



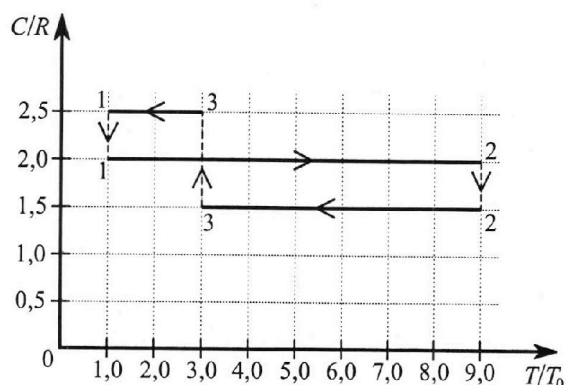
Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2025

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.

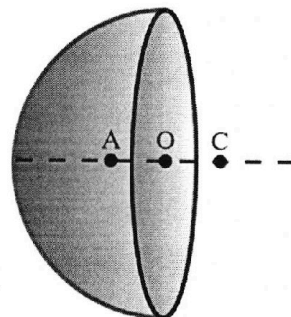


1. Постройте график процесса в координатах $(P/P_0, V/V_0)$, здесь P_0, V_0 – давление и объем газа в состоянии 1.

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 К.



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.



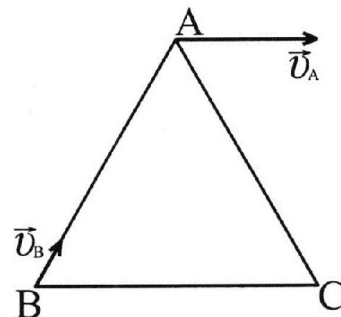
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

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.

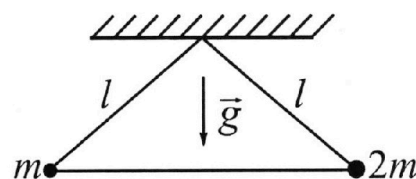
2. Фейерверк установлен на горизонтальной площадке. После мгновенного сгорания топлива начинается полет фейерверка по вертикали.

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 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.

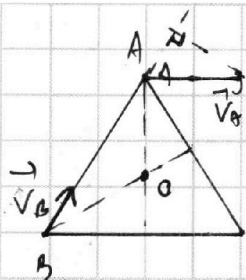


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

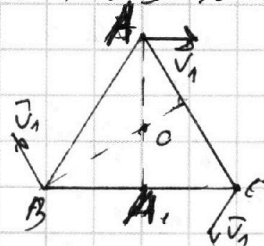
СТРАНИЦА
1 ИЗ 1

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!



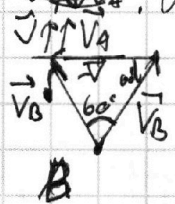
N1

Пластина, очевидно, вращается относительно центра масс. Рассматривая треугольник AB: расстояния между точками A и B известны $\Rightarrow$ скорости V_B и V_A на отрезке AB равны. $V_{Bx} = V_B$; $V_{Ax} = V_A \cdot \cos 60^\circ = \frac{V_A}{2} \Rightarrow V_B = \frac{V_A}{2} \Rightarrow V_A = 2V_B = 98 \text{ м/с}$



Перед переходом в систему отсчета центр масс пластины O: в нем вершины равностороннего треугольника движутся с равными скоростями перпендикулярно соответствующим отрезкам из O в вершины, т.е. $V_A' \perp AO$; $V_B' \perp BO$; $V_C' \perp CO$.

Векторы скоростей V_A и V_B взаимно перпендикулярны $\Rightarrow$ пластина движется в момент времени t вокруг центра масс O. Скорости V_A и V_B известны. Рассматривая треугольник B: $V = V_B$; $V = V_B$ - равнобедренный $\Rightarrow$



представляет из себя векторы V_B ; $-V$ и V_B - равнобедренный $\Rightarrow$ $V = V_B = \frac{V_A}{2}$.

Омываемая пластина имеет Δ вершины движется со скоростью $0,4 \text{ м/с}$

Найдем длину отрезка AO: длина медианы $AA_1 = a \cdot \sin 60^\circ = \frac{a\sqrt{3}}{2}$ с - пересечение медиан $\Rightarrow \frac{AO}{AA_1} = \frac{2}{3} \Rightarrow AO = \frac{2}{3} AA_1 = \frac{a\sqrt{3}}{3}$ Тогда длина отрезка AO равна $\frac{2}{3} \cdot \frac{a\sqrt{3}}{2} = \frac{a\sqrt{3}}{3}$ тогда время T отрезка отрезка: $T = \frac{2 \cdot \frac{a\sqrt{3}}{3} \cdot \frac{a\sqrt{3}}{3}}{3 \cdot V_B} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 99 \cdot \sqrt{3}}{3 \cdot 94} \approx \frac{6,28}{1,25} \approx 5,02$

Пластина движется в с.о. центр масс пластины движется со скоростью $V_B \perp$ вектору из O в вершину C. В инерциальной с.о. земли к вектору скорости пластины добавляется вектор скорости пластины V , но это не важно, т.к. результирующая всех сил будет давать центростремительное ускорение, а это не поддается изменению не перекладывая в ИС земли.

Рассчитаем радиус вращения: $R = a_{\text{ос}} \cdot m = \frac{V^2}{r} \cdot m = \frac{V_A^2 \cdot \sqrt{3}}{9} = \frac{94^2 \cdot \sqrt{3}}{9} = 9000 \cdot \sqrt{3} \cdot \text{Н} = 9000 \cdot \sqrt{3} \cdot 10^{-2} \text{ Н}$ $R = \frac{94^2 \cdot 0,0012 \cdot \sqrt{3}}{9} = 9000 \cdot \sqrt{3} \cdot 10^{-2} \text{ Н}$

Итого: $V_A = 98 \text{ м/с}$; $T \approx 3,6 \text{ с}$; $R = 9000 \cdot \sqrt{3} \cdot 10^{-2} \text{ Н}$



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 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!

N2

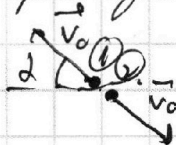
Промежуточные моменты движения, считая что свободное падение происходит с некоторой скоростью V_H , считая на него действовала малая или большая (до нуля). Из формулы для малых M и скорости $-$

~~В момент свободного падения скорость V_H равна нулю.~~
~~Скорость свободного падения V_H равна нулю.~~
Ускорение свободного падения g , тогда:

$$h = \frac{V_H^2 - V^2}{2g} \Rightarrow V_H = \sqrt{2gh + V^2}$$

$$\text{тогда } h = \frac{V_H^2}{2g} = \frac{2gh + V^2}{2g} = h + \frac{V^2}{2g}; H = 14,2 \text{ м} + \frac{(16 \frac{\text{м}}{\text{с}})^2}{2 \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = 14,2 \text{ м} + 12,8 \text{ м} = 27 \text{ м}$$

После вылета свободное падение. Скорость движения V_0 $\Rightarrow$ отсюда можно найти скорость V_0 и направление по направлению (м.к. м. g) скорости



Пусть V_0 составляет угол α с горизонтом. Тогда найдем время движения:

$$① H = V_0 \sin \alpha t + \frac{gt^2}{2}$$

$$\frac{gt^2}{2} - V_0 \sin \alpha t - H = 0$$

$$D = V_0^2 \sin^2 \alpha + 2gH$$

$$t_1 = \frac{V_0 \sin \alpha + \sqrt{V_0^2 \sin^2 \alpha + 2gH}}{g}$$

$$L_1 = V_0 \cos \alpha \cdot t_1 = \frac{V_0 \cos \alpha (V_0 \sin \alpha + \sqrt{V_0^2 \sin^2 \alpha + 2gH})}{g}$$

$$② H = V_0 \sin \alpha t + \frac{gt^2}{2}$$

$$\frac{gt^2}{2} + V_0 \sin \alpha t - H = 0$$

$$D = V_0^2 \sin^2 \alpha + 2gH$$

$$t_2 = \frac{-V_0 \sin \alpha + \sqrt{V_0^2 \sin^2 \alpha + 2gH}}{g}$$

$$L_2 = V_0 \cos \alpha \cdot t_2$$

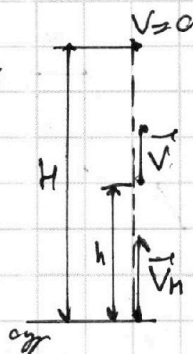
$$L = L_1 + L_2 = V_0 \cos \alpha \left(\frac{V_0 \sin \alpha + \sqrt{V_0^2 \sin^2 \alpha + 2gH}}{g} + \frac{-V_0 \sin \alpha + \sqrt{V_0^2 \sin^2 \alpha + 2gH}}{g} \right) = \frac{2V_0 \cos \alpha \cdot \sqrt{V_0^2 \sin^2 \alpha + 2gH}}{g}$$

наименьшее значение при $\cos \alpha = 1$, т.е. $\alpha = 0$

$$L_{\min} = \frac{2V_0 \sqrt{2gH}}{g} = \frac{2 \cdot 20 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \sqrt{2 \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 16 \text{ м}}}{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = 40 \cdot \sqrt{320 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} = 40 \cdot 8 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \sqrt{5} = 320 \sqrt{5} \text{ м}$$

~~$L_{\min} = 320 \sqrt{5} \text{ м}$~~

$$\text{Ответ: } H = 16 \text{ м}; L_{\min} = 320 \sqrt{5} \text{ м}$$



$m_8 \approx 1.2 M$
 Ambem: $540 = 98$; $q_2 = \frac{8}{3} \frac{u}{c^2}$; $T = 116 M$
 $T = 3.2 M$



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 ☐

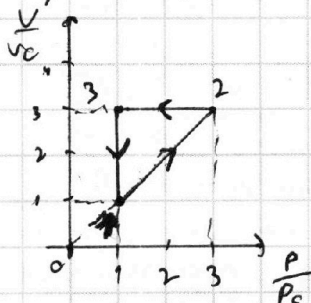
СТРАНИЦА
1 ИЗ 1

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!

№4

Если газ изохорно сжимается, то, когда $\frac{C}{R} = 1,5$ - изохора
или $V = \text{const}$, когда $\frac{C}{R} = 2,5$ - изохора $p = \text{const}$ (или $C_p = \frac{5}{2}R$; $C_v = \frac{3}{2}R$)
 $C_{12} = 2VR$; $C_{23} = 1,5VR$; $C_{31} = 2,5VR$ - теплоемкость газа в данном процессе

Процесс 3 → 1 - при $p = \text{const}$, отношение $\frac{T}{T_0}$ увеличивается в 3 раза ⇒
соответственно увеличивается в 3 раза ⇒ $V_3 = 3V_0$; $p_3 = p_0$
В процессе 2 → 3 - при $V = \text{const}$, отношение $\frac{T}{T_0}$ увеличивается в 3 раза ⇒
3 раза ⇒ давление увеличивается в 3 раза ⇒ $V_2 = V_3 = 3V_0$; $p_3 = 3p_2 = 3p_0$



Максимальное давление 1 → 2 не меняется, следовательно не меняется, следовательно $C = 2VR$, следовательно - изохора, следовательно $V_2 = V_1$

Каждый процесс: отношение равно, следовательно
из уравнения $P(V)$, то есть $P_3 = 3P_2$, следовательно, следовательно на $P_0 V_0$

$$A_{12} = p_0 V_0 \cdot S_0 = \sqrt{RT_0} \cdot 2 = 2 \text{ Дж} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 300 \text{ К} = 24930 \text{ Дж}$$

Значит процесс 3 → 1 - изохора, следовательно, следовательно, следовательно $\frac{1}{2}$ раз -
тогда не подходит! $\frac{1}{2} \cdot 24930 = 12465 \text{ Дж} \Rightarrow H = \frac{10 A_{12}}{m_8} = \frac{10 \cdot 24930 \text{ Дж}}{40 \text{ кг}} = 62,325 \text{ м}$

$$\text{Ответ: } A_{12} = 24930 \text{ Дж}; H = 62,325 \text{ м}$$



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

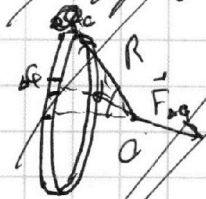
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

15

Масса O — центр сферы, на которой взята зарядовая оболочка.

~~Пусть на Q зарядовая оболочка сферы зарядов Q — $\frac{Q}{4\pi R^2} \cdot dS = \frac{Q}{4\pi R^2} \cdot dS$.~~

Пусть сферу намотали келью: рассмотрим криволинейную келью, на которой заряд Q_0 для расстояния в точке O .



Для малых расстояний келью можно считать точечным зарядом Q_0 .

$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q_0 Q}{R^2}$ — из закона Кулона и AC .

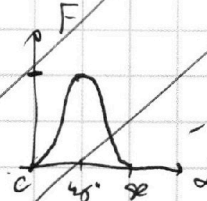
Сколько все силы на келью результируются $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q_0 Q}{R^2}$.

Заряд Q_0 келью, находящийся на поверхности сферы, равен $2\pi R \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha$.

$S = 2\pi R \sin \alpha \cdot d\alpha$ — площадь, $Q_0 = \frac{Q}{4\pi R^2} \cdot 2\pi R \sin \alpha \cdot d\alpha = \frac{Q \sin \alpha \cdot d\alpha}{2R}$.

$$F_0 = \frac{Q \sin \alpha \cdot d\alpha}{4\pi\epsilon_0 R^2} = \frac{Q \sin \alpha \cdot d\alpha}{8\pi\epsilon_0 R^2}$$

масса, в келью, F



— ~~уменьшение~~ —

Заряд распределён равномерно. Площадь келью $S = \frac{4\pi R^2}{2} = 2\pi R^2$.

масса, заряд на малой площади dS : $dQ = \frac{Q}{S} \cdot dS$.

в точке O , для всех келью dQ сила dF направлена по радиусу, поэтому (направление силы одинаково): $dF = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q \cdot dQ}{R^2}$.

— ~~уменьшение~~ — $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q^2}{R^2}$. На расстоянии $F \rightarrow 0$.

$$\text{масса } F = \frac{mV_0^2}{2} = K$$

$$\frac{mV_0^2}{2} = K - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q^2}{R^2}$$

$$V_0 = \sqrt{\frac{2}{m} \left(K - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q^2}{R^2} \right)}$$

в точке A , $V_A = c$, $K = \frac{1}{2} m c^2$.

Если dQ сфера dQ — келью, то dQ — келью, то dQ — келью.

А dQ — келью, $dQ = dQ$, келью — келью.



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!

Если от центра двух точек, по ней от ~~от~~ распределит равно-
мерное заряд, то сила отталкивания равна, т.к. точки A и C
лежат на одной симметрии, равноудалены от точки O, ~~свой~~
результатом будет сила со стороны центра равна, в обоих случаях,
то же самое для точек на отрезке AC, поэтому симметрия;
итог $\Rightarrow$ После зарядов совершили равную работу не изменили
заряды q из ABC и из OBC $\Rightarrow K_C = 2K_O$

$$K_C = \frac{mV_C^2}{2} = \frac{K_C}{r} = \frac{mV_C^2}{r} \Rightarrow V_C = V_O \sqrt{2} = \sqrt{\frac{4}{m} \left(K - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{R} \right)} =$$

$$\text{Ответ: } V_O = \sqrt{\frac{2}{m} \left(K - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{R} \right)}; V_C = \sqrt{\frac{4}{m} \left(K - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{R} \right)}$$



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
☐

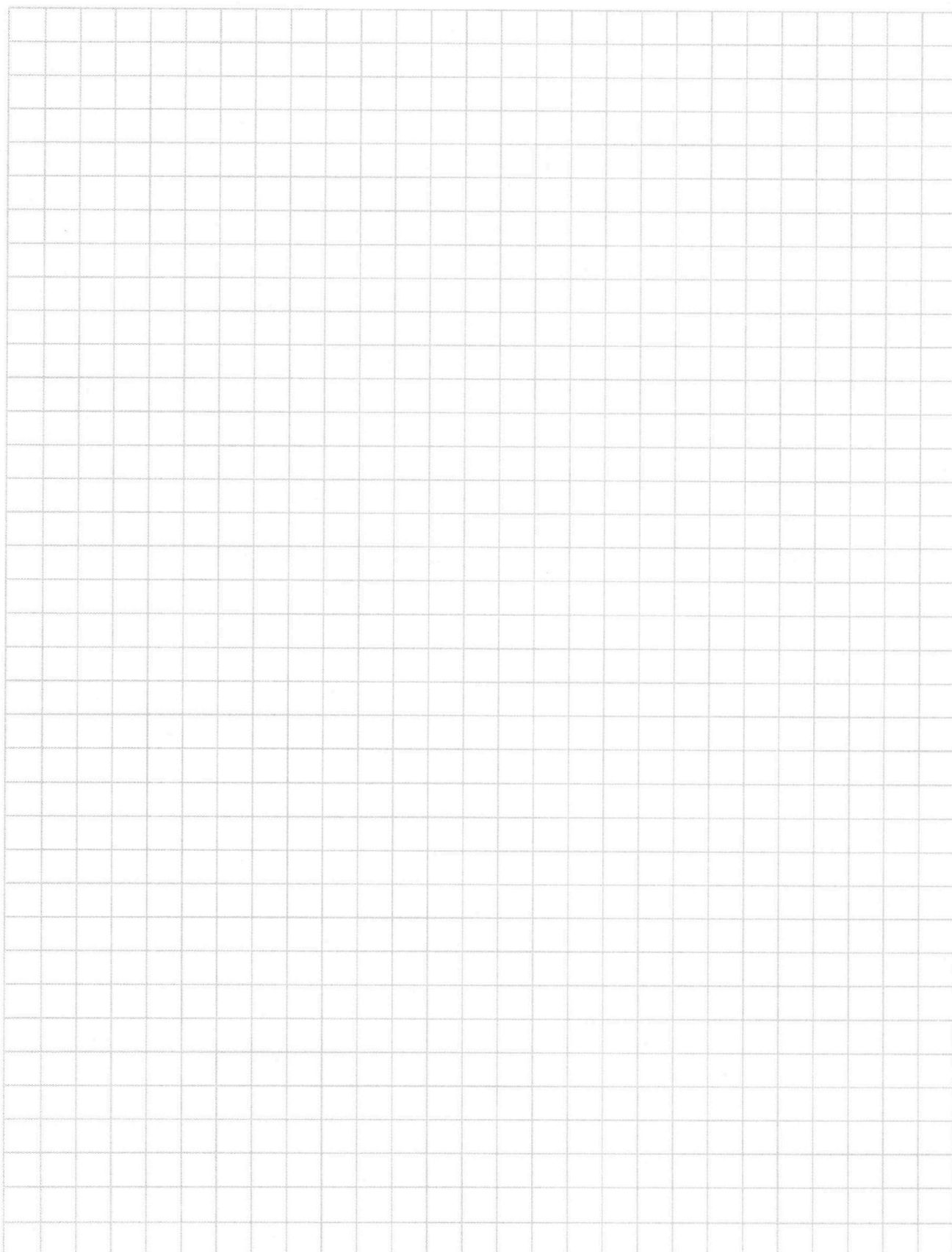
5
☐

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
☐

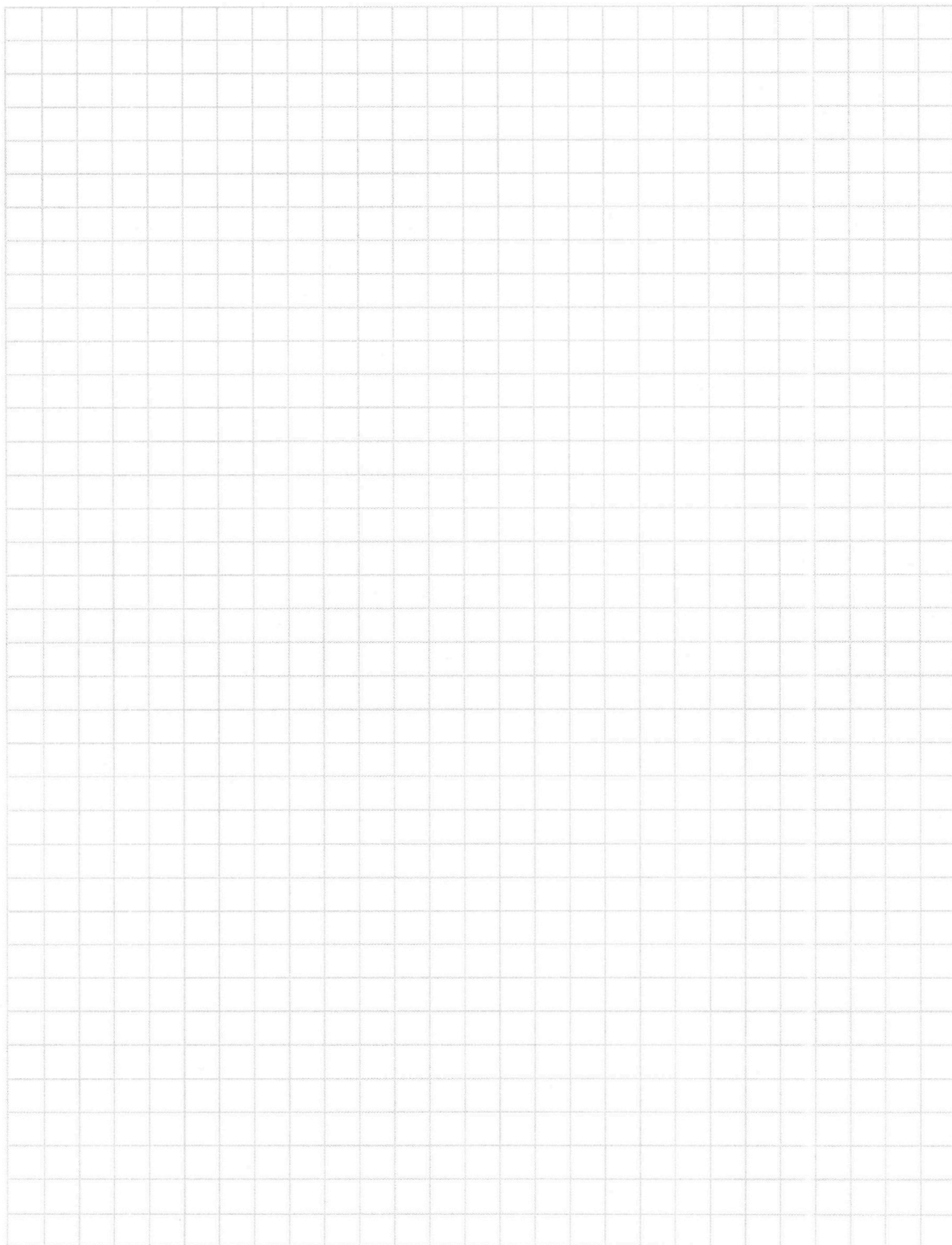
5
☐

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!



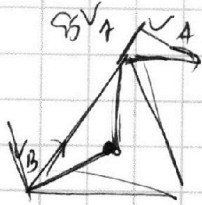


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!



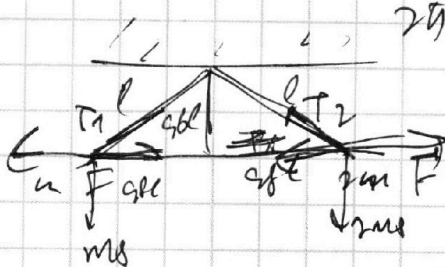
Черновик

$$0,5 V_A = V_B$$
$$V_A = 0,8 \text{ м/с}$$

$$94,900012 = 9,000048$$

~~90000~~ 24,2

32



$$m_8 = 96 T_1 \Rightarrow T_1 = \frac{m_8}{96} = \frac{5}{3} m_8$$

$$T_1 \cdot 98 = F = \frac{4}{3} m_8$$

$$pV = \nu RT$$

$$p \cdot \nu V = \nu R \cdot 2T \quad A = pV$$

$$Q = pV + CT = T(\nu R + C)$$

$$\begin{array}{r} 8,31 \\ 3 \\ \hline 24,93 \end{array}$$

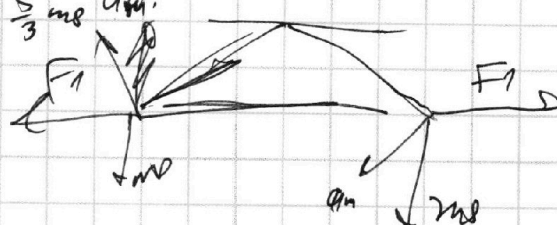
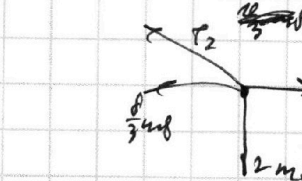
$$\begin{array}{r} 6,28 \overline{) 7,25} \\ 5,25 \\ \hline 1,03 \\ 1,03 \\ \hline 0,00 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1,28 \\ 1,28 \\ \hline 0,00 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1,24 \\ 1,24 \\ \hline 0,00 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 2,22 \\ 2,22 \\ \hline 0,00 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 2,25 \\ 2,25 \\ \hline 0,00 \end{array}$$



2m8.

$$pV = \nu RT$$
$$pV = \nu R 2T$$

$$Q = C \cdot T$$

$$\begin{array}{r} 24939,00 \\ 2400 \overline{) 623,25} \\ \hline 930 \\ 930 \\ \hline 0,00 \end{array}$$



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
__ 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!

