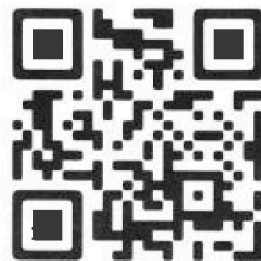




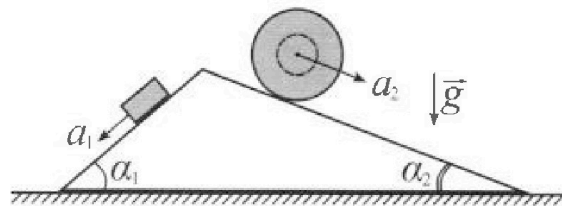
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2024

Вариант 11-02

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



1. С клина, находящегося на шероховатом горизонтальном столе, соскальзывает брусок массой m с ускорением $a_1 = 7g/17$ и скатывается без проскальзывания полый шар массой $5m$ с ускорением $a_2 = 8g/25$ (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 ($\sin \alpha_2 = 8/17$, $\cos \alpha_2 = 15/17$). Направления всех движений лежат в одной вертикальной плоскости.

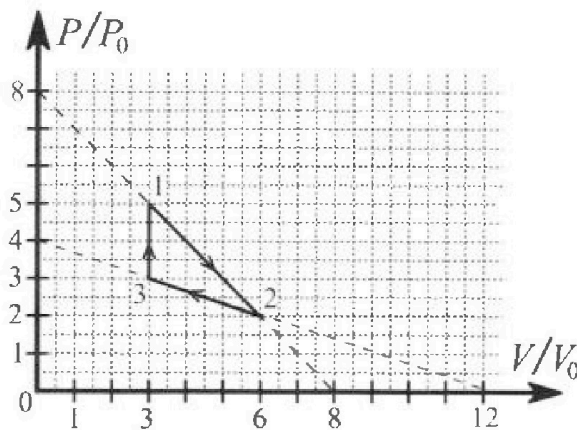


- 1) Найти силу трения F_1 между бруском и клином.
- 2) Найти силу трения F_2 между шаром и клином.
- 3) Найти силу трения F_3 между столом и клином.

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.

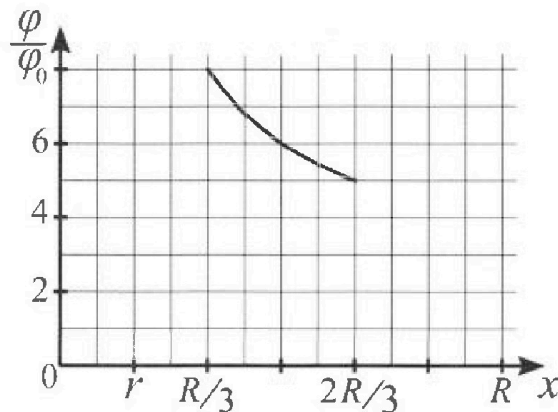
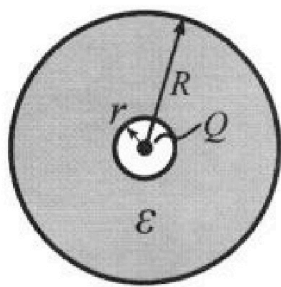
- 1) Найдите отношение модуля приращения внутренней энергии газа в процессе 3-1 к работе газа за цикл.
- 2) Найдите отношение максимальной температуры газа в процессе 1-2 к температуре газа в состоянии 2.
- 3) Найдите КПД цикла.



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 $x = 3R/4$.
- 2) Используя график, найти численное значение ϵ .

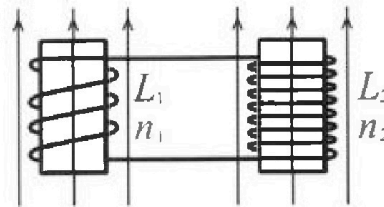


Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2024

Вариант 11-02

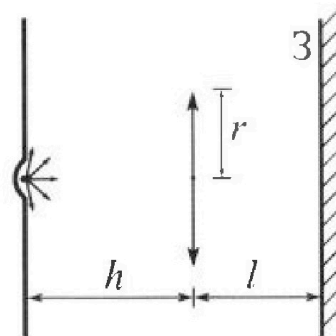
В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.

4. Две катушки с индуктивностями $L_1 = L$ и $L_2 = 9L$ и числами витков $n_1 = n$ и $n_2 = 3n$ 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 уменьшаться 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 $2B_0/3$, не изменив направления, а в катушке с индуктивностью L_2 индукция внешнего поля уменьшилась от $B_0/3$ до $B_0/12$, 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 $F = 2h$. Главная оптическая ось линзы горизонтальна и проходит через лампочку. Радиус линзы $r = 2$ см. Справа от линзы на расстоянии $l = h$ 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.

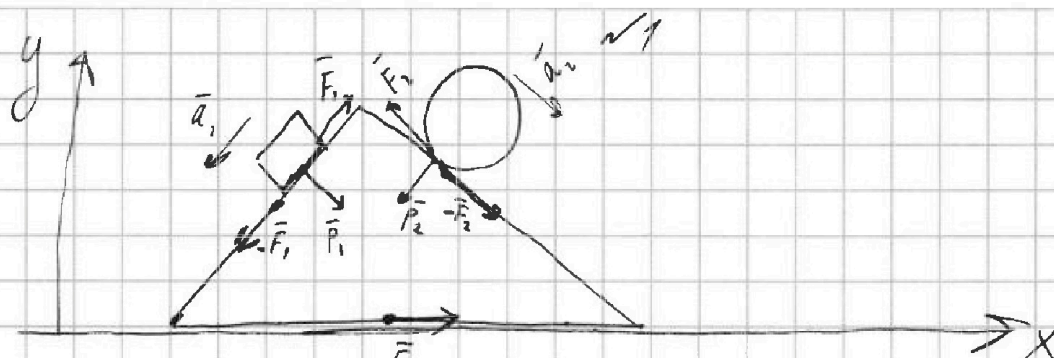


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

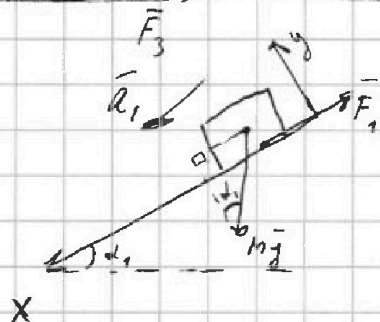
1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
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)

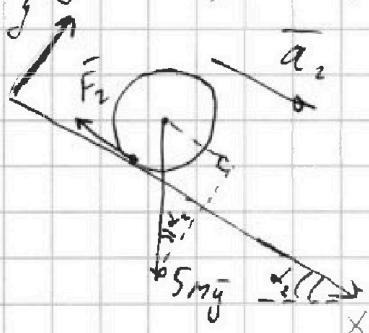


2-ой закон Ньютона
в проекции на Ox :

$$mg \sin \alpha_1 - F_1 = ma_1$$

$$F_1 = mg \sin \alpha_1 - ma_1 = mg \cdot \frac{3}{5} - \frac{7}{17} mg = \frac{16}{85} mg$$

2)



2-ой закон Ньютона
в проекции на Ox :

$$5mg \sin \alpha_2 - F_2 = 5ma_2$$

$$F_2 = 5mg \sin \alpha_2 - 5ma_2 = \frac{40}{17} mg - \frac{40}{25} mg = \frac{64}{85} mg$$

3)

2-ой закон Ньютона в проекции на
 Ox (для нити):

$$P_1 \sin \alpha_1 - P_2 \sin \alpha_2 - F_1 \cos \alpha_1 + F_2 \cos \alpha_2 + F_3 = 0$$

$$P_1 = mg \cos \alpha_1, \quad P_2 = 5mg \cos \alpha_2$$

$$F_3 = 5mg \cos \alpha_2 \sin \alpha_1 - mg \cos \alpha_1 \sin \alpha_1 + \frac{16}{85} mg \cos \alpha_1 - \frac{64}{85} mg \cos \alpha_2 = \frac{94}{85} mg$$

$$\text{Ответ: } 1) F_1 = \frac{16}{85} mg; 2) F_2 = \frac{64}{85} mg; 3) F_3 = \frac{94}{85} mg.$$



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!

N 2

Работа газа за цикл равна площади фигуры 1-2-3:

$$A = \frac{1}{2} \cdot (5 \cdot 3) p_0 \cdot (6 - 3) V_0 = 3 p_0 V_0$$

$$1) \Delta U_{31} = \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_3)$$

$$\nu R T_1 = 5 p_0 \cdot 3 V_0 \quad \nu R T_3 = 3 p_0 \cdot 3 V_0$$

$$\Delta U_{31} = \frac{3}{2} \cdot (15 p_0 V_0 - 9 p_0 V_0) = 3 p_0 V_0$$

$$\frac{\Delta U_{31}}{A} = \frac{3 p_0 V_0}{3 p_0 V_0} = \frac{3}{1}$$

2) Заметим, что процесс 1-2 описывается формулой $P = 2V$. В таком процессе

температура газа остаётся постоянной (это верно для любого процесса вида $PV^n = \text{const}$)

Также заметим, что в точке $3 p_0$ и $5 V_0$ температура газа такая же, как в т. 1. Назовём точку $3 p_0$; $5 V_0$ точкой 4. Тогда т.к. температура газа в этом процессе $= \text{const}$, то максимальная температура участка 1-2 находится на середине отрезка 1-4, т.е. в точке $4 p_0$; $4 V_0$, назовём её точкой 5.

$$\text{Тогда } \nu R T_5 = 4 p_0 \cdot 4 V_0 \quad \nu R T_2 = 2 p_0 \cdot 6 V_0$$

$$\frac{T_5}{T_2} = \frac{4 p_0 \cdot 4 V_0}{2 p_0 \cdot 6 V_0} = \frac{16}{12} = \frac{4}{3}$$



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!

$$3) \quad \eta = \frac{A}{Q_{\text{нагр}}} \quad A = 3P_0 V_0$$

$$Q_{31} = \Delta U_{31} + A_{31} \quad A_{31} = 0, \text{ т.к. процесс } V = \text{const}$$

$$Q_{31} = \Delta U_{31} = 9P_0 V_0 > 0$$

$$Q_{15} = \Delta U_{15} + A_{15} \quad A_{15} = \frac{5P_0 + 4P_0}{2} \cdot (4V_0 - 3V_0) = \frac{9}{2} P_0 V_0$$

$$\Delta U_{15} = \frac{3}{2} \nu R (T_5 - T_1) = \frac{3}{2} \nu R (T_5 - T_1)$$

$$\nu R T_5 = 4P_0 \cdot 4V_0 \quad \nu R T_1 = 5P_0 \cdot 3V_0$$

$$\Delta U_{15} = \frac{3}{2} \cdot (16P_0 V_0 - 15P_0 V_0) = \frac{3}{2} P_0 V_0$$

$$Q_{15} = \frac{3}{2} P_0 V_0 + \frac{9}{2} P_0 V_0 = 6P_0 V_0 > 0$$

$$Q_{52} = C \cdot (T_2 - T_5) \quad \text{т.к. } C = \text{const при } P = 2P_0$$

$$\text{но т.к. } T_5 - \text{max при } 1-2, \text{ то } T_2 - T_5 < 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q_{52} < 0$$

$$Q_{23} = C_2 \cdot (T_3 - T_2), \quad \text{т.к. } C_2 = \text{const при } P = 2P_0$$

$$T_3 = \frac{3P_0 \cdot 3V_0}{\nu R} \quad T_2 = \frac{2P_0 \cdot 6V_0}{\nu R}$$

$$T_3 - T_2 = 9 \frac{P_0 V_0}{\nu R} - \frac{12 P_0 V_0}{\nu R} = -3 \frac{P_0 V_0}{\nu R} < 0 \Rightarrow Q_{23} < 0$$

$$Q_{\text{нагр}} = Q_{31} + Q_{15} = 9P_0 V_0 + 6P_0 V_0 = 15P_0 V_0$$

$$\eta = \frac{3P_0 V_0}{15P_0 V_0} = \frac{1}{5} = 0,2$$

$$\text{Ответ: } 1) \frac{\Delta U_{31}}{A} = \frac{3}{1}; \quad 2) \frac{T_{\text{max}}}{T_2} = \frac{4}{3}; \quad 3) \eta = 0,2$$



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
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!

$$1) \quad \varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 \cdot \epsilon (x-r)} + \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 \cdot r} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{\epsilon(\frac{3}{4}R-r)} + \frac{1}{r} \right) =$$

$$= \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{r + \frac{3}{4}\epsilon R - \epsilon r}{\epsilon r(\frac{3}{4}R-r)} \right)$$

$$2) \quad 7\varphi_0 = \frac{k \cdot Q}{4\pi\epsilon \left(\frac{R}{3} - \frac{R}{6} \right)} + \frac{kQ}{\frac{R}{6}}$$

$$6\varphi_0 = \frac{kQ}{\epsilon \left(\frac{R}{2} - \frac{R}{6} \right)} + \frac{kQ}{\frac{R}{6}}$$

$$\frac{7}{6} = \frac{\frac{6}{\epsilon R(2-1)} + \frac{6}{R}}{\frac{6}{\epsilon R(3-1)} + \frac{6}{R}} = \frac{\frac{6}{\epsilon} + 6}{\frac{6}{2\epsilon} + 6} =$$

$$= \frac{(6 + 6\epsilon)2\epsilon}{\epsilon(6 + 12\epsilon)}$$

$$42 + 94\epsilon = 36 + 36\epsilon$$

$$48\epsilon = 466 \quad \epsilon = \frac{6}{48} = \frac{1}{8} = 0,125$$

Ответ: 1) $\varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{r + \frac{3}{4}\epsilon R - \epsilon r}{\epsilon r(\frac{3}{4}R-r)} \right)$

2) $\epsilon = \frac{1}{8}$

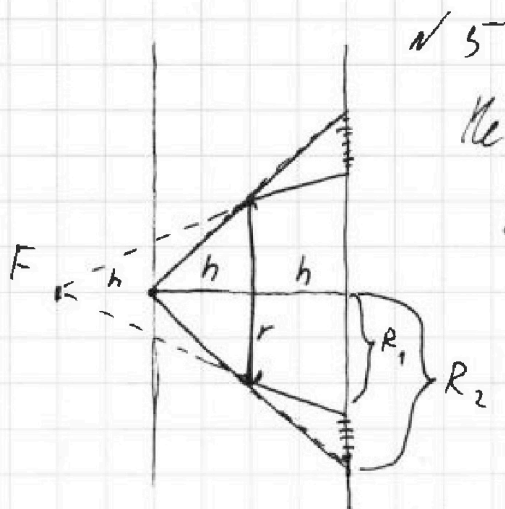
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☒ 6 ☐ 7 ☐

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)



№ 5

Не освещенная область
зеркала заштрихована
на рисунке

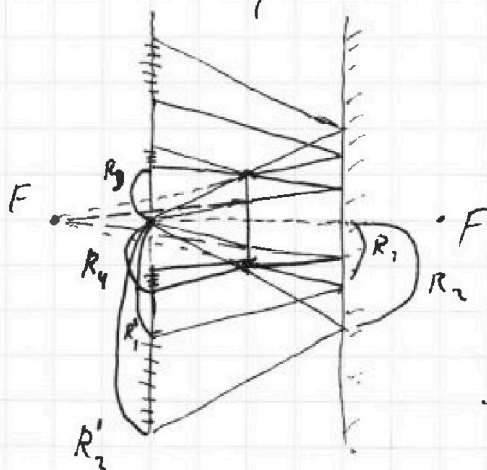
$$\frac{R_1}{r} = \frac{3h}{2h} = \frac{3}{2} \quad \frac{R_2}{r} = \frac{2h}{h} = 2$$

$$R_1 = \frac{3}{2}r \quad R_2 = 2r \quad S_1 = \pi R_1^2 \quad S_2 = \pi R_2^2$$

$$S_{\text{зерк.}} = S_2 - S_1 = \pi R_2^2 - \pi R_1^2 = \pi \cdot 4r^2 - \pi \cdot \frac{9}{4}r^2 =$$

$$= \pi r^2 \cdot \frac{7}{4} = \pi \cdot 4 \cdot \frac{7}{4} = 7\pi \text{ см}^2$$

2)



Не освещенные области
стен заштрихованы
на рисунке

$$S_{\text{ст}} = (S_4 - S_3) + (S_2 - S_1) =$$

$$= (\pi R_4^2 - \pi R_3^2) + (\pi R_2^2 - \pi R_1^2)$$

$$R_2' = 2R_2 = 4r$$

$$\frac{R_1'}{R_1} = \frac{3h + 2h}{2h} = \frac{5}{2} \Rightarrow R_1' = \frac{5}{2}R_1 = \frac{5}{2} \cdot \frac{3}{2}r = \frac{15}{4}r$$



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
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!

$$S_2 = \pi \cdot 16r^2 = 16\pi r^2 \quad S_1 = \frac{25}{4}\pi r^2$$

$$\frac{R_4}{r} = \frac{5h}{4h} = \frac{5}{4} \quad R_4 = \frac{5}{4}r$$

$$\frac{R_3}{r} = \frac{3h}{4h} = \frac{3}{4} \quad R_3 = \frac{3}{4}r$$

$$S_4 = \frac{25}{16}\pi r^2 \quad S_3 = \frac{9}{16}\pi r^2$$

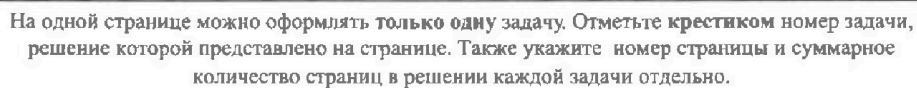
$$S_{\text{ст}} = \left(16\pi r^2 - \frac{25}{4}\pi r^2\right) + \left(\frac{25}{16}\pi r^2 - \frac{9}{16}\pi r^2\right) =$$

$$= \frac{39}{4}\pi r^2 + \pi r^2 = \frac{39}{4}\pi \cdot 4 + \pi \cdot 4 =$$

$$= 39\pi + 4\pi = 43\pi \text{ см}^2$$

Ответ: 1) $S_{\text{зерк.}} = 7\pi \text{ см}^2$

2) $S_{\text{стены}} = 43\pi \text{ см}^2$



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!

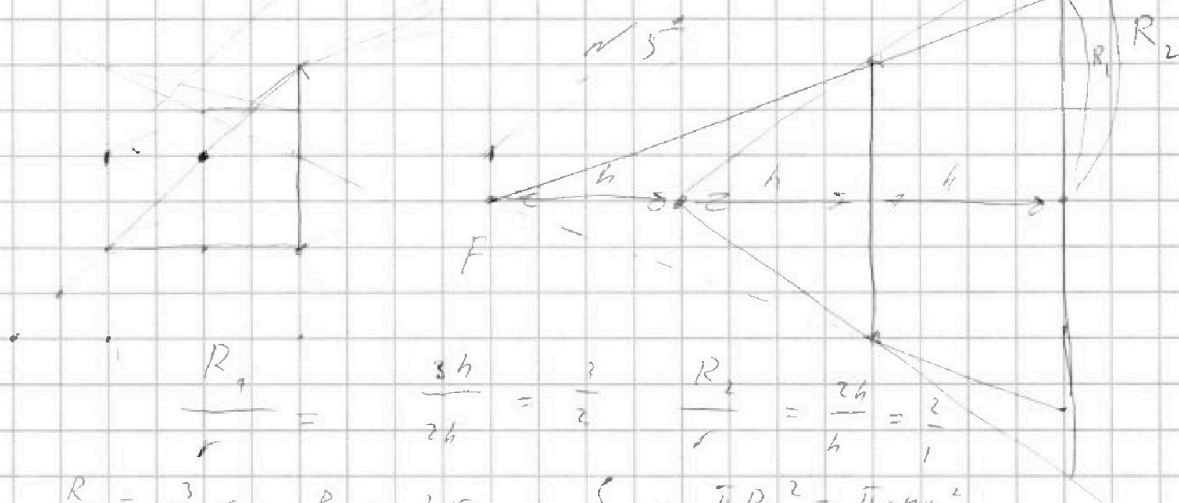
$$\frac{T_{mp1}}{T_2} = \frac{16}{12} = \frac{4}{3}$$

$$b) \quad \overline{U}_3 \quad U_{31} = \Delta U_{31} \cdot \frac{1}{A_{31}} = \Delta U_{31} = \frac{1}{2} U_0$$

$$Q_{12} = Q_{1q} + W_{12} = \frac{7}{2} IR \cdot \frac{10V}{QR} + \frac{1}{2} \cdot 10V \cdot V_0 = \frac{12}{2} 10V \cdot V_0 = 6 P_0 V_0$$

$$Q_{42} = 0, \text{ da } C = \text{const} \quad \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} = \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_2} = 0$$

$$\eta = \frac{A_{\text{rev, H}}}{Q_{\text{H}} + Q_{\text{L}}} = \frac{3PV_0}{3PV_0 + 6PV_0} = \frac{3}{9} = \frac{1}{3} = 0.33$$



$$\frac{12}{1} = \frac{3h}{2h} = \frac{3}{2} \quad \frac{12}{1} = \frac{2h}{h} = \frac{2}{1}$$

$$R_1 = \frac{3}{2}r \quad R_2 = 2r$$

$$S_1 = \pi R_1^2 = \pi \cdot 4r^2$$

$$S_1 = \frac{1}{11} P_1^2 = \frac{1}{11} \cdot \frac{3}{4} P^2$$

$$S_2 = I_2 - S_1 = \left(4 - \frac{9}{4}\right) \pi r^2 = \frac{7}{4} \pi r^2 = \frac{7}{4} \pi \text{ cm}^2$$



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.



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!

$$\begin{aligned}
 F_3 &= 5mg \cdot \frac{15}{17} \cdot \frac{8}{17} - mg \cdot \frac{4}{5} \cdot \frac{3}{5} + F_1 \cdot \frac{4}{5} - \frac{15}{17} F_2 = \\
 &= \frac{600}{17^2} mg - \frac{12}{5^2} mg + \frac{16 \cdot 4}{85 \cdot 5} mg - \frac{15 \cdot 64}{17 \cdot 85} mg = \frac{600}{289} mg - \frac{12}{25} mg + \frac{64}{10625} mg - \frac{1920}{14425} mg = \\
 &= \frac{600 - 364}{289} mg + \frac{16 \cdot 4 - 12 \cdot 17}{17 \cdot 5^2} mg = \frac{408}{289} mg + \frac{130}{1155} mg = \frac{24}{17} mg - \frac{26}{125} mg = \frac{110 - 26}{17 \cdot 5} mg = \\
 &= \frac{94}{17 \cdot 5} mg = \frac{94}{85} mg
 \end{aligned}$$

1) $A_{\text{max}} = \text{масса} \Delta 123$

$$A_{\text{max}} = \frac{1}{2} \cdot (15 - 3) \frac{P_0}{P_0} \cdot (6 - 3) \frac{V_0}{P_0} = 3 P_0 V_0$$

$$3 P_0 \cdot 3 V_0 = 2 R T_3 \quad 5 P_0 \cdot 3 V_0 = 2 R T_1$$

$$2 R (T_1 - T_3) = 15 P_0 V_0 - 9 P_0 V_0 = 6 P_0 V_0$$

$$\Delta U_{31} = \frac{3}{2} 2 R (T_1 - T_3) = \frac{3}{2} \cdot 6 P_0 V_0 = 9 P_0 V_0$$

$$\frac{\Delta U_{31}}{A_{\text{max}}} = \frac{9}{3} = 3$$

2) $P = 2V$

$$5 P_0 \cdot 3 V_0 = 2 R T_1 \quad 2 P_0 6 V_0 = 2 R T_2$$

$$T_1 = 15 \frac{P_0 V_0}{2 R} \quad T_2 = 12 \frac{P_0 V_0}{2 R}$$

Заметим, что температурный коэффициент $P = 2V = \text{const}$

Таким образом T_1 равно T_2 тогда $P = 3 P_0 \quad V = 4 V_0$

т.е. температурный const, то макс. температура находится по формуле $T_{\text{max}} = 16 \frac{P_0 V_0}{2 R}$

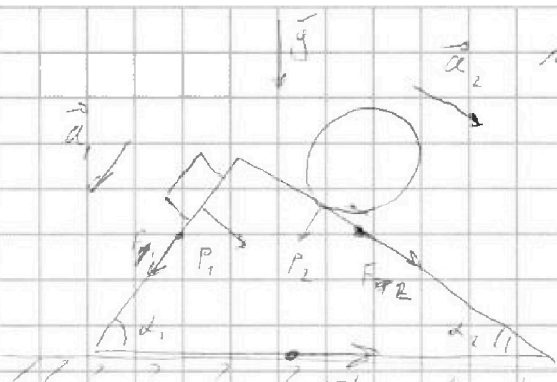


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

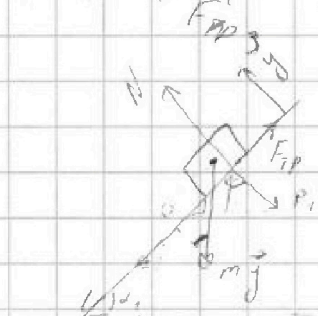
1 2 3 4 5 6 7

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)



Oy:

$$P_1 = mg \cdot \cos \alpha_1$$

$$P_2 = mg \cdot \cos \alpha_2$$

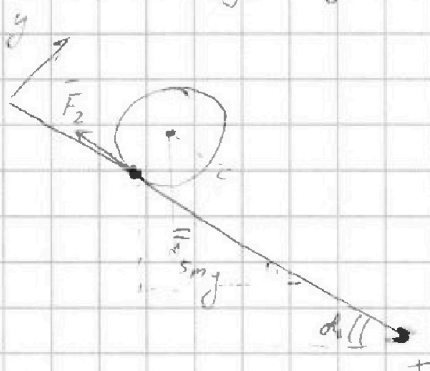
$$N - mg \cdot \cos \alpha_1 = 0$$

$$N = mg \cos \alpha_1$$

Ox: $mg \cdot \sin \alpha_1 - F_{fr} = ma_1$

$$F_{fr} = mg \sin \alpha_1 - ma_1 = mg \cdot \frac{3}{5} - \frac{7}{17} mg = \frac{16}{85} mg$$

2)
 $\frac{8}{5}$



$$5ma_2 = 5mg \cdot \sin \alpha_2 + F_2$$

$$F_2 = 5ma_2 - 5mg \sin \alpha_2 =$$

$$= 5 \cdot m \cdot \frac{8}{25} g - 5mg \cdot \frac{8}{17} =$$

$$= \frac{8}{5} mg - \frac{40}{17} mg$$

$$F_2 = \frac{64}{85} mg$$

3) $P_1 \sin \alpha_1 - P_2 \sin \alpha_2 - F_1 \cos \alpha_1 + F_2 \cos \alpha_1 + F_3 = 0$

$$F_2 \cdot 2R - \frac{5m v^2}{2}$$

$$P_1 \cdot 2R + \frac{5m v^2}{2} - \frac{5mg \sin \alpha_2 \cdot 2R}{2} = 0$$

$$F_3 = 5mg \cdot \cos \alpha_2 \cdot \sin \alpha_2 - mg \cos \alpha_1 \cdot \sin \alpha_1 + F_1 \cos \alpha_1 - F_2 \cos \alpha_2$$