



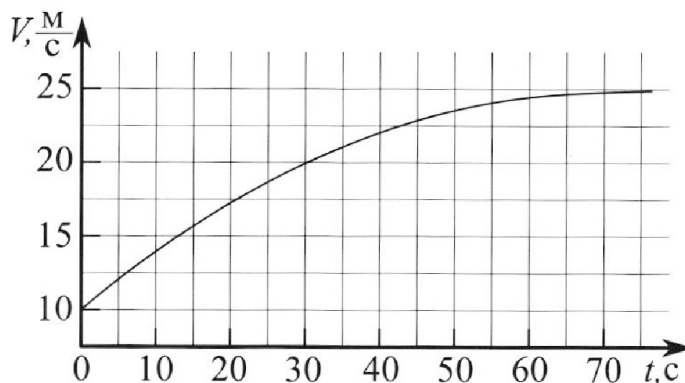
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## 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  $V_1$ ?

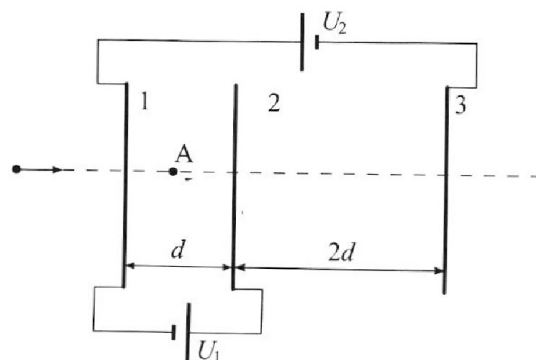
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объёмом  $V$  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  $\Delta n$  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/(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.

- 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

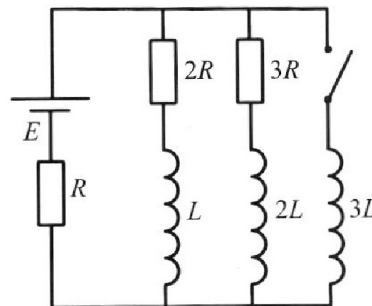
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби  
и радикалы.



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) Как ой 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.

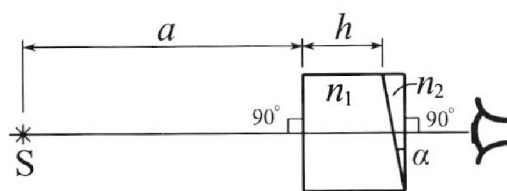


рис.). Угол  $\alpha = 0,1$  рад можно считать малым, толщина  $h = 9$  см. Толщина призмы с показателем преломления  $n_2$  на прямой «источник – глаз» намного меньше  $h$ . Отражения в системе не учитывать.

- 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.

|                                     |                          |                          |                          |                          |                          |                          |
|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 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"/> |

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

Задача 1/

$$m = 1800 \text{ кг}$$

$$F_k = 500 \text{ Н}$$

$$V_1 = 20 \text{ м/с}$$

$$a_1 = ?$$

$$F_2 = ?$$

$$P_2 = ?$$

Из условия можно считать  $\vec{F}_c = -k\vec{v}$

$$F_x = -k v_x$$

В конце разгона скорость не меняется и  
из графика видно  $v_k = 25 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , получаем

$$\text{сила тока равна силе сопротивления} \Rightarrow \\ \Rightarrow F_k = k v_k \Rightarrow k = \frac{F_k}{v_k} = \frac{500 \text{ Н} \cdot \frac{\text{с}}{\text{м}}}{25 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = 20 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Ускорение - вторая производная от координаты и  
первая производная от скорости по времени  $\Rightarrow$

$\Rightarrow$  ~~надо~~ значение ускорения в каждой точке это  
коэф. наклона касательной проведенной в данную точку.

Для  $V_1 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  участок от 25 с до 30 с можно

считать прямой, а следовательно касательная совпадает

с этой прямой и имеет такой же коэффициент наклона

$$a_1 = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{25 \frac{\text{м}}{\text{с}} - 18,75 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{10 \text{ с}} = 0,25 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} - \text{ответ на первый вопрос}$$

При  $v_1$  закон  $\Pi$  з. Ньютона:  $F_{\text{тяг}} - k v_1 = m a_1 \Rightarrow$

$$\Rightarrow F_2 = k v_1 + m a_1 = 20 \frac{\text{кг}}{\text{с}} \cdot 20 \frac{\text{м}}{\text{с}} + 1800 \text{ кг} \cdot 0,25 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 850 \text{ Н}$$

Ответ на 2-й вопрос

4/11

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. Порча QR-кода недопустима!



По определению  $P = \frac{dA}{dt} = \frac{d(F \cdot s)}{dt}$ , при условии  $\frac{d}{dt}$  можно считать  $F = \text{const} \Rightarrow$

$$\Rightarrow P = \frac{d(Fs)}{dt} = \frac{FdS}{dt} = Fv \Rightarrow P_1 = F_1 v_1 = 850 \text{ Н} \cdot 20 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 17 \text{ кВт}$$

Ответы: 1)  $a_1 = 0,25 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ ;

2)  $F_1 = 850 \text{ Н}$

3)  $P_1 = 17 \text{ кВт}$

5/11

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!

Задача 2/

$$T = \frac{5}{4} T_0 = 373 K$$

$$V_{k0} = \frac{V}{4}$$

$$V_k = \frac{V}{5}$$

$$\Delta V = k p w$$

$$k = \frac{1}{3} \cdot 10^{-3} \frac{\text{моль}}{\text{м}^3 \cdot \text{Па}}$$

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

$$V_1/V_2 = ?$$

$$P_0 = ?$$

$$\begin{array}{|c|c|c|} \hline P_0 & V_2 & \frac{V}{2} \\ \hline P_0 & V_2 & \frac{V}{4} \\ \hline \Delta V & \dots & V_k = \frac{V}{5} \\ \hline \end{array} \xrightarrow{+Q} \begin{array}{|c|c|c|} \hline P_1, V_2 & \frac{V}{5} \\ \hline P_1, (V_2 + \Delta V) & \\ \hline & V_k \\ \hline \end{array} T$$

Утром как указательно поршнем  
в покое и цилиндр нагревают медленно,  
но процесс можно считать, что  
в любой момент времени давление

над и под поршнем одинаково  $\Rightarrow$

Запишем у-е Менделеева - Клапейрона:

$$\left. \begin{array}{l} P_0 \frac{V}{2} = \sqrt{2} R T_0 \\ P_0 \frac{V}{4} = \sqrt{2} R T_0 \end{array} \right\} \frac{V_1}{V_2} = 2 \leftarrow \text{ответ на 3-й вопрос}$$

поделим одно на другое

Для уже нагретого газа:

$$P_1 \frac{V}{5} = \sqrt{2} R T$$

$$P_1 (V - V_k - \frac{V}{5}) = (V_2 + \Delta V) R T = P_1 \cdot \frac{11}{20} V \left\{ \text{задача 2 на 2 и 1} \right.$$

$$\frac{11/20 V}{V/5} = \frac{V_2 + \Delta V}{V_2} = \frac{1}{2} + \frac{\Delta V}{V_1} = \frac{11}{4} \Rightarrow \frac{\Delta V}{2 V_2} = \frac{9}{4} \Rightarrow \Delta V = \frac{9}{2} V_2$$

$$T_0 \rightarrow \frac{5}{4} T_0 ; \quad \frac{V}{2} \rightarrow \frac{V}{5} ; \quad \sqrt{2} = \text{const} \Rightarrow P_1 = \frac{25}{8} P_0$$

10/11

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!

Найдем давление которое можно создать  $\downarrow$

$$p_0 \frac{V}{4} = \frac{1}{2} RT_0$$

$$p_2 \frac{11}{20} V = \frac{1}{2} RT_0 \cdot \frac{9}{4}$$

$$\left. \begin{array}{l} p_0 \frac{V}{4} = \frac{1}{2} RT_0 \\ p_2 \frac{11}{20} V = \frac{1}{2} RT_0 \cdot \frac{9}{4} \end{array} \right\} \frac{p}{p_0} \cdot \frac{11}{5} = \frac{5}{4} \Rightarrow p_2 = p_0 \cdot \frac{25}{44}$$

$$\Rightarrow \text{По Закону Дальтона } p_{\Delta} = p_2 - p = \frac{25}{8} p_0 - \frac{25}{44} p_0 = \frac{225}{88} p_0$$

$$\Delta T, \text{ Из закона Теллури } \Delta T = k p_{\Delta} W = p_0 \cdot \frac{V}{4} k$$

$$p_0 \frac{V}{4} = \Delta T$$

$$p_0 \frac{V}{4} = \Delta T$$

$$T = \frac{5}{4} T_0 = 373 \text{ K} \Rightarrow t = 100^\circ \text{C},$$

~~значит та вода перейдет в пар  $\Rightarrow$  давление насыщенное  
в камере водяного пара будет равно давлению  
насыщенного пара.~~

$$\Delta T = p_0 k W = k p_0 \frac{V}{4} = \frac{k}{4} RT = \frac{1}{4} \Rightarrow \Delta T = \frac{1}{4} \text{ МПа}$$

11/11

|                          |                          |                                     |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 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"/> |

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



Задача 3/

$$U_1 = U$$

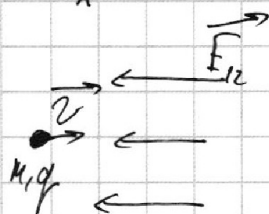
$$U_2 = 4U$$

$$m, q, v_0, d$$

$$|a_{12}| = ?$$

$$K_1 - K_2 = ?$$

$$v_A = ?$$



Напряженность (результатирующая) между  
пластинками 1 и 2 - остается постоянной,  
так как нет в этой области пластинок  
которые могут изменить поле.

Это поле (результатирующее) направлено  
в область между 1 и 2 пластинкой от  
2 пластинки к первой и равно

$$E_{12} d = U_2 \Rightarrow E_{12} = \frac{U_2}{d} = \frac{4U}{d}$$

Тогда применим II закон Ньютона для области 1-2

$$m \vec{a} = \vec{F}_{эл} = \vec{E}_{12} q \Rightarrow |a_{12}| = \frac{Eq}{m} = \frac{qU}{md} - \text{ответ на 1 вопрос}$$

$$\text{По ЗСЭ: } K_1 = K_2 + A \Rightarrow A = K_1 - K_2$$

Сила в области 1-2 остается постоянной  $\Rightarrow$

работу можно найти как произведение силы на перемещение.

$$A = F_{эл} \cdot d = E_{12} q d = \frac{4U}{d} q d = 4qU \Rightarrow K_1 - K_2 = 4qU \leftarrow \text{ответ на 2-й вопрос}$$

Для ответа на 3-й вопрос снова применим ЗСЭ:

$$K_1 - K_A = A \Rightarrow \frac{mv_0^2}{2} - \frac{mv_A^2}{2} = \frac{4}{3} qU \Rightarrow v_0^2 - v_A^2 = \frac{8}{3} \frac{qU}{m}$$

$$\text{Тогда } v_A = \sqrt{v_0^2 - \frac{8}{3} \frac{qU}{m}} \leftarrow \text{ответ на 3-й вопрос}$$

6/11



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!

*Задача*

*Решение:* 1)  $\alpha = \frac{qu}{md}$

2)  $K_1 - K_2 = qu$

3)  $v_A = \sqrt{v_0^2 - \frac{2}{3} \frac{qu}{m}}$

7/11

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

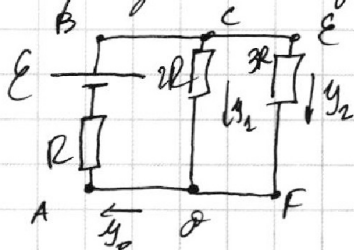
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



Задача 4

Расставим токи, пусть через  $2R$  —  $y_1$ , через  $3R$  —  $y_2$

При разомкнутом ключе и установленном режиме, ток ток не меняется, а значит катушки можно заменить проводом. Получаем эквивалентную схему:



Запишем первое правило Кирхгофа

для узла D:  $y_0 = y_1 + y_2$  (1)

Запишем второе правило Кирхгофа

для контуров ABCD и ABEF:

$$E = y_1 \cdot 2R + y_0 R \quad (2)$$

$$E = y_2 \cdot 3R + y_0 R \quad (3)$$

$$\left. \begin{array}{l} (2) \\ (3) \end{array} \right\} y_1 \cdot 2R + y_0 R = y_2 \cdot 3R + y_0 R$$

$$y_1 \cdot 2R = y_2 \cdot 3R \Rightarrow y_2 = \frac{2}{3} y_1 \quad (4)$$

Тогда  $y_0 = y_1 + y_2 = y_1 + \frac{2}{3} y_1 = \frac{5}{3} y_1$

Подставляем в (2) получаем:  $E = y_1 \cdot 2R + \frac{5}{3} y_1 R = \frac{11}{3} y_1 R$

Отсюда получаем ответ на первый вопрос:  $y_1 = \frac{3E}{11R}$

Во время замыкания ключа ток не успевает мгновенно измениться и тогда можно записать второе правило Кирхгофа для внешнего контура:  $E = y_0 R + U_{\text{эл}}$

1/11

|                          |                          |                          |                                     |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 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"/> |

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



$$y_0 = \frac{5}{3} y_2 = \frac{5}{3} \cdot \frac{3\varepsilon}{11R} = \frac{5\varepsilon}{11R}$$

$$\text{и тогда } U_{3L} = \varepsilon - y_0 R = \varepsilon - \frac{5\varepsilon}{11} = \frac{6\varepsilon}{11}$$

В момент замыкания на катушке индуктивности  $3L$  будет напряжение  $\frac{6}{11}\varepsilon$ , с другой стороны ток через нее начинает возрастать  $\Rightarrow -\mathcal{E}_L = \frac{6}{11}\varepsilon \Rightarrow \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{6}{11}\varepsilon = 3L \frac{\Delta y_2}{\Delta t} = \frac{6}{11}\varepsilon$

$$\text{Отсюда } \mathcal{V}_y = \frac{\Delta y_2}{\Delta t} = \frac{2\varepsilon}{11L} - \text{ответ на второй вопрос}$$

Для ответа на третий вопрос найдем конечные токи, которые будут в цепи при установившемся режиме.

Ток установился  $\Rightarrow \mathcal{E}_L = 0 \Rightarrow$  катушку  $3L$  можно замкнуть

на провод  $\Rightarrow$  через катушки  $L$  и  $2L$  ток идти не будет

$\Rightarrow y_{1k} = y_{2k} = 0$ , весь ток будет идти через катушку  $3L$

$$y_{3k} = \frac{\varepsilon}{R}$$

Запишем второе правило Кирхгофа для контура, содержащего резистор  $2R$ , катушки  $L$  и  $3L$ .

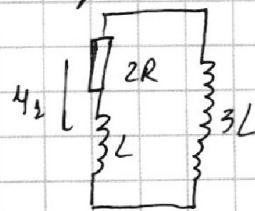
$$3L \frac{\Delta y_{3L}}{\Delta t} + L \frac{\Delta y_L}{\Delta t} = y_2 \cdot 2R \quad | \cdot \Delta t$$

$$3L \Delta y_{3L} + L \Delta y_L = y_2 \Delta t \cdot 2R, \quad y_2 \Delta t = \Delta q_1$$

$$3L \Delta y_{3L} + L \Delta y_L = 2R \Delta q_1 \quad (5)$$

Продифференцируем (5) от момента замыкания до установившегося режима

2/11



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!

Получаем

$$3L(y_{3L,K} - y_{3L,0}) + L(y_{L,K} - y_{L,0}) = 2R(q_K - q_0)$$

Подставляем  $y_{3L,K} = \frac{\varepsilon}{R}$ ;  $y_{3L,0} = 0$

$$y_{L,K} = 0; y_{L,0} = \frac{3\varepsilon}{11R}$$

$$q_0 = 0; q_K = q - ?$$

Получаем  $3L \frac{\varepsilon}{R} - L \cdot \frac{3\varepsilon}{11R} = 2Rq$

$$\frac{30L\varepsilon}{11R} = 2Rq \Rightarrow q = \frac{15L\varepsilon}{11R^2} \text{ — ответ на третий вопрос}$$

Ответы: 1)  $y_1 = \frac{3\varepsilon}{11R}$

2)  $v_g = \frac{2\varepsilon}{11L}$

3)  $q = \frac{15L\varepsilon}{11R^2}$

3/11

|                          |                          |                          |                          |                                     |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 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"/> |

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



Задача 5/

$$n_1 = 1,0$$

$$a = 194 \text{ см}$$

$$d = 0,1 \text{ рад}$$

$$h = 9 \text{ см}$$

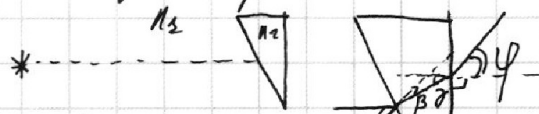
$$\varphi - ?$$

$$\beta_1 - ?$$

$$\beta_2 - ?$$

$$1) n_1 = n_2 = 1,0; n_2 = 1,7$$

Поскольку  $n_1 = n_2$ , то преломление с  $n_2$  можно не учитывать так же будет происходить преломление на границе с  $n_1$



Угол падения

равен  $\alpha$ , по теореме об углах со взаимно перпендикулярными сторонами

$$\text{По формуле Снеллиуса: } n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$$

$$\alpha - \text{мал} \Rightarrow \sin \alpha \approx \alpha; \sin \beta \approx \beta$$

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

Найдем новый угол падения  $\gamma$  из геометрии:

$$\gamma = 90 - (180 - \alpha - (90 - \beta)) = \alpha - \beta = \left(1 - \frac{n_1}{n_2}\right) \alpha$$

$$\text{Запишем еще раз ф. Снеллиуса: } n_2 \sin \gamma = n_1 \sin \varphi = n_1 \sin \varphi$$

$$\gamma \text{ и } \varphi - \text{малы} \Rightarrow n_2 \gamma = n_1 \varphi \Rightarrow \varphi = \frac{n_2}{n_1} \gamma = \frac{n_2}{n_1} \left(1 - \frac{n_1}{n_2}\right) \alpha$$

$$\varphi = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right) \alpha \leftarrow \text{ответ на первый вопрос}$$

$$\varphi = 0,7 \text{ рад}$$

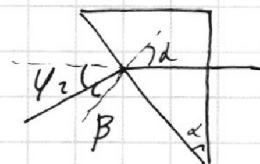
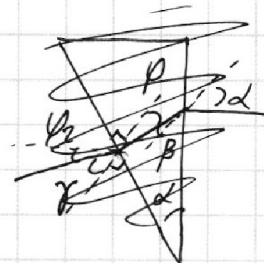
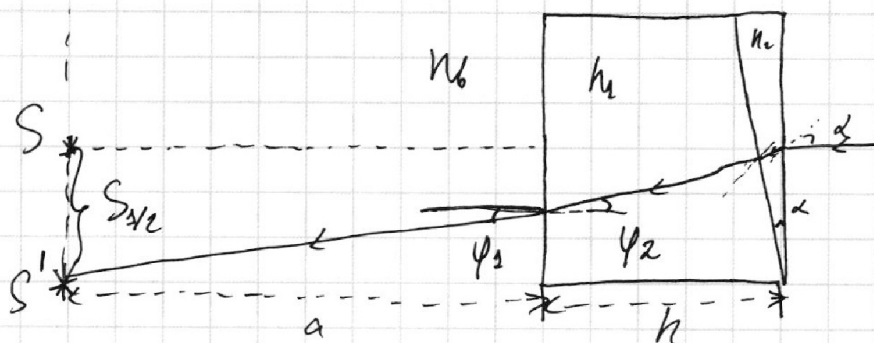
8/11

|                          |                          |                          |                          |                                     |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 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"/> |

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



Для ответа на пункты 2 и 3 получим общую формулу  
которая будет зависеть от  $n_1$  и  $n_2$



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

Из геометрии:  $\varphi_2 = \alpha - \beta = \left(1 - \frac{n_2}{n_1}\right) \alpha$

$$n_3 \sin \varphi_2 = n_6 \sin \varphi_1 \Rightarrow \varphi_1 = \frac{n_3}{n_6} \varphi_2 = \frac{n_6}{n_6} \left(1 - \frac{n_2}{n_1}\right) \alpha$$

Тогда  $S_{12} = a \tan \varphi_1 + h \tan \varphi_2$ , т.к.  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  малы, то

$$\tan \varphi_1 \approx \varphi_1, \tan \varphi_2 \approx \varphi_2$$

$$S_{12} = \left(a \frac{n_1}{n_6} + h\right) \left(1 - \frac{n_2}{n_1}\right) \alpha = \left(a \frac{n_1}{n_6} + h\right) \left(1 - \frac{n_2}{n_1}\right) \alpha$$

Для  $n_3 = n_6 = 1$ ;  $n_2 = 1,7$ :

$$|S_1| = (194 + 9) \cdot 0,7 \cdot 0,1 = 205 \cdot 0,07 = 14,35 \text{ см}$$

Для  $n_3 = 1,5$ ;  $n_2 = 1,7$

$$|S_2| = (194 \cdot 1,5 + 9) \cdot \frac{2}{15} \cdot 0,1 = (38,8 + 1,2) \cdot 0,1 = 4 \text{ см}$$

Ответы: 1) 0,7 рад  
2)  $S_1 = 14,35 \text{ см}$   
3)  $S_2 = 4 \text{ см}$

9/11



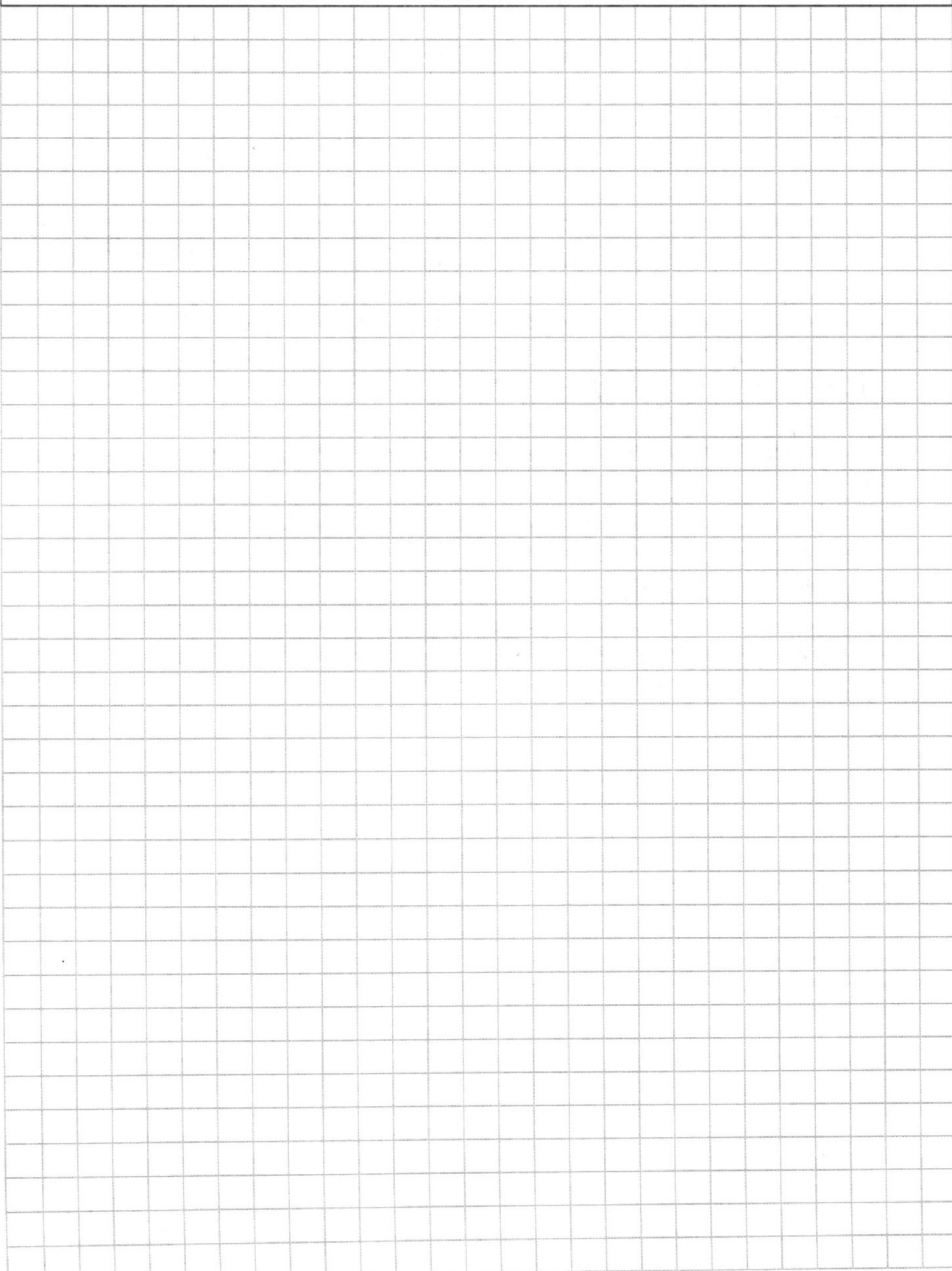
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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:

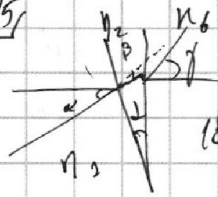
|                          |                          |                          |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------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



черновик



$$n_1 d = n_2 \beta \Rightarrow \beta = \frac{n_1}{n_2} d$$

$$180 - (90 - \beta) - \alpha = 90 + \beta - \alpha \Rightarrow 90 - (\beta - \alpha) = d - \beta$$

$$n_2(d - \beta) = n_1 \gamma \Rightarrow \gamma = \frac{n_2}{n_1} d - \frac{n_2}{n_1} \frac{n_1}{n_2} d = \frac{n_2 - n_1}{n_1} d = 0,07 \text{ посыл}$$

$$F_{\text{stop}} = m a \Rightarrow F = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = m a \quad \frac{dv}{dt} = a$$

$$F_c \sim v \quad F_c = -k v \quad 500 \text{ Н} = 25 \frac{\text{М}}{\text{с}} \cdot k \Rightarrow k = 20 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{М}}$$

$$P_{\text{at}} = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m 2v dv \Rightarrow P = m v \quad P = F v$$

$$\begin{aligned} t = 25 \text{ с} \quad v = 20 - \frac{5}{4} = 18,75 \frac{\text{М}}{\text{с}} \\ t = 35 \text{ с} \quad v = 20 + \frac{5}{4} = 21,25 \frac{\text{М}}{\text{с}} \end{aligned} \quad \Delta v = 2,5 \frac{\text{М}}{\text{с}} \Rightarrow \Delta t = 10 \text{ с} \Rightarrow a = \frac{dv}{dt} = 0,25 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$$

$$F_T - k v = m a$$

$$F_T - 400 = 450 \Rightarrow F_T = 850 \text{ Н} \quad (2)$$

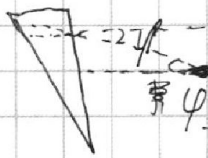
$$P = 17000 \text{ Вт} = 17 \text{ кВт} \quad (3)$$

$$P_1 = \frac{25}{16} P_0$$

$$\frac{v}{4} \rightarrow \frac{20}{4} \rightarrow \frac{5}{11} \cdot \frac{1}{5} \cdot \frac{11}{5} \rightarrow \frac{11}{5}$$

$$194 = 190 + 4 \quad \frac{97 \cdot 2}{11}$$

$$P_{\text{at}} = \Delta P$$



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

$$n_2 \alpha = n_1 \beta$$

$$\beta = \frac{n_2}{n_1} d$$

$$\Delta d = d - \beta = \left( \frac{n_1}{n_2} - 1 \right) d$$

$$n_1 \Delta d = n_2 \Delta \beta$$

$$n_1 = n_2$$

$$\Delta h = h \Delta \alpha + a \Delta \beta = h \Delta \alpha + \frac{a}{n_2} \Delta \beta$$

$$\Delta h = \Delta \alpha \left( h + a \frac{n_1}{n_2} \right) = d \left( \frac{n_1}{n_2} - 1 \right) \left( h + a \frac{n_1}{n_2} \right)$$

$$1) \text{ Если } n_1 = 1,6, n_2 = 1,7 \quad \Delta h = 0,1 \cdot 0,7 \cdot (194 + 9) = 205 \cdot 0,07$$

$$2) \Delta h = 0,1 \cdot \frac{2}{15} \cdot (194 + 9 + 194 \cdot \frac{1}{1,5})$$