



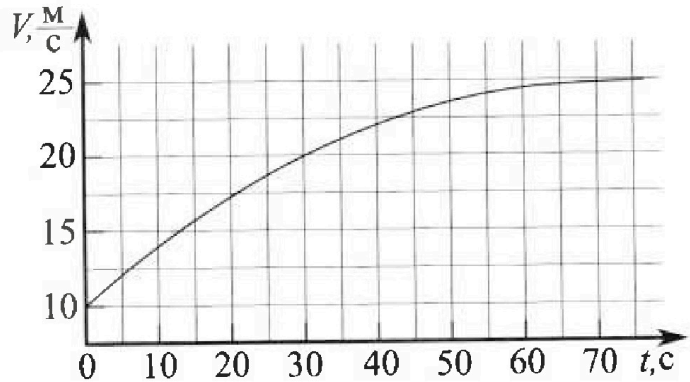
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## 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  $V_1$ ?

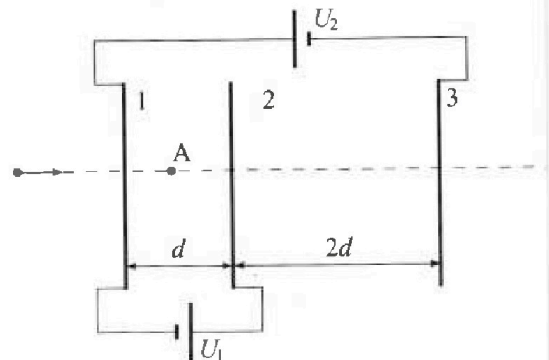
Требуемая точность в численном ответе на первый вопрос ориентировочно 10%.

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:  $\Delta v = kpw$ . 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

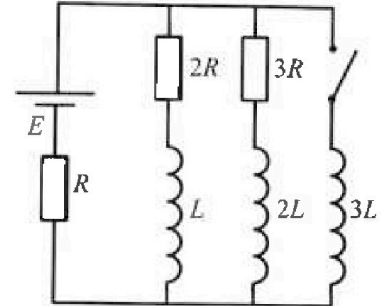


Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

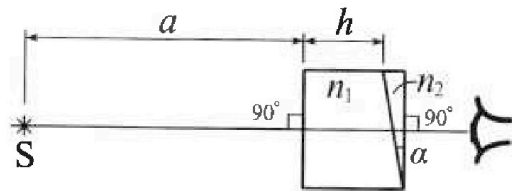
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 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  $n_{\text{в}} = 1,0$ . 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  $n_1 = n_{\text{в}} = 1,0$ ,  $n_2 = 1,7$ , найдите на какой угол отклонится системой луч, идущий от источника перпендикулярно левой грани системы.

2) Считая  $n_1 = n_{\text{в}} = 1,0$ ,  $n_2 = 1,7$ , 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  $v = v_1$ )

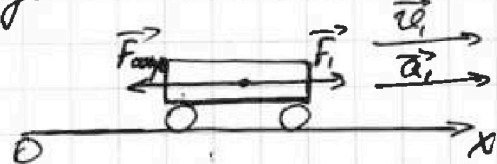
$$a_1 = \operatorname{tg} \alpha = \boxed{0,25 \text{ мс}^{-2}}, \text{ где } a_1 - \text{ускор. при } v_1$$

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)

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

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

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

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

$$P_0 = P_{B1} \quad (RTk = 1)$$

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

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

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

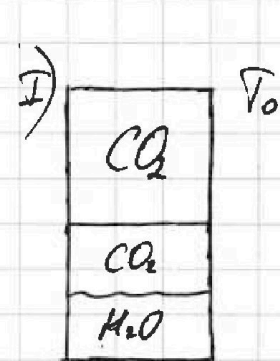
Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

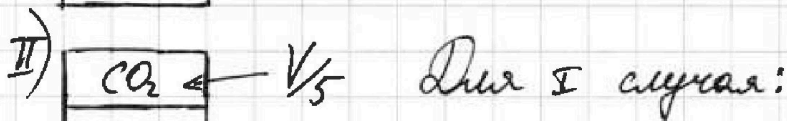
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Печать QR-кода недопустима!



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

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

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



Для I случая:  
 $p_{b1} = p_{n1}$  (где  $p_b$  и  $p_n$  - парциальные давления  $\text{CO}_2$  в верх и низ, 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 молекул  $\text{CO}_2$  в верх и низ)

кол-во раствор.  $\text{CO}_2$ :  $\Delta \nu_1 = k p_{n1} \cdot \frac{V}{4} = \frac{k \cdot 4 \nu_n R T_0}{4} \cdot \frac{V}{4}$

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

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

$$p_{n2} = \frac{(\nu_n + \Delta \nu_1) R T \cdot 20}{V}$$

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

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

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<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

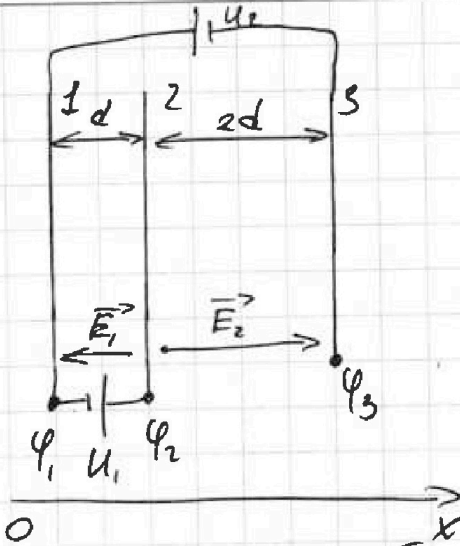
$$U_1 = U ; U_2 = 4U$$

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:

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

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



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

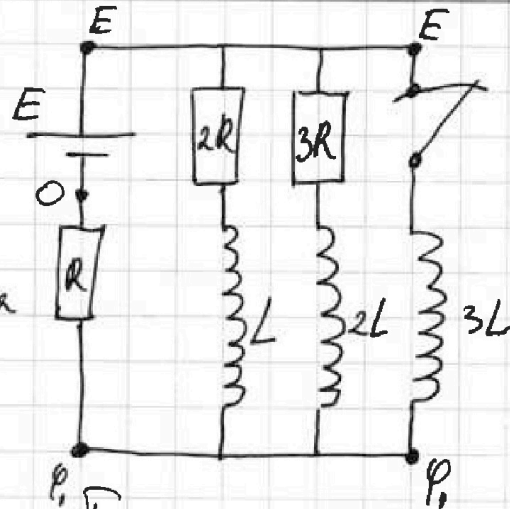
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

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  $\Rightarrow$  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  $\varphi_1$  (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.

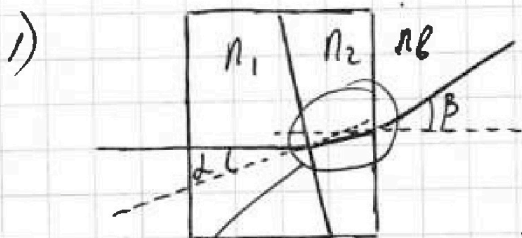
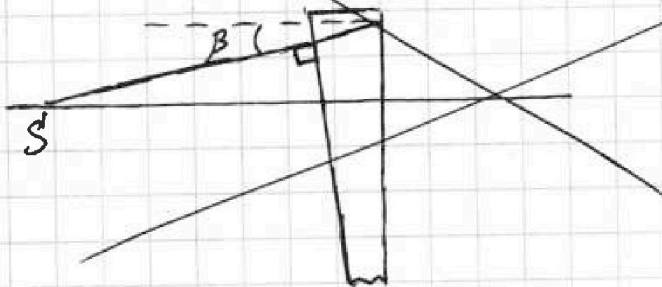
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

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!

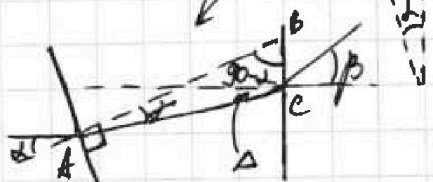
1)  $\alpha = 0,1 \text{ рад}$   $a = 194 \text{ см}$   $h = 9 \text{ см}$   $n_1 = n_2 = 1,0$   $n_3 = 1,7$   
 при прохождении через  $m$



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

Запишем 3-н Снелла в парале. приближении

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

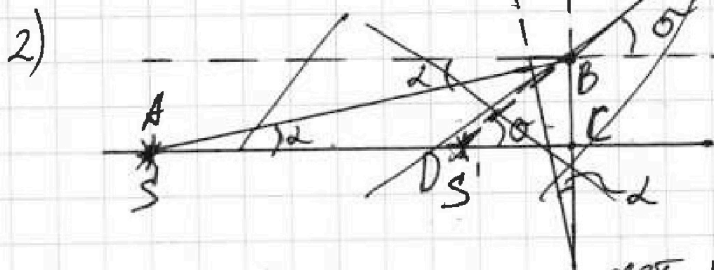


Из  $\Delta ABC$  (см. вынос чертежа)  $\angle \Delta = 180^\circ - \alpha - \gamma - (90^\circ - \alpha) - 90^\circ = \alpha - \gamma$

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.  $\Rightarrow$

$\rightarrow$  преломление будет только при прохождении

через правую грань. Запишем 3-н Снелла:

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

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!

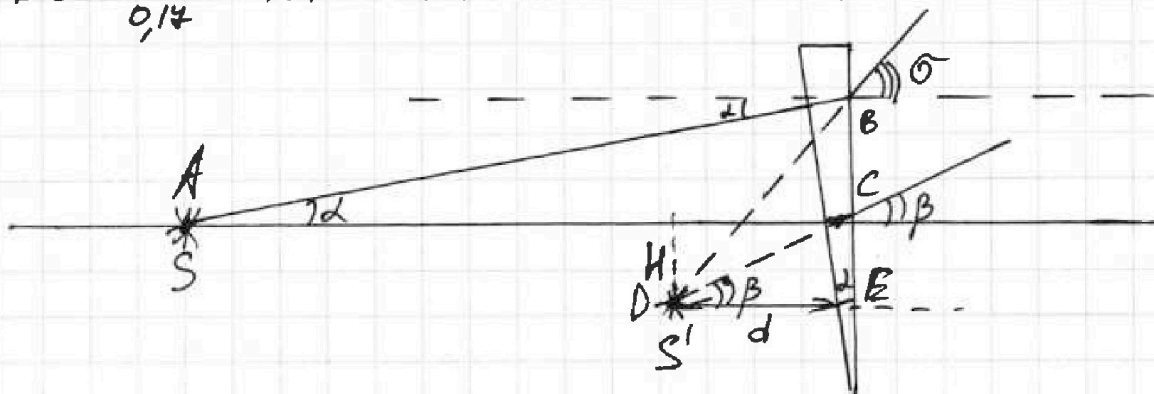


Рассмотрим  $\triangle ABC$  и  $\triangle PBC$  <sup>№5 (продолжение)</sup>

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

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

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



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

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

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

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

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

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





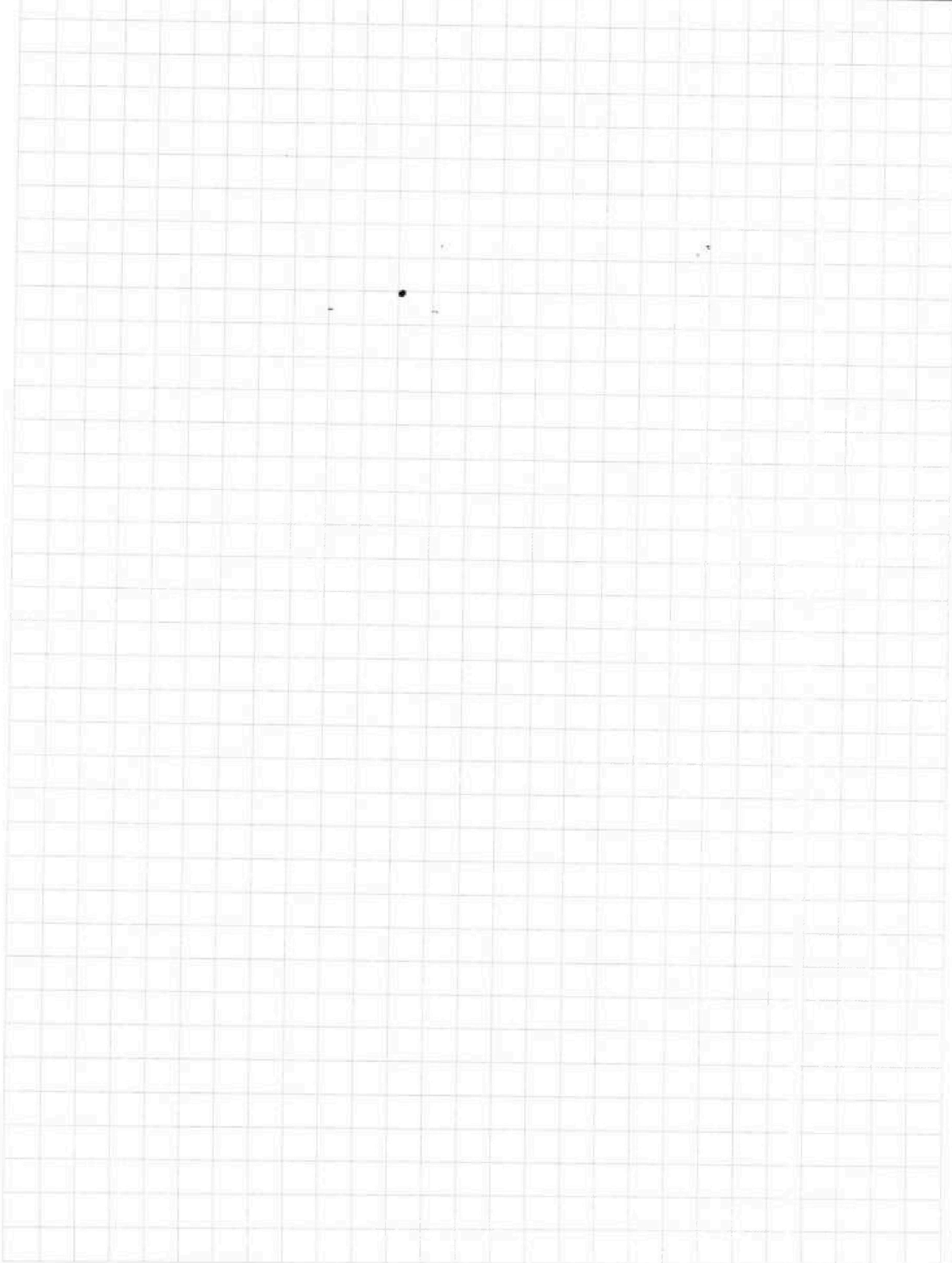
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<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.

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

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

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

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

$$Q =$$