





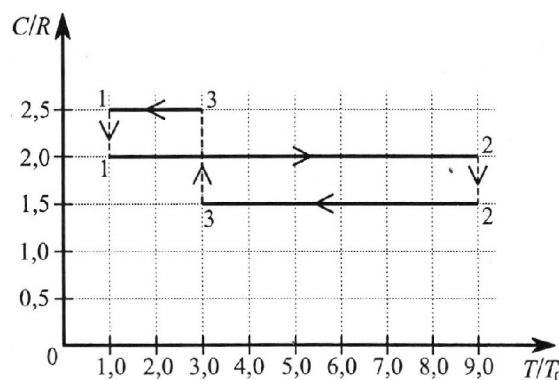
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 10-01

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



4. Подъемник грузов приводится в движение с помощью тепловой машины, в которой $\nu = 2$ 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.



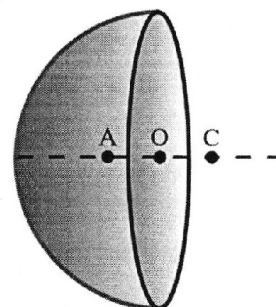
1. Постройте график процесса в координатах $(P/P_0, V/V_0)$, здесь P_0, V_0 – давление и объем газа в состоянии 1.

2. Какое количество Q_1 теплоты подводится к газу в процессе расширения за один цикл?

3. На какую высоту H подъемник медленно переместит груз массой $M = 150$ кг за $N = 10$ 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 закрепленной 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 . В точке О частица движется со скоростью V_0 .



1. С какой скоростью V частица движется на большом по сравнению с R расстоянии от точки О? Коэффициент пропорциональности в законе Кулона k . Действие на частицу всех сил кроме кулоновских пренебрежимо мало.

2. Найдите скорость V_C , с которой частица движется 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.

Handwritten calculations and diagrams:

$$\frac{q}{m} = \frac{k \cdot q \cdot Q}{m \cdot c^2} = \frac{q \cdot Q}{m \cdot c^2} = \frac{q \cdot Q}{m \cdot c^2} = \frac{q \cdot Q}{m \cdot c^2}$$
$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{V_1}{V_2}$$
$$V_1 = V_2 = V_0$$

Diagrams showing the trajectory of the particle and the forces acting on it.



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
1) Так как машина невращающаяся (жесткая),
используем мгновенную ось вращения.
Проведем $\perp$ -н к $\vec{v}_A$ и $\vec{v}_C$. Пусть
точка их пересечения - O.

$$\angle OAC = \frac{60^\circ}{2} = 30^\circ \text{ так как } AO - \text{высота.}$$

$$\text{tg } \angle OAC = \frac{OC}{AO} \Rightarrow OC = AO \cdot \text{tg } \angle OAC = a \cdot \frac{\sqrt{3}}{3} = \frac{a\sqrt{3}}{3}$$

$$\text{По } OA \perp AC = H. \quad OH = \sqrt{\frac{a^2 \cdot 3}{9} - \frac{a^2}{4}} = \sqrt{\frac{12a^2}{36} - \frac{9a^2}{36}} = \frac{a\sqrt{3}}{6}$$

$$AO = \frac{a\sqrt{3}}{2} + \frac{a\sqrt{3}}{6} = \frac{4a\sqrt{3}}{6} = \frac{2a\sqrt{3}}{3}$$

AO - радиус кривизны точки A. тогда

OC - радиус кривизны точки C.

ω - угловая скорость системы

$$v_A = \omega R_{OA}$$

$$\omega = \frac{v_A}{R_{OA}} = \frac{v_A}{\frac{2a\sqrt{3}}{3}}$$

$$v_C = \omega R_{CO} =$$

$$= \frac{v_A}{\frac{2a\sqrt{3}}{3}} \cdot \frac{a\sqrt{3}}{3} = \frac{v_A}{2} = 0,2 \frac{m}{c}$$

2) По закону сохранения импульса, скорости
точек не изменятся $\Rightarrow$ не изменится и
положение мгновенной оси вращения $\Rightarrow$ можем рассматривать ϕ -не вокруг

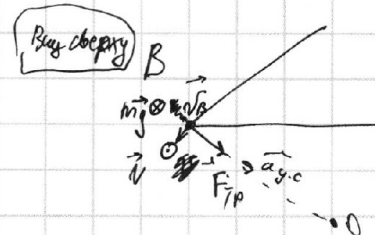
О-мгн. ось вращения
системы с ч.м.
в любой системе с ч.м.

точки O. Тогда ϕ - угол поворота $\phi = 2\pi \cdot 3 = 6\pi$.

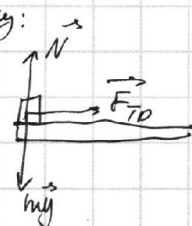
$$T = \frac{\phi}{\omega} = \frac{6\pi}{\frac{v_A}{\frac{2a\sqrt{3}}{3}}} = \frac{6\pi \cdot \frac{2a\sqrt{3}}{3}}{v_A} = \frac{4a\sqrt{3}\pi}{v_A} = \frac{4 \cdot 0,2 \sqrt{3} \pi}{0,4} = 2\pi\sqrt{3} c$$

3) ~~На какую силу действует: сила упругости~~

На нить действует: сила нормальной реакции опоры
или тяжести
сила пружины ~~и силы трения~~



Вид сверху:



Так как машина движется

вокруг точки O, из соображений сим-

метрии $v_C = v_B$ и $R_{BO} = R_{OC}$

$$a_{y.c} = \frac{v_B^2}{R_{OB}} \text{ где } a_{y.c} - \text{ускорение точки B (и нити)}$$

$$\text{на ось OB: } F_{pr} = m a_{y.c} = m \frac{v_B^2}{R_{OB}} = m \frac{v_C^2}{R_{OC}} = m \frac{v_C^2 \cdot 3}{a\sqrt{3}}$$



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!

Так как по ~~в~~ оси, перпендикулярной ω -м нет движения плеча, то

$$mg + \vec{N} = \vec{0}$$

$$mg = N. \quad \sim R$$

$$100 \text{ мк} = 0,1 \text{ м} = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 10^{-4} \text{ м}$$

$$\vec{R} = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{TP}} = \vec{0} + \vec{F}_{\text{TP}} = m\vec{a}_{\text{з.с}}$$

$$R = m a_{\text{з.с}} = m \cdot \frac{v_c^2 \cdot 3}{a\sqrt{3}} = 10^{-4} \cdot \frac{0,2^2 \cdot 3}{0,2\sqrt{3}} = 10^{-4}\sqrt{3} \cdot 0,2 = 2\sqrt{3} \cdot 10^{-5} \text{ Н}$$

Ответ: 1) $0,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

2) $2\pi\sqrt{3} \text{ с}$

3) $2\sqrt{3} \cdot 10^{-5} \text{ Н}$



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 ☐

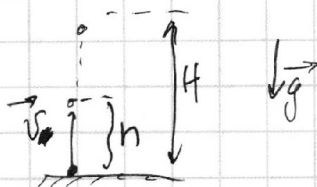
СТРАНИЦА
1 ИЗ 2

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!

N2

$\vec{v}_0$ — начальная скорость
после сгорания топлива;

Начало от 1-ой поверхности.



$$\begin{array}{r} 11,2 \\ \times 1,2 \\ \hline 224 \\ 112 \\ \hline 13,4 \\ \times 1,2 \\ \hline 160,8 \\ 134 \\ \hline 16,24 \\ \times 1,2 \\ \hline 194,88 \\ 1624 \\ \hline 19,648 \end{array}$$

1) $h = v_0 t - \frac{gt^2}{2}$, где v_0 — проекция $\vec{v}_0$ по модулю.

$$v_0 t = h + \frac{gt^2}{2}$$

$$v_0 = \frac{h + \frac{gt^2}{2}}{t}; \text{ на максимальной высоте } v' = 0 \Rightarrow \text{Пусть } T - \text{время полета.}$$

2) $0 = v_0 - gT$

$$T = \frac{v_0}{g} \Rightarrow H = v_0 T - \frac{gT^2}{2} = v_0 \cdot \frac{v_0}{g} - \frac{g \cdot \frac{v_0^2}{g^2}}{2} = \frac{v_0^2}{g} - \frac{v_0^2}{2g} = \frac{v_0^2}{2g} =$$

$$= \frac{(h + \frac{gt^2}{2})^2}{2g \cdot t^2} = \frac{(8 + \frac{10 \cdot 0,8^2}{2})^2}{2 \cdot 10 \cdot 0,8^2} = \frac{(8 + 5 \cdot 0,64)^2}{2 \cdot 10 \cdot 0,64} = \frac{11,2^2}{12,8} = 9,8 \text{ м}$$

Составим треугольник скорости.

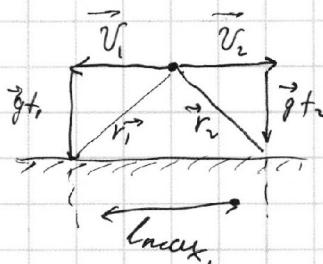
Пусть α — угол между вектором $\vec{v}_0$ с горизонтом
Так как осколки одинаковой массы, а
скорость в верхней точке $v' = 0$, то

$$\vec{0} = m\vec{v}_1 + m\vec{v}_2$$

Тогда $\begin{cases} \vec{v}_1 = -\vec{v}_2 \\ v_1 = v_2 = v_0 \end{cases}$

Из правил векторов, что $v_{\max}$ при $\alpha = 0^\circ$.

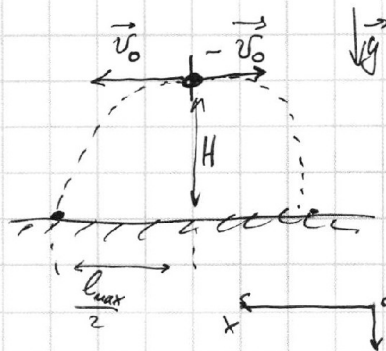
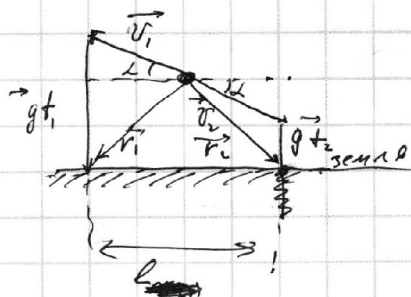
Тогда получим:



Пусть t — время падения
оскоков.

$$0 = \frac{gt^2}{2} + v_0 t = \frac{gt^2}{2}$$

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





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!

$$\text{Ох: } \frac{l_{\max}}{2} = v_{0x} t = v_0 t$$

$$l_{\max} = 2v_0 t = 2v_0 \sqrt{\frac{24}{g}} = 2 \cdot 20 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 9,8}{10}} = 40 \cdot \sqrt{4 \cdot 7 \cdot 0,7} =$$

$$= 40 \cdot 2 \cdot \sqrt{0,1} =$$

$$= 560 \sqrt{0,1} =$$

$$= \frac{560}{\sqrt{10}} = 56\sqrt{10}$$

Ответ: 1) 9,8 м
2) $56\sqrt{10}$ м

$$\begin{array}{r} 9,8 \overline{) 19,6} \\ \underline{9,8} \\ 9,8 \\ \underline{9,8} \\ 0 \end{array}$$
$$\begin{array}{r} 19,614 \overline{) 36} \\ \underline{16} \\ 16,614 \\ \underline{16} \\ 0,614 \\ \underline{0,614} \\ 0 \end{array}$$



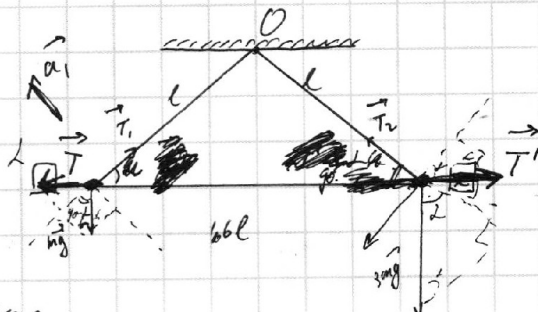
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!

Левый №3
Пусть T_1 - сила натяжения нити
 T_2 - сила натяжения правой нити
 $\vec{T} = -\vec{T}' \Rightarrow T = T'$ (по третьему закону Ньютона)



Так как все точки движутся, а нити не растягиваются, то m_1 и m_2 движутся по окружностям радиусом l , где центр окружности - О (см. рис.)

$\vec{a}_m = \vec{a}_{\text{центр}} = \vec{a}_{\text{центр}} - \text{ускорение центра}$

$$a_{y.c.1} = \omega_1 R_1 = \omega l$$

$$a_{y.c.2} = \omega_2 R_2 = \omega l \Rightarrow a_{y.c.1} = a_{y.c.2} \quad (1)$$

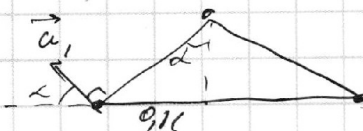
По второму закону Ньютона на ось радиусов (по направлению к центру О):

$$mg \cos \alpha + T \cos \alpha - T_1 = (mg \sin \alpha + T \sin \alpha - T_2) \cdot 3$$

$$mg \cos \alpha + T \cos \alpha - T_1 = 3mg \sin \alpha + 3T \sin \alpha - 3T_2$$

1) Угловые скорости равны по окружностям $\Rightarrow$

$\Rightarrow \vec{a}_1 \perp OA$ (по вектору, это значит переводит m)



$$\sin \alpha = \frac{0.6l}{l} = 0.6 \Rightarrow \cos \alpha = \sqrt{1 - 0.6^2} = 0.8$$

$$2) m \vec{a}_1 = \vec{T}_1 + \vec{T} + m \vec{g}$$

$$3 m \vec{a}_2 = \vec{T}_2 + \vec{T} + m \vec{g}$$

$$\Rightarrow 2 m \vec{a}_1 = \vec{T}_2 - \vec{T} + m \vec{g} \perp OA$$

$$m a_1 = 0 + T \cos \alpha - mg \sin \alpha$$

$$3 m a_2 = 0 + 3mg \sin \alpha - T \cos \alpha$$

$$\Rightarrow 2 m a_1 = 4mg \sin \alpha - 2T \cos \alpha$$

$$2T \cos \alpha = 4mg \sin \alpha - 2ma_1$$

$$2T \cos \alpha = 4mg \sin \alpha - 2ma_1$$

$$T = \frac{m(2g \sin \alpha - a_1)}{\cos \alpha}$$

$$a_1 = g \sin \alpha = 10 \cdot 0.6 = 6 \frac{m}{c^2}$$

Ответ: 1) 0.8
2) $8 \frac{m}{c^2}$ 3) $\frac{2}{3} H$

$$T = \frac{m(2 \cdot 10 \cdot 0.6 - 6)}{0.8} = \frac{0.4}{0.8} \cdot \frac{2}{3} H$$



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!

№4

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}; C_m = \frac{C}{\nu}$$

$\Delta Q = C_m \Delta T$ — площадь под
графиком

$$\Delta u = \frac{3}{2} \nu R \Delta T = ?$$

$$\Delta u_{12} = \frac{3}{2} \nu R (9T_0 - T_0) = \frac{3}{2} \nu R \cdot 8T_0$$

$$\Delta u_{23} = \frac{3}{2} \nu R (3T_0 - 9T_0) = -\frac{3}{2} \nu R \cdot 6T_0$$

$$\Delta u_{31} = \frac{3}{2} \nu R (T_0 - 3T_0) = -\frac{3}{2} \nu R \cdot 2T_0$$

$$\Delta u_{\text{sum}} = \Delta u_{12} + \Delta u_{23} + \Delta u_{31} = \frac{3}{2} \nu R (9T_0 - T_0 + 3T_0 - 9T_0 + T_0 - 3T_0) = 0.$$

$$Q_{12} = C \cdot \Delta T = 2R \cdot 8T_0 = 16RT_0$$

$$C_{m12} = 2R$$

$$C_{m23} = 1,5R$$

$$C_{m31} = 3,5R$$

по I закону термодинамики

$$\Delta Q = \Delta u_{\text{sum}} + A_{\text{sum}}$$

$$16RT_0 = A_{12} + 12RT_0 \Rightarrow A_{12} = 4RT_0$$

$$1,5R \cdot 6T_0 = A_{23} + 9RT_0$$

$$A_{23} = 0 \Rightarrow \text{изотермический процесс.}$$

$$-2,5R \cdot 2T_0 = A_{31} + 3RT_0$$

$$A_{31} = -4RT_0$$

Получим, что $A_{12} = 4RT_0$, $A_{23} = 0$, $A_{31} = -4RT_0$

Запишем работу газа за цикл: $A_{\text{sum}} = A_{12} + A_{23} + A_{31} = 0$, что и требовалось доказать.

$$A_{\text{sum}} = 0 = A_{\text{sum}} \cdot \eta, \text{ где } \eta = \frac{1}{2}$$

$$\text{За 10 циклов: } 10 \cdot 4RT_0 = 40RT_0$$

$$\eta = \frac{A_{\text{sum}}}{Q_{12}} = \frac{40RT_0}{160RT_0} = \frac{1}{4} = 0,25$$



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!

Т.е. [2-3] - изохорный процесс, то по 3-й шкале, $\frac{P_2}{T_2} = \frac{P_3}{T_3} \Rightarrow \frac{P_2}{P_3} = \frac{T_2}{T_3} = 3$

$(P_2 = 3P_3)$

Очевидно, что при наихудшем изохорном, газа, состоящий из 3х фазовых, будет расширяться на участке [1-2] и сжиматься на участке [3-1]



$$\begin{array}{r} \times 3P \\ 17400 \\ \hline \end{array}$$

$$Q_1 = Q_{12} = 60RT_0 = 16 \cdot 2 \cdot 8,31 \cdot 300 = \boxed{94734 \text{ Дж}}$$

$$\begin{array}{r} \times 831 \\ 17400 \\ \hline 5324 \\ \times 831 \\ \hline 947340 \end{array}$$

3) $P_0 V_0 \sim Q_1 (Q_1 = 2R \cdot T_0)$

$P_0 V_0 \sim Q_2 = 2R T_0 \cdot g$

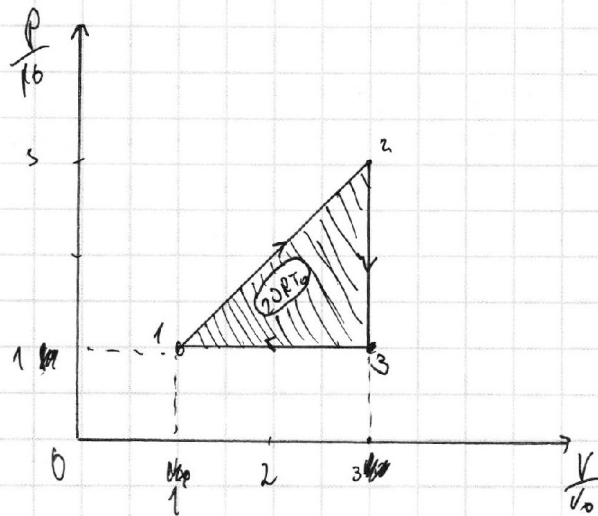
$P_0 V_0$

$\Rightarrow$ график процесса $1/3 (0;0)$.

Докажем, что $A_{1231} = \frac{A_{1231}}{2}$

$$2V_0 P_0 = \frac{2V_0 \cdot 2P_0}{2}$$

$0 = 0$ (б) $\Rightarrow$ рисунок верной и график.





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!

15.

О - центр полушара

На ∞ большой плоскости

$E_n = 0 \Rightarrow$ из ЗЭЭ:

$$W_{\text{пА}} = \frac{mV^2}{2}, \text{ где } V - \text{линейная скорость}$$

$W_{\text{пА}}$ - потенциальная энергия в точке А.

$W_{\text{пО}}$ - пот. энергия в точке О.

E_0 - напряженность пол в точке О.

$$E_0 = \frac{\sigma}{4\epsilon_0}$$

где σ - поверхностная плотность заряда.

$$dW_{\text{пО}}, dW_{\text{пА}} = \frac{k \cdot dq \cdot q}{r}$$

$$W_{\text{пО}} = \frac{kQq}{R}$$

$$\sigma = \frac{Q}{2\pi R^2}$$

$$W_{\text{пО}} + \frac{mV_0^2}{2} = \frac{mV^2}{2} \leftarrow \text{ЗЭЭ}$$

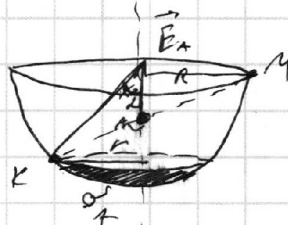
$$mV^2 = 2W_{\text{пО}} + mV_0^2$$

$$V^2 = \frac{2W_{\text{пО}}}{m} + V_0^2 =$$

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot k \cdot Q \cdot q}{Rm} + V_0^2}$$

$$V = \sqrt{\frac{2kQq}{Rm} + V_0^2}$$

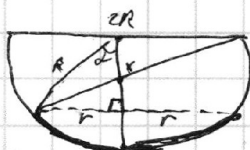
- скорость из бесконечно большой плоскости



Видно, что поле, создаваемое верхней дном, проходит через точку А. Тогда на заряд q в точке А

действует только часть сферы, ограниченная точкой К (см. рис.)

Пусть расстояние $OA = OC = x$. Тогда: $E_A = \frac{\sigma_A}{4\epsilon_0}$, σ_A - заряд на воображаемой полушаре.





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
☐

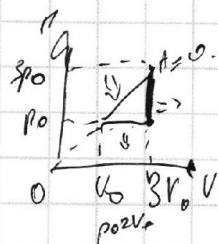
5
☐

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!



$$p_0 V_0 = \frac{1}{2} p_0 V_0$$

$$p_0 V_0 = \frac{1}{2} p_0 V_0$$

$$\frac{p_0 V_0}{2} = \frac{1}{2} p_0 V_0$$



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
__ 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!

