



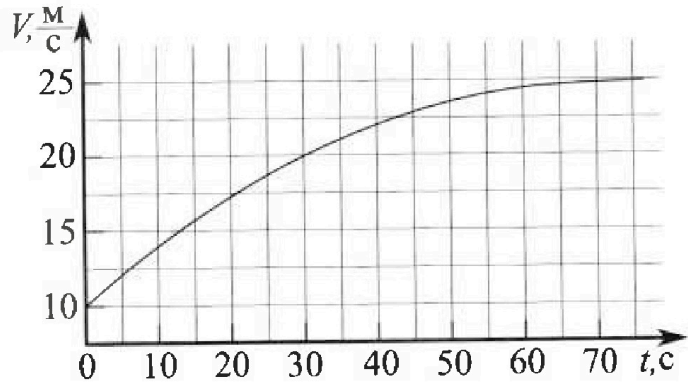
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

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 ?

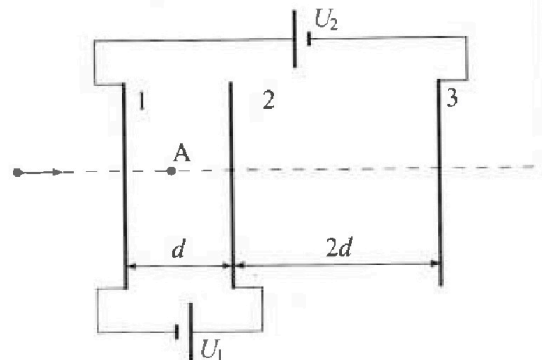
Требуемая точность в численном ответе на первый вопрос ориентировочно 10%.

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 Δv растворённого газа в объёме жидкости w пропорционально парциальному давлению p газа: $\Delta v = kpw$. 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.

- 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

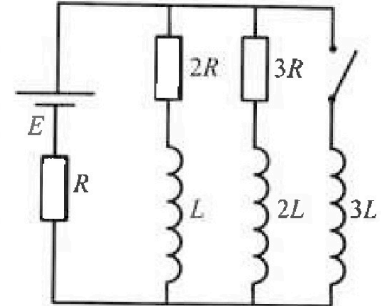


Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

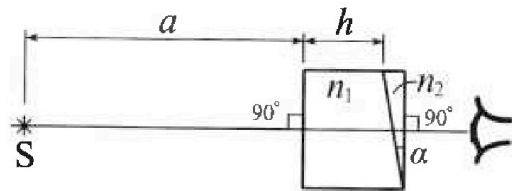
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 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 $v = v_1$)

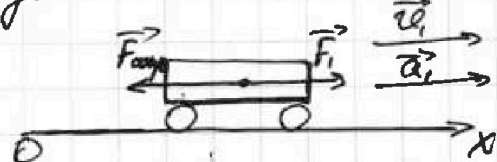
$$a_1 = \operatorname{tg} \alpha = \boxed{0,25 \text{ мс}^{-2}}, \text{ где } a_1 - \text{ускор. при } v_1$$

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)

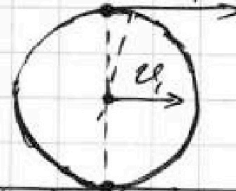
$$d\varphi \cdot R = v_1 dt + q_1 ds \rightarrow 0$$

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

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

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

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



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)

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

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

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

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

$$P_0 = P_{B1} (R_T k = 1)$$

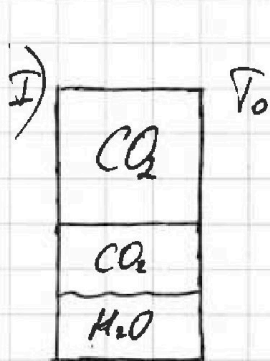
$$P_0 = \frac{2 \cdot P_{ATM} \cdot V \cdot 11 \cdot R_T \cdot V_0}{R_T (45 - 8R_T k) V} = \frac{22 P_{ATM} \cdot 4V}{5 (45 - 8R_T k)}$$

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



1 2 3 4 5 6 7

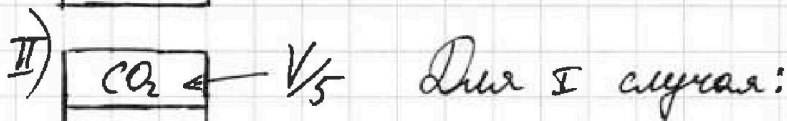
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



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

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

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



$p_{b1} = p_{n1}$, где p_b (где p_b и p_n - парциальные давления CO₂ 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 ν_b и ν_n - кол-во газо-обр. CO₂ в вера и низк)

кол-во раствор. CO₂: $\Delta V_1 = k p_{n1} \cdot \frac{V}{4} = \frac{k \cdot 4 \nu_n R T_0}{4} \cdot \frac{V}{4}$

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 $\nu_b = 2 \nu_n$

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

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. Порча QR-кода недопустима!

№3

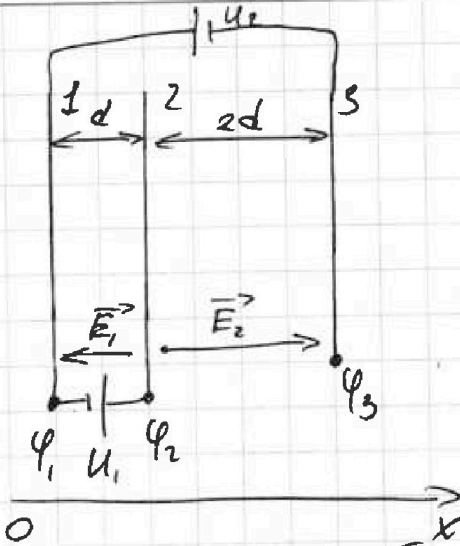
$$U_1 = U ; U_2 = 4U$$

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.

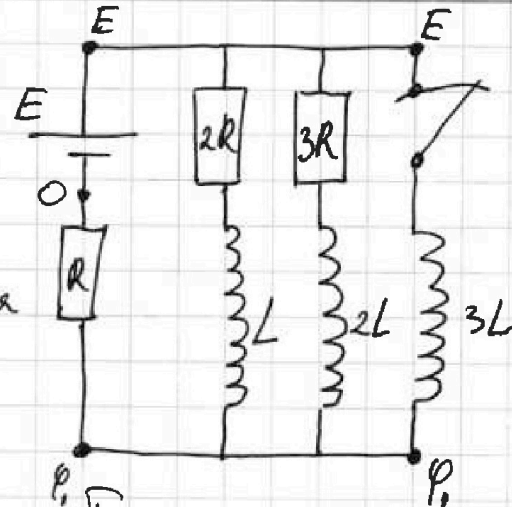
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

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 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.

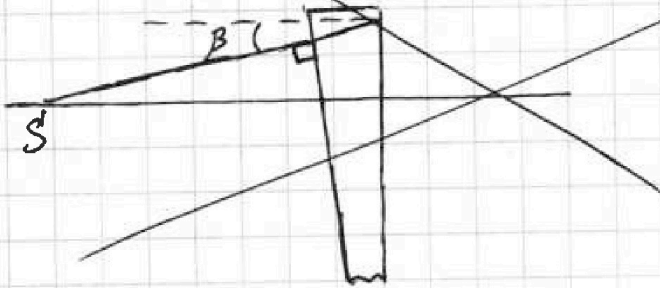
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

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

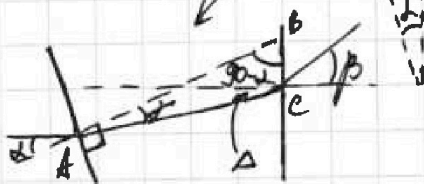
1) $\alpha = 0,1 \text{ рад}$ $a = 194 \text{ см}$ $h = 9 \text{ см}$ $n_1 = n_2 = 1,0$ $n_3 = 1,7$
 при прохождении через m



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

Запишем 3-н Снелла в парале. приближении

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

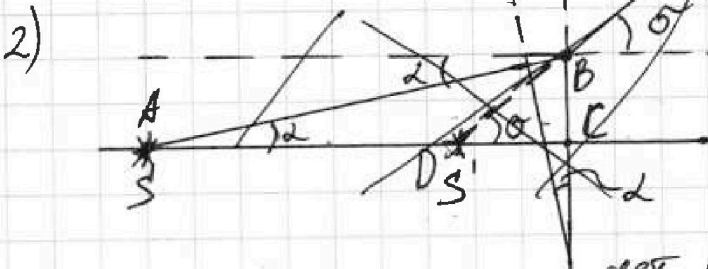


Из ΔABC (см. вынос чертежа) $\angle \Delta = 180^\circ - \alpha - \gamma - 90^\circ = 90^\circ - \alpha - \gamma$

Из ур-а (1): $\gamma = \frac{n_1 \alpha}{n_2} \Rightarrow \Delta = 90^\circ - \alpha - \frac{n_1 \alpha}{n_2} = 90^\circ - \alpha \left(1 + \frac{1}{n_2}\right)$

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

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



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. Порча QR-кода недопустима!

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

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

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

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

$$1 \text{ pag} = \frac{360}{28} \Rightarrow 0,17 \cdot 360$$

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

$$\begin{array}{r} 1949 \overline{) 1,4} \\ -14 \\ \hline 24 \\ -24 \\ \hline 114 \\ -114 \\ \hline 40 \\ \times 345 \\ \hline 2493 \end{array}$$

$$45 - 8 = 37$$

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

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

$$\frac{22 \cdot 4}{5 \cdot 24} = \frac{88}{185} \quad \begin{array}{r} 85 \\ \times 2 \\ \hline 17000 \end{array}$$

$$T = 3000$$

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

$$\Delta W_n = \Delta E_k$$

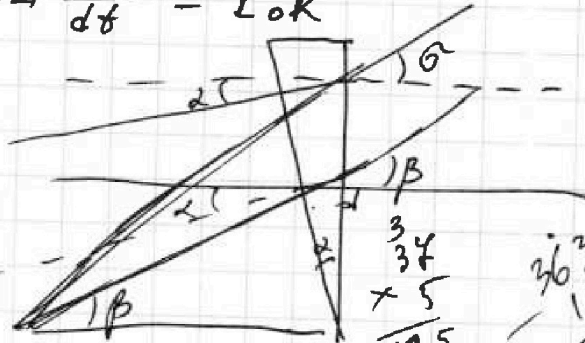
$$A = d \cdot q \cdot E$$

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

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

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

$$d\varphi \cdot R =$$



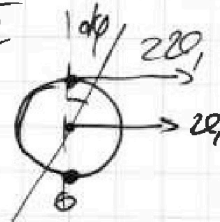
$$\begin{array}{r} 363 \\ \overline{) 1,4} \\ -14 \\ \hline 346 \\ -346 \\ \hline 123 \end{array}$$

$$F = qE$$

$$E = \Delta \varphi / d$$

$$850 \cdot 20 = 9000$$

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



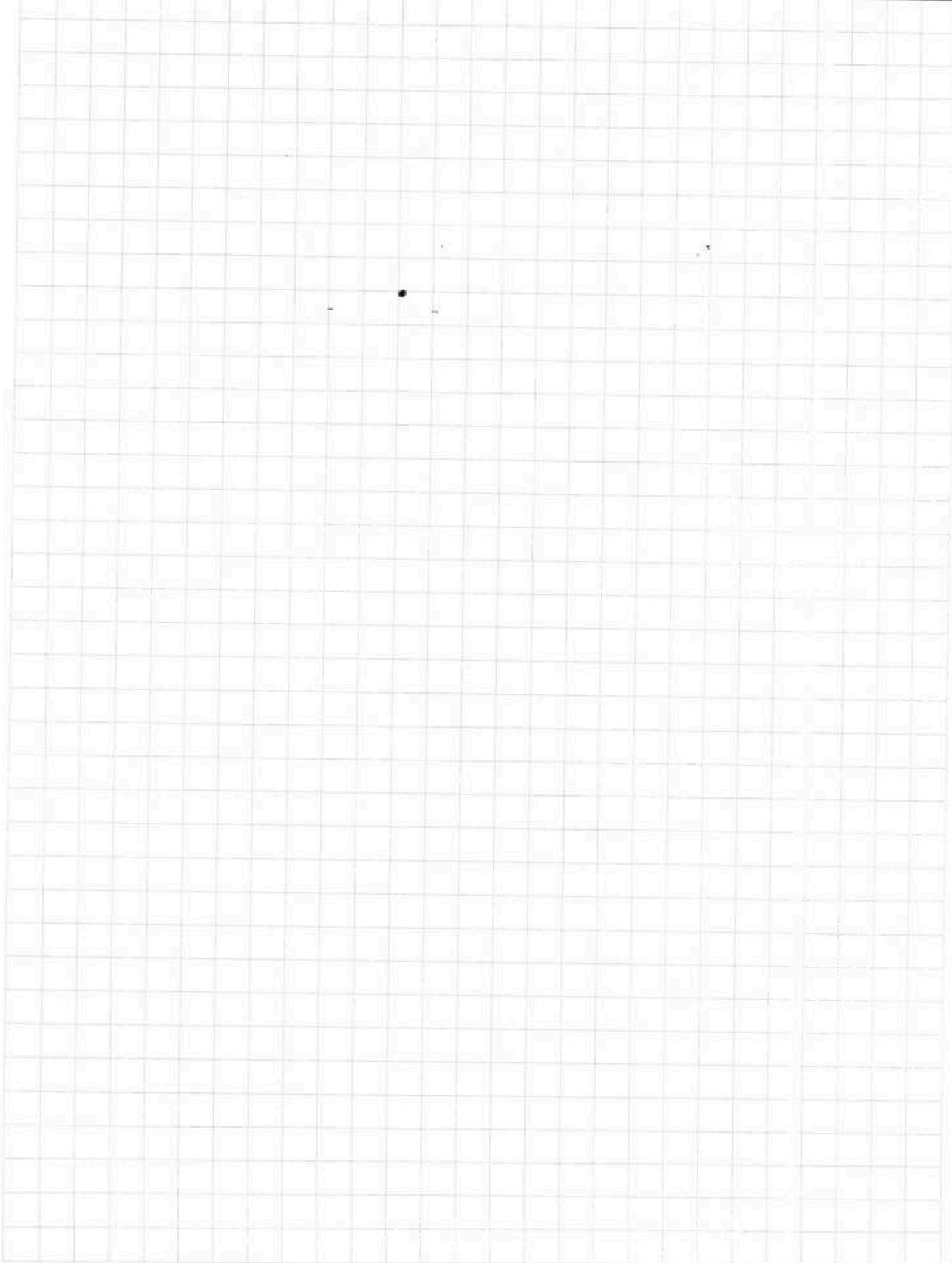


На одной странице можно оформлять только одну задачу.
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<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)

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

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

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.

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

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

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

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

$$Q =$$