



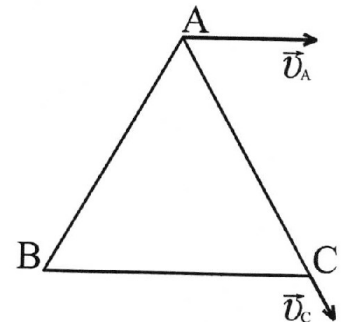
Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2025

Вариант 10-03

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 $\vec{v}_A$ точки A параллельна стороне BC и по величине равна $v_A = 0,6$ м/с, а скорость $\vec{v}_C$ вершины C направлена вдоль стороны AC. Длины сторон треугольника $a = 0,3$ м.



1. Найдите модуль v_C скорости вершины C.

2. За какое время τ пластина в системе центра масс совершит восемь оборотов?

Пчела массой $m = 60$ мг прилетает и садится на пластину вблизи вершины B.

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. В процессе подъема на высоте $h = 15$ м фейерверк находился через $\tau = 1$ с после начала полета.

1. На какую максимальную высоту H поднимается фейерверк? Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым.

На максимальной высоте фейерверк разрывается на два осколка одинаковой массы, один из которых летит со скоростью $V_0 = 30$ 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.

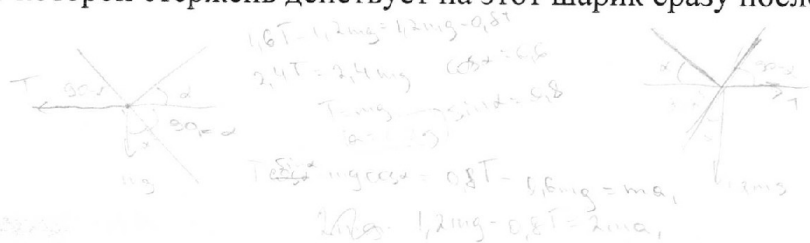
3. Два шарика с массами $m = 200$ г и $2m$ подвешены на невесомых нерастяжимых нитях длины l , прикрепленных к одной точке потолка. Шарик скреплен с легким стержнем длины $L = 1,2l$. Систему удерживают так, что шарик находится на одной высоте. Далее систему освобождают.



1. Какой угол α с горизонтом образует вектор $\vec{a}_1$ ускорения шарика массой m сразу после освобождения системы? В ответе укажите $\sin \alpha$.

2. Найдите модуль a_1 ускорения шарика массой m 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.





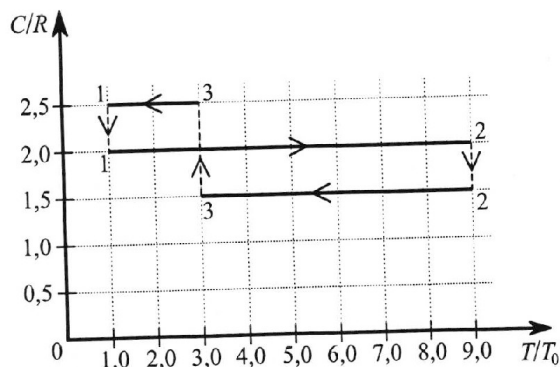
Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2025

Вариант 10-03

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



4. Подъемник грузов приводится в движение с помощью тепловой машины, в которой $\nu = 1$ моль одноатомного идеального газа участвует в цикле 1-2-3-1. Зависимость молярной теплоемкости газа в цикле от температуры представлена на графике к задаче, $T_0 = 200$ К.

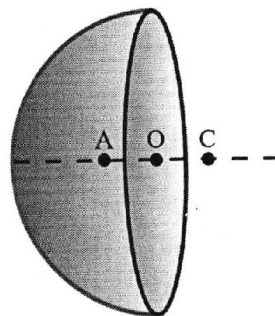


1. Постройте график процесса в координатах $(P/P_0, V/V_0)$, здесь P_0, V_0 — давление и объем газа в состоянии 1.

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 $M = 415$ кг за $N = 25$ 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 . В точке О кинетическая энергия частицы равна K .



1. С какой скоростью V частица движется на большом по сравнению с R расстоянии от точки О? Электрическая постоянная ϵ_0 . 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.



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**.

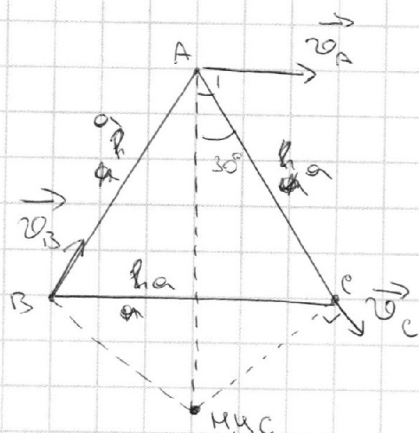


СТРАНИЦА

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) Найдем мгновенный центр скоростей данной системы.

Для этого проведем перпендикуляры к векторам

скоростей $\vec{v}_A$ и $\vec{v}_C$. Их пересечение —

мгновенный центр скоростей, т.к. в нём

все скорости направлены перпендикулярно, то есть

каждое тело мгновенно движется по окружности.

расстояние от т. А до м.цс $\frac{h_a}{\cos 30^\circ} = \frac{2h_a}{\sqrt{3}} = \frac{2\sqrt{3}h_a}{3}$

от т. С до м.цс: $\frac{2\sqrt{3}h_a}{3} \cdot \frac{1}{2} = \frac{\sqrt{3}h_a}{3}$

$$\omega = \frac{v_A}{\frac{2\sqrt{3}h_a}{3}} = \frac{v_C}{\frac{\sqrt{3}h_a}{3}} \Rightarrow \boxed{\frac{v_A}{2} = v_C} \quad \boxed{v_C = 0,3 \frac{m}{c}}$$

$$\omega = \frac{3v_A}{2\sqrt{3}h_a} = \frac{3 \cdot 0,6 \frac{m}{c}}{2\sqrt{3} \cdot 0,3m} = \sqrt{3} \frac{1}{c}$$

(2) время одного оборота $t = \frac{2\pi}{\omega} \Rightarrow 8 \text{ оборотов } \tau = \frac{16\pi}{\omega} =$

$$= \boxed{\frac{16\pi}{\sqrt{3}} c = \tau}$$

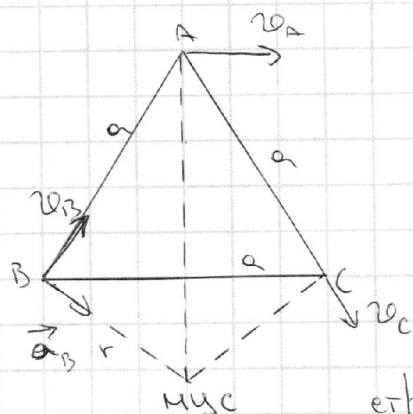


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!



(3) Расстояние от мус до точек B и C одинаково $\Rightarrow$

$$v_B = v_C = 0,3 \frac{\text{м}}{\text{с}} = \frac{v_A}{2}$$

На пчелу действует центростремительное ускорение

$$\vec{a}_B = \frac{v_B^2}{r}, \text{ где } r \text{ — расстояние от B до мус.}$$

$$r = \frac{a}{\sqrt{3}} \Rightarrow \vec{a}_B = \frac{v_B^2 \sqrt{3}}{a} = \frac{(0,3 \frac{\text{м}}{\text{с}})^2 \sqrt{3}}{0,3 \text{ м}} = \frac{3\sqrt{3}}{10} \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = \vec{a}_B$$

Значит суммарно на пчелу действует сила

$$R = m \cdot \vec{a}_B = 60 \text{ мкг} \cdot \frac{3\sqrt{3}}{10} \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 60 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{3\sqrt{3}}{10} \text{ Н} =$$

$$= \boxed{18\sqrt{3} \cdot 10^{-6} \text{ Н} = R}$$

Ответ: (1) $v_C = \frac{v_A}{2} = 0,3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

(2) $T = \frac{32\pi \cdot a}{\sqrt{3} v_A} = \frac{16\pi}{\sqrt{3}} \text{ с}$

(3) $R = \frac{\sqrt{3} m v_A^2}{4 a} = 18\sqrt{3} \cdot 10^{-6} \text{ Н}$



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**.



СТРАНИЦА
1 ИЗ 2

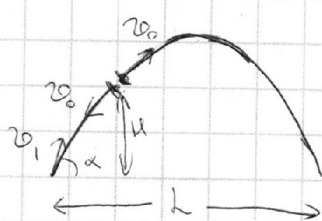
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

② (1) Пусть начальная скорость фейерверка со стороны земли v_0 . Тогда:

$$h = v_0 \cdot t - \frac{g t^2}{2}$$

$$v = \frac{1}{t} \left(h + \frac{g t^2}{2} \right) = \left[\frac{h}{t} + \frac{g t}{2} \right] = \frac{15 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{1 \text{ с}} + \frac{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 1 \text{ с}}{2} = \left[20 \frac{\text{м}}{\text{с}} = v_0 \right]$$

(2) По закону сохранения импульса скорости осколков при разлёте равны по модулю и противоположно направлены. Значит если поставить



вдоль траектории движения двух осколков, суммарно получится полная парабола.

Максимальная высота на фейерверка $H = \frac{v_0^2}{2g} =$
 $H = \frac{v_0^2}{2g} = \frac{\left(20 \frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2}{2 \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = 20 \text{ м} = H \Rightarrow$ скорость осколков ~~на поверхности земли~~



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!

скорость осколок поверхности земли у обеих осколков будет одинаковой v_1 :

$$\text{ЗСЭ: } \frac{mv_0^2}{2} + mgH = \frac{mv_1^2}{2} \Rightarrow v_1^2 = v_0^2 + 2gH$$

$$v_1 = \sqrt{v_0^2 + 2gH} = \sqrt{v^2 + v_0^2} = \sqrt{\left(20 \frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2 + \left(30 \frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2} =$$

$$= 10 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \sqrt{4+9} = 10\sqrt{13} \frac{\text{м}}{\text{с}} = v_1$$

Значит расстояние между осколками

$$L = \frac{2 \cdot v_1 \sin \alpha}{g} \cdot v_1 \cos \alpha = \frac{v_1^2 \cdot \sin 2\alpha}{g} \rightarrow \max$$

L будет максимальным при $\sin 2\alpha = 1 \Rightarrow \alpha = 45^\circ$

$$L_{\max} = \frac{v_1^2}{g} = \frac{1300 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \boxed{130 \text{ м} = L_{\max}}$$

$$\text{Ответ: (1) } v = \frac{h}{2} + \frac{g\tau}{2} = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$(2) L_{\max} = \frac{v^2 + v_0^2}{g} = 130 \text{ м}$$



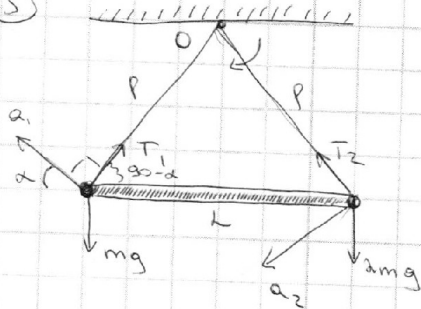
На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
1 ИЗ 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!

3



(2) В начальный момент система начнет вращаться относительно πO .

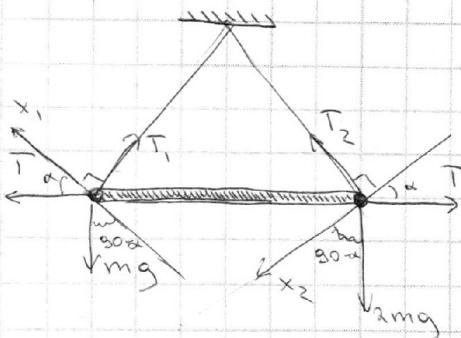
Ускорение будет только тангенциальное, т.к. скорость в

начале равна 0 $\Rightarrow$ центростремительное ускорение равно 0. Значит a_1 направлено перпендикулярно нитке, соединяющей πO и m .

$$\cos(90^\circ - \alpha) = \frac{l}{2r} = \sin \alpha = \frac{1,2r}{2r} = 0,6$$

$$\boxed{\sin \alpha = 0,6} \Rightarrow \cos \alpha = 0,8$$

(2) и (3) Стержень невесомый легкий $\Rightarrow$ сила на него действует только вдоль его длины, иначе он начнет закручиваться.



для груза m 23Н на ось Ox_1 :

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

для груза $2m$ 23Н на ось Ox_2 :

$$2mg \sin \alpha - T \cos \alpha = 2ma_2$$



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!

$a_1 = a_2$, т.к. эти два груза связаны нитью и движутся вместе.

$$\begin{cases} 0,8T - 0,6mg = ma_1 \\ 1,2mg - 0,8T = 2ma_1 \end{cases}$$

~~$$1,8mg = 3ma_1$$~~

$$0,6mg = 3ma_1 \Rightarrow \boxed{a_1 = 0,2g} \quad \boxed{a_1 = 2 \frac{m}{c^2}}$$

$$0,8T = m \cdot 0,2g + 0,6mg = 0,8mg$$

$$\boxed{T = mg} \quad \boxed{T = 2H}$$

Отвеч: (1) $\sin \alpha = \frac{L}{2r} = 0,6$

(2) $a_1 = 0,2g = 2 \frac{m}{c^2}$

(3) $T = mg = 2H$



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 (1) Процесс $2 \rightarrow 3$ имеет теплоемкость $1,5R = C_v \Rightarrow$

это процесс изохора

процесс $3 \rightarrow 1$ имеет теплоемкость $2,5R = C_p \Rightarrow$

это процесс изобара

тогда $p_0 V_0 = 2RT_0$

$$p_3 V_3 = 2R \cdot 3T_0$$

$3 \rightarrow 1$ изобара $\Rightarrow p_3 = p_0 \Rightarrow V_3 = 3V_0$

$$p_0 V_0 = 2RT_0$$

$$p_2 V_2 = 2R \cdot 9T_0$$

$2 \rightarrow 3$ изохора $\Rightarrow V_2 = V_3 = 3V_0 \Rightarrow p_2 = 3p_0$

В процессе $1 \rightarrow 2$ теплоемкость $2R \Rightarrow$

первое начало термодинамики:

$$2R \cdot dT = \frac{3}{2} 2R dT + A_{\text{изох}} \Rightarrow A_{\text{изох}} = \frac{2R dT}{2} =$$

$$= \frac{p dV + V dp}{2} = p dV = A_{\text{изох}} \Rightarrow V dp = p dV \Rightarrow$$

$$\frac{dp}{p} = \frac{dV}{V} = \frac{p_0}{V_0}$$

$$pV = 2RT \Rightarrow p dV + V dp = 2R dT$$

т.к. в начале
 p_0 и V_0

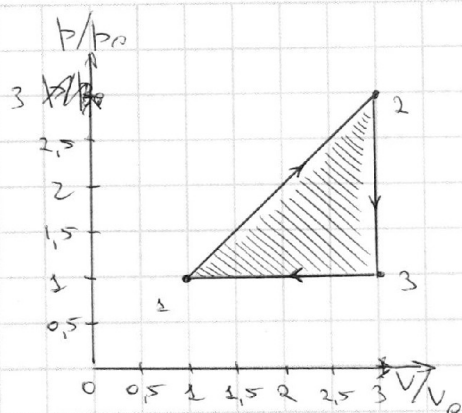


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!



1 → 2 — изобара, т.к.

$$\frac{dp}{dV} = \frac{p_0}{V_0} \Rightarrow \text{коэф. наклона}$$

постоянен и равен $\frac{p_0}{V_0}$

(2) Тепло производится только в процессе 1 → 2.

$$Q_1 = c_{12} \cdot \nu \cdot \Delta T = 2R \cdot \nu \cdot (3T_0 - T_0) = 16\nu RT_0 = Q_1 =$$

$$= 16 \cdot 1 \text{ моль} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 200 \text{ К} = 26592 \text{ Дж} \approx 26,6 \text{ кДж} = Q_1$$

(3) Работа газа в цикле за один раз —
затраченная площадь на графике

$$A = \frac{1}{2} \cdot (3p_0 - p_0) \cdot (3V_0 - V_0) = 2p_0 V_0 = 2 \cdot \nu \cdot R \cdot T_0 = 3324 \text{ Дж}$$

Тогда за N циклов полезная работа произведена

$$A_n = \frac{1}{2} \cdot N \cdot A = 41550 \text{ Дж}$$

$$A_n = M g H \Rightarrow H = \frac{A_n}{M \cdot g} = \frac{41550 \text{ Дж}}{415 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} \approx 10 \text{ м}$$

Ответ: (1) рисунок выше

$$H \approx 10 \text{ м}$$

(2) $Q_1 = 16\nu RT_0 \approx 26,6 \text{ кДж}$

(3) $H = \frac{N\nu RT_0}{Mg} \approx 10 \text{ м}$



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**.



СТРАНИЦА

1 ИЗ 3

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!

⑤(1) Потенциал частицы в точке O равен

$$\varphi_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{R} \text{ т.к. весь заряд расположен на}$$

расстоянии R от точки O . Тогда потенциальная энергия заряда в O $W_0 = \varphi_0 \cdot q = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 R}$

Тогда полная механическая энергия в O

$$E = W_0 + K = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 R} + K$$

По закону сохранения энергии, ~~энергия~~ ^{энергия} на бесконечности такая же, а $\varphi_\infty = 0 \Rightarrow$ вся энергия кинетическая.

$$\frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 R} + K = \frac{mv^2}{2} \Rightarrow v^2 = \frac{2Qq}{2\pi\epsilon_0 m R} + \frac{2K}{m} \Rightarrow$$

$$v = \sqrt{\frac{Qq}{2\pi\epsilon_0 m R} + \frac{2K}{m}}$$



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 ☐

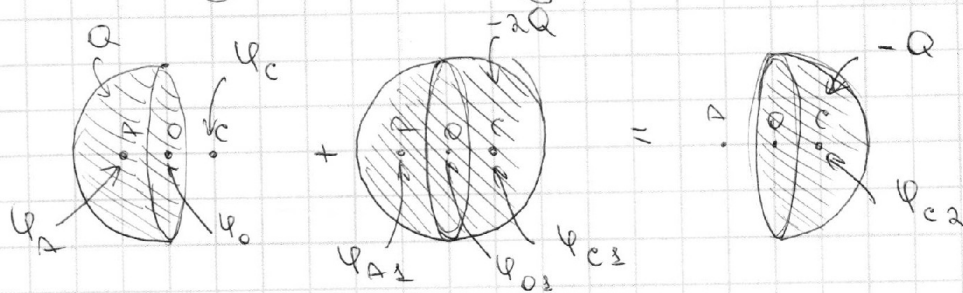
СТРАНИЦА

2 ИЗ 3

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) ~~Вспомним, что для потенциала работает принцип суперпозиции. Тогда добавим поверх того, что у нас уже~~

(2) Вспомним, что для потенциала работает принцип суперпозиции. Тогда добавим в нашу систему сферу радиуса R с центром в т. O и распределением равномерно зарядом $(-2Q)$. Тогда по полусфере соответственно распределен заряд $(-Q)$. Тогда по итогу потенциал ϕ



Тогда по итогу $\phi_{C2} = \phi_C + \phi_{C1} \Rightarrow \phi_C = \phi_{C2} - \phi_{C1}$

Также $\phi_{C2} = -\phi_A$, т.к. положение точки такое же, только заряд полусферы противоположный.

$$\phi_{A1} = \phi_{C1} = \phi_{O1} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{-2Q}{R} = \frac{-Q}{2\pi\epsilon_0 R}, \text{ т.к. поле внутри}$$

равномерно заряженной сферы $0 \Rightarrow$ потенциал одинаковый



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

3 ИЗ 3

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!

$$\varphi_c = -\varphi_A + \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 R} = -\varphi_0 - \frac{k}{d} + \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 R} = \varphi_c$$

$$\varphi_A \cdot d = \varphi_0 \cdot d + k \Rightarrow \varphi_A = \varphi_0 + \frac{k}{d}$$

ЗСЭ:

$$\varphi_0 \cdot d + k = \varphi_c \cdot d + \frac{m v_c^2}{2} \Rightarrow$$

$$\frac{m v_c^2}{2} = k + (\varphi_0 - \varphi_c) d = k + \left(2\varphi_0 + \frac{k}{d} - \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 R} \right) \cdot d =$$

$$= k + \frac{Qd}{2\pi\epsilon_0 R} + k - \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 R} = 2k = \frac{m v_c^2}{2}$$

значит

$$v_c = 2 \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$\text{Ответ: (1) } v = \sqrt{\frac{Qd}{2\pi\epsilon_0 m R} + \frac{2k}{m}}$$

$$(2) v_c = 2 \sqrt{\frac{k}{m}}$$



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!

