



# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 11-02

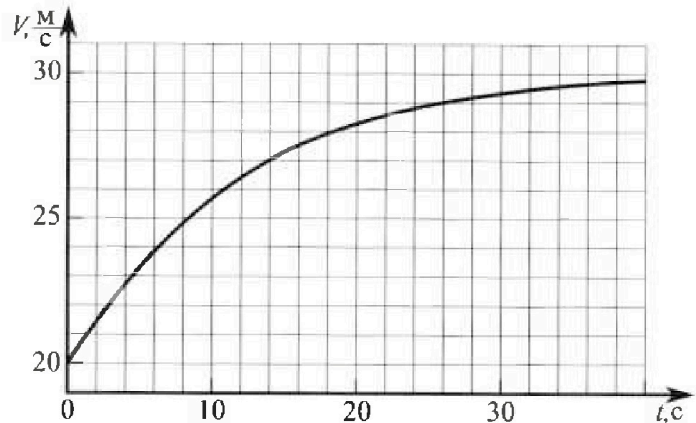


Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

1. Мотоциклист массой (вместе с мотоциклом)  $m = 300$  кг движется с постоянной скоростью и затем разгоняется на прямолинейном горизонтальном участке дороги так, что мощность, передаваемая от двигателя на ведущее колесо, остается постоянной. График зависимости скорости от времени при разгоне показан на рисунке. В конце разгона сила сопротивления движению равна  $F_k = 405$  Н.

- 1) Используя график, найти ускорение мотоцикла при скорости  $V_1 = 27$  м/с.
- 2) Найти силу сопротивления движению  $F_1$  при скорости  $V_1$ .
- 3) Какая часть мощности, передаваемой на ведущее колесо, идет на преодоление силы сопротивления движению при скорости  $V_1$ ?

Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

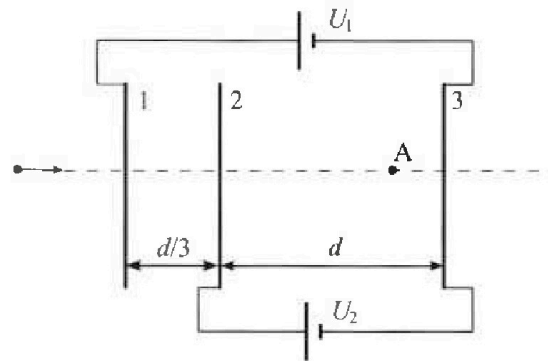


2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объемом  $V$  разделён тонким невесомым теплопроводящим герметичным поршнем (диск соосный с сосудом) на две равные части. Поршень может перемещаться без трения. В верхней части цилиндра находится азот, а в нижней - вода и углекислый газ. В начальный момент система находилась в равновесии при комнатной температуре  $T_0$ . При этом жидкость занимала объем  $V/4$ . Затем цилиндр медленно нагрели до  $T = 4T_0/3 = 373$  К. Установившийся объем его верхней части стал равен  $V/6$ .

По закону Генри, при заданной температуре количество  $\Delta n$  растворённого газа в объеме жидкости  $w$  пропорционально парциальному давлению  $p$  газа:  $\Delta n = kpw$ . Объем жидкости при этом практически неизменен. Для углекислого газа константа Генри для данной комнатной температуры  $k \approx 0,6 \cdot 10^{-3}$  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 объема 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 конечное давление в сосуде  $P$ . 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  $d/3$  (см. рис.). Размеры сеток значительно больше  $d$ . Изначально сетки не заряжены. К сеткам подсоединили источники с напряжением  $U_1 = 2U$  и  $U_2 = U$ . 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 2 и 3.
- 2) Найти разность  $K_3 - K_2$ , где  $K_2$  и  $K_3$  — кинетические энергии частицы при пролете сеток 2 и 3.
- 3) Найти скорость частицы в точке A на расстоянии  $2d/3$  от сетки 2.



# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 11-02

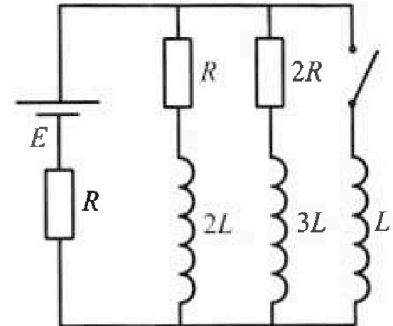


Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

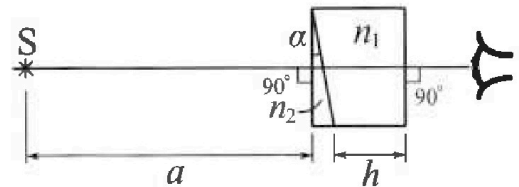
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 1) Найти ток  $I_{20}$  через резистор с сопротивлением  $2R$  при разомкнутом ключе.
- 2) Найти скорость возрастания тока в катушке индуктивностью  $L$  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  $n_a = 1,0$ . Точечный источник света  $S$  расположен на расстоянии  $a = 200$  см от системы и рассматривается наблюдателем так, что источник и глаз наблюдателя находятся на прямой, перпендикулярной наружным поверхностям призм (см. рис.). Угол  $\alpha = 0,05$  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  $n_1 = n_a = 1,0$ ,  $n_2 = 1,6$ , найдите на какой угол отклонится системой луч, идущий от источника перпендикулярно левой грани системы.
- 2) Считая  $n_1 = n_a = 1,0$ ,  $n_2 = 1,6$ , найдите расстояние между источником и его изображением, которое будет видеть наблюдатель.
- 3) Считая  $n_1 = 1,8$ ,  $n_2 = 1,6$ , 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

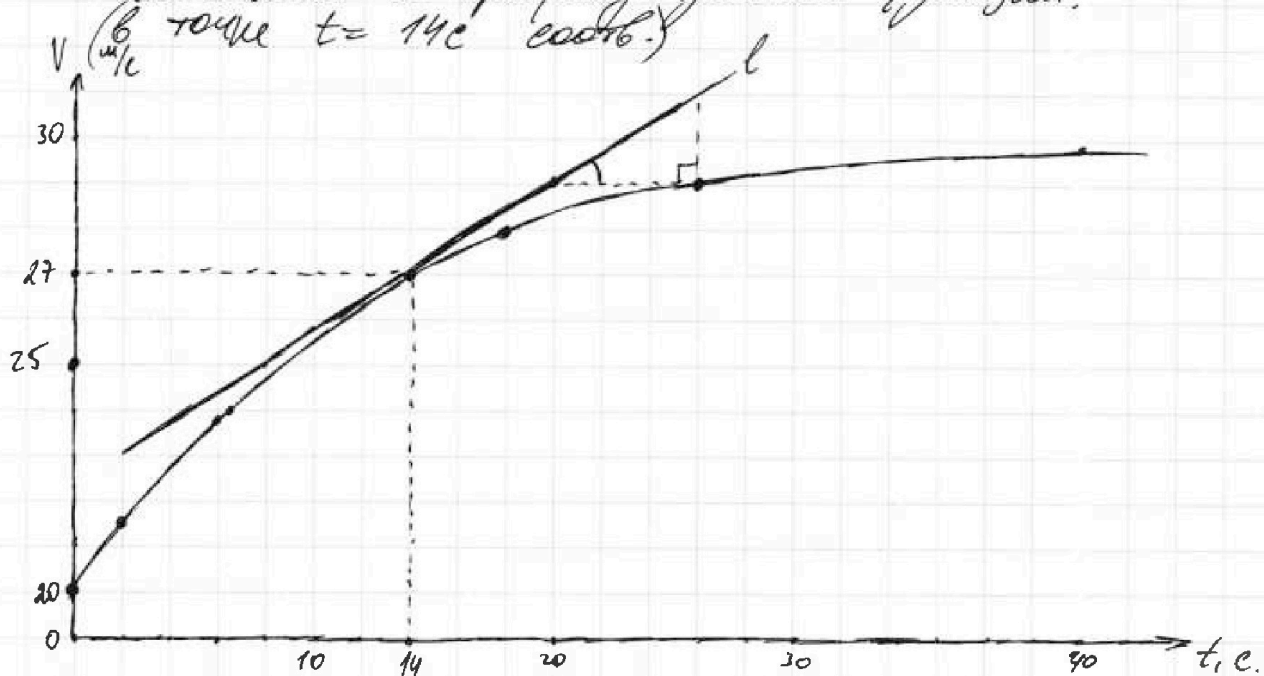
МОТИ

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



1) Решение:

1) По определению ускорения  $a = v'(t) \rightarrow$   
 $\rightarrow$  I-ая производная скорости по времени.  
А мы с в-в производной мы знаем, что  
значение производной функции в данной  
точке её графика равно тангенсу угла накло-  
на касательной к графику этой функции.  
А т.к.  $v_1 = 27 \text{ м/с}$  при  $t = 14 \text{ с}$  (из графика), то  
искомое ускорение  $\rightarrow$  тангенс угла наклона  
касательной к графику данной функции.



( $l \rightarrow$  искоемая касательная) Тангенс угла наклона  
 $l$  (с учетом выбранного масштаба) примерно:

$$\frac{2 \text{ м/с}}{6 \text{ с}} = \frac{1}{3} \text{ м/с}^2; \text{ (ответ на 1-ый вопрос)}$$

(по др. тангенса острого угла прямо уг. треуг.)

2) Заметим, что при  $t = 40 \text{ с}$ :  $v$  (скорость)  $\approx 30 \text{ м/с}$ ,  
а (ускорение)  $a \approx 0$  (поскольку касательная к  
графику почти горизонтальная)

(стр. 1/3)

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:



1	2	3	4	5	6	7
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input 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. Печать QR-кода недопустима!

Откуда все мощность, которую вырабатывает двигатель (которая передается на вертушное колесо) тратится на преодоление силы сопротивления, т.е.  $P_{\text{потерь}}$  (мощность потерь) равна  $P$  (мощность, передаваемая на вертушное колесо).  
( $P = \text{const}$  по условию)

Заметим, что  $P_{\text{потерь}} = \frac{dA}{dt}$ , где  $A \rightarrow$  работа сил сопротивления,  
т.е. ( $dt \rightarrow$  очень маленький промежуток времени);

т.е. т.к.  $\Delta A = F_k \cdot \Delta s \cdot \cos \angle(\vec{F}_k; \vec{s})$ . (по сур. работы;  $F \rightarrow$  сила сопротивления;  $s \vec{s} \rightarrow$  изменение координаты (т.к. движение прямолинейное) ( $\vec{s} \rightarrow$  вектор, показыв. направление движения тела по нашей прямой).

Откуда  $P_{\text{потерь}} = \frac{dA}{dt} = F_k \cdot \frac{ds}{dt} = F_k \cdot v_k$  (по сур. скорости тела).  
( $v_k = 30 \text{ м/с} \rightarrow$  мгновенная скорость).

Откуда  $P_{\text{потерь}} = P = F_k \cdot v_k \Rightarrow$  мы знаем мощность, передающуюся на вертушное колесо.

В нашем случае  $P = P_{\text{потерь}_1} + P_{\text{потерь}_2}$ , где  
 $P_{\text{потерь}_1} \rightarrow$  мощность потерь при  $v = v_1$ ;  
 $P_{\text{потерь}_2} \rightarrow$  мощность, идущая на ускорение тела.

$P_{\text{потерь}_2} = \frac{dA}{dt} = \frac{ds}{dt} \cdot F_0 = v_2 \cdot F_0$ , где  $F_0 \rightarrow$  равнодействующая всех сил, действующих на тело.

$P_{\text{потерь}_2} = v_2 \cdot F_{\text{сопр.}}$  (см. вывод выше).

по II закону Ньютона;  $F_{\text{сопр.}} = ma$ , т.е.  
 $F = ma$  ( $a \rightarrow$  мы посчитали ранее) (вдоль оси движения)

Откуда  $P_{\text{потерь}_2} = ma v_2$ , т.е.  $P_{\text{потерь}_2} = P - P_{\text{потерь}_1} \Leftrightarrow$

$\Leftrightarrow v_2 \cdot F_{\text{сопр.}} = F_k \cdot v_k - ma v_1 \Leftrightarrow F_{\text{сопр.}} = \frac{F_k \cdot v_k}{v_2} - ma$ ;  
Вычленим;

$F_{\text{сопр.}} = \frac{405 \text{ Н} \cdot 30 \text{ м/с}}{27 \text{ м/с}} - 300 \text{ кг} \cdot \frac{1 \text{ м/с}^2}{3} = 450 \text{ Н} - 100 \text{ Н} = 350 \text{ Н}$ ;  
(ответ на II-ой вопрос). (стр. 2/3)

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 черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

3) Искомое отношение:  $\eta = \frac{F_{\text{платер}}}{P} = \frac{F_{\text{сочр}} \cdot U_{\text{I}}}{F_{\text{к}} \cdot U_{\text{к}}}$ ;

Вычислим:

$$\eta = \frac{350 \text{ к} \cdot 27\%}{405 \text{ к} \cdot 30\%} = \frac{350 \cdot 0.27}{405 \cdot 0.30} = \frac{350}{45 \cdot 30} = \frac{7}{9 \cdot 3} = \frac{7}{27}$$

Ответ: 1)  $\frac{1}{3}$  м/с<sup>2</sup>; 2)  $\frac{1}{3}$  350 к; 3)  $\frac{7}{27}$ .

р.з. все значения вычислены с определенной точностью  
(в пределах 10% от нормы).

108.3/3)

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:



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

№2 Решение:

Т.к.  $T = 373\text{K} \rightarrow$  температура кипения воды (при н.у.), то во время нагревания (т.к. это делаем медленно) кол-во воды в сосуде практически не изменилось (по условию мы этим пренебрегаем), а т.к. вода кипит при  $T = 373\text{K}$  (при н.у.), то в конце нагревания давление, которое создают пары воды равно атмосферному. (условие кипения).

По закону Менделеева-Клапейрона:  $pV = \nu RT$ , откуда запишем его для углекислого газа до нагревания:  $p_0 \cdot \frac{V}{4} = \nu_0 \cdot R \cdot T_0$

(т.к. сосуд был разделён пополам, а  $\frac{V}{4}$  занимала вода, то углекислый газ занимал  $\frac{V}{2} - \frac{V}{4} = \frac{V}{4}$  (ответ)).

Откуда  $p_0 = \frac{4\nu_0 RT_0}{V} \rightarrow$  парциальное давление углекислого газа до нагревания

( $\nu_0 \rightarrow$  кол-во вещества углекислого газа в газодиффузионном состоянии до нагревания).

Откуда по закону Генри:  $\Delta p = k \cdot p_0 \cdot \frac{V}{4} = \nu_0 \cdot R \cdot T_0 \cdot k$  (или запиши выше)

Откуда  $p = p_0 + \Delta p = (1 + kRT_0) \nu_0 \rightarrow$  кол-во вещества углекислого газа в сосуде.

До нагревания по закону Менделеева-Клапейрона для азота:

$$p_0 \cdot \frac{V}{2} = \nu_{\text{аз}} \cdot R \cdot T_0, \text{ где } \frac{V}{2} \rightarrow \text{объём, который занимает азот;}$$

$\nu_{\text{аз}} \rightarrow \text{кол-во вещества азота.}$

(парциальное давление азота равно  $p_0$ , т.к. поршень может перемещаться, т.е. в верхней и нижней частях давления одинаковы, а парциальным давлением паров воды в данном случае мы пренебрегаем (по условию), т.е. давление азота и газодиффузионного газа равны. (лист 1/3))

1  2  3  4  5  6  7

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



Отсюда  $\frac{4V_0RT_0}{V} = p_0 = \frac{2p_{az} \cdot R \cdot T_0}{V} \rightarrow p_{az} = 2p_0, \text{ т.е.}$

$\frac{p_{az}}{p_0} = 2 \rightarrow$  ответ на 1-ый вопрос.

После нагревания парциальное давление воды:  $p_{H_2O}$ .  
А углекислого газа (из закона Менделеева-Клапейрона)

$p_{y.z.} = \frac{pRT}{\frac{7}{2}V} = \frac{12pRT}{7V};$

(т.к. вода занимает теперь объем  $\frac{V}{6}$ , а вода по-прежнему объем  $\frac{V}{4}$  (т.к. по условию её кол-во не изменилось), то  $V - \frac{V}{6} - \frac{V}{4} = \frac{5}{6}V - \frac{V}{4} = \frac{7}{12}V \rightarrow$  объем, который занимает углекислый газ.

Аналогичное запишем для азота: (парциальное давление)

$p_{az} = \frac{p_{az} \cdot R \cdot T}{\frac{V}{6}} = \frac{6p_{az}RT}{V}; \rightarrow$  давление газа в верхней части сосуда.

А давление в нижней части сосуда равно:

$p_{y.z.} + p_{атм} = \frac{12pRT}{7V} + p_{атм}$  (по закону Дальтона)  
( $p_{атм} \rightarrow$  атмосферное давление, которое равно давлению паров воды (объемовали ранее)).

Отсюда т.к.  $p_{az} = p_{y.z.} + p_{атм}$  (т.к. поршень по-прежнему невесомый),

то т.к.  $p_{az} = 2p_0$ , то  $\frac{12p_0RT}{7V} + p_{атм} = \frac{12p_0RT}{V} \Leftrightarrow$

$\rightarrow p_{атм} = \frac{6}{7} \cdot \frac{12p_0RT}{V} = 6p_{y.z.} \Rightarrow p_{y.z.} = \frac{1}{6}p_{атм}$   
(см. формулы выше).

Отсюда конечное давление в сосуде

$\Leftrightarrow$  т.к.  $p = (1 + kRT)p_0$ , то  $p_{атм} = \frac{12p_0RT}{7V} \cdot (7 - (1 + kRT_0)) = \frac{p_{атм}}{7} \cdot (6 - kRT_0) \rightarrow$

$\rightarrow$  ~~т.к.~~  $p_{az} = \frac{7}{6 - kRT_0} p_{атм}$ ; а т.к.  $p_{az} \rightarrow$  давление в сосуде (конечное). (стр. 2/3)

На одной странице можно оформить 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!

(т.к. давление в верхней и нижней частях сосуда равно, критерий равен общему давлению ~~созда~~ в сосуде), то  $p_{\text{ог}} = \frac{7}{6 - kRT_0} p_{\text{атм}} \rightarrow$   
 $\rightarrow$  исконое. ( $p = p_{\text{ог}} = \frac{7}{6 - kRT_0}$ ).

т.к. по условию  $T_0 = \frac{3}{4} T$ , то  $p_{\text{ог}} = p_{\text{атм}} \cdot \frac{7}{6 - \frac{3}{4} kRT}$ ;

В числителе: ( $k \approx 0,6 \cdot 10^{-3} \frac{\text{моль}}{\text{Па} \cdot \text{м}^3}$ ;  $RT \approx 3 \cdot 10^3 \frac{\text{Па} \cdot \text{м}^3}{\text{моль}}$ )  
(по условию)

$$p = p_{\text{ог}} = p_{\text{атм}} \cdot \frac{7}{6 - \frac{3}{4} \cdot 0,6 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^3} = p_{\text{атм}} \cdot \frac{7}{6 - \frac{3}{4} \cdot \frac{9}{5}} =$$
$$= p_{\text{атм}} \cdot \frac{140}{120 - 27} = p_{\text{атм}} \cdot \frac{140}{93};$$

Ответ: 1)  $h + 2h$ ; 2)  $h \frac{140}{93} p_{\text{атм}}$ ;

(стр. 3/3)



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

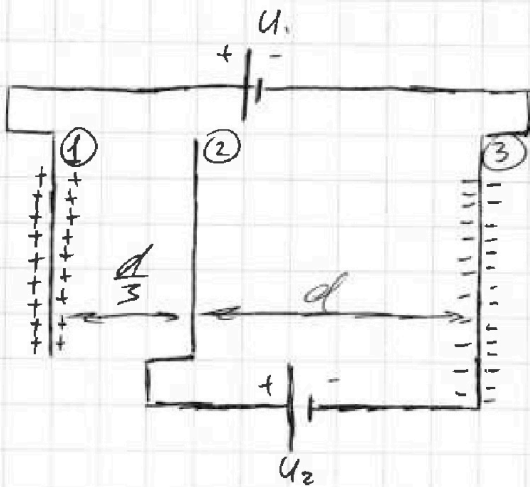
Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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

№3 Решение:



1) Т.к. пластины 1 и 3 соединены через ЭДС с напряжением  $U_1$ , то

$\varphi_1 - \varphi_3 = U_1 = 2U$   
(по сф. разности потенциалов между пластинами).

Аналогично  $\varphi_2 - \varphi_3 = U_2 = U$

Между сетями 2 и 3 разность потенциалов равна  $U$ , а значит при попадании туда точечной заряда  $q$  (силой тяжести пренебрегаем), на него будет действовать сила

$$F = U \cdot \frac{q}{d} \quad (\text{по сф.-у эл. поле о сфв. потенциалах и силе эл. поле}).$$

Отсюда по II закону Ньютона:

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (\text{вдоль вер. осн}): F = ma \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow a = \frac{F}{m} = \frac{Uq}{md} \quad (\text{ответ на первый вопрос}).$$

2) Обозначим точку, в которой изначально был этот заряд за  $0$ , тогда  $\varphi_0 = 0 \rightarrow$  её потенциал (потенциал заряда в этой точке) (т.к. можем считать эту точку бесконечно удалённой от системы).

$$W_0 = \frac{mv_0^2}{2} \quad (\text{только кинетическая энергия})$$

$$W_2 = \frac{mv_2^2}{2} + W_{п.}; \quad (W_2 \rightarrow \text{энергия в точке 2 (на сетке 2)})$$

$v_2 \rightarrow$  скорость в точке 2;  
 $W_{п.} \rightarrow$  потенциальная энергия эл. поля).

$$W_3 = \frac{mv_3^2}{2} + W_{п.} \quad (\text{аналогично для точки 3};$$

$W_{п.}$  не изменилась, т.к. на неё влияют лишь 2 и 3 (стр. 1/2)

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 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!

сетки, а наш заряд переместился от 2 до 3-ей  
сетки (симметрично, относительно оси симметрии)

Отсюда по закону сохранения энергии:

-  $W_2 + W_0 = A_{20}$  (работа по перемосу заряда из точки 0 в точку 2)

-  $W_3 + W_0 = A_{30}$  (работа по перемосу заряда из точки 0 в точку 3)

Отсюда  $W_3 - W_2 = \frac{mV_3^2}{2} - \frac{mV_2^2}{2} = A_{30} + A_{20}$ ;  
(разность кинетических энергий)

$A_{20} = q(\varphi_2 - \varphi_1)$ ;  $A_{30} = q(\varphi_3 - \varphi_1) \Rightarrow$

(по вып. работы эл. поля по перемещению заряда).

$A_{30} - A_{20} = q \cdot (\varphi_3 - \varphi_2) = -q \cdot U \Rightarrow A_{20} - A_{30} = W_3 - W_2 = qU$ ;  
(ответ на 2-ой вопрос)

Ответ: 1)  $\frac{Uq}{md}$ ; 2)  $\frac{Uq}{d}$ .

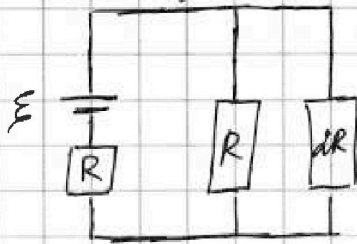
Р. 3) Энергия точечного заряженного тела  
(потенциальная)  $\Pi = \frac{q\varphi}{2}$ , где  $\varphi \rightarrow$  потенциал  
тела в данной точке;  $q \rightarrow$  соотв. заряд тела.

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!

14) Решение:

1) Если цепь с разомкнутым ключом установлена, то катушки ведут себя как кусочки проводника. (не влияют на обмотку). Отсюда можно нарисовать схему; (эквивалентную во всех смыслах)



Общее сопротивление цепи:  

$$R_0 = R + \frac{R \cdot 2R}{R + 2R} = \frac{5}{3}R$$
 (формулы последовательного и паралл. соединения двух проводников (резисторов)).

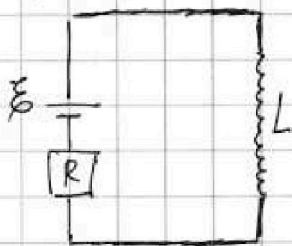
Отсюда общий ток в цепи:  $I = \frac{\varepsilon}{R_0} = \frac{\varepsilon}{\frac{5}{3}R} = 0,6 \cdot \frac{\varepsilon}{R}$ ; (по закону Ома).

Рассмотрим внешний контур цепи. Запишем для него II правило Кирхгофа:

$$\varepsilon = 2R \cdot I_{20} + RI = 2R \cdot I_{20} + 0,6 \cdot \varepsilon \Rightarrow 2RI_{20} = \frac{2}{5}\varepsilon \Rightarrow I_{20} = \frac{\varepsilon}{5R} \text{ (ответ на первый пункт)}$$

2) Сразу после замыкания ключа ток <sup>текущий</sup> через резистор R (рядом с ЭДС) <sup>иногда</sup> <sup>не успевает</sup> <sup>быстро</sup> <sup>уменьшиться</sup> <sup>всего</sup> <sup>равен</sup> <sup>I</sup>. (почему не успевает ток быстро уменьшиться).

Отсюда рассмотрим самый внешний контур цепи. Запишем для него II правило Кирхгофа:




В катушке возникает ЭДС самоиндукции, препятствующей уменьшению тока:  $\varepsilon_{si} = -LI'$ , где  $I' \rightarrow$  — алгебраическая величина силы тока по времени (скорость изменения силы тока) (стр. 1/2)

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 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!

$$\mathcal{E} - \mathcal{E}_{si} = IR = 0,6 \mathcal{E} \Rightarrow \mathcal{E}_{si} = \frac{2}{5} \mathcal{E};$$

Отсюда  $LI' = \frac{2}{5} \mathcal{E} \Rightarrow I' = \frac{2 \mathcal{E}}{5L} = \frac{2}{5} \cdot \frac{\mathcal{E}}{L};$   
(ответ на 2-ой вопрос).

Ответы: 1)  $\mathcal{I} + \frac{\mathcal{E}}{5R}$ ; 2)  $\mathcal{I} + \frac{2}{5} \cdot \frac{\mathcal{E}}{L}$ .

(стр. 2/2)

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

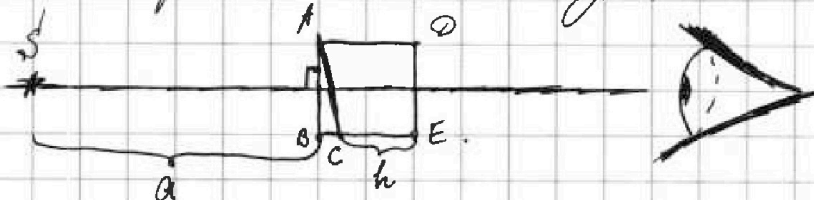
1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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

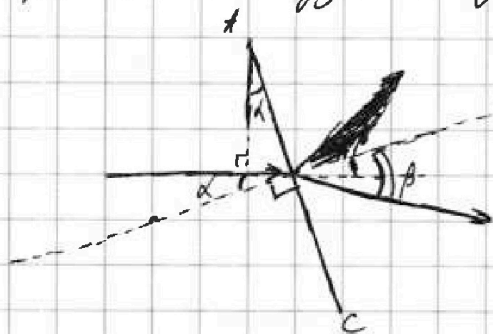
15) Решение:

1) Рассмотрим этот самый луч.



Т.к. этот луч идет перпендикулярно AB, то он не отклонится при прохождении через нее.

Посмотрим, что будет с лучом при прохождении K.

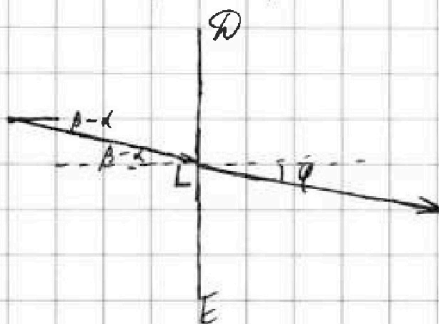
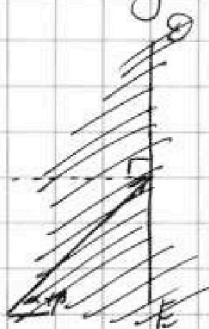


Угол падения данного луча ввидном равен  $\alpha$  (или угол между соотв. перпенд. и лучом).

Пусть  $\beta \rightarrow$  угол ~~отражения~~ после преломления луча, тогда по формуле преломления:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow \sin \beta = \frac{n_1}{n_2} \cdot \sin \alpha \quad (\text{кар. рис. см. в конце пункта 3 (стр. 2)}) \quad \text{рис. (к-р)}$$

Тогда наш луч наклонен под углом  $\beta$  к горизонтали. Посмотрим что будет с этим лучом при попадании на DE. (см. рис.)



Угол падения нашего луча на DE равен  $(\alpha - \beta)$ .

Пусть угол "преломления"  $\rightarrow \varphi$  (см. рис.).

Тогда по формуле преломления:  $\frac{\sin(\alpha - \beta)}{\sin \varphi} = \frac{n_2}{n_1}$  (стр. 1/4)

На одной странице можно оформить 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!

Отсюда  $\sin \varphi = \sin(\alpha - \beta) \cdot \frac{n_2}{n_1}$

Р. 3. т.к. из условия все углы ( $\alpha$ ;  $\beta$ ;  $\varphi$ ) можно считать малыми, то для этого угла справедлива формула  $\sin \beta \approx \beta$  (при малом угле  $\beta$ ), тогда

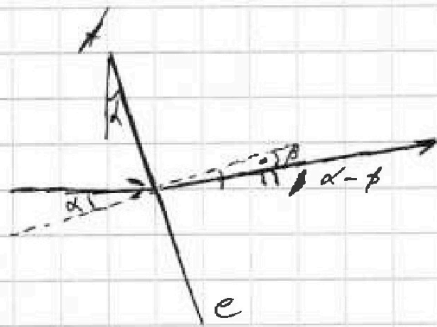
вычислим:

$\beta \approx \sin \beta = \frac{1}{1,6} \cdot \sin \alpha \approx \frac{10}{1,6} \cdot \alpha = 1,6 \cdot 0,05 \text{ рад.} = 0,08 \text{ рад.} = \frac{5}{8} \cdot \frac{1}{20} \text{ рад.} = \frac{1}{32} \text{ рад.}$

$\alpha - \beta = \frac{1}{20} \text{ рад.} - \frac{1}{32} \text{ рад.} = \frac{3}{160} \text{ рад.}$

$\varphi \approx \sin \varphi = \sin(\alpha - \beta) \cdot \frac{1}{1,6} \approx \frac{3}{160} \cdot \frac{1}{1,6} = \frac{3}{256} \text{ рад.} \approx \frac{3}{160} \text{ рад.}$  (ответ на первый вопрос).

Хороший рис.: (преломление для AC).



(для DE преломление не т.к.  $n_1 = n_2 = 1$  и показатели преломления  $n_1 = n_2 = 1$ .)

Отсюда искомый угол  $\varphi \approx \frac{3}{160} \text{ рад.}$

2) т.к. толщина кристалла с крив. преломл.  $n_2$  намного меньше радиуса кривизны (в толщине), то с её толщиной пренебрежим (т.е. преломление происходит в той же или приближенно в той же кривизне луч преломляется, но остаётся в той же точке (на том же уровне))

Рассмотрим обратный луч, который идёт перпендикулярно DE от глаза.

т.к. этот луч перпенд. DE, то он не преломляется при прохождении через DE. Рассмотрим, что с ним будет при прохождении через AC. (стр. 2/4)

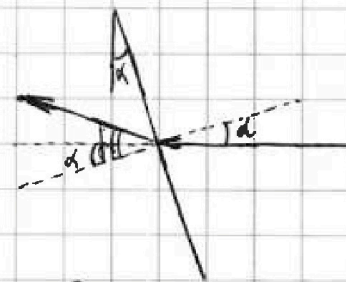
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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. Понятно QR-кода недопустима!



Рассмотрим, как АВ:

Пусть угол падения равен  $\beta$ , тогда по закону отражения:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_1}{n_2} \Rightarrow \sin \beta = \sin \alpha \cdot \frac{n_2}{n_1}$$

Откуда наш луч наклонен под углом  $(\beta - \alpha)$  к горизонту.

Пусть теперь угол ~~отражения~~ равен  $\varphi_1$ , тогда

$$\frac{\sin \varphi_1}{\sin(\beta - \alpha)} = \frac{n_1}{n_2} \Rightarrow \sin \varphi_1 = \sin(\beta - \alpha) \cdot \frac{n_1}{n_2}$$

Вычислим этот угол  $\varphi_1$ : (все углы:  $\alpha, \beta, \beta - \alpha, \varphi_1$  считаем малыми)

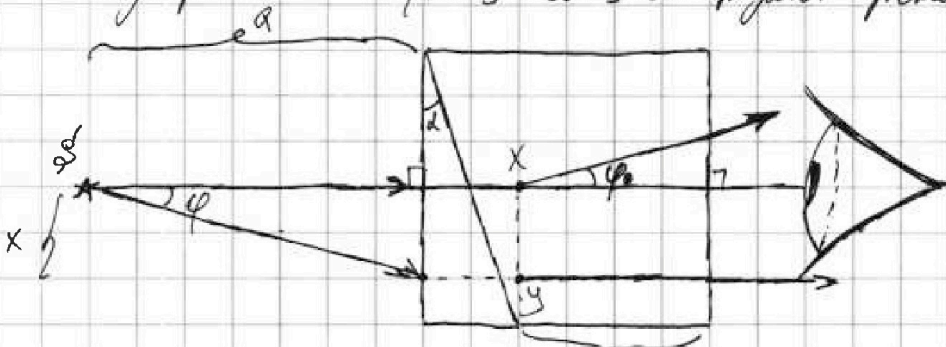
$$\beta \approx \sin \beta = \sin \alpha \cdot \frac{n_2}{n_1} \approx 1,6 \cdot 0,05 \text{ рад} = 0,08 \text{ рад};$$

$$\beta - \alpha = 0,08 \text{ рад} - 0,05 \text{ рад} = 0,03 \text{ рад};$$

$$\varphi_1 \approx \sin \varphi_1 = \sin(\beta - \alpha) \cdot \frac{n_1}{n_2} \approx 0,03 \text{ рад} \cdot \frac{1}{1,6} = \frac{3}{160} \text{ рад}; (= \varphi)$$

Откуда, если рассмотреть луч из источника, который идет под углом  $\varphi$  к горизонту, то после прохождения всех линз он будет горизонтальным.

Рассмотрим этот луч и луч из н.з. По ним построим изображение (толщиной 1-ой линзы пренебрегаем).



Глаз видит эти 2 луча. Изображение источника он будет видеть как пересечение этих лучей.

( $x$  - смещение луча где  $x = a \cdot \tan \varphi$  по опр. тангенса от края угла зрения.)

(стр. 3/4)

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

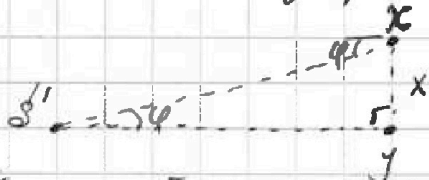
1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

МФТИ

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



Обозначим  $\xi'$  → изображение источника, тогда (см. рис.):



(точки обозначали ранее). Откуда  $\xi' y = x \cdot \operatorname{ctg} \varphi = a$   
(по стр. построенного остр. угла вращающ. треуго.).

Откуда, т.к. толщиной  $I$  ~~мы~~ призмы мы пренебрегаем,  
то  $\xi'$  на одной вертикали с  $\xi$ , т.е. наблюдателю  
будет виден их на расстоянии  $x = a \operatorname{tg} \varphi$ .  
( $\varphi \rightarrow$  малый угол, т.е.  $\varphi \approx \operatorname{tg} \varphi$ ).

Откуда  $x \approx a \varphi = 20 \text{ см} \cdot \frac{3}{100} = \frac{15}{4} \text{ см} = 3,75 \text{ см}$ ;

Ответ: 1)  $\frac{3}{100}$  рад; 2)  $\frac{1}{4} + 3,75 \text{ см}$ .

(стр. 4/4)



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!

Черновик.

15) 1) очев.  
2) схему.

14) 1) очев.

$$2) I_2 = \frac{2R^2}{3R} = \frac{2}{3}R; \rightarrow \frac{5}{3}R; I = \frac{\mathcal{E}}{\frac{5}{3}R} = 0,6 \frac{\mathcal{E}}{R};$$

$$-\mathcal{E}_{si} + \mathcal{E} = IR \Leftrightarrow \mathcal{E} - \mathcal{E}_{si} = 0,6 \mathcal{E} \Rightarrow \mathcal{E}_{si} = 0,4 \mathcal{E} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow LI_3' = 0,4 \mathcal{E} \Rightarrow I_3' = \frac{0,4 \mathcal{E}}{L} = \frac{2 \mathcal{E}}{5L};$$

3)  ~~$W_2 - W_1 + Q = A_{\text{ист}} + A_{\text{вн.с.}}$~~   
 ~~$W_2 - W_1 = A_{\text{ист.}}$~~

$$3) 2RI_2 + 3LI_2' = LI_3' = I_1R + 2LI_1' = \mathcal{E} + IR$$

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!

(N2) Типа easy.

Черновики

(N1)  $P = \text{const.}$

- 1) каскаль ельмане (tg  $\alpha$ ).
- 2)  $F_k = 405 \text{ Н.}$