



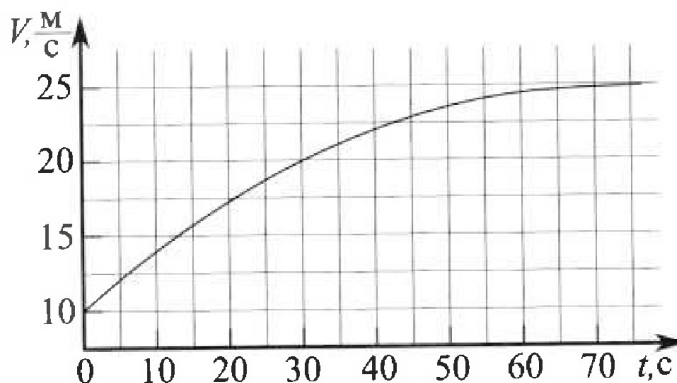
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-01

Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные
дроби и радикалы.



1. Автомобиль массой $m = 1800$ кг движется с постоянной скоростью и затем разгоняется на прямолинейном горизонтальном участке дороги. График зависимости скорости от времени при разгоне показан на рисунке. В конце разгона сила тяги двигателя равна $F_k = 500$ Н. Считать, что при разгоне сила сопротивления движению пропорциональна скорости.



1) Используя график, найти ускорение автомобиля при скорости $V_1 = 20$ м/с.

2) Найти силу тяги F_1 при скорости V_1 .

3) Какая мощность P_1 передается от двигателя на ведущие колеса при скорости V_1 ?

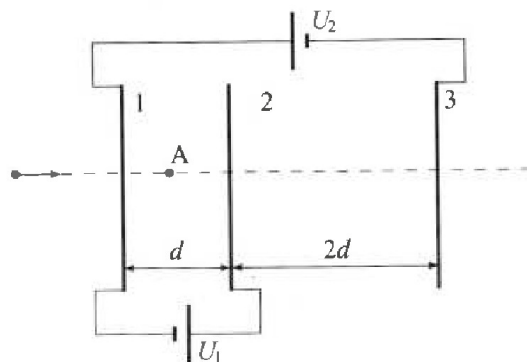
Требуемая точность в численном ответе на первый вопрос ориентировочно 10%.

2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объемом V разделён тонким невесомым теплопроводящим герметичным поршнем (диск соосный с сосудом) на две равные части. Поршень может перемещаться без трения. В верхней части цилиндра находится углекислый газ, а в нижней - вода и углекислый газ. В начальный момент система находилась в равновесии при комнатной температуре T_0 . При этом жидкость занимала объём $V/4$. Затем цилиндр медленно нагрели до $T = 5T_0/4 = 373$ К. Установившийся объём его верхней части стал равен $V/5$.

По закону Генри, при заданной температуре количество Δn растворённого газа в объёме жидкости w пропорционально парциальному давлению p газа: $\Delta n = kpw$. Объём жидкости при этом практически неизменен. Для углекислого газа константа Генри для данной комнатной температуры $k \approx (1/3) \cdot 10^{-3}$ моль/(м³·Па). При конечной температуре T углекислый газ в воде практически не растворяется. Можно принять, что $RT \approx 3 \cdot 10^3$ Дж/моль, где R - универсальная газовая постоянная. Давлением водяных паров при комнатной температуре и изменением объёма жидкости в процессе нагревания пренебречь. Все газы считать идеальными.

- 1) Найти отношение количеств вещества в газообразном состоянии в верхней и нижней частях до нагревания.
- 2) Определите начальное давление в сосуде P_0 . Ответ выразить через $P_{\text{атм}}$ (нормальное атмосферное давление) с числовым коэффициентом в виде обыкновенной дроби.

3. Три проводящие плоские мелкие сетки находятся друг напротив друга на расстояниях d и $2d$ (см. рис.). Размеры сеток значительно больше d . Изначально сетки не заряжены. К сеткам подсоединили источники с напряжением $U_1 = U$ и $U_2 = 4U$. Частица массой m и зарядом $q > 0$ движется по направлению к сеткам и перпендикулярно сеткам, имея скорость V_0 на расстоянии от сеток, намного большем их размеров. Частица пролетает через сетки, не отклоняясь от прямолинейной траектории. Заряд q намного меньше модуля зарядов сеток.



- 1) Найти модуль ускорения частицы в области между сетками 1 и 2.
- 2) Найти разность $K_1 - K_2$, где K_1 и K_2 — кинетические энергии частицы при пролете сеток 1 и 2.
- 3) Найти скорость частицы в точке A на расстоянии $d/3$ от сетки 1.



Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-01

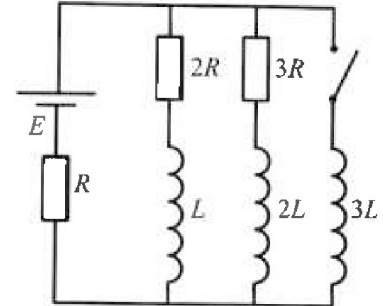
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



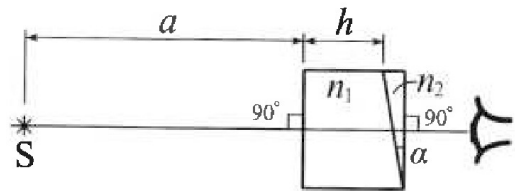
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 1) Найти ток I_0 через резистор с сопротивлением $2R$ при разомкнутом ключе.
- 2) Найти скорость возрастания тока в катушке индуктивностью $3L$ сразу после замыкания ключа.
- 3) Какой заряд протечет через резистор с сопротивлением $2R$ при замкнутом ключе?

Ответы давать с числовыми коэффициентами в виде обыкновенных дробей.



5. Оптическая система состоит из двух призм с показателями преломления n_1 и n_2 и находится в воздухе с показателем преломления $n_v = 1,0$. Точечный источник света S расположен на расстоянии $a = 194$ см от системы и рассматривается наблюдателем так, что источник и глаз наблюдателя находятся на прямой, перпендикулярной наружным поверхностям призм (см. рис.). Угол $\alpha = 0,1$ рад можно считать малым, толщина $h = 9$ см. Толщина призмы с показателем преломления n_2 на прямой «источник – глаз» намного меньше h . Отражения в системе не учитывать.



1) Считая $n_1 = n_v = 1,0$, $n_2 = 1,7$, найдите на какой угол отклонится системой луч, идущий от источника перпендикулярно левой грани системы.

2) Считая $n_1 = n_v = 1,0$, $n_2 = 1,7$, найдите расстояние между источником и его изображением, которое будет видеть наблюдатель.

3) Считая $n_1 = 1,5$, $n_2 = 1,7$, найдите на каком расстоянии от источника будет его изображение, которое увидит наблюдатель.



1	2	3	4	5	6	7
☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Печать QR-кода непустыма!

№ 1

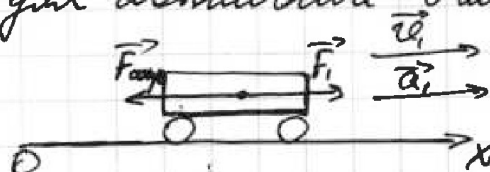
1) Ускорение автомобиля при v_1 равно тангенсу угла наклона касательной к графику в этой точке. Касая., проведенная к графику $v(t)$ в точке $v = v_1$, пересекает ось t в точке с $t_0 = 12,5 \text{ мс}$ $\Rightarrow$
 $\Rightarrow \tan \alpha = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_1 - v_0}{t_1 - 0} = \frac{4,5}{30} = 0,25 \text{ мс}^2$, где $t_1 = 30 \text{ с}$
 (время при $v = v_1$)

$a_1 = \tan \alpha = \boxed{0,25 \text{ мс}^2}$, где a_1 - ускор. при v_1 ,
 ответ п.1

2) Запишем II з-н Ньютона для автомобиля в мом., когда $v = v_1$.

Ох: $F_1 - F_{\text{сопр}} = ma$,

$F_1 - k v_1 = ma$, (1)



Где $F_{\text{сопр}}$ - сила сопротивления движения ($F_{\text{сопр}} = k v$), где k - коэф. пропорциональности.

Запишем II з-н Ньютона для автомобиля в конце разгона, считая известной силу тяги $F_k = 500 \text{ Н}$, считая $a_k = 0$ - ускорение в кон. мом.; $v_k = 25 \text{ мс}$ из графика.

Ох: $F_k - k v_k = m \cdot 0 \Rightarrow k = \frac{F_k}{v_k} = \frac{500}{25} = 20$

$k = 20 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}$

Подставим k в ур-е (1): $F_1 = ma_1 + k v_1$

$F_1 = 1800 \cdot 0,25 + 20 \cdot 20 = 450 + 400 = \boxed{850 \text{ Н}}$
 ответ п.2

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



3) Рассмотрим ведущее колесо: $\sqrt{1}$ (продолжение)

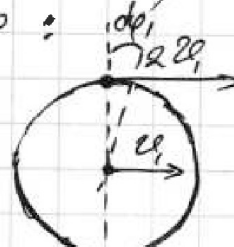
$$d\varphi \cdot R = v_1 dt + \cancel{q_1 d\theta} \rightarrow 0$$

$$P_1 = \frac{dA}{dt}$$

$$dA = F_1 d\ell; d\ell = v_1 dt$$

$$dA = F_1 v_1 dt \Rightarrow P_1 = \frac{F_1 v_1 d\cancel{t}}{d\cancel{t}} = F_1 v_1 = 14000 \text{ Вт}$$

$$P_1 = 14 \text{ кВт} \leftarrow \text{ответ п.3}$$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

МФТИ

1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



№ 2 (продолжение)

$$\frac{5 \dot{V} RT}{V} = \frac{20 RT}{11 V} \left(\frac{5 \dot{V} + 4 \dot{V} RT \cdot k}{10} \right) + p_{атм.}$$

$$\frac{5 \dot{V} RT}{V} - \frac{2 \dot{V} RT (5 + 4 RT \cdot k)}{11 V} = p_{атм.}$$

$$\frac{\dot{V} RT}{V} \cdot \left(\frac{55 - 10 - 8 RT \cdot k}{11} \right) = p_{атм.}$$

$$\dot{V} = \frac{p_{атм.} \cdot V}{RT (45 - 8 RT \cdot k)}$$

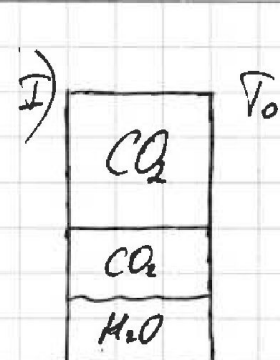
$$p_0 = p_{в.} (RT k = 1)$$

$$p_0 = \frac{2 \cdot p_{атм.} \cdot V \cdot 11 \cdot RT \cdot V_0}{RT (45 - 8 RT k) V} = \frac{22 p_{атм.} \cdot 4 V}{5 (45 - 8 RT k)} =$$

$$= \frac{22 \cdot 4}{5(45 - 8)} \cdot p_{атм.} = \boxed{\frac{88}{185} p_{атм.}} \leftarrow \text{ответ п.2}$$

1 ☐ 2 ☒ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

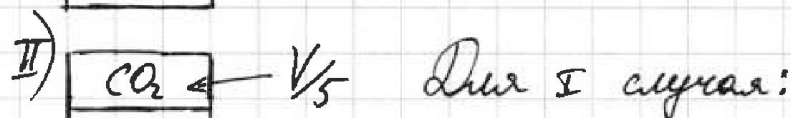
Без отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



$$T = \frac{5T_0}{4} = 345\text{K} \Rightarrow T_0 = \frac{4}{5}T$$

$$\Delta V = k p V; k \approx \frac{1}{3} \cdot 10^{-3} \frac{\text{моль}}{\text{м}^3 \cdot \text{Па}}$$

$$RT \approx 3 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$$



$p_{\text{в}} = p_{\text{н}}$, где $p_{\text{в}}$ (где $p_{\text{в}}$ и $p_{\text{н}}$ - парциальные давления CO_2 в верх и ниж. соотв.)

$$p_{\text{в}} = \frac{2\nu_{\text{в}} RT_0}{V}$$

$$p_{\text{н}} = \frac{4\nu_{\text{н}} RT_0}{V}$$

(где $\nu_{\text{в}}$ и $\nu_{\text{н}}$ - кол-во молекул CO_2 в верх и ниж.)

Кол-во раствор. CO_2 : $\Delta V_1 = k p_{\text{н}} \cdot \frac{V}{4} = \frac{k \cdot 4\nu_{\text{н}} RT_0}{4} \cdot \frac{V}{4}$

Для II случая: $p_{\text{в}2} = p_{\text{н}2} + p_{\text{атм}}$ (т.к. при $T = 345\text{K}$ $p_{\text{нас}} = p_{\text{атм}}$)

$$p_{\text{в}2} = \frac{5\nu_{\text{в}} RT}{V}$$

$$p_{\text{н}2} = \frac{(\nu_{\text{н}} + \Delta V_1) RT \cdot 20}{V}$$

1) т.к. $p_{\text{в}1} = p_{\text{н}1} \Rightarrow \frac{2\nu_{\text{в}} RT_0}{V} = \frac{4\nu_{\text{н}} RT_0}{V} \Rightarrow$

$$\Rightarrow \frac{\nu_{\text{в}}}{\nu_{\text{н}}} = 2 \leftarrow \text{Ответ на п. 1}$$

2) $p_{\text{в}2} = p_{\text{н}2} + p_{\text{атм}} \Rightarrow$ подставим $\nu_{\text{в}} = 2\nu_{\text{н}}$

$$\frac{5\nu_{\text{в}} RT}{V} = \frac{20 RT}{V} \left(\frac{\nu_{\text{в}}}{2} + \frac{2\nu_{\text{в}} RT \cdot k}{5} \right) + p_{\text{атм}}$$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

3) При полёте частицы к 1 сетке: ^{№3 (продолжение)}

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2} + q(\varphi_1 - 0)$$

$$|A_{\text{эл}}| = q \cdot E_1 \cdot \frac{d}{3} = \frac{qU}{3}$$



1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порядк QR-кода недопустим!

№3

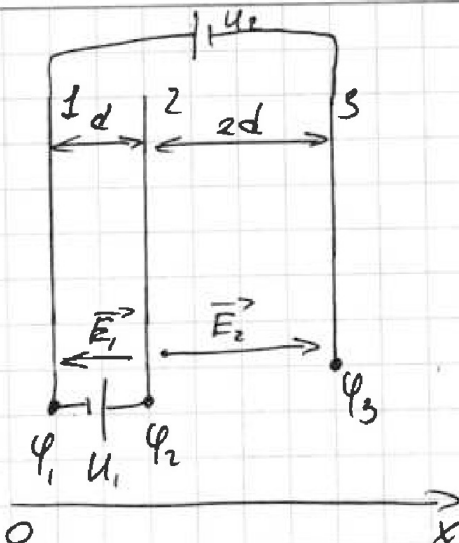
$$U_1 = U ; U_2 = 4U$$

Пусть потенциалы сеток $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ соотв., тогда:

$$\varphi_3 + U_2 = \varphi_1 ; \varphi_1 + U_1 = \varphi_2$$

$$\varphi_3 + 4U = \varphi_1 ; \varphi_1 + U = \varphi_2$$

$$\varphi_3 + 5U = \varphi_2$$



$\varphi_2 > \varphi_1 \Rightarrow$ между сетками 1 и 2 частица будет тормозиться

$\varphi_2 > \varphi_3 \Rightarrow$ между сетками 2 и 3 частица разгоняется

П.к. размеры ~~яко~~ сеток много больше $d \Rightarrow$ поле между сетками можем считать однород.

$$\text{Известно, что } Ed = -\Delta\varphi \Rightarrow E_1 = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{d} = \frac{U}{d} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \text{в обл. между 1 и 2 на част. действует } |F_{12}| = E_1 q = \frac{q \cdot U}{d}$$

1) II.З-н Ньютона для част. между 1 и 2:

$$\text{ок: } -F_{12} = ma \Rightarrow |a| = \frac{F_{12}}{m} = \frac{qU}{md} \leftarrow \text{ответ п.1.}$$

2) Пусть кик жерция част. при прайте сетки 1:

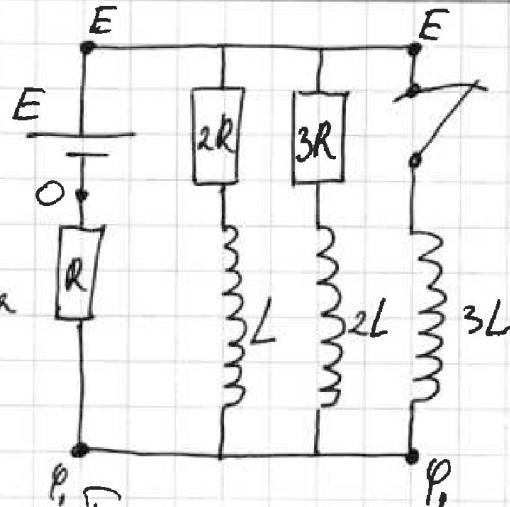
$$E_{k1} = \frac{m v^2}{2} \Rightarrow E_{k2} = E_{k1} - A_{F_{эл}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E_{k1} - E_{k2} = A_{F_{эл}} = q E_1 \cdot d = qU \leftarrow \text{ответ п.2}$$

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

- 1) При разомкнутом ключе в установившемся режиме катушки можно считать идеальными проводниками $\Rightarrow$ запишем правила Кирхгофа для такой цепи.



$$\begin{cases} E = 2R \cdot I_0 + R \cdot I_0 \\ E = 3R \cdot I_3 + R \cdot I_0 \end{cases}, \text{ где } I_0 - \text{ток через источник,} \\ I_3 - \text{ток через резистор } 3R$$

$$I_0 = I_{10} + I_3$$

$$R_3 = R + \frac{2R \cdot 3R}{5R} = \frac{11R}{5} - \text{экв. сопр. схемы.}$$

$$I_0 = \frac{E}{R_3} = \frac{5E}{11R}; \quad I_3 = I_0 - I_{10} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{cases} E = 3R I_0 - 3R I_{10} + R I_0 \Rightarrow E = 4R I_0 - 3R I_{10} \\ E = 2R I_{10} + R I_0 \end{cases}$$

$$3R I_0 - 4R I_0 - 3R I_{10} = 2R I_{10} + R I_0$$

$$I_{10} = \frac{3I_0}{5} = \frac{3E}{11R}$$

- 2) Сразу после замыкания ключа в катушках появится $\mathcal{E}_i$ - ЭДС индукции, но ток ещё не успеет измениться $\Rightarrow$ запишем разность потенциалов E и φ_1 (см. рис.) для контура, содержащего ист., рез. R и катуш. $3L$:

$$E - \varphi_1 = 3L \frac{dI}{dt} \quad E - \varphi_1 = E - I_0 R$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

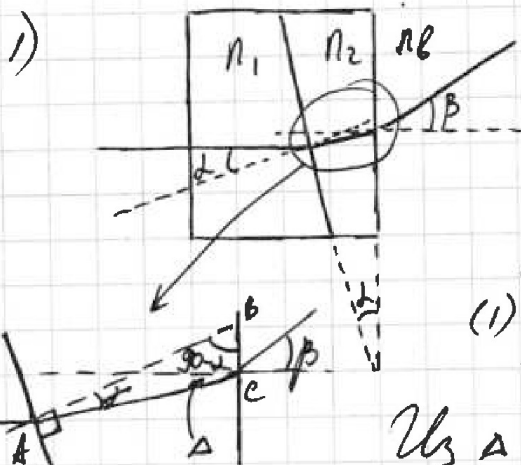
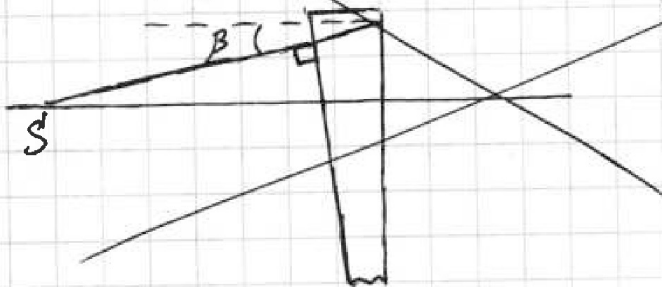
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Поря QR-кода недопустима!

МФТИ

1) $\alpha = 0,1 \text{ рад}$ $a = 194 \text{ см}$ $h = 9 \text{ см}$ $n_1 = n_2 = 1,0$ $n_3 = 1,4$
при прохождении через



На рисунке фрагмент сист., чрез кот. проходит луч $\perp$ левой грани; β - угол, на кот. луч отклонится

Запишем 3-х Снелла в пареке.
приближением

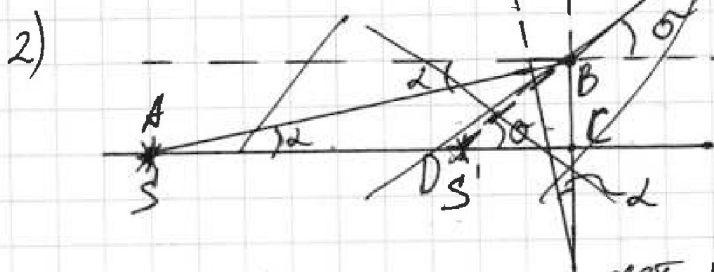
(1) $n_1 \alpha = n_2 \gamma$, где γ - $\angle$ преломления для I преломления

Из ΔABC (см. вынос чертеж) $\angle \Delta = 180^\circ - \alpha - \gamma - (90^\circ - \alpha) - 90^\circ = \alpha - \gamma$

Из ур-а (1): $\gamma = \frac{0,1 \cdot 1}{1,4} \Rightarrow \Delta = 0,1 \cdot \left(1 - \frac{1}{1,4}\right) = \frac{0,4}{14}$

3-х Снелла для II грани: $n_2 \Delta = n_1 \beta \Rightarrow$

$\Rightarrow \beta = \frac{n_2}{n_1} \Delta = 1,4 \cdot \frac{0,4}{14} = 1,4 \cdot \frac{0,4}{14} = 0,1 \cdot 0,4 = \frac{4}{100} \text{ рад}$



Рассмотрим луч, идущий вдоль вводящий в призму $n_2 \perp$ к л-вой грани. $\Rightarrow$

$\rightarrow$ преломление будет только при прохождении

через правую грань. Запишем 3-х Снелла:

$n_2 \alpha = n_1 \beta \Rightarrow \beta = \frac{n_2}{n_1} \cdot \alpha = 0,14 \text{ рад}$

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

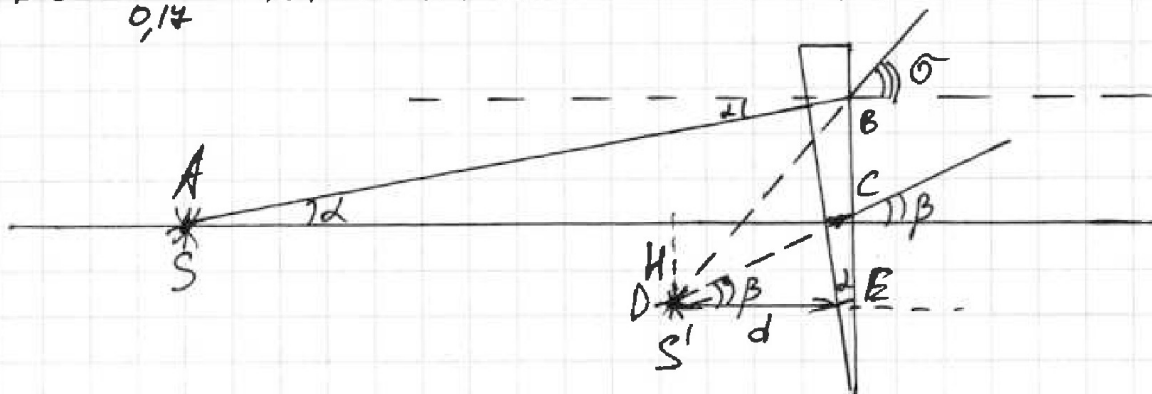


Рассмотрим $\triangle ABC$ и $\triangle PBC$ ^{№5 (продолжение)}

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{BC}{AC} ; \operatorname{tg} \sigma = \frac{BC}{DC} \Rightarrow AC \operatorname{tg} \alpha = DC \operatorname{tg} \sigma$$

В паре приближ. $DC = \frac{\alpha}{\sigma} \cdot AC$, где $AC = a = 194 \text{ см.}$

$$DC = \frac{0,1}{0,14} \cdot 194 \approx 114 \text{ см.} \Rightarrow L = AC - DC =$$



$$AC = 194 \text{ см} + 9 \text{ см} = a + h = 203 \text{ см.}$$

$$AD = \sqrt{(AC - d)^2 + H^2} ; BE = H + BC ; BC = a \cdot \sin \alpha$$

$$BE = d \cdot \operatorname{tg} \sigma ; H = d \operatorname{tg} \sigma - a \sin \alpha ; \sin \beta = \frac{H}{d}$$

$$d \sin \beta = d \operatorname{tg} \sigma - a \sin \alpha \quad \text{В паре приближ.: } d \beta = d \sigma - a \alpha$$

$$d = \frac{a \alpha}{\sigma - \beta} ; H = d \operatorname{tg} \sigma = \frac{a \alpha \sigma}{(\sigma - \beta)}$$

$$AD = \sqrt{\left(a + h - \frac{a \alpha}{\sigma - \beta}\right)^2 + \left(\frac{a \alpha \sigma}{\sigma - \beta}\right)^2}$$



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

$$\begin{array}{r} 45 \overline{) 30} \\ -60 \\ \hline 150 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 500 \overline{) 125} \\ -1000 \\ \hline 250 \end{array}$$

$$0,4 \cdot 0,1 = \frac{0,04}{1,4} = \frac{94}{14}$$

$$10 = \frac{28}{360} \text{ рад} \cdot \frac{4}{68}$$

$$\begin{array}{r} 4 \overline{) 36} \\ \times 1,4 \\ \hline 252 \\ 36 \\ \hline 612 \\ \hline 618 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1940 \overline{) 14} \\ -14 \\ \hline 24 \\ -14 \\ \hline 10 \end{array}$$

$$T = \frac{4V}{5} - \frac{V}{4} = \frac{16V - 5V}{20} = \frac{11V}{20}$$

$$\Delta W_n = \Delta E_k$$

$$A = d \cdot q \cdot E$$

$$A = q \cdot \Delta \varphi \Rightarrow E d = \Delta \varphi$$

$$W_0 = (\varphi_1 - 0) q = \frac{m v_k^2}{2} - \frac{m v_0^2}{2}$$

$$F_T - F_{\text{ср}} = ma$$

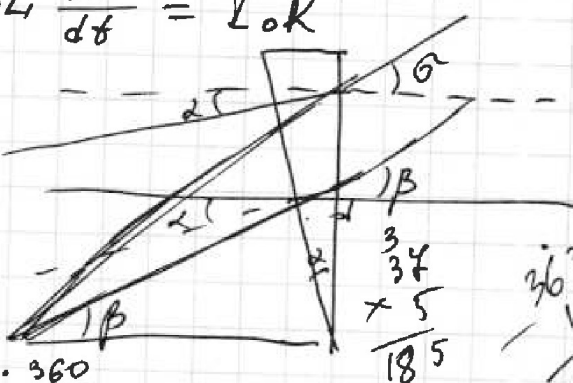
$$d\varphi \cdot R =$$

$$E - \varphi_1 = 3L \frac{dI}{dt}$$

$$E - \varphi_1 = E - I_0 R$$

$$E - 3L \frac{dI}{dt} = I_0 R$$

$$A = I^2 R$$



$$\Delta \varphi_1 = \frac{k \cdot I_0 \cdot R \cdot \sqrt{2}}{5}$$

$$QT \cdot k = 3 \cdot 10^3 \cdot \frac{1}{5} \cdot 10^{-5} = 1$$

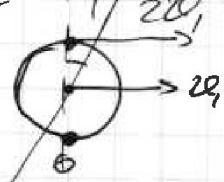
$$\frac{22.4}{5.84} = \frac{88}{185}$$

$$F = qE$$

$$E = \Delta \varphi$$

$$850 \cdot 20 = 9000$$

$$\frac{m v_0^2}{2} \quad \omega = \frac{2\pi}{R}$$





На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1
☐

2
☐

3
☐

4
☐

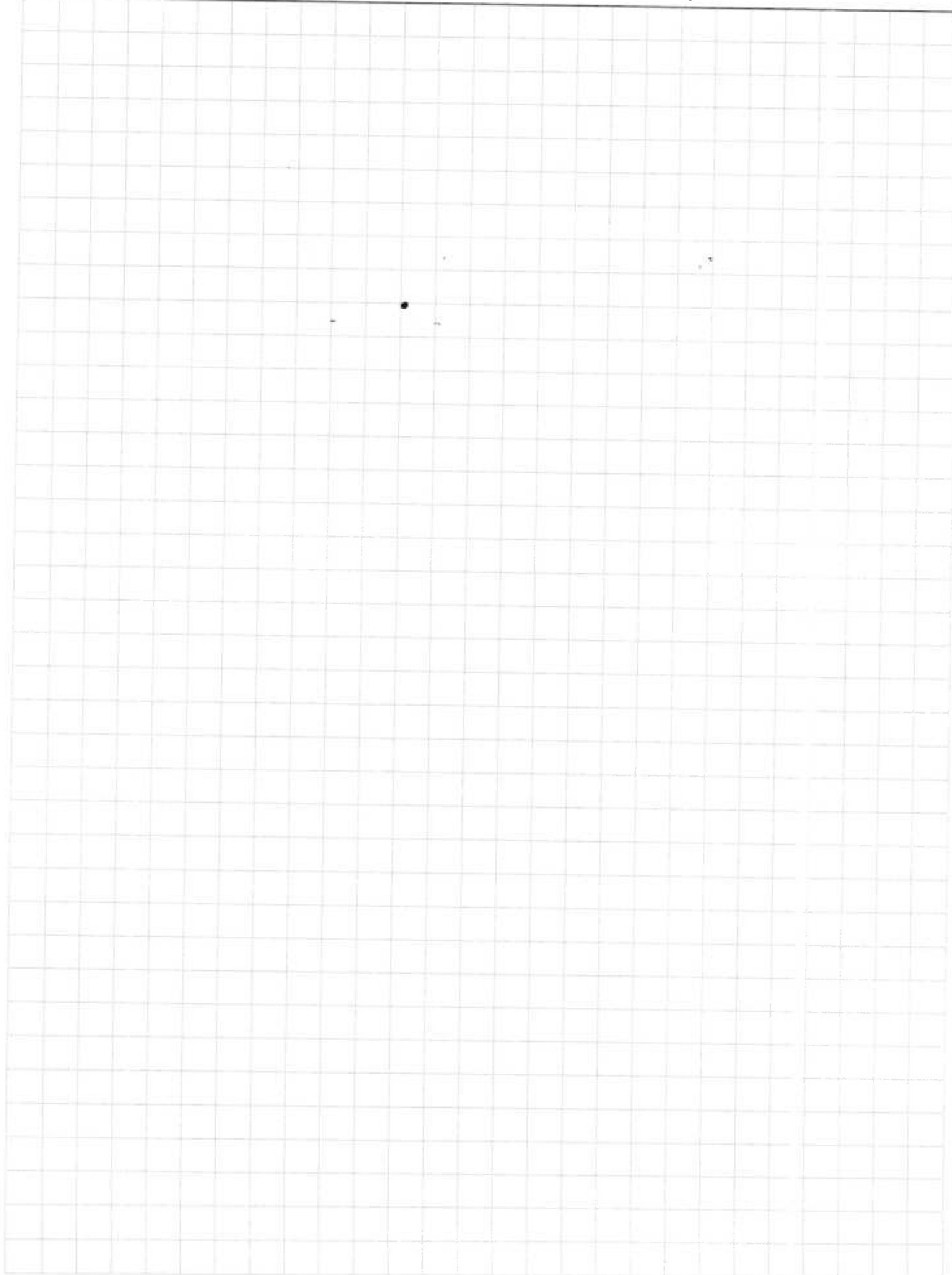
5
☐

6
☐

7
☐



Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!





На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

№4 (продолжение)

$$E - 3L \frac{dI}{dt} = I_0 R \Rightarrow \frac{dI}{dt} = \frac{E - I_0 R}{3L} = \frac{\frac{6E}{11}}{3L} =$$

$$= \frac{2E}{11L} \Rightarrow I' = \frac{2E}{11L} - \text{в мом. замык. ключа.}$$

- 3) При замкнутом ключе в уст. реж. катушка $3L$ будет работать как индуктивность $\Rightarrow \varphi_1 = E$, а через резисторы $2R$ и $3R$ ток течь не будет.

Запишем изменение энергии магнитного поля для мом. замыкания ключа и установившегося режима.

$$A_{\text{ист}} = \Delta W + Q \quad \Delta W = \frac{3L I_k^2}{2} - \frac{L I_0^2}{2} - \frac{2L I_0^2}{2}$$

$$\Delta W = I_k = \frac{E}{R} - \text{для уст. реж. через } 3L$$

$$\Delta W = \frac{3L E^2}{2R^2} - \frac{L \cdot 9 E^2}{121 R^2 \cdot 2} - \frac{2L \cdot 4 E^2}{121 R^2 \cdot 2} =$$

$$= \frac{(121 \cdot 3 - 9 - 8) L E^2}{121 \cdot 2 R^2} = \frac{143}{121} \frac{L E^2}{R^2}$$

$$Q =$$