



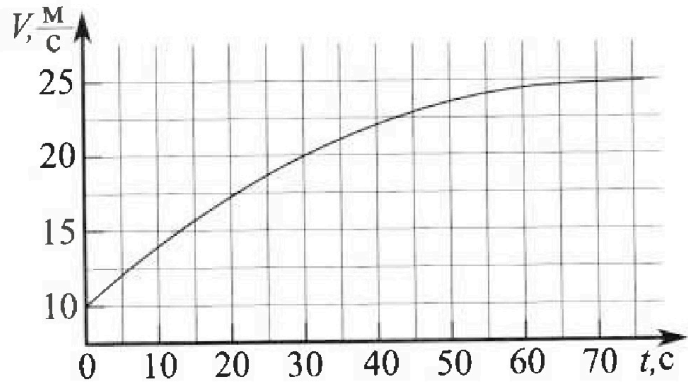
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## 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.



- Используя график, найти ускорение автомобиля при скорости  $V_1 = 20$  м/с.
- Найти силу тяги  $F_1$  при скорости  $V_1$ .
- Какая мощность  $P_1$  передается от двигателя на ведущие колеса при скорости  $V_1$ ?

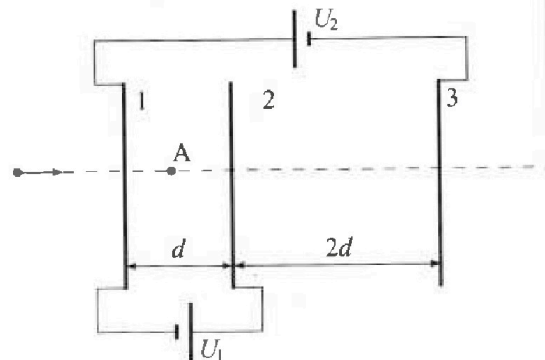
Требуемая точность в численном ответе на первый вопрос ориентировочно 10%.

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  $\Delta v$  растворённого газа в объёме жидкости  $w$  пропорционально парциальному давлению  $p$  газа:  $\Delta v = kw$ . Объём жидкости при этом практически неизменен. Для углекислого газа константа Генри для данной комнатной температуры  $k \approx (1/3) \cdot 10^{-3}$  моль/(м<sup>3</sup>·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.

- Найти отношение количеств вещества в газообразном состоянии в верхней и нижней частях до нагревания.
- 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.



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



# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 11-01

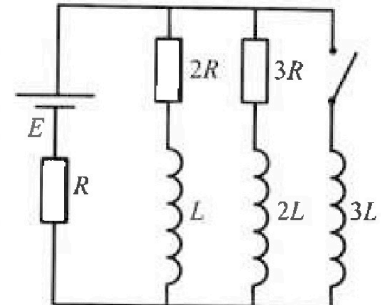


Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

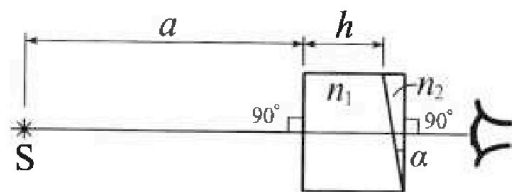
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

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

2) Считая  $n_1 = n_b = 1,0$ ,  $n_2 = 1,7$ , 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.

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. 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  $t_0 = 12,5$  мс  $\Rightarrow$

$$\Rightarrow \operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_1 - v_0}{t_1 - 0} = \frac{4,5}{30} = 0,25 \text{ мс}^{-2}, \text{ где } t_1 = 30 \text{ с}$$

(время при  $v = v_1$ )

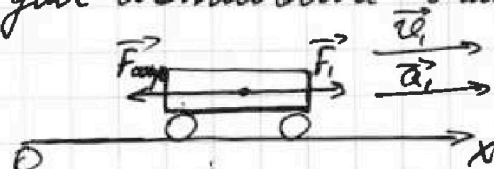
$$a_1 = \operatorname{tg} \alpha = \boxed{0,25 \text{ мс}^{-2}}, \text{ где } a_1 - \text{ускор. при } v_1$$

ответ п.1

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

$$\text{оx: } F_1 - F_{\text{сопр}} = m a_1$$

$$F_1 - k v_1 = m a_1 \quad (1)$$



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

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

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

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

Подставим  $k$  в ур-е (1):  $F_1 = m a_1 + k v_1$

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

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)

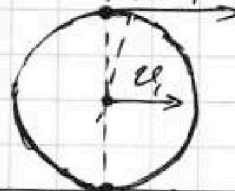
$$d\varphi \cdot R = v_1 dt + q_1 ds \rightarrow 0$$

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

$$dA = F_1 dl; dl = v_1 dt$$

$$dA = F_1 v_1 dt \Rightarrow P_1 = \frac{F_1 v_1 dt}{dt} = F_1 v_1 = 17000 \text{ Вт}$$

$$P_1 = 17 \text{ кВт} \leftarrow \text{ответ п.3}$$





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 черновком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

№ 2 (продолжение)

$$\frac{5I_B R_T}{V} = \frac{20 R_T}{11V} \left( \frac{5I_B + 4I_B R_T \cdot k}{10} \right) + P_{ATM}$$

$$\frac{5I_B R_T}{V} - \frac{2I_B R_T (5 + 4R_T \cdot k)}{11V} = P_{ATM}$$

$$\frac{I_B R_T}{V} \cdot \left( \frac{55 - 10 - 8R_T \cdot k}{11} \right) = P_{ATM}$$

$$I_B = \frac{P_{ATM} \cdot V}{R_T (45 - 8R_T \cdot k)}$$

$$P_0 = P_B \cdot (R_T k = 1)$$

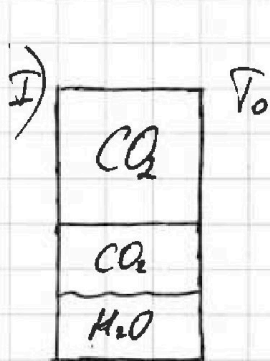
$$P_0 = \frac{2 \cdot P_{ATM} \cdot V \cdot 11 \cdot R_T \cdot V_0}{R_T (45 - 8R_T k) V} = \frac{22 P_{ATM} \cdot 4V}{5 (45 - 8R_T k)}$$

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



1  2  3  4  5  6  7

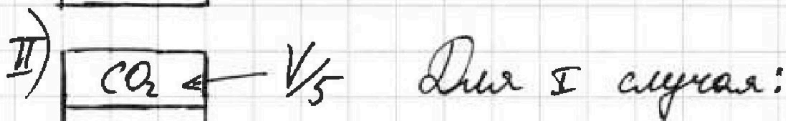
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



$$T = \frac{5\sqrt{0}}{4} = 345\text{K} \Rightarrow T_0 = \frac{4}{5} T$$

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

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



$p_{b1} = p_{n1}$ , где  $p_b$  (где  $p_b$  и  $p_n$  - парциальные давления CO<sub>2</sub> в вера и низк. соотв.)

$$p_{b1} = \frac{2 \nu_b R T_0}{V}$$

$$p_{n1} = \frac{4 \nu_n R T_0}{V}$$

(где  $\nu_b$  и  $\nu_n$  - кол-во газо-обр. CO<sub>2</sub> в вера и низк.)

кол-во раствор. CO<sub>2</sub>:  $\Delta v_1 = k p_{n1} \cdot \frac{V}{4} = \frac{k \cdot 4 \nu_n R T_0}{4} \cdot \frac{V}{4}$

Для II случая:  $p_{b2} = p_{n2} + p_{атм}$  (т.к. при T=345K  $p_{нас} = p_{атм}$ )

$$p_{b2} = \frac{5 \nu_b R T}{V}$$

$$p_{n2} = \frac{(\nu_n + \Delta v_1) R T \cdot 20}{V}$$

1) т.к.  $p_{b1} = p_{n1} \Rightarrow \frac{2 \nu_b R T_0}{4} = \frac{4 \nu_n R T_0}{4} \Rightarrow$

$$\Rightarrow \frac{\nu_b}{\nu_n} = 2 \leftarrow \text{Ответ на п. 1}$$

2)  $p_{b2} = p_{n2} + p_{атм} \Rightarrow$  подставим  $\nu_b = 2 \nu_n$

$$\frac{5 \nu_b R T}{V} = \frac{20 R T}{4V} \left( \frac{\nu_b}{2} + \frac{2 \nu_b R T \cdot k}{5} \right) + p_{атм}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

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

МФТИ

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

3) При подлёте частицы к 1 сетке:  
№ 3 (продолжение)

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

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





1  2  3  4  5  6  7

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

№3

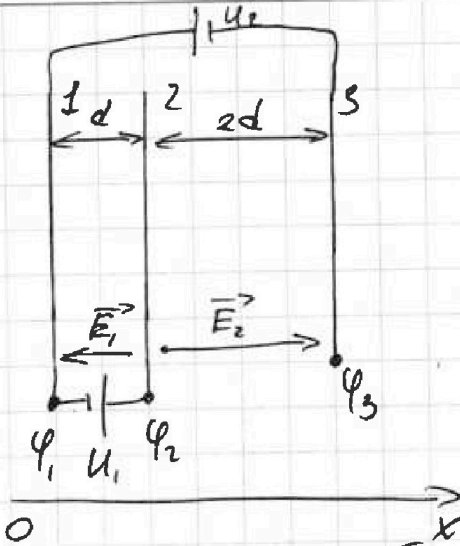
$$U_1 = U ; U_2 = 4U$$

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 ~~этих~~ 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 кин. энергия част. при пролёте сетки 1:

$$E_{k1} = \frac{m v_1^2}{2} \Rightarrow E_{k2} = E_{k1} - A_{F_{эл}} \Rightarrow$$

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

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

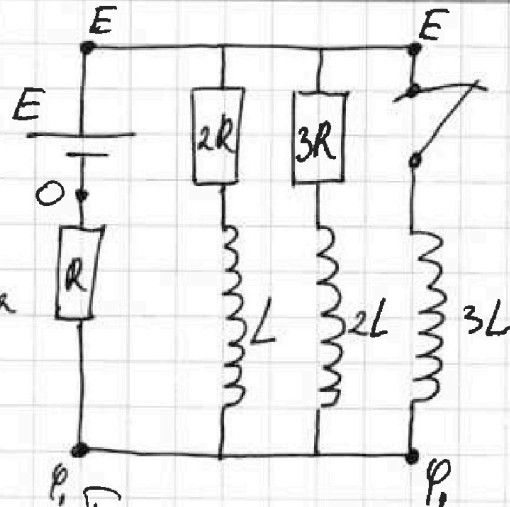
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

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. Понят QR-кода недопустима!

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



$$\begin{cases} E = 2R \cdot I_{10} + R \cdot I_0 \\ E = 3R \cdot I_3 + R \cdot I_0 \end{cases}, \text{ где } I_0 - \text{ток через источник,} \\ I_3 - \text{ток через резистор } 3R$$

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

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

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

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

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

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

2) Сразу после замыкания ключа в катушка появится  $\mathcal{E}_i$  - ЭДС индукции, но ток ещё не успеет измениться  $\Rightarrow$   $\Rightarrow$  запишем разность потенциалов E и  $\varphi_1$  (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.

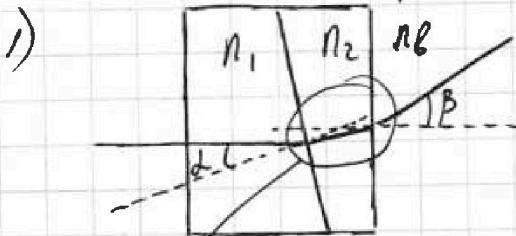
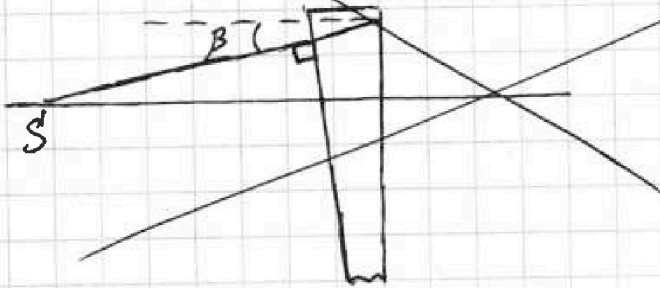
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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

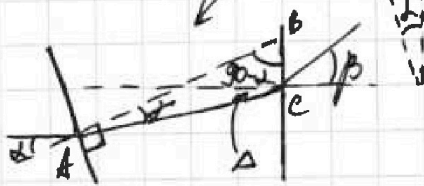
1)  $\alpha = 0,1 \text{ рад}$   $a = 194 \text{ см}$   $h = 9 \text{ см}$   $n_1 = n_2 = 1,0$   $n_3 = 1,7$   
 при прохождении через  $m$



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

Запишем 3-н Снелла в пареке. приближением

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

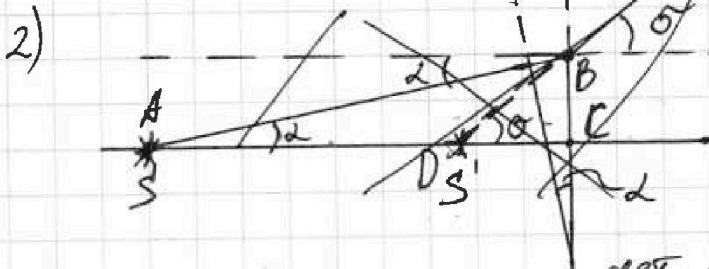


Из  $\Delta ABC$  (см. вынос чертежа)  $\angle \Delta = 180^\circ - \alpha - \gamma - (90^\circ - \alpha) - 90^\circ = \alpha - \gamma$

Из ур-а (1):  $\gamma = \frac{0,1 \cdot 1}{1,7} \Rightarrow \Delta = 0,1 \cdot \left(1 - \frac{1}{1,7}\right) = \frac{0,7}{17}$

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

$\Rightarrow \beta = \frac{n_2}{n_1} \Delta = 1,7 \cdot \frac{0,7}{17} = 1,7 \cdot \frac{0,7}{17} = 0,1 \cdot 0,7 = \frac{7}{100} \text{ рад}$



Рассмотрим луч, идущий вдоль оси в призму  $n_2 \perp$  ее левой грани.  $\Rightarrow$  преломление будет только при прохождении

через правую грань. Запишем 3-н Снелла:

$n_2 \alpha = n_1 \beta \Rightarrow \beta = \frac{n_2}{n_1} \cdot \alpha = 0,17 \text{ рад}$





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. Печать QR-кода недоступна!

$$\begin{array}{r} 45 \overline{) 30} \\ -60 \\ \hline 150 \end{array} \quad \begin{array}{r} 0,25 \\ 30 \\ \hline 000 \\ 075 \\ \hline 0450 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 500 \overline{) 25} \\ -100 \\ \hline 200 \\ -150 \\ \hline 50 \end{array} \quad \begin{array}{r} 180 \overline{) 4} \\ -180 \\ \hline 450 \end{array}$$

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

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

$$\text{mag} = \frac{360}{28} \Rightarrow 0,17 \cdot 360$$

$$\begin{array}{r} 4 \overline{) 36} \\ -12 \\ \hline 252 \\ -36 \\ \hline 612 \\ -618 \\ \hline 618 \end{array} \quad \begin{array}{r} 3,14 \\ \times 2 \\ \hline 6,28 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1949 \overline{) 14} \\ -14 \\ \hline 24 \\ -14 \\ \hline 10 \\ \times 345 \\ \hline 2493 \end{array}$$

$$T = 3000$$

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

$$\Delta W_n = \Delta E_k$$

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

$$A = q \cdot \Delta \varphi \Rightarrow Ed = \Delta \varphi$$

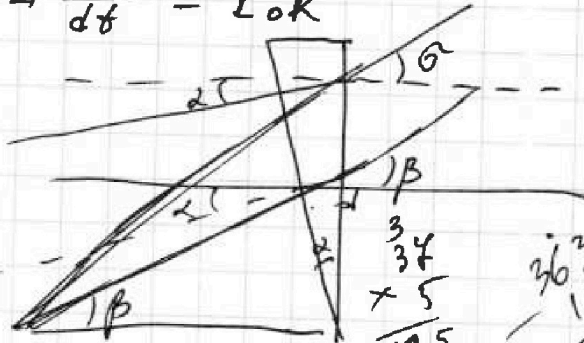
$$W_0 = (\varphi_1 - 0)q = \frac{m v_k^2}{2} - \frac{m v_0^2}{2}$$

$$F_T - F_{\text{cent}} = ma$$

$$d\varphi \cdot R =$$

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

$$E - 3L \frac{dI}{dt} = I_0 R \quad A = I^2 R$$



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

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

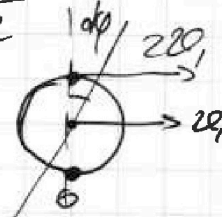
$$\frac{22 \cdot 4}{5 \cdot 24} = \frac{88}{185}$$

$$F = qE$$

$$E = \Delta \varphi$$

$$850 \cdot 20 = 9000$$

$$\frac{m v_0^2}{2} \quad \omega = \frac{20}{R}$$



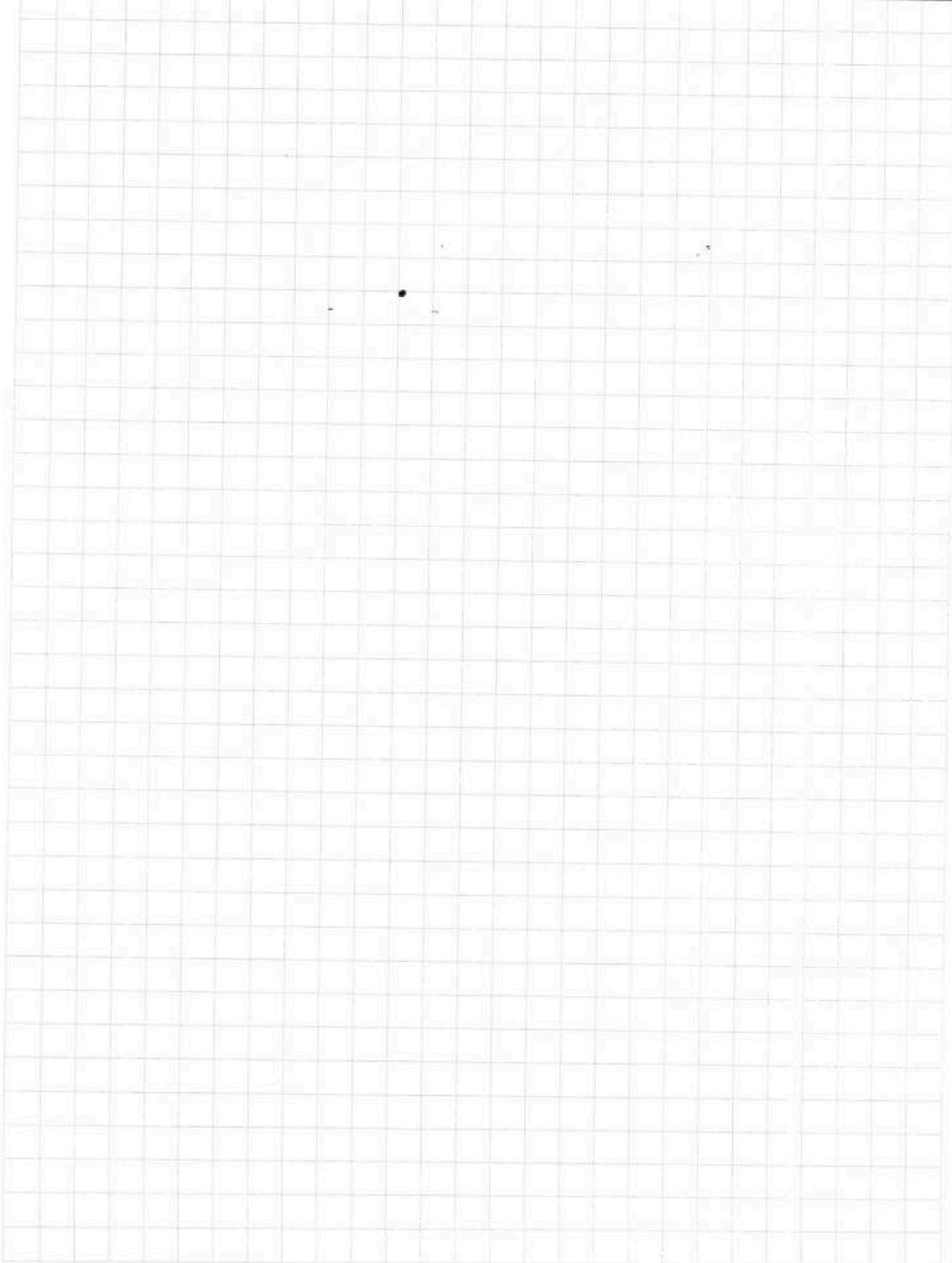


На одной странице можно оформлять только одну задачу.  
Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

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



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
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

МФТИ

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

№4 (продолжение)

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

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

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 магнетизма для мом. замыкания ключа и установившегося режима.

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

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

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

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

$$Q =$$