



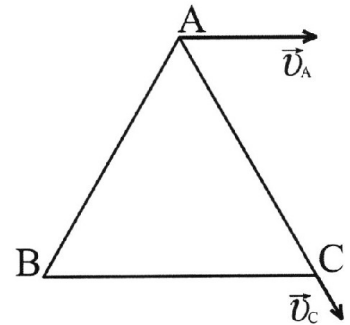
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

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.

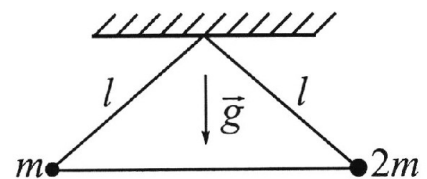
2. Фейерверк установлен на горизонтальной площадке. После мгновенного сгорания топлива начинается полет фейерверка по вертикали. В процессе подъема на высоте $h = 15$ м фейерверк находился через $\tau = 1$ с после начала полета.

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.



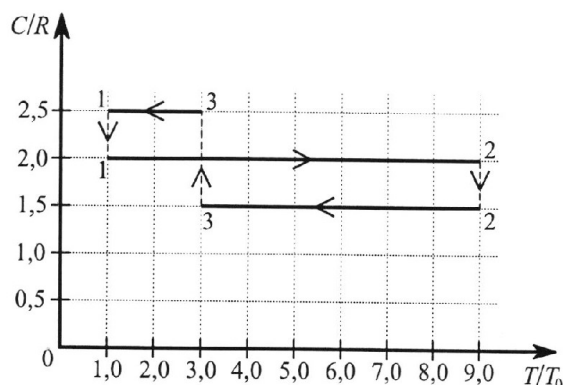
Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2025

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, $T_0 = 200 \text{ K}$.

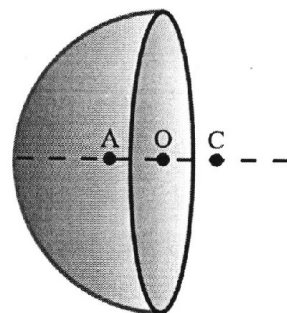


1. Постройте график процесса в координатах $(P/P_0, V/V_0)$, здесь P_0, V_0 – давление и объем газа в состоянии 1.

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 $M = 415 \text{ кг}$ за $N = 25$ циклов тепловой машины? Ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$, универсальная газовая постоянная $R = 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$. 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.

Orber: $V_c = 0,3 \frac{m}{s}$; $\tau = \frac{16\sqrt{3}}{3} \pi \text{ s}$; $R = 18\sqrt{3} \cdot 10^{-6} \text{ H}$



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 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!

Дано:

$$h = 15 \text{ м}$$

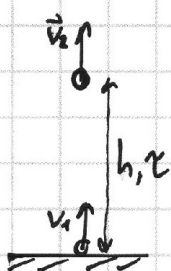
$$\tau = 1 \text{ с}$$

$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$v_0 = 30 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$H = ?$

$L_{\text{max}} = ?$



$$h = v_1 \tau + \frac{g \tau^2}{2} \Rightarrow v_1 = \frac{h + \frac{g \tau^2}{2}}{\tau}$$

$$H = \frac{v_1^2}{2g} = \frac{(15 + \frac{10 \cdot 1^2}{2})^2}{2 \cdot 10} = \frac{(15 + 5)^2}{20} = \frac{400}{20} = 20$$

$$H = \frac{v_1^2}{2g} = \frac{(h + \frac{g \tau^2}{2})^2}{2g \tau^2} = \frac{(15 + 5)^2}{2 \cdot 10} = \frac{400}{20} = 20 \text{ м}$$

ЗСМ для разрыва ракеты: $0 = m \vec{v}_0 + m \vec{u}_0$

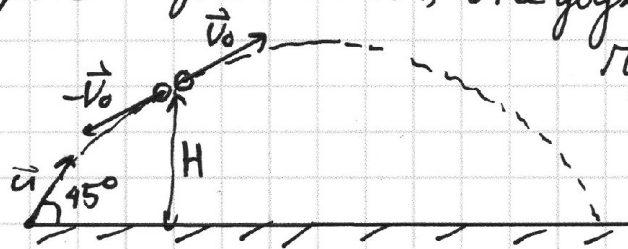
скорость II осколка

т.к. в верхней точке тело неподвижно

$$\vec{u}_0 = -\vec{v}_0$$

значит их скорости противоположны по направлению и равны по модулю. Из-за этого это движение можно представить как бросок одного осколка, а не двух, т.к. траектория (общая) будет совпадать.

Пусть u — скорость осколка на поверхности.



$$\frac{m u^2}{2} = \frac{m v_0^2}{2} + m g H$$

$$u^2 = v_0^2 + 2gH$$

то есть u не зависит от угла, под которым разлетаются осколки

Тогда очевидно, что чтобы максимизировать L , угол, составляющий $\vec{u}$ с горизонтом, должен быть равен 45° .

$$\frac{\sqrt{2}}{2} \cdot u \cdot \tau = L_{\text{max}}$$

$$\frac{\sqrt{2}}{2} u \cdot \frac{g \tau}{g} = \frac{g \tau}{g} \Rightarrow \tau = \frac{\sqrt{2} u}{g} \rightarrow \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot u \cdot \frac{\sqrt{2} u}{g} = L_{\text{max}} \Rightarrow L_{\text{max}} = \frac{u^2}{g} =$$

$$= \frac{v_0^2 + 2gH}{g} = \frac{30^2 + 2 \cdot 10 \cdot 20}{10} = 90 + 40 = 130 \text{ м}$$

Ответ: $H = 20 \text{ м}$; $L_{\text{max}} = 130 \text{ м}$



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
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!

$T = \frac{4}{3} mg = \frac{4}{3} \cdot 0,2 \cdot 10 = \frac{8}{3} \text{ Н}$ *проделание 3.*

Ответ: $\sin \alpha = 0,6$; $a_1 = \frac{8}{3} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$; $T = \frac{8}{3} \text{ Н}$

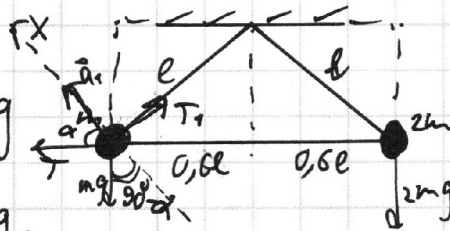
$J = ml^2 + 2ml^2 = 3ml^2$ *проделание 3.*

$J\beta = 0,6l \cdot 2mg - 0,6l \cdot mg = 0,6lmg$

$\beta = \frac{0,6lmg}{J} = \frac{0,6lmg}{3ml^2} = 0,2 \frac{g}{l}$

$a_1 = \beta \cdot l = 0,2 \frac{g}{l} \cdot l = 0,2g = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

Запишем II з-н Ньютона на OX , сонаправленную $\vec{a}_1$.



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

$0,2mg = 0,8T - 0,6mg$

$0,8mg = 0,8T$

$T = mg$

$T = 0,2 \cdot 10 = 2 \text{ Н}$

Ответ: $\sin \alpha = 0,6$; $a_1 = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$; $T = 2 \text{ Н}$



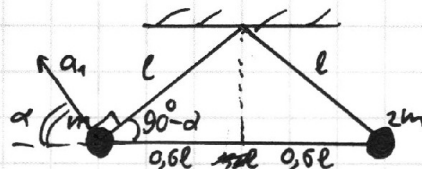
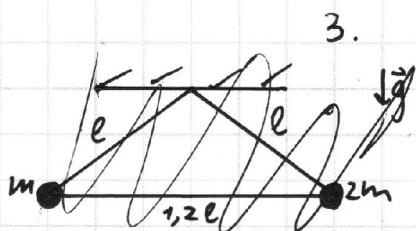
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!

Дано:
 $m = 0,2 \text{ кг}$
 l
 $L = 1,2l$
 $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$
 $\alpha - ?$
 $a_1 - ?$
 $T - ?$

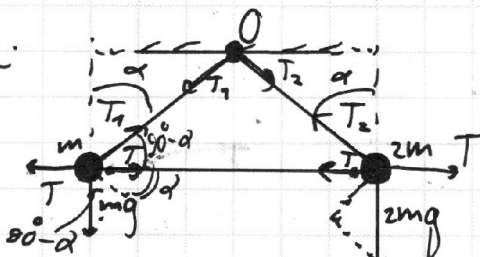


По условию начальная скорость m нулевая. Значит, ~~нормальная~~ центростремительная составляющая его ускорения нулевая (из формулы $a_n = \frac{v^2}{r}$). Значит, ~~направление~~ ускорение m направлено перпендикулярно нити.

Из рисунка: $\cos(90^\circ - \alpha) = \frac{0,6l}{l} = 0,6$

Значит $\sin \alpha = 0,6$.

$\cos \alpha = \sqrt{1 - 0,36} = 0,8$



Запишем закон вращательного движения относительно точки O. T будет как внутренняя сила. T1 и T2 так же (линия их действия проходит через O).

$$J = ml^2 + 2ml^2 = 3ml^2$$

$$J\omega^2 = 2mg \cdot l \cdot \cos \alpha - mgl \cdot \cos \alpha$$

$$J\omega^2 = mgl \cos \alpha$$

$$3ml^2 \omega^2 = mgl \cos \alpha \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{g \cos \alpha}{3l}}$$

Тогда $a_1 = \omega^2 l = \frac{g \cos \alpha}{3} \cdot l = \frac{g \cos \alpha}{3}$

$$J = ml^2 + 2ml^2 = 3ml^2$$

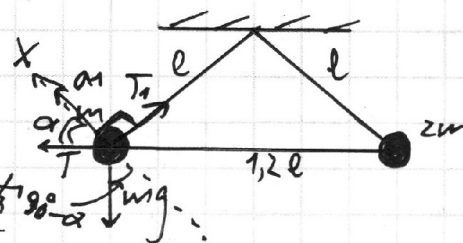
$$J\beta = 2mgl \cos \alpha - mgl \cos \alpha = mgl \cos \alpha$$

$$3ml^2 \beta = mgl \cos \alpha$$

$$a_1 = \beta \cdot l = \frac{g \cos \alpha}{3} \cdot l = \frac{g \cos \alpha}{3} = g \cdot \frac{4}{15} = \frac{4}{15} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Запишем II з-н. Ньютона на OX, совпадающую по направлению с $\vec{a}_1$.

$$T \cos \alpha = m \left(\frac{4}{15} g + 0,8g \right) \Rightarrow T = \frac{5}{4} m g \left(\frac{40 + 120}{150} \right) = \frac{5}{4} \cdot \frac{4}{15} m g = \frac{4}{3} m g$$



Т.к. стержень лёгкий, T направлено вдоль стержня, иначе было бы бесконечное ускорение.



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!

продолжение 4.

$$H = \frac{NVRT_0}{mg} = \frac{25 \cdot 1 \cdot 8,31 \cdot 200}{415 \cdot 10} = \frac{831 \cdot 25}{83 \cdot 10} \approx 2 \text{ м}$$

$$1500 \cdot 265920$$

$$\text{Ответ: } Q_1 = 26592 \text{ Дж; } H = 2 \text{ м}$$

$$\frac{100 \cdot 260 \cdot 2}{4} = 1300$$

$$H = \frac{NVRT_0}{mg} = \frac{25 \cdot 8,31 \cdot 200}{415 \cdot 10} = \frac{8,31 \cdot 100 \cdot 200}{5 \cdot 83 \cdot 107} = \frac{831}{83} \approx 10 \text{ м}$$

$$2000 \cdot 1000$$

$$\text{Ответ: } Q_1 = 26592 \text{ Дж; } H = 10 \text{ м}$$



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.

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.

Дано:
 $T_0 = 200 \text{ K}$
 $M = 915 \text{ кг}$
 $N = 25$
 $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$
 $\eta = \frac{1}{2}$
 $Q_1 = ?$
 $H = ?$

$$C_{32} = \frac{3}{2} R$$

$C_V = \frac{3}{2} R \Rightarrow$ процесс $2 \rightarrow 3$ — изохорический.

$$C_{31} = \frac{5}{2} R$$

$C_P = \frac{5}{2} R \Rightarrow$ процесс $3 \rightarrow 1$ — изобарический.

Для процесса $1 \rightarrow 2$: ~~из~~ $pV^n = \text{const}$

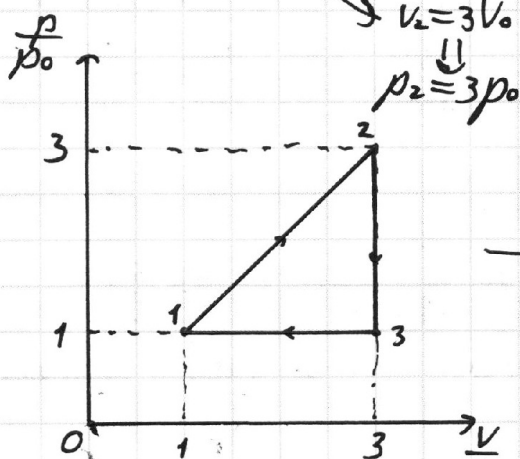
$$n = \frac{C - C_P}{C - C_V} = \frac{2R - \frac{5}{2}R}{2R - \frac{3}{2}R} = \frac{-\frac{1}{2}R}{\frac{1}{2}R} = -1$$

$\frac{p}{V} = \text{const} \Rightarrow$ процесс ~~3-1~~ — прямая из начала

координат.
 $p_0 V_0 = \nu R T_0$
 состояние 1.

$p_2 V_2 = \nu R T_0$
 состояние 2

$p_0 V_2 = 3 \nu R T_0$
 состояние 3



$$\begin{array}{r} \times 831 \\ 1 \times 32 \\ \hline 1662 \\ 2493 \\ \hline 26592 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 831 \\ 1 \times 32 \\ \hline 1662 \\ 2493 \\ \hline 26592 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 831 \\ 1 \times 32 \\ \hline 1662 \\ 2493 \\ \hline 26592 \end{array}$$

График $\frac{p}{p_0} \left(\frac{V}{V_0} \right)$

$$\frac{dQ}{dV} = \frac{dU}{dV} + \frac{dW}{dV} = \frac{dU}{dV} + \frac{p}{V}$$

Отсюда подставляем $1 \rightarrow 2$

$$Q_1 = 2p_0 V_0 + p_0 2V_0 = 4p_0 V_0 = 4 \nu R T_0 = 4 \cdot 200 \cdot 8,31 = 831 \cdot 8 = 6648 \text{ Дж}$$

расширение — процесс $1 \rightarrow 2$.

$$Q_1 = C \cdot \nu \cdot \Delta T = 2R \cdot \nu \cdot 8T_0 = 16 \nu R T_0 = 16 \cdot 1 \cdot 8,31 \cdot 200 = 831 \cdot 32 = 26592 \text{ Дж}$$

из графика температуры
 $1 \rightarrow 2$ равна $2R$.

Работа за цикл — площадь треугольника $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$: $A = \frac{2p_0 \cdot 2V_0}{2} = 2p_0 V_0 = 2 \nu R T_0$

Значит полезная работа $A_{\text{п}} = \eta \cdot 2 \nu R T_0 = \nu R T_0$

Значит вся полезная работа $A_{\text{н}} = N \cdot A_{\text{п}} = N \nu R T_0$

$$3C3: M g H = A_{\text{н}} \Rightarrow M g H = N \nu R T_0 \Rightarrow H = \frac{N \nu R T_0}{M g}$$



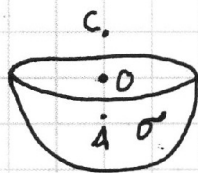
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 2 3 4 5 6 7
☐ ☐ ☐ ☐ ☒ ☐ ☐

СТРАНИЦА
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!

Дано:
 R
 m, q
 k
 ϵ_0



5.
 σ — поверхностная плотность зарядов на сфере. $\sigma = \frac{Q}{2\pi R^2}$.

Разделим сферу на маленькие dS и посчитаем потенциал от них как от точечных зарядов.

$$d\varphi = \frac{k \cdot dQ}{R^2} = \frac{\sigma \cdot dS}{4\pi\epsilon_0 R^2} = \frac{Q \cdot dS}{8\pi^2 \epsilon_0 R^3}$$

$$\varphi_0 = \int d\varphi = \int \frac{Q dS}{8\pi^2 \epsilon_0 R^3} = \frac{Q}{8\pi^2 \epsilon_0 R^3} \cdot 4\pi R^2 = \frac{Q}{2\pi \epsilon_0 R}$$

Тогда потенциальная энергия заряда q в точке O :

$$W_0 = \varphi_0 \cdot q = \frac{qQ}{2\pi R \epsilon_0}$$

ЗСЭ на заряд q : $W_A = W_0 + K \Rightarrow W_A = \frac{qQ}{2\pi R \epsilon_0} + K$

В Когда заряд q будет на большом расстоянии, $W_\infty = 0$.

Тогда ЗСЭ: $W_A = W_\infty + \frac{mv^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2W_A}{m}} = \sqrt{\frac{qQ}{2\pi R \epsilon_0 m} + 2K}$

Рассмотрим равномерно заряженную сферу. Напряженность внутри неё 0 (это известный факт). Разделим сферу на 2 полушария.

Они создают во всех точках внутри сферы одинаковую напряженность, но в разных направлениях. Изобразим тогда силовые линии одной полушария на рисунке:

$$\varphi_0 - \varphi_A = \int_A^0 \vec{E} \cdot d\vec{x}$$

$$\varphi_c - \varphi_0 = \int_0^c \vec{E} \cdot d\vec{x}$$

$$\int_0^c \vec{E} \cdot d\vec{x} = \int_A^0 \vec{E} \cdot d\vec{x}, \text{ потому что в каждой точке, симметричной относительно } O \text{ на линии } AC, \vec{E} \text{ равен.}$$

Значит, $\varphi_0 - \varphi_A = \varphi_c - \varphi_0 \Rightarrow W_0 - W_A = W_c - W_0 \Rightarrow W_c = 2W_0 - W_A = 2W_0 - W_0 - K = W_0 - K$

ЗСЭ: $W_A = W_c + \frac{mv_c^2}{2} \Rightarrow \frac{mv_c^2}{2} = W_A - W_c \Rightarrow \frac{mv_c^2}{2} = 2K \Rightarrow v_c = 2\sqrt{\frac{K}{m}}$

Ответ: $v = \sqrt{\frac{qQ}{2\pi R \epsilon_0 m} + 2K}$; $v_c = 2\sqrt{\frac{K}{m}}$; $v = \sqrt{\frac{qQ}{2\pi R \epsilon_0 m} + 2K}$



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
☐

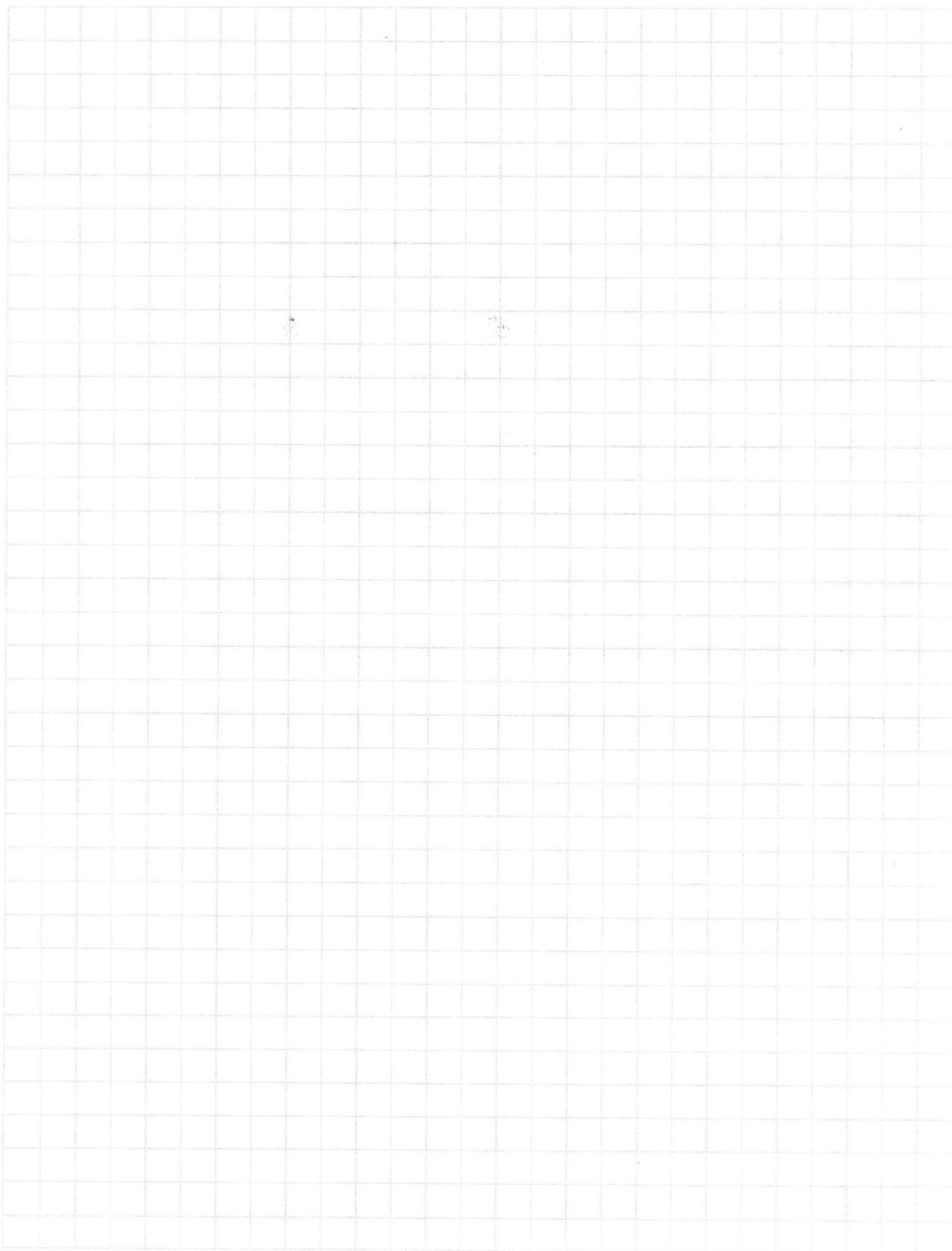
5
☐

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!





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
☐

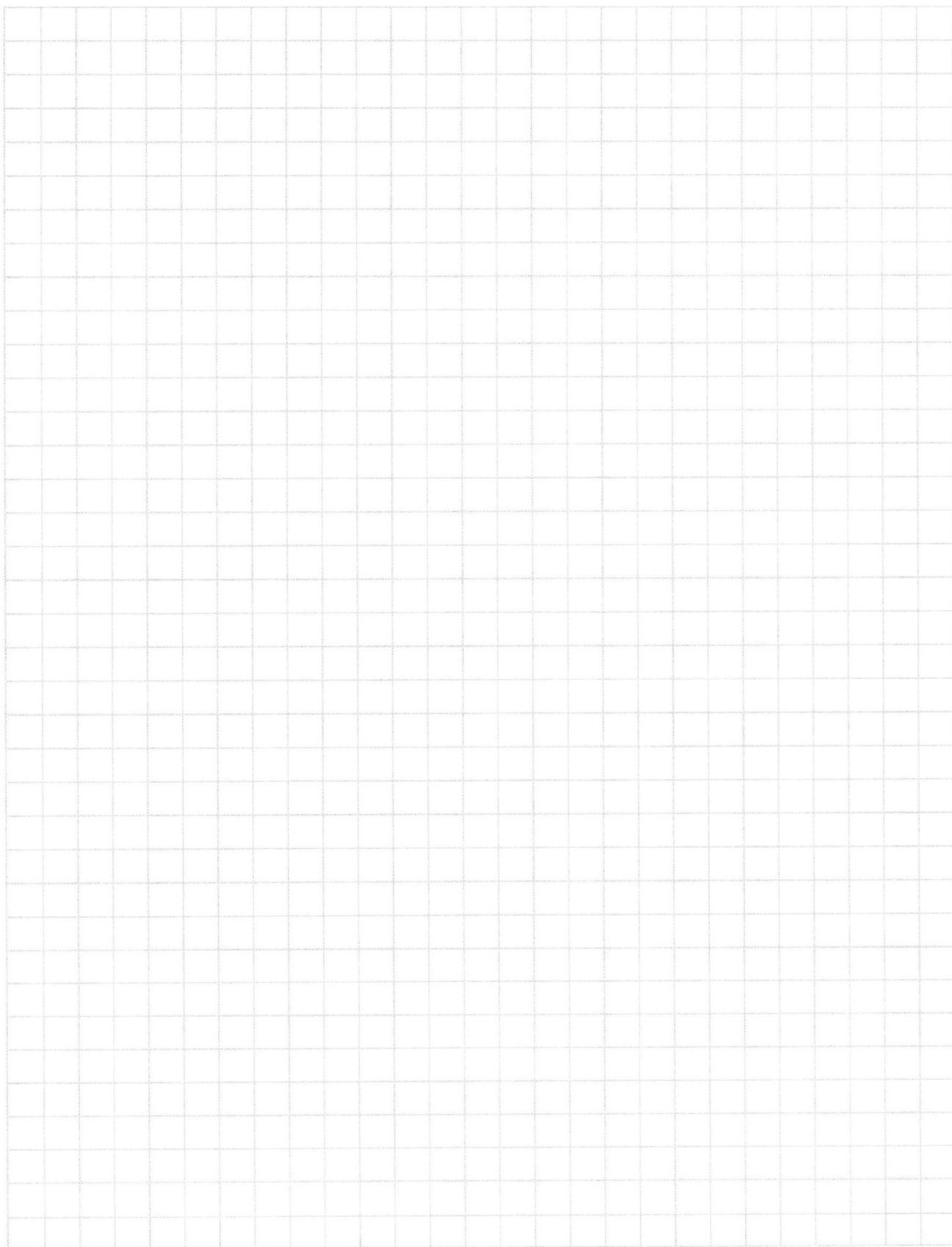
5
☐

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!





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!

