



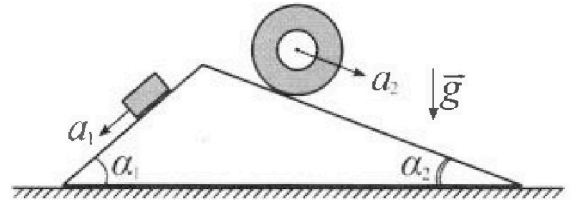
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2024

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.

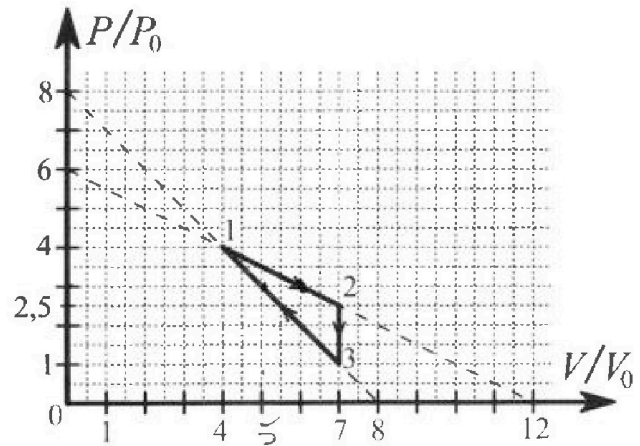


- 1) Найти силу трения F_1 между бруском и клином.
- 2) Найти силу трения F_2 между цилиндром и клином.
- 3) Найти силу трения F_3 между столом и клином.

Каждый ответ выразит ь 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.

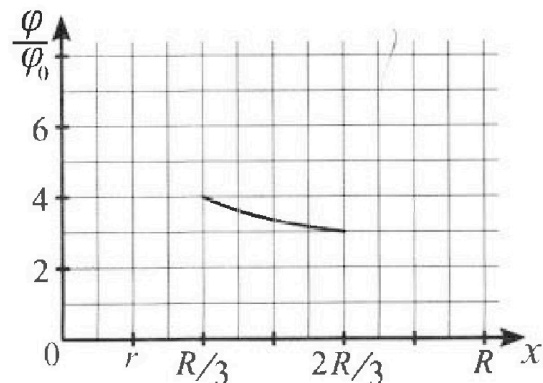
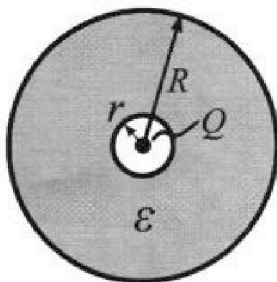
- 1) Найдите отношение модуля приращения внутренней энергии газа в процессе 2-3 к работе газа за цикл.
- 2) Найдите отношение максимальной температуры газа в процессе 1-2 к температуре газа в состоянии 1.
- 3) Найдите КПД цикла.



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 .





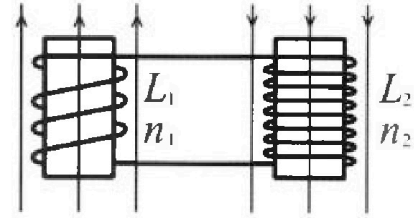
Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2024

Вариант 11-01

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.

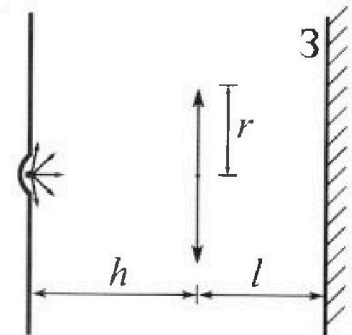


4. Две катушки с индуктивностями $L_1 = L$ и $L_2 = 4L$ и числами витков $n_1 = n$ и $n_2 = 2n$ помещены во внешние однородные магнитные поля с постоянными во времени индукциями (см. рис.). Площадь витка каждой катушки S . Индукции внешних полей направлены перпендикулярно плоскостям витков катушек. Катушки 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.



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

Ответы дайте в $[см^2]$ в виде $у\pi$, где $у$ - 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!

$$N_2 \sin \alpha_2 - N_1 \sin \alpha_1 + F_1 \cos \alpha_1 - F_2 \cos \alpha_2 - F_3 = 0$$

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

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

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

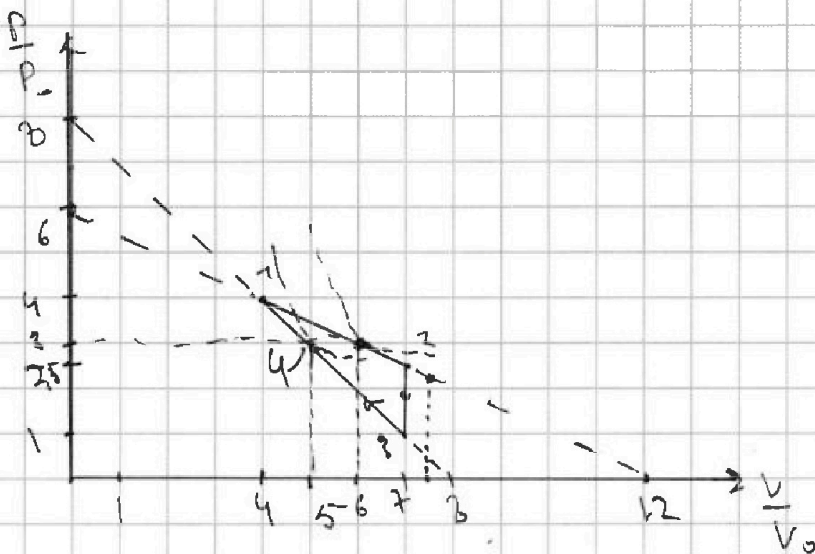


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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 ~~точке~~ точке $V_1^* = 12V_0$. Изотерма касается процесса в точке с координатой $\frac{1}{2} V_1^* = 6V_0$ (по оси объёмов). \Rightarrow в этой точке достигается максимальная температура T_2^* .
Т.к. это линейный процесс, значит 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!

$$p_0 V_0 = 3 P_0$$

$$16 P_0 V_0 = 2 R T_1$$

$$18 P_0 V_0 = 2 R T_2^*$$

$$\frac{T_2^*}{T_1} = \frac{9}{8}$$

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

В точке 1 $V_1^* = \frac{5}{8} V_1 = \frac{15}{2} V_0 \Rightarrow$ весь процесс

газ получает тепло. А процесса 3-1 адиабата

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

\Rightarrow в процессе 3-4 газ получает тепло а

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

тепло, т.е. $A_{23} = 0$, $\Delta U_{23} < 0$.

$$Q_H = Q_{12} + Q_{23} = \Delta U_{12} + A_{12} + \Delta U_{23} + A_{23} = \frac{3}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1) +$$

$$+ \frac{P_2 + P_1}{2} (V_2 - V_1) + \frac{3}{2} (P_4 V_4 - P_3 V_3) + \frac{P_4 + P_3}{2} (V_4 - V_3) =$$

$$= \frac{9}{4} P_0 V_0 + \frac{3 \cdot 13}{4} P_0 V_0 + 12 P_0 V_0 - 4 P_0 V_0 = 12 P_0 V_0 + 8 P_0 V_0 =$$

$$= 20 P_0 V_0$$

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

Ответ: 1) $\frac{|\Delta U_{23}|}{A} = 7$; 2) $\frac{T_2^*}{T_1} = \frac{9}{8}$; 3) $\eta = \frac{9}{20}$.

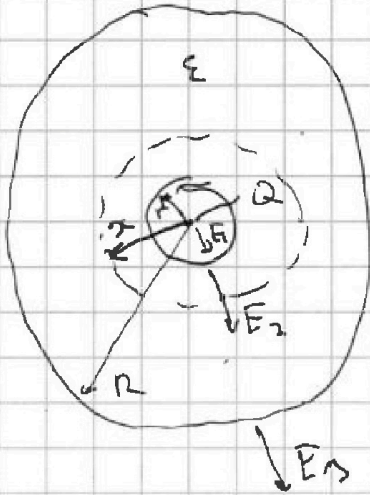


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!



$$0 < x \leq r:$$

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

$$r < x \leq R$$

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

$$R < x:$$

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

$$1) \text{ так как } r < x \leq R:$$

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

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

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

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

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

$$2) \varphi\left(\frac{R}{3}\right) = 4\varphi_0$$

т.к. $\frac{R}{3} < \frac{R}{3} < R$ 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!

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

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

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

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

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

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

$$\varepsilon = 4$$

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



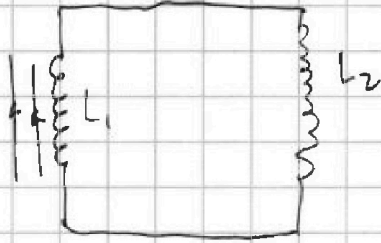
На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!

1)

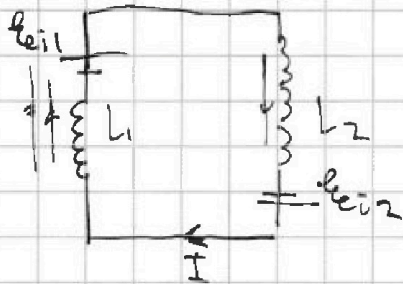


$$|\mathcal{E}_{ei}| = \frac{d\Phi}{dt} = n_1 S \frac{dB}{dt} = \frac{2}{3} n_1 n S$$

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

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

2)



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

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

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

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

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

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

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

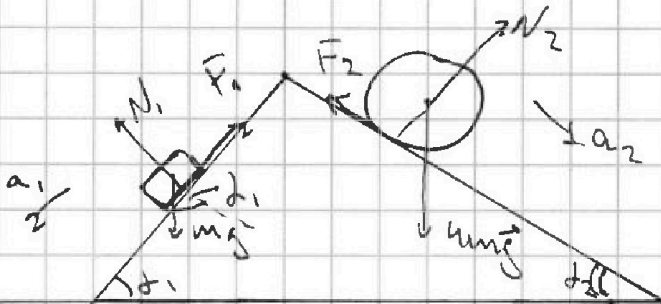


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 2 3 4 5 6 7

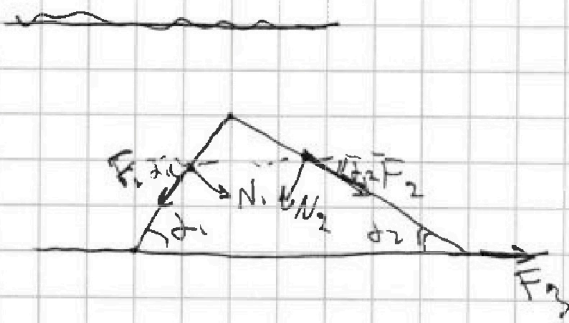
СТРАНИЦА
1 ИЗ 2

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!



$$\begin{aligned} \text{II ЗН: } ma_1 &= mgs \sin \alpha_1 - F_1 \\ F_1 &= m(g \sin \alpha_1 - a_1) = mg \left(\frac{3}{5} - \frac{5}{13} \right) = \\ &= \frac{14}{65} mg \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{II ЗН: } 4ma_2 &= 4mgs \sin \alpha_2 - F_2 \\ F_2 &= 4mg \left(\frac{20}{13} \frac{5}{13} - \frac{5}{24} \right) = 20mg \left(\frac{1}{13} - \frac{1}{24} \right) = \\ &= \frac{20 \cdot 11}{13 \cdot 24} mg = \frac{55}{78} mg \\ N_2 &= 4mg \cos \alpha_2 = \frac{48}{13} mg \\ N_1 &= mg \cos \alpha_1 = \frac{4}{5} mg \end{aligned}$$



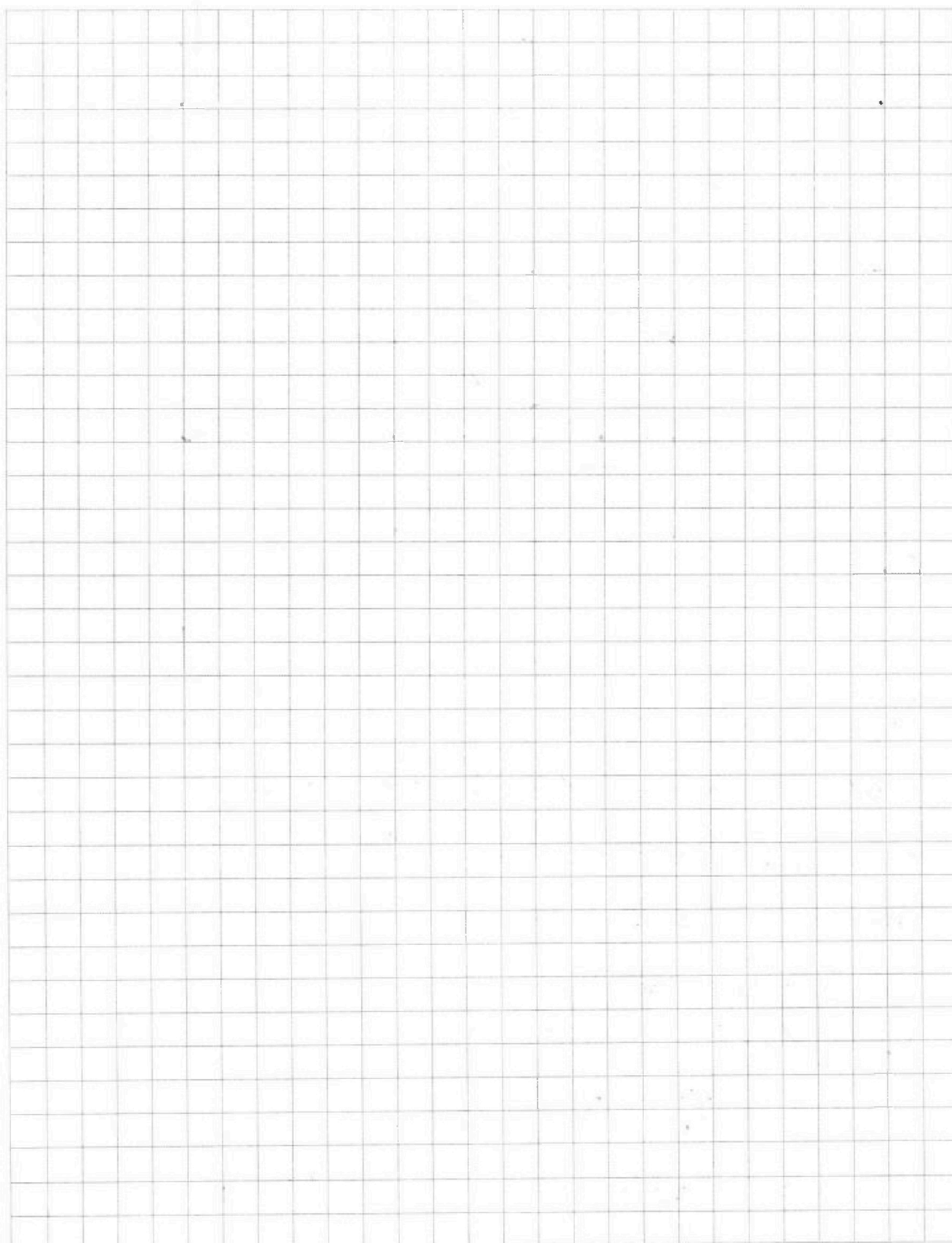


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

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!





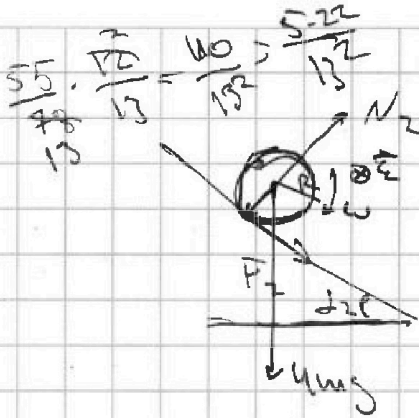
На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

- 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!

Q34



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

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

$$I = 4mR^2$$

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

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} (7 - 2,5 \cdot 7) P_0 V_0 =$$

$$\sum M_{i0} = 0 \quad I \epsilon$$

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

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

$$F_2 \cdot R = 4mR a_2$$

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

$$F_2 = 4ma_2$$

$$= \frac{3}{2} V_0 (6,5P_0 - 5P_0) = \frac{9}{4} P_0 V_0$$

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

$$\frac{5}{6} \cdot \frac{13}{3} \cdot \frac{11}{13}$$

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

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

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

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

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

$$\frac{3}{2} \cdot \frac{5}{2} \cdot P_0 V_0 = \frac{15}{2} P_0 V_0$$

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

$$= 20 P_0 V_0$$

$$P = 8P_0 - kV$$

$$P = 8P_0 - 5V_0$$

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

$$0 = 9P_0 - 8 \cdot 8V_0 \Rightarrow k = 9$$

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!

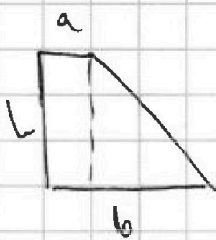
$$Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23} = \frac{3}{2} (P_2 V_2 - P_3 V_3) + \frac{P_2 + P_3}{2} (V_2 - V_3) = \frac{26 \cdot 5}{13^2} = \frac{510}{13}$$

$$= 12 P_0 V_0 + 2 \cdot 2 P_0 V_0 = 6 P_0 V_0 \quad \frac{4}{25} \left(\frac{14}{13} - 3 \right) = \frac{4}{25} \frac{25}{13} = \frac{4}{13}$$

$$Q_{12} = \frac{3}{2} (P_1 V_1 - P_2 V_2) + \frac{P_1 + P_2}{2} (V_1 - V_2) = \frac{3}{2} P_0 V_0 - \frac{7}{2} P_0 V_0 = P_0 V_0 \quad \frac{5}{13^2} \cdot 26 = \frac{10}{13}$$

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

$\frac{14 \cdot 4}{65}$



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

$$\frac{14 \cdot 4}{65 \cdot 5} = \frac{12}{25} + \frac{42 \cdot 5}{13^2} - \frac{5 \cdot 22}{13^2} = \frac{10}{13} - \frac{4}{13}$$

$$\frac{3}{2} \left(\frac{75}{2} - \frac{35}{2} - 16 \right) = \frac{9}{4}$$

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

$$= \frac{12}{29} mg + \frac{55}{78} \cdot \frac{7}{13} mg = \left(\frac{12}{25} + \frac{110}{13^2} \right) mg$$

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

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

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

$$\frac{dD}{dF} = k \cdot D = \left(\frac{14 \cdot 4}{65 \cdot 5} + \frac{42 \cdot 5}{13^2} \right) mg$$

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

$$\xi = 4g$$

$$e_0 = (L_1 + L_2) \frac{dF}{dL}$$

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

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