



Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2024

Вариант 11-05

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



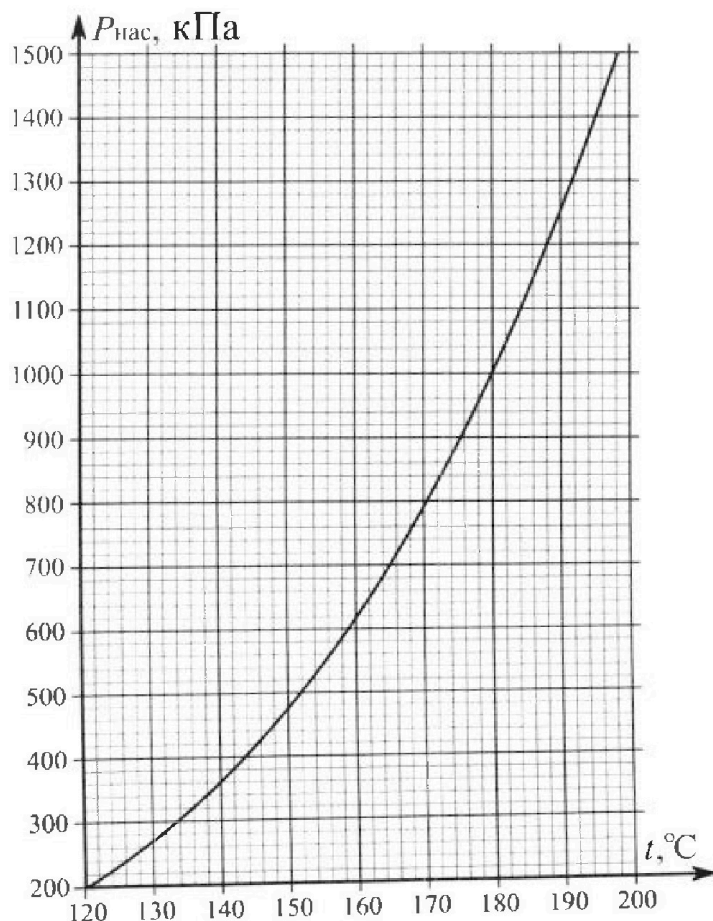
1. Из игрушечной пушки стреляют три раза одним и тем же снарядом. Масса пушки без снаряда в 4 раза больше массы снаряда. Первый раз пушку закрепляют, а ствол направляют вертикально вверх. В результате выстрела снаряд поднялся на высоту $H = 13/3$ м. Во второй раз пушку закрепляют на горизонтальном полу, ствол направляют под углом φ ($\operatorname{tg} \varphi = 2/3$) к горизонту и стреляют. Третий раз пушка может скользить по горизонтальной поверхности пола без трения, поступательно, не отрываясь от пола. Ствол при третьем выстреле направлен под углом φ к горизонту.

- 1) Найти дальность полета S_2 снаряда при втором выстреле.
- 2) На каком расстоянии S_3 от места выстрела снаряд упадет на пол при третьем выстреле?

Раз меры пушки и сопротивление воздуха не учитывать. Снаряд вылетает под действием сжатой легкой пружины. Ответы дать в метрах в виде обыкновенной дроби или целого числа.

2. В цилиндрическом теплоизолированном сосуде с площадью основания $S = 10 \text{ см}^2$ под лёгким, теплоизолированным, способным свободно перемещаться поршнем находится в равновесии влажный воздух с относительной влажностью $\varphi_1 = 100\%$ при температуре $t_1 = 100^\circ\text{C}$. Над поршнем вакуум. Поршень удерживается в равновесии силой $F = 150 \text{ Н}$, направленной вдоль оси сосуда внутрь. В некоторый момент времени сила становится равной $1,5F$, и затем остаётся постоянной. Считайте, что нормальное атмосферное давление $P_0 \approx 100 \text{ кПа}$. Воздух и водяной пар считать идеальными газами с молярными теплоемкостями при постоянном объеме $C_{11} = 5R/2$ (сухой воздух), $C_{12} = 3R$ (пар). На рисунке представлена зависимость давления насыщенного пара воды от температуры $P_{\text{нас}}(t)$.

- 1) Найти отношение начального равновесного давления P_1 к P_0 .
- 2) Найти в сосуде отношение числа молекул воды N_2 к числу молекул сухого воздуха N_1 .
- 3) Найти отношение температуры T_2 после установления термодинамического равновесия к начальной температуре T_1 . Температуры T_2 и T_1 по шкале Кельвина. Ответ дать в виде обыкновенной дроби.
- 4) Найти относительную влажность воздуха φ_2 в сосуде после установления термодинамического равновесия.





Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2024

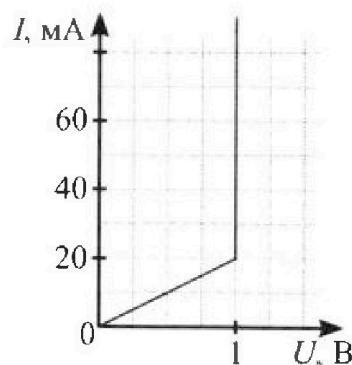
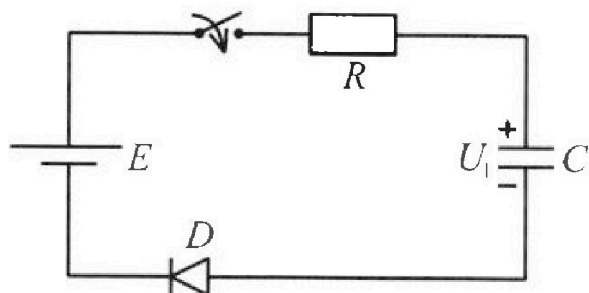
Вариант 11-05

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



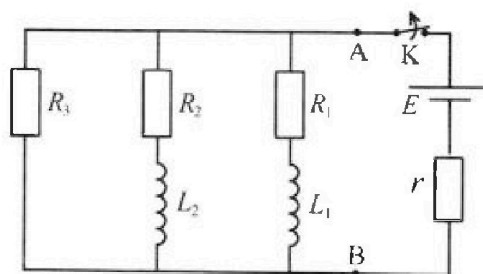
3. В цепи (см. рис.) ЭДС идеального источника $E = 9$ В, $R = 100$ Ом, $C = 60$ мкФ, конденсатор заряжен до напряжения $U_1 = 3$ В. Вольтамперная характеристика диода D приведена на рисунке. Ключ разомкнут, затем ключ замыкают.

- 1) Найти ток I_1 в цепи сразу после замыкания ключа.
- 2) Найти напряжение U_2 на конденсаторе в момент, когда ток в цепи станет $I_2 = 20$ мА.
- 3) Какое количество теплоты Q выделится на резисторе после замыкания ключа?



4. В цепи (см. рис.) ЭДС идеального источника E , $R_1 = R_2 = R$, $R_3 = 2R$, $r = R/5$, $L_1 = L$, $L_2 = 2L$. Ключ K замкнут, режим в цепи установился.

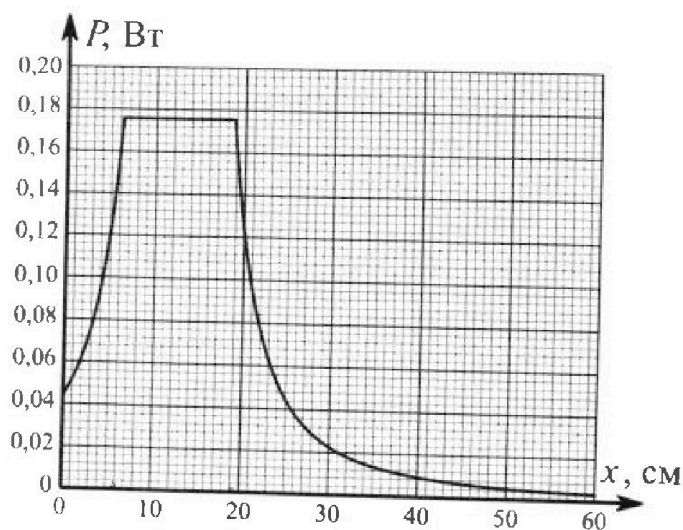
- 1) Найти ток I_0 через катушку L_1 при замкнутом ключе.
- 2) Найти скорость изменения (по модулю) тока в катушке L_1 сразу после размыкания ключа.
- 3) Найти заряд q_3 , протекший через резистор R_3 после размыкания ключа.



Каж дый ответ выразить через E , R , L с числовым коэффициентом в виде обыкновенной дроби.

5. Точечный источник излучает свет одинаково по всем направлениям. На некотором расстоянии от него расположили датчик в форме диска, регистрирующий мощность P падающего света. Ось симметрии датчика проходит через источник. Между источником и датчиком на фиксированном расстоянии $a = 32$ см от источника расположили тонкую линзу радиусом $R = 2$ см так, что главная оптическая ось линзы совпала с осью симметрии датчика. На рисунке представлен график зависимости показаний датчика от расстояния x между линзой и датчиком.

- 1) Найти радиус датчика r , считая его меньше радиуса линзы.
- 2) Найти фокусное расстояние F линзы.
- 3) Найти мощность источника P_0 , считая $R \ll a$.



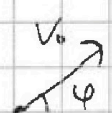


1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

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!

задача 11
при вертикальном выстреле: $\frac{m v_0^2}{2} = m g H$ (m - масса снаряда)
(v_0 - скор. снаряда) $\Rightarrow v_0 = \sqrt{2gH} \Rightarrow \frac{2v_0^2}{g} = 4H$

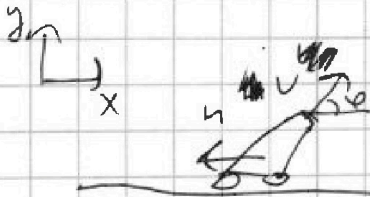
1)  $t = \frac{2v_0 \sin \varphi}{g}$ $s_2 = v_0 \cos \varphi t = \frac{v_0^2}{g} \sin 2\varphi$

$3 \sin^2 \varphi = 2 \cos^2 \varphi \Rightarrow 3 \sin^2 \varphi = 4 \cos^2 \varphi \Rightarrow$

$\Rightarrow 13 \sin^2 \varphi = 4 \Rightarrow \sin^2 \varphi = \frac{4}{13} \Rightarrow \sin \varphi = \frac{2}{\sqrt{13}}$

$\Rightarrow \cos \varphi = \frac{3}{\sqrt{13}} \Rightarrow s_2 = \frac{2v_0^2}{g} \cdot \frac{6}{13} = \frac{24}{13} H$

2) (m - масса пушки) $M = 4m$ (v - новая скор. снар.)
 u - скор. пушки



3 си по O_x (внеш. сил нет):

$m v \cos \varphi = M u \Rightarrow u = \frac{3}{4} \cdot \frac{2}{\sqrt{13}} v$

~~система снаряд-пушка~~ внутренняя энергия, затра-
ченная в пушке в перелом $\rightarrow$ аэроупругая деформация передаётся

снаряду, ~~в~~ перелом - между пушкой и пушкой:

$m g H = \frac{M u^2}{2} + \frac{m v^2}{2} = \frac{4m}{2} \cdot \frac{9}{16 \cdot 13} v^2 + \frac{m}{2} v^2 \Rightarrow$

$\Rightarrow 2 g H = v^2 \left(\frac{9}{16 \cdot 13} + 1 \right) = \frac{61}{52} v^2 \Rightarrow v^2 = \frac{104}{61} g H$

$s_3 = \frac{v^2}{g} \cdot 2 \sin^2 \varphi = \frac{104}{61} H \cdot \frac{12}{13} = \frac{8 \cdot 12}{61} H = \frac{96}{61} H$

Ответ: 1) $\frac{24}{13} H$ 2) $\frac{96}{61} H$.



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!

задача 22

$$1) p_1 = \frac{F}{S} = \frac{150 \text{ Н}}{10 \text{ см}^2} = 1,5 \cdot 10^5 \text{ Па} = 1,5 p_0$$

$$2) p_{H_1} \cdot V_1 = \nu_1 R T_1 \quad \leftarrow \text{для пара} \quad (V_1 - \text{нач. объем сосуда})$$

$$p_1 (p_1 - p_{H_1}) V_1 = \nu_1 R T_1 \quad \text{для воздуха}$$

$$\Rightarrow \frac{\nu_1}{\nu_2} = \frac{p_{H_1}}{p_1 - p_{H_1}} = \frac{p_0}{1,5 p_0 - p_0} = \frac{2}{3-2} = 2$$

3) получим пар не конденсировавшийся:

$$\frac{p_{H_2}}{p_2 - p_{H_2}} = 2 \quad (p_2 = \frac{1,5 F}{S} = 1,5 p_1 = 2,25 p_0)$$

$$\Rightarrow 3 p_{H_2} = 4,5 p_0 \Rightarrow p_{H_2} = 1,5 p_0 = 150 \text{ кПа} \quad (p_{H_2} = \nu R)$$

$$3 \text{ и } 2: \quad \frac{5}{2} \nu_1 R T_1 + 3 \nu_2 R T_1 + \frac{1,5 F (V_2 + V_1)}{S} = \nu_2 R (\frac{5}{2} \nu_1 + 3 \nu_2)$$

(V_2 - объем сосуда 2-й раз)

$$T_2 = \frac{2,25 p_0 (\nu_1 + V_1)}{\nu_2 R (\frac{5}{2} \nu_1 + 3 \nu_2)} + T_1 = T_1 + \frac{2,25 p_0 (\frac{\nu_2 R T_2}{p_{H_2}} + \frac{\nu_1 R T_1}{p_{H_1}})}{\nu_2 R (\frac{5}{2} \nu_1 + 3 \nu_2)}$$

$$= T_1 + \frac{9 p_0 (\frac{T_2}{1,5} + \frac{T_1}{1})}{14} = T_1 + \frac{6 T_2}{14} + \frac{9 T_1}{14} \Rightarrow \frac{11 T_2}{14} = \frac{8 T_1}{14} \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \frac{8}{11}$$

$$\Rightarrow \frac{23}{14} T_2 = \frac{26}{14} T_1 \Rightarrow T_2/T_1 = \frac{26}{23} \Rightarrow T_2 \approx 140,7^\circ \text{C}$$

$\Rightarrow p_{H_2} > p_{H_2} \Rightarrow$ пар не конденсировался

$$4) p_2 = \frac{p_{H_2}}{p_{H_2} - p_{H_1}} = \frac{150 \text{ кПа}}{460 \text{ кПа}} = \frac{15}{46} \quad (\text{на графике})$$

$$\text{Ответ: } 1) 1,5; 2) 2; 3) \frac{26}{23}; 4) \frac{15}{46}.$$



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!

Задача №3

$U_0 = 1 \text{ В}$ - напряжение ~~показано~~ открытого диода

$$1) \quad \mathcal{E} - U_1 - U_0 = I_1 R \Rightarrow I_1 = \frac{\mathcal{E} - U_1 - U_0}{R} = 50 \text{ мА}$$

$$2) \quad \mathcal{E} - U_0 - U_2 = I_2 R \Rightarrow U_2 = \mathcal{E} - U_0 - I_2 R = 6 \text{ В}$$

3) Когда напряжение на диоде $\geq U_0$, то на нём перестает ~~быть~~ $Q_1 = q_1 U_0$ эмитт (q_1 - количество e^- из диода заряд) за это время) и

$$q_1 = C(U_2 - U_1) \quad (\text{н.к. при } U_2 \text{ ток } 20 \text{ мА})$$

при ~~напряжении~~ $V < U_0$ на диоде: $I = \alpha V$, где I - ток в цепи, V - напр. на диоде, $\alpha = \frac{20 \text{ мА}}{1 \text{ В}} = 2 \cdot 10^2 \text{ А/В}$

$$\text{конечн энергия: } dQ_2 = I \cdot V \cdot dt = \alpha V \cdot V \cdot dt = \alpha V^2 dt$$

dq - малый заряд, прошедший через диод, через конденсатор:

$$\mathcal{E} = \alpha V R + V + \frac{q}{C} \quad \alpha V = dq/dt = \dot{q} \Rightarrow V = \frac{\dot{q}}{\alpha}$$

$$\mathcal{E} = \frac{\dot{q}}{\alpha} R + \frac{\dot{q}}{\alpha} + \frac{q}{C} \Rightarrow \mathcal{E} = \frac{\dot{q}}{\alpha} (R+1) + \frac{q}{C}$$

$$\Rightarrow V = \frac{\mathcal{E}C - q}{\alpha R + 1} \Rightarrow \alpha Q_2 = \frac{\mathcal{E}C - q}{\alpha R + 1} dq$$

$$Q_2 = 0; \quad q = C(U_0 - U_2) = C(\mathcal{E} - U_2)$$

$$Q_2 = \frac{\mathcal{E}C(\mathcal{E} - U_0)}{\alpha R + 1} - \frac{C(\mathcal{E} - U_2)^2}{\alpha R + 1} = \frac{(\mathcal{E} - U_0)C U_2}{\alpha R + 1}$$



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.

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!

Задача 3)

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 = U_0 C (U_2 - U_1) + \frac{(U_2 - U_1) C U_2}{\alpha R + 1} = 9,60 \cdot 10^{-6} \text{ Дж} + 5,4 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}$$

↑
потенциал, выделенный на диоде

$$A_{\text{ист}} = C (E - U_1) E + C (U_2^2 - U_1^2) = 60 \cdot 10^{-4} \cdot 54 \text{ Дж} = 32,4 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}$$

↑
работу источника за всё время

$$\Delta W_C = \frac{C E^2}{2} - \frac{C U_1^2}{2} = \frac{C}{2} (E^2 - U_1^2) = 30,72 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$$

↑
изменение энергии конденсатора

$$\text{ЗСЭ: } A_{\text{ист}} = \Delta W_C + Q_0 + Q_2 \Rightarrow Q_2 = 5,4 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}$$

$$\text{Ответ: 1) } 50 \text{ мА} \quad 2) 60 \quad 3) 5,4 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}$$



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.

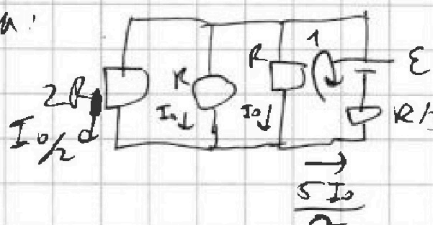
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

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!

Задача 24

1) В ум. реше не поместится $\Rightarrow$ используем безум себя или пролога:



через R_1 и R_2 по II з-ку
Курсора нечен огн. ман I_0 ,

а R_3 через R_3 $I_0/2$
 $\Rightarrow$ через r : $\frac{5I_0}{2}$

II з-к Курсора для контура 1:

$$0 = E - I_0 R - \frac{I_0 R}{2} \Rightarrow I_0 = \frac{2E}{3R}$$

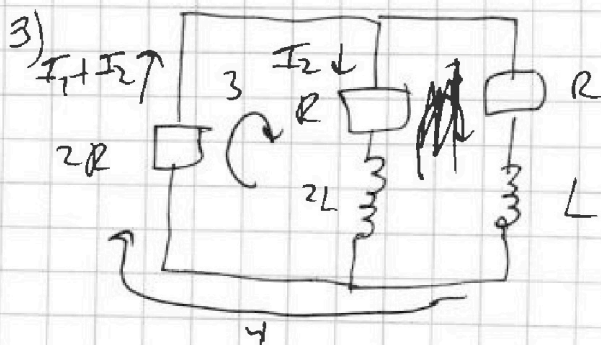
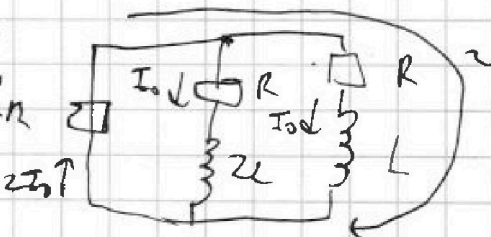
2) пока все R_1 и R_2 там же все $\Rightarrow$ по I з-ку Курсора

по R_3 равен $2I_0$:

2 контур

$$4I_0 R + I_0 R = L \frac{dI_1}{dt} \text{ через } L_1 \text{ } 2R$$

$$|I_1| = \frac{5I_0 R}{L} = \frac{10E}{3L}$$



~~3 контур~~

$$(3) - I_2 R + I_2 R - L \frac{dI_1}{dt} = 0$$

и контур:

$$(4) I_1 R + (I_1 + I_2) 2R + L \frac{dI_1}{dt} = 0$$

через R_1 протек. q_1 , через R_2 $q_2 \Rightarrow q_3 = q_1 + q_2$

$$(3) - R(q_1 - q_2) = L(0 - I_0) = -L I_0$$

$$(4) R(3q_1 + 2q_2) = L(I_0 - 0)$$

$$3 \text{ контур: } R(2I_1 + 3I_2) = -2L I_2 \Rightarrow R(2q_1 + 3q_2) = 2L(I_0 - 0)$$



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!

Задача 24

$$\Rightarrow 5 q_3 R = 3 L I_0 \Rightarrow q_3 = \frac{3 L I_0}{5 R} = \frac{3 L}{5 R} \cdot \frac{2 \epsilon}{3 R} = \frac{2 \epsilon L}{5 R^2}$$

Ответ: 1) $\frac{2 \epsilon}{3 R}$; 2) $\frac{10 \epsilon}{3 L}$; 3) $\frac{2 \epsilon L}{5 R^2}$.



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 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!

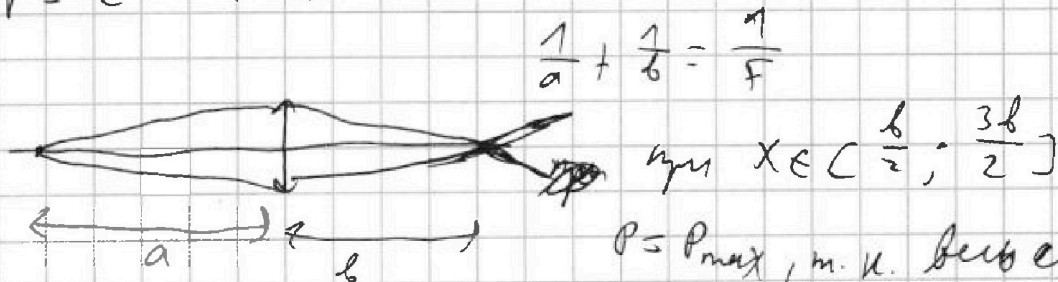
задача 15)

датчик вплотную к линзе $\Rightarrow$ мощность определяется независимо от линзы, при увеличении $\times$ радиусе мощность $\Rightarrow$
 $\Rightarrow$ линза собирающая и $r < R$

1) макс. ~~ради~~ мощность, при датчиком к линзе
 при $x=0$ $\frac{P_{max}}{P(0)} = \frac{\pi R^2}{\pi r^2} = \frac{R^2}{r^2} = \frac{9,136}{0,044}$ (по графику)

$$\Rightarrow r = \frac{R}{2} = 1 \text{ см}$$

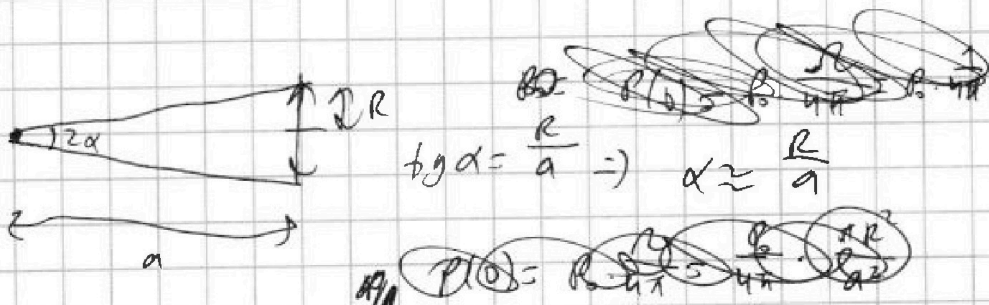
2)



при $x \in [\frac{b}{2}; \frac{3b}{2}]$
 $P = P_{max}$, т.к. весь свет, попадающий на линзу, попадает на датчик

$$\Rightarrow b = 13 \text{ см (по графику)} \Rightarrow F = \frac{ab}{a+b} = \frac{32 \cdot 13}{32+13} = \frac{416}{45} = 9 + \frac{11}{45} \approx 9,25 \text{ см} = \frac{37}{4} \text{ см}$$

3)



нечетный угол α , под которым из точки, в которой расположен источник, была линза $R = \frac{\pi R^2}{a^2}$



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
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!

Задача 5)

$$P_{\max} = P_0 \cdot \frac{S}{4\pi r^2} \Rightarrow P_0 = P_{\max} \cdot \frac{4\pi r^2}{S} = 0,176 \cdot 4 \cdot 16^2 \text{ Вт} =$$
$$= \frac{22}{125} \cdot 4 \cdot 16^2 \text{ Вт} = \frac{88 \cdot 256}{125} \text{ Вт} = \frac{22528}{125} \text{ Вт} = 180,224 \text{ Вт}$$

Ответ: 1) 1 м ; 2) 9,25 м ; 3) 180,224 Вт .



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!

