



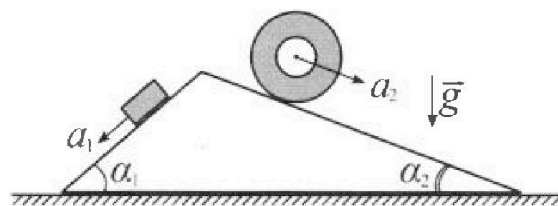
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2024

Вариант 11-01

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



1. С клина, находящегося на шероховатом горизонтальном столе, соскальзывает брусок массой m с ускорением $a_1 = 5g/13$ и скатывается без проскальзывания полый цилиндр массой $4m$ с ускорением $a_2 = 5g/24$ (см. рис.). Клин остается в покое. Углы наклона поверхностей клина к горизонту α_1 ($\sin \alpha_1 = 3/5$, $\cos \alpha_1 = 4/5$) и α_2 ($\sin \alpha_2 = 5/13$, $\cos \alpha_2 = 12/13$). Направления всех движений лежат в одной вертикальной плоскости.

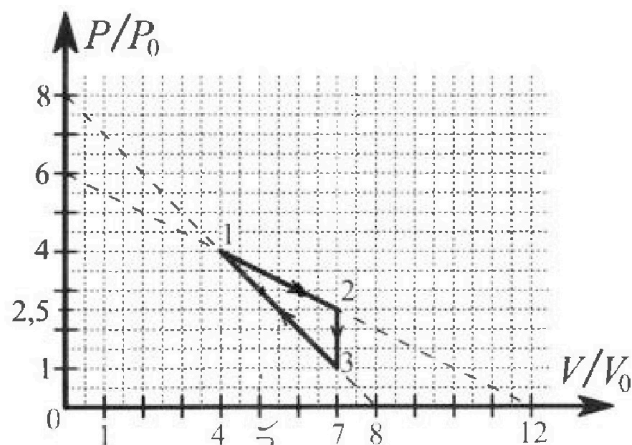


- 1) Найти силу трения F_1 между бруском и клином.
- 2) Найти силу трения F_2 между цилиндром и клином.
- 3) Найти силу трения F_3 между столом и клином.

Каждый ответ выразить через m и g с числовым коэффициентом в виде обыкновенной дроби.

2. С идеальным одноатомным газом совершают циклический процесс 1-2-3-1. На рисунке представлена зависимость P/P_0 от V/V_0 . Здесь V и P - объем и давление газа, V_0 и P_0 - некоторые неизвестные объем и давление.

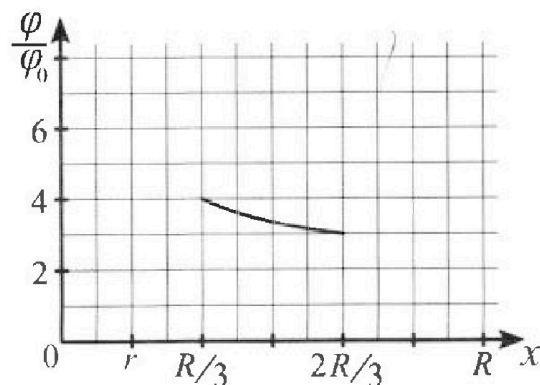
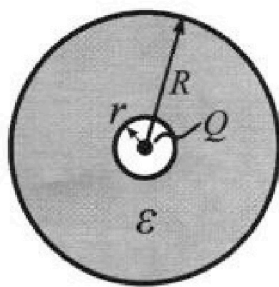
- 1) Найдите отношение модуля приращения внутренней энергии газа в процессе 2-3 к работе газа за цикл.
- 2) Найдите отношение максимальной температуры газа в процессе 1-2 к температуре газа в состоянии 1.
- 3) Найдите КПД цикла.



Ответы выразите числом в виде обыкновенной дроби или целого числа.

3. В центре полого шара с диэлектрической проницаемостью ϵ и радиусами поверхностей r и R находится шарик с зарядом Q (см. рис.). Известна графическая зависимость потенциала φ электрического поля внутри диэлектрика от расстояния x от центра полого шара в интервале изменений x от $R/3$ до $2R/3$ (см. рис.). Здесь φ_0 - потенциал в некоторой точке вне шара. Потенциал в бесконечно удаленной точке принят равным нулю.

- 1) Считая известными r , R , Q , ϵ , найти аналитическое выражение (в виде формулы) для потенциала внутри диэлектрика при $x = R/4$.
- 2) Используя график, найти численное значение ϵ .





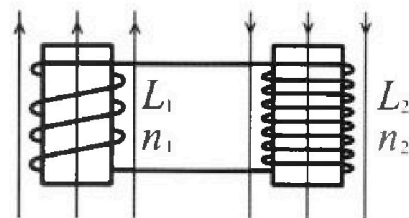
Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2024

Вариант 11-01

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.

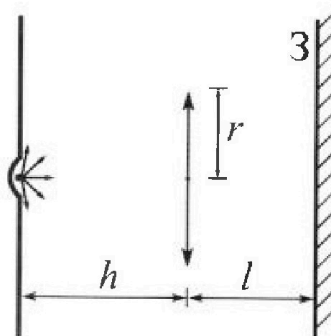


4. Две катушки с индуктивностями $L_1 = L$ и $L_2 = 4L$ и числами витков $n_1 = n$ и $n_2 = 2n$ помещены во внешние однородные магнитные поля с постоянными во времени индукциями (см. рис.). Площадь витка каждой катушки S . Индукции внешних полей направлены перпендикулярно плоскостям витков катушек. Катушки находятся достаточно далеко друг от друга. Омическое сопротивление катушек и соединительных проводов пренебрежимо мало. Вначале тока в катушках нет.



- 1) С какой скоростью (по модулю) начнет изменяться ток в катушках, если в катушке с индуктивностью L_1 индукция внешнего поля начнет возрастать со скоростью $\Delta B / \Delta t = \alpha (\alpha > 0)$, а во второй катушке внешнее поле останется неизменным?
- 2) За некоторое время индукция внешнего поля в катушке с индуктивностью L_1 уменьшилась от B_0 до $B_0/2$, не изменив направления, а в катушке с индуктивностью L_2 индукция внешнего поля уменьшилась от $2B_0$ до $2B_0/3$, не изменив направления. Внешние поля в катушках изменялись неравномерно. Найти ток (по модулю) в катушках к концу изменения внешних полей. Ответ дать с числовым коэффициентом в виде обыкновенной дроби.

5. В стене сделана небольшая выемка, внутри которой находится маленькая лампочка так, что прямой свет от лампочки на стену не попадает (см. рис.). Справа от лампочки на некотором расстоянии h расположена тонкая собирающая линза с фокусным расстоянием $F = h/2$. Главная оптическая ось линзы горизонтальна и проходит через лампочку. Радиус линзы $r = 3$ см. Справа от линзы на расстоянии $l = 2h/3$ расположено параллельно стене плоское зеркало 3. Считать, что свет, идущий мимо линзы, проходит плоскость линзы беспрепятственно. Размеры стены и зеркала намного больше размеров линзы.



- 1) Найдите площадь неосвещённой части зеркала.
- 2) Найдите площадь неосвещённой части стены.

Ответы дайте в $[\text{см}^2]$ в виде $\gamma\pi$, где γ - целое число или простая обыкновенная дробь.



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!

$$N_2 \sin \alpha_2 - N_1 \sin \alpha_1 + F_1 \cos \alpha_1 - F_2 \cos \alpha_2 - F_g = 0$$

$$F_3 = \left(\frac{14 \cdot 4}{65} - \frac{12}{25} + \frac{48 \cdot 5}{13^2} - \frac{5 \cdot 22}{13^2} \right) mg$$

$$F_3 = \left(-\frac{4}{13} + \frac{10}{13} \right) mg = \frac{6}{13} \cdot mg$$

$$\text{Ответ: } 1) F_1 = \frac{14}{65} mg; 2) F_2 = \frac{55}{72} mg; 3) \frac{6}{13} mg$$

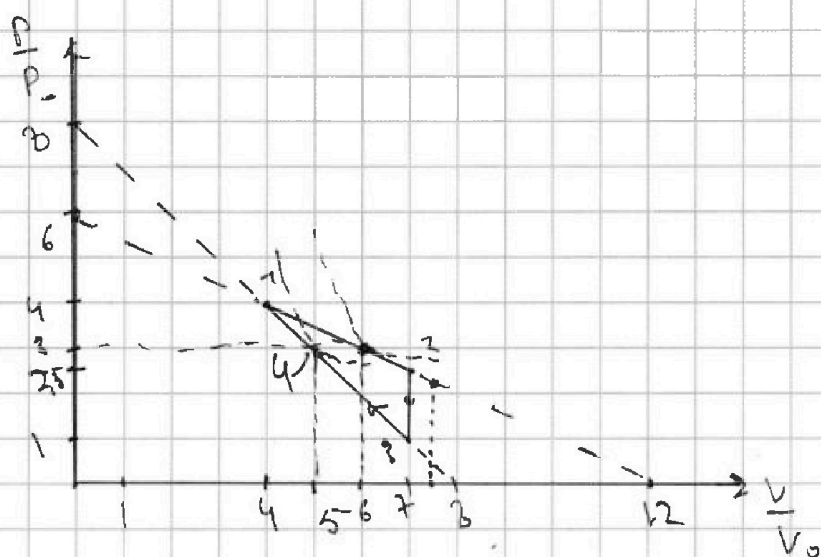


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!



$$1) \Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) = \frac{3}{2} (P_3 V_3 - P_2 V_2) = \frac{21}{2} V_0 (P_0 - \frac{5}{2} P_0) =$$

$$= -\frac{21}{2} \cdot \frac{3}{2} P_0 V_0 = -\frac{3 \cdot 21}{4} P_0 V_0$$

$$A = A_{12} + A_{23} + A_{31} = \frac{P_2 + P_1}{2} (V_2 - V_1) + 0 + \frac{P_1 + P_3}{2} (V_1 - V_3) =$$

$$= \frac{3 \cdot 13}{4} P_0 V_0 - \frac{15}{2} P_0 V_0 = \frac{3}{2} P_0 V_0 (\frac{13}{2} - 5) = \frac{3}{4} P_0 V_0$$

$$\frac{|\Delta U_{23}|}{A} = \frac{3 \cdot 21}{4} \cdot \frac{4}{3} = 7$$

2) Рассмотрим процесс 1-2. Он пересекает ось объёмов в ~~объёме~~ точке $V_1^* = 12V_0$. Изотерма касается процесса в точке с координатой $\frac{1}{2} V_1^* = 6V_0$ (по оси объёмов). В этой точке достигается максимальная температура T_2^* . Т.к. это линейный процесс, давление в этой



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!

$$p_{02ke} = 3P_0$$

$$16P_0V_0 = 2RT_1$$

$$18P_0V_0 = 2RT_{12}^*$$

$$\frac{T_{12}^*}{T_1} = \frac{9}{8}$$

3) Адиабата ~~на~~ касается процесса 1-2

$$\text{В точке } \frac{d}{dt} V_1^* = \frac{5}{8} V_1^* = \frac{15}{2} V_0 \Rightarrow \text{весь процесс}$$

газ получает тепло. А процесса 3-1 адиабата

$$\text{касается в точке } \frac{d}{dt} V_2^* (V_2^* = 8V_0) = \frac{5}{2} V_2^* = 5V_0 \Rightarrow$$

$\Rightarrow$ в процессе 3-4 газ получает тепло а

в 4-1 — отдаёт. В процессе 2-3 газ отдаёт

тепло, т.е. $A_{12} = 0$, $A_{23} < 0$.

$$Q_H = Q_{12} + Q_{23} = \Delta U_{12} + A_{12} + \Delta U_{23} + A_{23} = \frac{3}{2}(P_2V_2 - P_1V_1) +$$

$$+ \frac{P_2 + P_1}{2}(V_2 - V_1) + \frac{3}{2}(P_3V_3 - P_2V_2) + \frac{P_3 + P_2}{2}(V_3 - V_2) =$$

$$= \frac{9}{4}P_0V_0 + \frac{3 \cdot 13}{4}P_0V_0 + 12P_0V_0 - 4P_0V_0 = 12P_0V_0 + 8P_0V_0 =$$

$$= 20P_0V_0$$

$$\eta = \frac{A}{Q_H} = \frac{9}{20}$$

$$\text{Ответ: 1) } \frac{|\Delta U_{23}|}{A} = 7; 2) \frac{T_{12}^*}{T_1} = \frac{9}{8}; 3) \eta = \frac{9}{20}.$$

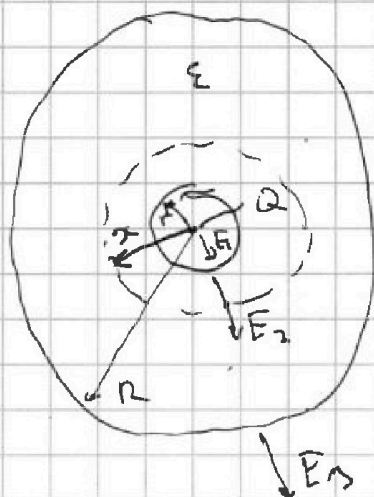


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!



$$0 < x \leq r:$$

$$E_1(x) = k \frac{Q}{x^2}$$

$$r < x \leq R$$

$$E_2(x) = k \frac{Q}{\epsilon x^2}$$

$$R < x:$$

$$E_3(x) = k \frac{Q}{x^2}$$

$$1) \text{ так как } r < x \leq R:$$

$$\varphi(x) = \int_x^R E_2 dx + \int_R^\infty E_3 dx =$$

$$= k \frac{Q}{\epsilon} \int_x^R \frac{dx}{x^2} + kQ \int_R^\infty \frac{dx}{x^2} = -k \frac{Q}{\epsilon} \frac{1}{x} \Big|_x^R + kQ \frac{1}{x} \Big|_R^\infty =$$

$$= kQ \frac{Q}{\epsilon} \left(\frac{1}{x} - \frac{1}{R} \right) + k \frac{Q}{R} = k \frac{Q}{\epsilon x} + k \frac{Q}{R} \left(1 - \frac{1}{\epsilon} \right) =$$

$$= k \frac{Q}{\epsilon x} + k \frac{Q}{R} \frac{\epsilon - 1}{\epsilon}$$

$$\varphi\left(\frac{R}{\epsilon}\right) = 4k \frac{Q}{\epsilon R} + k \frac{Q}{\epsilon R} (\epsilon - 1) = k \frac{Q}{\epsilon R} (4 + \epsilon - 1) = k \frac{Q}{R} \frac{\epsilon + 3}{\epsilon}$$

$$2) \varphi\left(\frac{R}{\epsilon}\right) = 4\varphi_0$$

Т.к. $\frac{R}{\epsilon} < \frac{R}{\epsilon} < R$ подходит формула, полученная

выше.



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!

$$4\varphi_0 = 3k \frac{Q}{\varepsilon R} + k \frac{Q}{\varepsilon R} (\varepsilon - 1)$$

$$4\varphi_0 = k \frac{Q}{R} \frac{\varepsilon + 2}{\varepsilon} \Rightarrow \varphi_0 = \frac{1}{4} k \frac{Q}{R} \frac{\varepsilon + 2}{\varepsilon}$$

$$\varphi\left(\frac{2}{3}R\right) = 3\varphi_0$$

$$3\varphi_0 = \frac{3}{2} k \frac{Q}{\varepsilon R} + k \frac{Q}{\varepsilon R} (\varepsilon - 1) = k \frac{Q}{R} \frac{\varepsilon + \frac{1}{2}}{\varepsilon}$$

$$\frac{3}{4} k \frac{Q}{R} \frac{\varepsilon + 2}{\varepsilon} = k \frac{Q}{R} \frac{\varepsilon + \frac{1}{2}}{\varepsilon}$$

$$\frac{3}{4} \varepsilon + \frac{3}{2} = \varepsilon + \frac{1}{2}$$

$$\varepsilon = 4$$

$$\text{Ответ: } 1) \varphi\left(\frac{R}{4}\right) = k \frac{Q}{R} \frac{\varepsilon + 3}{\varepsilon}, 2) \varepsilon = 4$$



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.

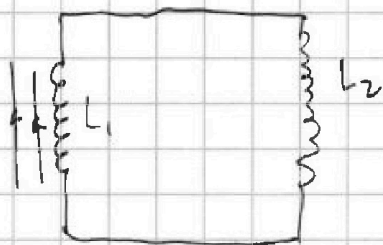


СТРАНИЦА

1 из 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)

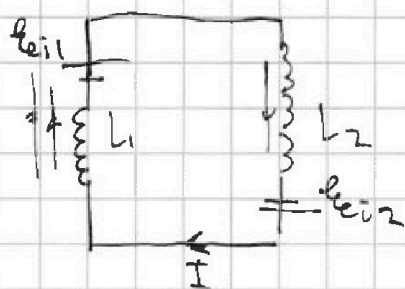


$$|\mathcal{E}_{ei}| = \frac{d\Phi}{dt} = n_1 S \frac{dB}{dt} = \frac{2}{3} n_1 S$$

$$\mathcal{E}_{ei} = (L_1 + L_2) \frac{dI}{dt}$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{\frac{2}{3} n_1 S}{5L}$$

2)



$$|\mathcal{E}_{ei1}| = \frac{d\Phi}{dt} = n_1 S \frac{dB_1}{dt}$$

$$|\mathcal{E}_{ei2}| = \frac{d\Phi}{dt} = n_2 S \frac{dB_2}{dt}$$

$$\mathcal{E}_{ei2} - \mathcal{E}_{ei1} = (L_1 + L_2) \dot{I}$$

$$n_2 S \frac{dB_2}{dt} - n_1 S \frac{dB_1}{dt} = (L_1 + L_2) \frac{dI}{dt}$$

$$dI = n S \frac{2 dB_2 - dB_1}{5L}$$

$$I = \frac{n S}{5L} \left(\frac{2}{3} B_0 - \frac{B_0}{2} \right) = \frac{13 n S B_0}{30 L}$$

Ответ: 1) $\dot{I} = \frac{2 n S}{5 L}$; 2) $I = \frac{13 n S B_0}{30 L}$

Заметим, что лампочка находится на расстоянии $2F$ от линзы $\Rightarrow$ изображение тоже находится на расстоянии $2F$ от линзы $\Rightarrow \triangle ABE$ — равнобедренный. $\triangle ABO \sim \triangle AED$:

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!

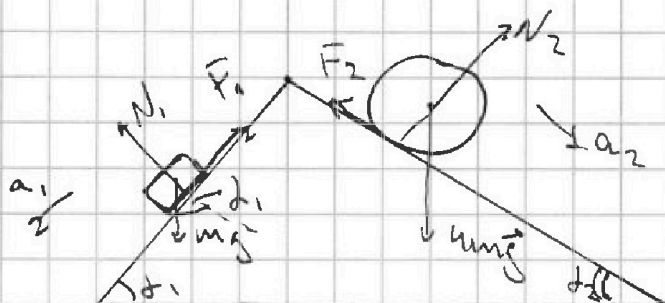


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.



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!



$$\text{II 3к: } ma_1 = mg \sin \alpha_1 - F_1$$

$$F_1 = m(g \sin \alpha_1 - a_1) = mg \left(\frac{3}{5} - \frac{5}{13} \right) =$$
$$= \frac{14}{65} mg$$

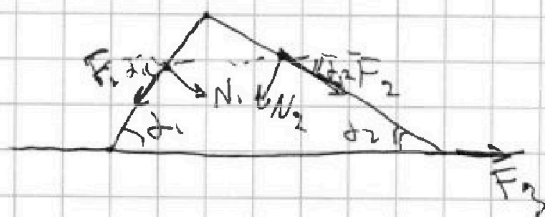
$$\text{II 3к: } 4ma_2 = 4mg \sin \alpha_2 - F_2$$

$$F_2 = 4mg \left(\frac{20}{13} \cdot \frac{5}{13} - \frac{5}{24} \right) = 20mg \left(\frac{1}{13} - \frac{1}{24} \right) =$$

$$= \frac{20 \cdot 11}{13 \cdot 24} mg = \frac{55}{78} mg$$

$$N_2 = 4mg \cos \alpha_2 = \frac{48}{13} mg$$

$$N_1 = mg \cos \alpha_1 = \frac{4}{5} mg$$



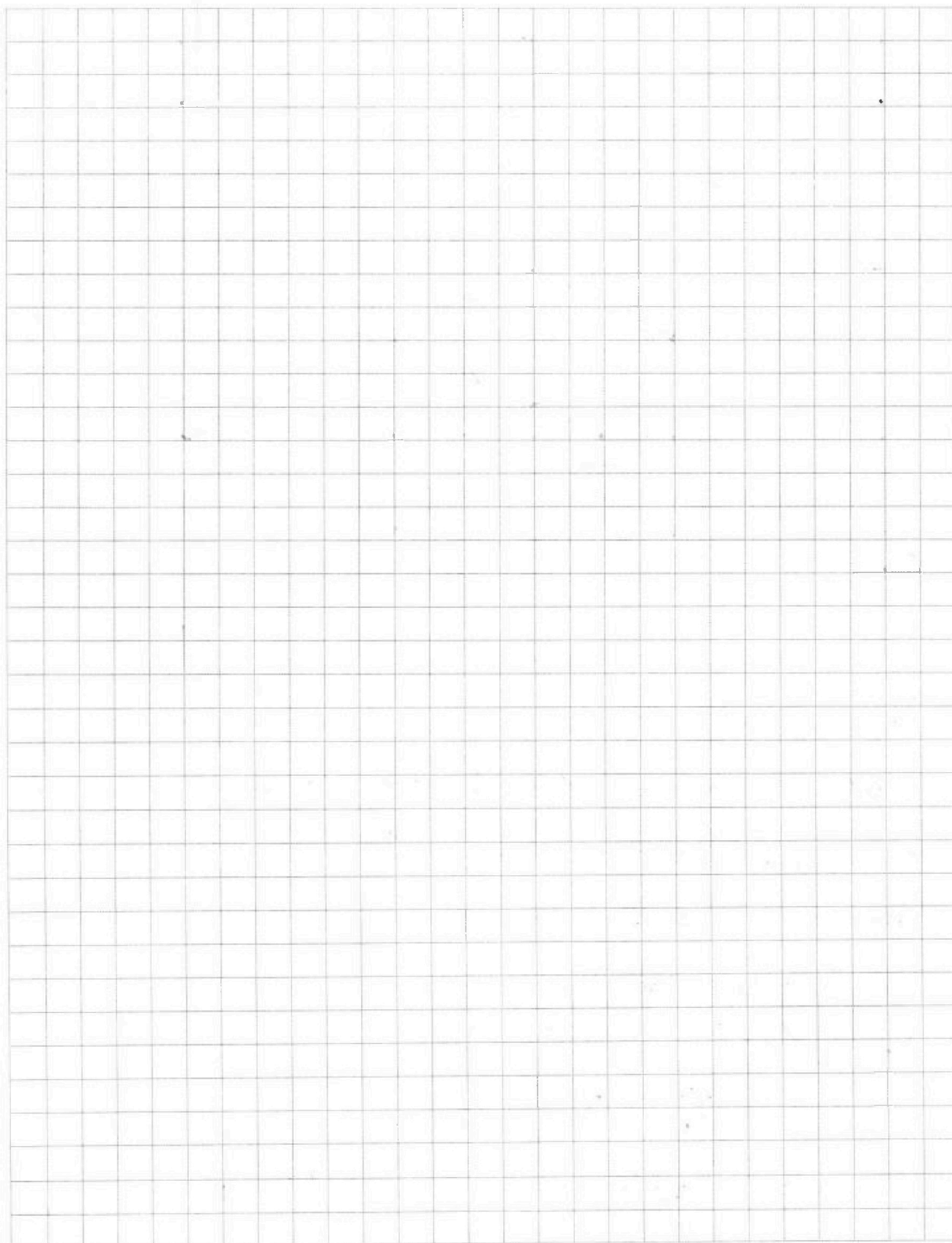


На одной странице можно оформлять **только одну задачу**. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!

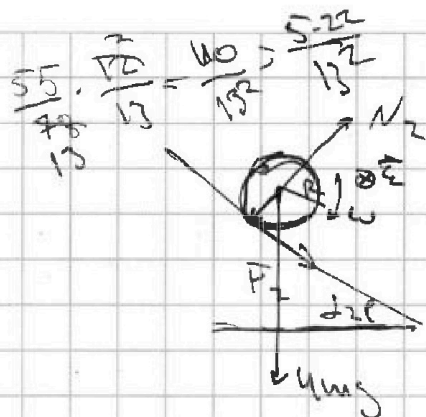




1 ☒ 2 ☒ 3 ☒ 4 ☒ 5 ☒ 6 ☒ 7 ☒

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!



$$4ma_2 = 4mg \sin \alpha_2 + F_2$$

$$F_2 = mg \left(\frac{5}{6} - \frac{20}{13} \right)$$

$$I = 4mR^2$$

$$\varepsilon = \frac{a_2}{R}$$

$$\Delta U_{21} = \frac{3}{2} (7 - 2,5 \cdot 7) P_0 V_0 =$$

$$\sum M_{C_0} = 0 \quad I \varepsilon$$

$$F_2 \cdot R = 4mR \frac{a_2}{R}$$

$$\frac{24-13}{13 \cdot 24} = \frac{11}{13 \cdot 24}$$

$$= -\frac{5,7}{4} P_0 V_0$$

$$A = A_{pr} \frac{4P_0 + 2,5P_0}{2} \cdot 3V_0 - \frac{P_0 + 4P_0}{2} \cdot 3V_0 =$$

$$F_2 = 4ma_2$$

$$= \frac{3}{2} V_0 (6,5P_0 - 5P_0) = \frac{3}{4} P_0 V_0$$

$$Q_{34} = \frac{3}{2} (15 - 7) P_0 V_0 - \frac{3P_0 + P_0}{2} \cdot 2V_0 = 12P_0 V_0 - 4P_0 V_0 = 8P_0 V_0$$

$$4 + 2,5 = 6,5 = \frac{13}{2}$$

$$\frac{13}{4} (7 - 4) = \frac{13 \cdot 3}{4}$$

$$\frac{5}{6} \cdot \frac{13}{2} \cdot \frac{11}{13}$$

$$\frac{5}{2} (7 - 4) = \frac{15}{2}$$

$$\frac{3}{2} \left(\frac{13 \cdot 5}{2} - \frac{23}{2} \right) P_0 V_0 + \frac{2 \cdot 13}{4} P_0 V_0 + \frac{3}{2} (15 - 7) P_0 V_0 -$$

$$- \frac{3P_0 + P_0}{2} \cdot 2V_0 = \frac{3}{4} P_0 V_0 + \frac{2 \cdot 13}{4} P_0 V_0 + 12P_0 V_0 -$$

$$\frac{3}{2} \quad \frac{5}{2} \cdot \frac{13}{2} = \frac{15}{2}$$

$$- 4P_0 V_0 = \frac{3}{4} (13 + 3) P_0 V_0 + 8P_0 V_0 =$$

$$= 20 P_0 V_0$$

$$8 P_0 = 8P_0 - kV$$

$$P = 8P_0 - 5V_0$$

$$\frac{5}{4 \cdot 20} = \frac{3}{20}$$

$$0 = 8P_0 - k \cdot 8V_0 \Rightarrow k = 1$$



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
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!

$$Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23} = \frac{3}{2} (P_4 V_4 - P_3 V_3) + \frac{P_3 + P_4}{2} (V_4 - V_3) = \frac{26.5}{13^2} = \frac{510}{13}$$

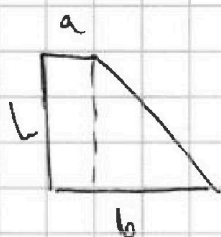
$$= 12 P_0 V_0 + 2 \cdot 2 P_0 V_0 = 6 P_0 V_0$$

$$Q_{41} = \frac{3}{2} (P_1 V_1 - P_4 V_4) + \frac{P_1 + P_4}{2} (V_1 - V_4)$$

$$= \frac{3}{2} P_5 V_0 - \frac{7}{2} P_0 V_0 = P_0 V_0$$

$$\frac{5}{13^2} \cdot 26 = \frac{10}{13}$$

$$\frac{14.4}{65}$$



$$S = ah + \frac{(b-a)h}{2} = \frac{b+a}{2} h$$

$$\frac{14.4}{65.5} = \frac{12}{25} + \frac{42.5}{13^2} - \frac{5.22}{13^2} = \frac{10}{13} - \frac{4}{13}$$

$$\frac{3}{2} \left(\frac{15}{2} - \frac{35}{2} - 16 \right) = \frac{8}{4}$$

$$\frac{13 \cdot 3}{4}$$

$$1 + \frac{2}{3} =$$

$$N_1 \sin \alpha_1 + F_2 \cos \alpha_2 =$$

$$= \frac{12}{29} mg + \frac{55}{3413} \cdot \frac{2}{13} mg = \left(\frac{12}{25} + \frac{110}{13^2} \right) mg$$

$$\frac{3}{4} (3+12) = \frac{3}{4} \cdot 15 = 12$$

$$F_1 \cos \alpha_1 + N_2 \sin \alpha_2 =$$

$$\frac{10}{13} = \frac{14.4}{65.5} + \frac{42.5}{13^2} \quad mg$$

$$\xi - \frac{3}{4} \xi = 1$$

$$\xi = 4g$$

$$Q_{12} = (L_1 + L_2) \frac{dI}{dt}$$

$$2B_0 - \frac{2}{3} B_0 = \frac{4}{3} B_0$$

$$\frac{8}{3} - \frac{1}{2} = \frac{16}{6} - \frac{3}{6} = \frac{13}{6}$$