершины A.

2. За какое время τ пластина в системе центра масс совершит один оборот?

Пчела массой $m = 120$ мг прилетает и садится на пластину вблизи вершины C.

3. Найдите модуль R равнодействующей сил, приложенных к пчеле, сидящей на движущейся пластине. Масса пчелы пренебрежимо мала по сравнению с массой пластины.

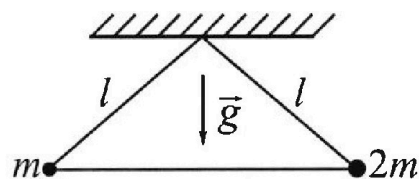
2. Фейерверк установлен на горизонтальной площадке. После мгновенного сгорания топлива начинается полет фейерверка по вертикали.

1. На какой высоте H разорвался фейерверк, если известно, что на высоте $h = 14,2$ м фейерверк летел со скоростью $V = 6$ м/с? Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым.

На максимальной высоте H фейерверк разрывается на два осколка одинаковой массы, один из которых летит со скоростью $V_0 = 20$ м/с. Направление вектора $\vec{V}_0$ скорости таково, что расстояние между осколками после падения на горизонтальную площадку максимальное.

2. Найдите максимальное расстояние L_{MAX} между осколками после падения осколков на горизонтальную площадку.

3. Два шарика с массами $m = 90$ г и $2m$ подвешены на невесомых нерастяжимых нитях длины l , прикрепленных к одной точке потолка. Шарик массы m скреплен с легким стержнем длины $L = 1,6l$. Систему удерживают так, что шарик массы m находится на одной высоте. Далее систему освобождают.



1. Какой угол α с горизонтом образует вектор $\vec{a}_2$ ускорения шарика массой $2m$ сразу после освобождения системы? В ответе укажите $\sin \alpha$.

2. Найдите модуль a_2 ускорения шарика массой $2m$ сразу после освобождения системы. Начальная скорость нулевая. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

3. Найдите модуль T упругой силы, с которой стержень действует на этот шарик сразу после освобождения системы.



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
2 ИЗ 2

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

$$CD = a \sin 60^\circ, CD - \text{механика} \Rightarrow CQ = \frac{2a \sin 60^\circ}{3} \quad (QC: DQ = 2:1)$$

$$a_n = \frac{2a \sin 60^\circ}{3} \quad \omega^2 = 2a \sin 60^\circ \frac{v_B^2}{a^2} = \frac{\sqrt{3} v_B^2}{a}$$

$$\text{Тогда: } R = \frac{\sqrt{3} m v_B^2}{a} = 48\sqrt{3} \text{ нг} \cdot \text{мкс} = 48\sqrt{3} \cdot 10^{-6} \text{ Н} = 48\sqrt{3} \text{ мкН}$$

$$\text{Отв: } 1. v_A = 0,8 \text{ м/с} \quad 2. T = \frac{2\pi}{\sqrt{3}} \text{ с} \quad 3. R = 48\sqrt{3} \text{ мкН}$$



На одной странице можно оформлять **только одну задачу**. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1
☒

2
☐

3
☐

4
☐

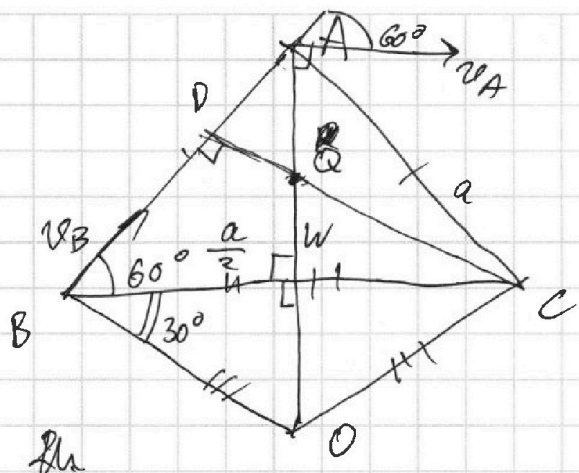
5
☐

6
☐

7
☐

СТРАНИЦА
1 ИЗ 2

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!



1. Из неразрывности стержня AB:

$$v_B = v_A \cos 60^\circ \Rightarrow v_A = \frac{v_B}{\cos 60^\circ}$$

(60° из-за равных сторон)

$$v_A = 0,8 \text{ м/с}$$

2. Угловая скорость фигуры инвариантна при переходе в ИСО центра треугольника, поэтому найдём её в лабораторной.

СО. Мгновенный центр вращения лежит на пересечении перпендикуляров к $\vec{v}_B$ и $\vec{v}_A$; т. О. $AO \perp BC \Rightarrow W$.

AW - высота и мед. в $\triangle BAC$ к BC, $\angle ABO = 90^\circ - 60^\circ = 30^\circ$,

$$BW = \frac{a}{2} \Rightarrow BO = \frac{a}{2 \cos 30^\circ} = \frac{a}{\sqrt{3}}. \text{ По аналогии } OC = \frac{a}{\sqrt{3}}.$$

$$\text{Тогда угловая скорость: } \omega = \frac{v_B}{OC} = \frac{\sqrt{3} v_B}{a}$$

$$\text{Оборот} - 2\pi, \text{ тогда время: } T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi a}{\sqrt{3} v_B} = \frac{2\pi}{\sqrt{3}} \text{ с}$$

3. Из II закона Ньютона: $R = m a_n$, где a_n - норм. укл. плиты,

тангенциального ускорения нет, так как масса плиты мала и

движение плиты установилось. У плиты будет поступательное

движение, как у центра масс плиты. Вращается она вокруг

центра $\triangle ABC$. Q - центр $\triangle$, $D \in CQ$, $D \in AB$. CD - высота.

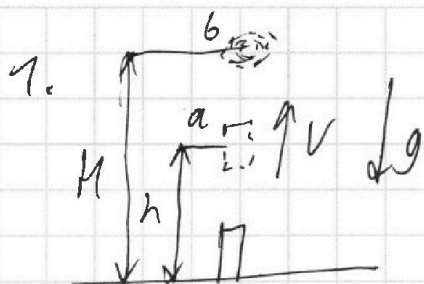


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 ☐ 2 ☒ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

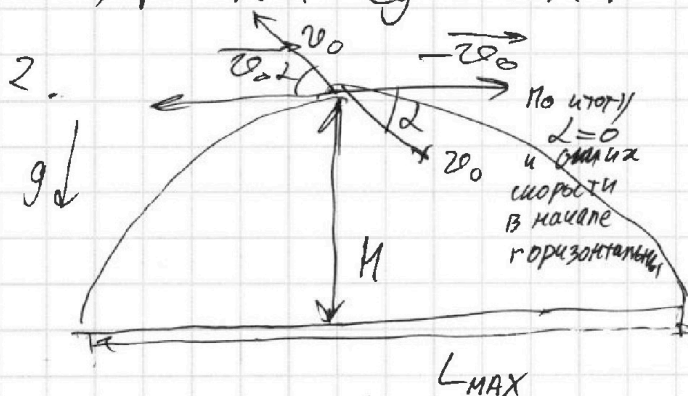
СТРАНИЦА
1 из 1

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!



Фейерверк взрывается, когда его скорость 0. Тогда из ЗЭ для состояний а и б (m - масса фейерверка),
 $\frac{mv^2}{2} + mgh = mgH. \rightarrow$

$$\rightarrow H = h + \frac{v^2}{2g} = 16 \text{ м.}$$



4 кусков равные массы, тогда из ЗМ и скорости после взрыва равны и противоположны.
 По итогу $L=0$ и одинаковые скорости в начале горизонтальны.

Пусть ~~второй~~ первый осколок пошел по α к горизонту, тогда второй тоже.

Из кинематики: $H = \frac{gt_1^2}{2} - v_0 \sin \alpha t_1$, $H = \frac{gt_2^2}{2} - v_0 \sin \alpha t_2$,

$$L_1 = v_0 \cos \alpha t_1, L_2 = v_0 \cos \alpha t_2 \Rightarrow L = v_0 \cos \alpha (t_1 + t_2)$$

Из первых двух:

$$t_1^2 - \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} t_1 - \frac{2H}{g} = 0, t_2^2 + \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} t_2 - \frac{2H}{g} = 0$$

$$D_{11} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{g^2} + \frac{2H}{g}, D_{12} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{g^2} + \frac{2H}{g}$$

Тогда: $L = v_0 \cos \alpha (2 \sqrt{\frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{g^2} + \frac{2H}{g}}) \xrightarrow{\text{max}} L = 0^\circ$, для максимума

По итогу: $L_{\text{max}} = 2v_0 \cos \alpha \sqrt{\frac{2H}{g}} = 2v_0 \sqrt{\frac{2H}{g}} = 40 \sqrt{5} \text{ м} = \frac{160}{\sqrt{5}} \text{ м.}$

Отв: 1. $H = 16 \text{ м}$ 2. $L_{\text{max}} = \frac{160}{\sqrt{5}} \text{ м.}$

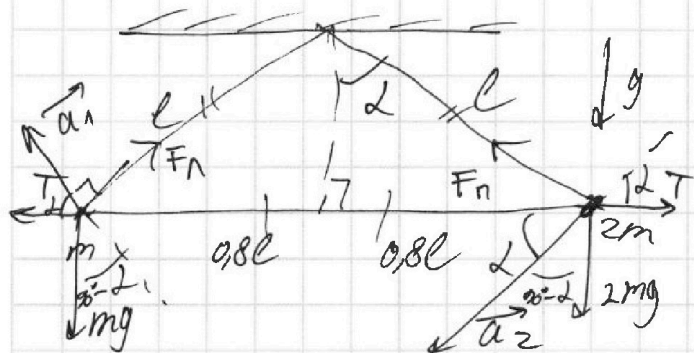


На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
1 ИЗ 1

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!



1. Нить нерастяжима и скорость
2m в начале $0 \Rightarrow a_2 \perp$ нити
нити. Из геометрии: $\sin L = \frac{0,8}{1}$
Итого: $\sin L = 0,8$; $\cos L = 0,6$.

2. I зак. Ньютона на вертикаль: $2ma_2 \sin L = F_n \cos L + 2mg$

II зак. Ньютона на горизонталь для всего стержня и $3m, m$:

$$a_2 \cos L \cdot 3m = (F_n - F_n) \sin L \Rightarrow F_n = 3ma_2 + F_n$$

2. II зак. Ньютона для $2m$: $2ma_2 = 2mg \sin L - T \cos L$

Для m (a_1 по аналогии с первой нитью): $ma_1 = T \cos L - mg \sin L$

Нерастяжимость стержня: $a_2 \cos L = a_1 \cos L \Rightarrow a_2 = a_1$

$$\begin{cases} 2ma_2 = 2mg \sin L - T \cos L \\ ma_2 = T \cos L - mg \sin L \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 3ma_2 = mg \sin L \\ 4ma_2 = T \cos L \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} a_2 = \frac{g \sin L}{3} = \frac{8}{3} \text{ м/с}^2 = \frac{2}{3} \text{ м/с}^2 \\ T = \frac{4m}{\cos L} \cdot \frac{g \sin L}{3} = \frac{4mg}{3} \tan L = \frac{32mg}{18} = \frac{16}{9} mg = 16 \text{ Н} \end{cases}$$

$$3. \left[T = \frac{4m}{\cos L} \cdot \frac{g \sin L}{3} = \frac{4mg}{3} \tan L = \frac{32mg}{18} = \frac{16}{9} mg = 16 \text{ Н} \right]$$

Отв: 1. $\sin L = 0,8$ 2. $a_2 = \frac{2}{3} \text{ м/с}^2$ 3. $T = 16 \text{ Н}$.

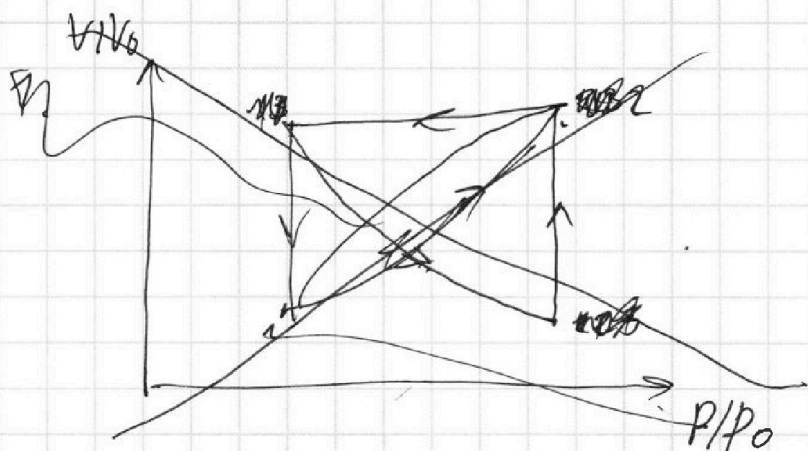


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
1 ИЗ 2

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!



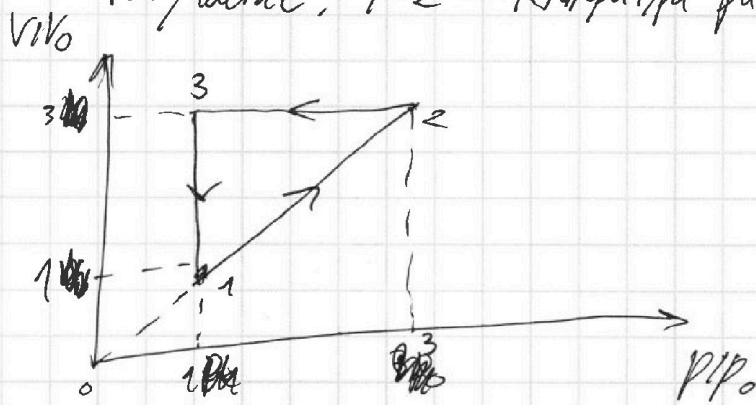
V/V_0 ~~орднатата~~
 P/P_0 ~~абсциса~~

1. Газ одноатомный $\Rightarrow i=3$, $c_v = \frac{i}{2}R = \frac{3}{2}R$, $c_p = \frac{5}{2}R$.

Тогда участки: 1-3 соответствует изобаре, 2-3 — изохоре,

1-2 — политропа с $\ell = 2R$.

На участке: 1-2 — температура растёт, 2-3 и 3-1 падает.



В т. 1 минимальная температура T_0 .

Из уравнения политропы:

$$n = \frac{c_p - c_v}{c - c_v} = 2 - 1$$

Тогда $p \cdot V^{-1} = \text{const}$.

Выводит 1-2 прямая в координатах.

В т. 2 $T_2 = 9T_0$, тогда: $T_2 = 9p_0V_0$ и из $\frac{p}{V} = \text{const} \Rightarrow$
 $\Rightarrow p_2 = 3p_0$, $V_2 = 3V_0$. По итогу: $p_3 = 3p_0$, $V_3 = V_0$



На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
2 ИЗ 2

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

2. Работа газа пропорциональна площади внутри ΔT_0 .

$$A = \frac{2V_0 \cdot 2p_0}{2} = 2p_0 V_0 = 2\nu R T_0 = 300 \cdot 8,31 \text{ Дж} = \\ = 8310,3 \text{ Дж} = 24930 \text{ Дж} = 24,93 \text{ кДж} \approx 25 \text{ кДж}$$

3. Суммарно газ совершит работу, $A_{\Sigma} = NA$.

Полезная из неё: $A_{\text{п}} = \frac{NA}{2}$

Из ΔT_0 работы машины и подъёма груза:

$$\text{когда } Mgh = \frac{NA}{2} \Rightarrow M = \frac{NA}{2Mg} \approx \frac{25000}{400} \text{ кг} = \frac{125}{2} \text{ кг} = \\ = 62,5 \text{ кг}$$

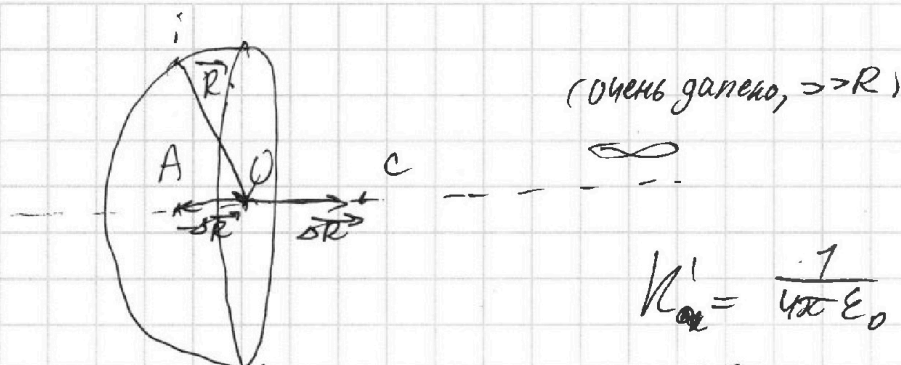
Отв: 1. На рис. 2. $A = 24,93 \text{ кДж}$ 3. $M \approx 62,5 \text{ кг}$.



На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1
☐2
☐3
☐4
☐5
☒6
☐7
☐СТРАНИЦА
1 из 1

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!



$$K_0' = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}, K_0 = \frac{mV_0^2}{2}$$

1. Потенциал в т. O: $\varphi_0 = \frac{K_0' Q}{R}$ (сфера заряжена равномерно и все её точки равноудалены)

Тогда потенциальная энергия: $\Pi_0 = \varphi_0 q = \frac{K_0' Q q}{R}$

В бесконечности: $\Pi_\infty = 0$, а $K_\infty = K$.

ЗСД для O и ∞ :

$$K = \frac{K_0' Q q}{R} + \frac{mV_0^2}{2} \Rightarrow V_0^2 = \frac{2K}{m} - \frac{2K_0' Q q}{mR}$$

$$\text{По итогу: } V_0 = \sqrt{\frac{2K}{m} - \frac{Qq}{2\pi\epsilon_0 m R}}$$

2. Расстояние от любой точки на поверхности до т. A:

$$\vec{R}_0 - \delta R = \vec{R}_{iA}$$

$$\text{До C: } \vec{R} + \delta R = \vec{R}_{iC}$$

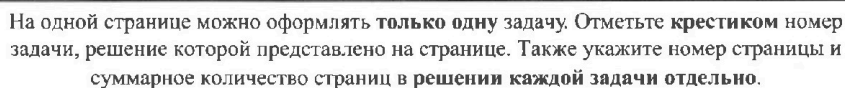
$$\left. \begin{array}{l} \vec{R}_0 - \delta R = \vec{R}_{iA} \\ \vec{R} + \delta R = \vec{R}_{iC} \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \Pi_A = \Pi_0 + \delta \Pi \\ \Pi_C = \Pi_0 - \delta \Pi \end{array} \right.$$

Тогда ЭДС для A и C: $\Pi_A = \Pi_C + \Pi_c \Rightarrow 2\delta \Pi = K_c$

Для AB: $\Pi_A = \Pi_0 + K_0 \Rightarrow \delta \Pi = K_0 \Rightarrow K_c = 2K_0$

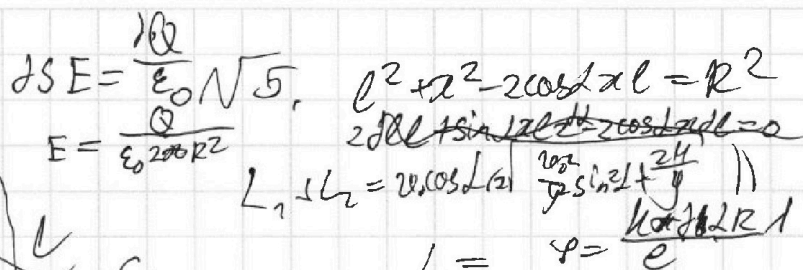
$$\frac{mV_c^2}{2} = 2 \cdot \frac{mV_0^2}{2} \Rightarrow V_c = \sqrt{2} V_0 = \sqrt{\frac{4K}{m} - \frac{Qq}{\pi\epsilon_0 m R}}$$

$$\text{Отв: } 1. V_0 = \sqrt{\frac{2K}{m} - \frac{Qq}{2\pi\epsilon_0 m R}} \quad 2. V_c = \sqrt{\frac{4K}{m} - \frac{Qq}{\pi\epsilon_0 m R}}$$



СТРАНИЦА
ИЗ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!



$$Q = \frac{1000^2}{9^2 \sin^2 21^\circ} \cdot \frac{1}{g}$$

$$F_{\text{net}} = \sqrt{\frac{v^2}{g} \sin^2 \theta} \pm g$$

$$L_4 = v_0 \cos \alpha \left(\sqrt{\frac{2v_0^2}{g} \sin \alpha} + \sqrt{\frac{2v_0^2}{g} \sin 2\alpha} \right)$$

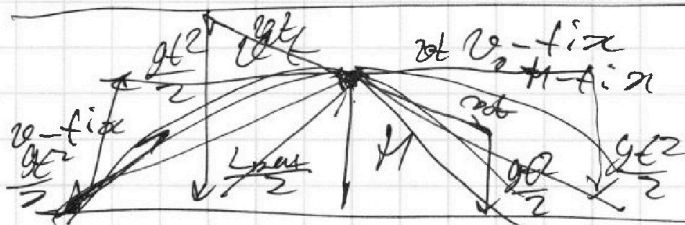
$$L_1 + L_2 = v_0 \cos(\theta_1 + \theta_2) \quad 0 = -\sin(\theta) \left(\sqrt{\frac{12g}{9 \sin^2 \theta}} + \frac{\sin \theta}{\sin \theta} \right) \quad \text{per } \frac{1}{\sin \theta} \text{의 미분}$$

$\mu = \frac{gt_2^2}{2} + v_0 \sin t_2$
 $v_0 \cos t_2 = L_2$

$$\frac{g t^2}{2} = H \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

$$+ v_0 = \frac{v_{\max}}{2} = v_0 \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

$$L_{\max} = 2v_0 \sqrt{\frac{2H}{g}}$$



$$2gH + v_0^2 = v^2 = \text{const}$$

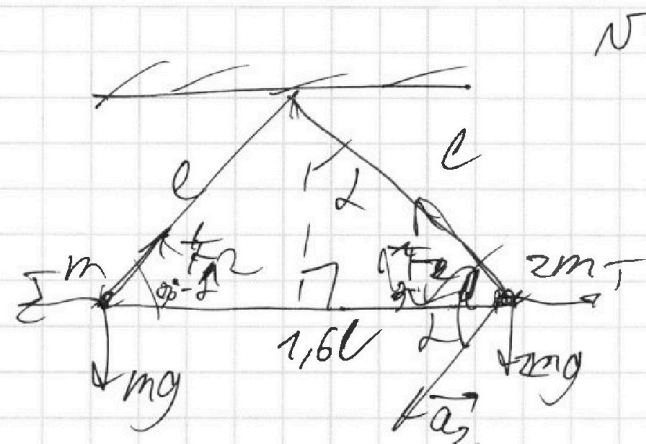


На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
__ ИЗ __

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

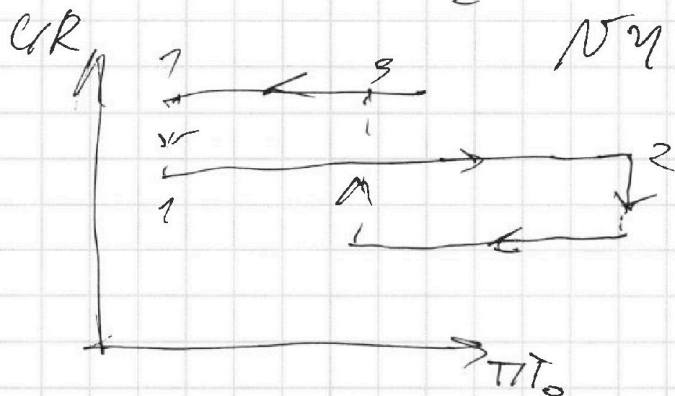


N3.

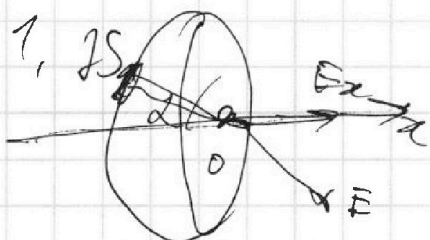
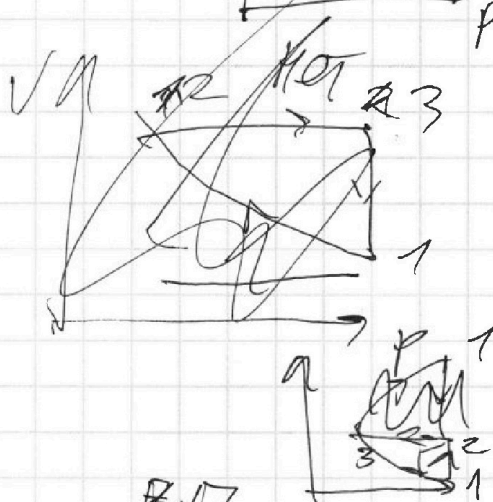
$$(F_1 + F_2) \cos \alpha = 3mg$$
$$F_2 \cos \alpha = 2mg$$

$$2 \sin \alpha_2 m = F \cos \alpha = \frac{3mg}{2}$$

$$\sin \alpha = 0.8$$



N4.

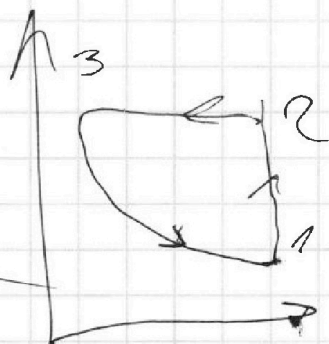
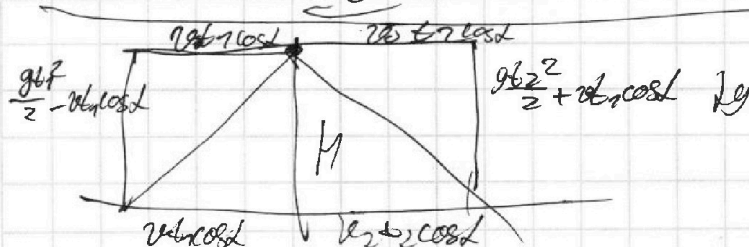


$$k = k_0 + \pi_0 = \frac{m \omega^2}{2} + \frac{U \omega q}{R}$$

$$k = k_0 + \pi_0 = \frac{m \omega^2}{2} + \frac{U \omega q}{R}$$

$$2. k = \pi_{0A}$$

$$k = k_c + \pi_c$$



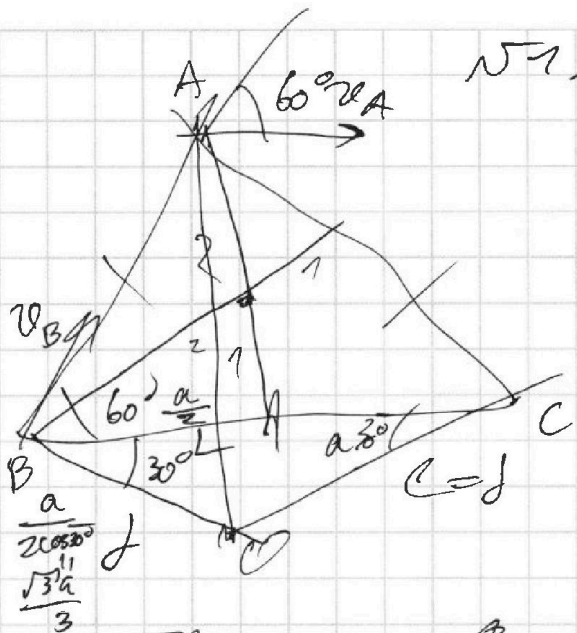


На одной странице можно оформлять **только одну задачу**. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
__ ИЗ __

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!



$$1, v_A \cos 60^\circ = v_B \Rightarrow v_A = \frac{v_B}{\cos 60^\circ} = 2v_B$$

$$2, \tau = \frac{2\pi R}{v}$$

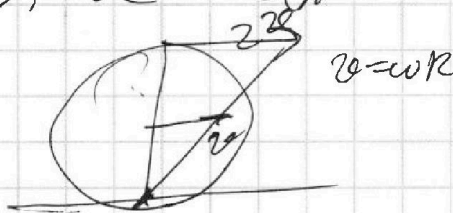
$$v = \frac{v_B}{\tau} = \frac{\sqrt{3} v_B}{a}$$

$$\tau = \frac{2\pi a}{\sqrt{3} v_B}$$

$$3, \vec{v}_A = \vec{v}_B + [\vec{a}, \vec{\omega}]$$

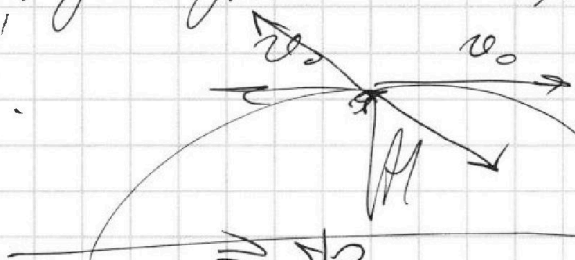
$$4v_B^2 = v_A^2 + v^2 a^2 + v_B v a$$

$$3, \frac{\sqrt{3} v_B}{2} a = \omega^2 R = \omega^2 l \Rightarrow R = \omega^2 l$$



$$1, mgh = mgh + \frac{mv^2}{2} \rightarrow H = h + \frac{v^2}{2g}$$

2.



$$c = \text{const}$$

$$c \frac{dT}{T} = \frac{c-v}{c} \frac{dv}{v} + p \frac{dv}{v} + \frac{1}{\gamma} \frac{dv}{v}$$

$$c = c_v + \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2}$$

$$p = \frac{T}{V} \frac{dv}{v}$$

$$c = c_v + \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2}$$

$$(c - c_v) \frac{dT}{T} = \frac{p}{\rho} \frac{dv}{v} + \frac{v}{2} \frac{dv}{v}$$

$$\ln \left(\frac{T}{T_0} \right) \left(\frac{c-v}{c} \right) = \ln \left(\frac{v}{v_0} \right)$$

$$T = \frac{p}{\rho} \frac{c-v}{c} \frac{1}{v} + \frac{v}{2}$$

$$p = \frac{c-v}{c} \frac{p}{\rho} \frac{1}{v} + \frac{v}{2}$$

$$p = \frac{c-v}{c} \frac{p}{\rho} \frac{1}{v} + \frac{v}{2}$$

$$p = \frac{c-v}{c} \frac{p}{\rho} \frac{1}{v} + \frac{v}{2}$$

$$p = \frac{c-v}{c} \frac{p}{\rho} \frac{1}{v} + \frac{v}{2} = \text{const}, p \frac{c-v}{c} \frac{1}{v} = \text{const}$$