

Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

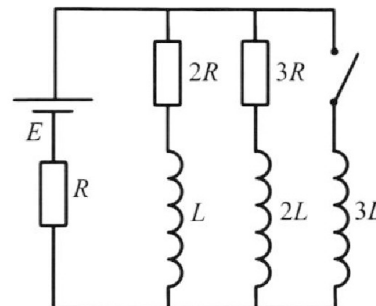
Вариант 11-01

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_{10} 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.

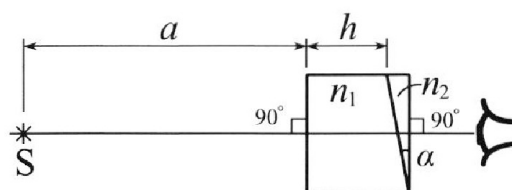


рис.). Угол $\alpha = 0,1$ рад можно считать малым, толщина $h = 9$ см. Толщина призмы с показателем преломления n_2 на прямой «источник – глаз» намного меньше h . Отражения в системе не учитывать.

- 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.



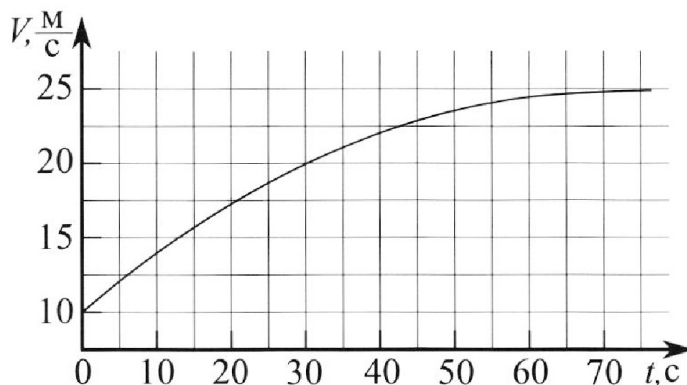
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

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 ?

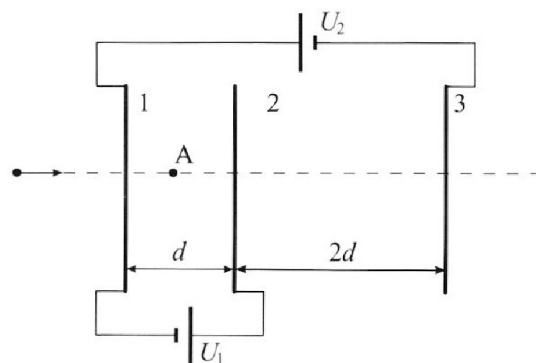
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

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 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.

- 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.

1	2	3	4	5	6	7
☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐



Задача 11

1) Ускорение в момент, когда скорость равна v_1 можно найти, проведя касательную к графику функции в этой точке.

Видно, что она пройдет через точки с координатами примерно $(20; 17,5)$ и $(40; 22,5)$.

По этим точкам мы можем найти коэффициент наклона этой касательной, он и будет равен ускорению (как производная скорости в этой точке)

$$a = k = \frac{22,5 - 17,5}{40 - 20} = 0,25 \text{ (м/с}^2\text{)}$$

2) Из графика видно, что ускорение увеличивается при скорости $v = 25 \text{ (м/с)}$.

В этой точке ускорение равно 0, значит по 2-му закону Ньютона $0 = F_k - F_{\text{сопр}}$

Пусть сила сопротивления $F_{\text{сопр}} = \alpha v$
(она пропорциональна скорости)

1	2	3	4	5	6	7
☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Найдем α :

$$\alpha = \frac{F_k}{m} = \frac{500}{25} = 20 \left(\frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}} \right)$$

Когда сила сопр. воздуха в точке
со скоростью v

будет равен $F_{\text{сопр}} = \alpha v = 400 (\text{Н})$

Запишем второй закон Ньютона:

$$m\alpha = F_r - F_{\text{сопр}} \Rightarrow F_r = m\alpha + F_{\text{сопр}} = 1800 \cdot 0,25 + 400 = 850 (\text{Н})$$

3) Мощность равна отношению работы силы
ко времени ее совершения. Работа силы
равна силе на перемещение, тогда

$$P_1 = \frac{A}{\Delta t} = \frac{F_r \cdot \Delta S}{\Delta t} = \frac{F_r \cdot v_1 \cdot \Delta t}{\Delta t} = F_r \cdot v_1 = 14 (\text{кВт})$$

* тут рассматриваются малые Δt и ΔS ,
также что $v = \text{const}$

Ответ: 1) $\alpha = 0,25 (\text{м/с}^2)$

$$F_r = 850 (\text{Н})$$

$$P_1 = 14 (\text{кВт})$$

1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐



Задача 12

1) В начальный момент времени цилиндр был разделен на две части по $\frac{V}{2}$. В нижней было $\frac{V}{4}$ воды и $\frac{V}{4}$ газа, а в верхней $\frac{V}{4}$ газа.

Поршень теплопроводящий и свободно движется, значит давление и температура сверху и снизу одинаковые. Запишем закон Менделеева:

$$\left. \begin{array}{l} \text{сверху: } P_0 \frac{V}{2} = \nu_1 R T_0 \\ \text{снизу: } P_0 \frac{V}{4} = \nu_2 R T_0 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{\nu_1}{\nu_2} = 2$$

2) Из закона Гей-Люссака ($\Delta U = k p \Delta V$) и того, что в условии сказано что при температуре T углекислый газ практически не растворяется в воде можно сделать вывод, что при темп. T парциальное давление углекислого газа снизу $\approx 0 \Rightarrow$ снизу есть только вода и водяной пар (насыщенный)

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!

Известно, что давление насыщенного пара при $T = 100^\circ\text{C} = 373\text{ K}$ равно атмосферному. Значит давление в сосуде при темп. T равно $P_{\text{атм}}$.
Запишем 3-й Менг.-Клэн для насыщенного и конденсированного состояний:

$$\begin{aligned} \text{кон: } P_0 \frac{V}{2} &= \nu_1 R T_0 \\ \text{кон: } P_{\text{атм}} \cdot \frac{V}{5} &= \nu_1 R T \end{aligned} \quad \left. \begin{aligned} P_0 &= \frac{8 \nu_1 R T}{5} \\ P_{\text{атм}} &= 5 \nu_1 R T \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

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

$$\Rightarrow \frac{P_0}{P_{\text{атм}}} = \frac{8}{25} \Rightarrow P_0 = 0,32 P_{\text{атм}}$$

Ответ:

- 1) $\frac{\nu_1}{\nu_2} = 2$

- 2) $P_0 = 0,32 P_{\text{атм}}$



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

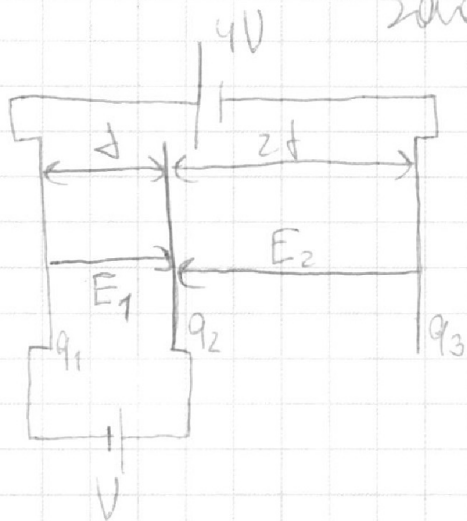
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

МФТИ

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

Задача №3



Обозначим заряды
пластин q_1, q_2, q_3 ,
а поле между ними E_1 и
 E_2 . Заметим, что т.к.
сумма зарядов на обклад-
ках равна 0, то поле

вне этого конденсатора равно 0, а значит
заряд прелетит пластину 1 со скоро-
стью v_0 .

$$\begin{cases} E_1 \cdot d = V \Rightarrow E_1 = \frac{V}{d} \\ E_2 \cdot 2d - E_1 \cdot d = 4V \Rightarrow E_2 = \frac{5V}{2d} \\ E_2 = \frac{q_3}{2\epsilon_0 S} - \frac{q_2}{2\epsilon_0 S} - \frac{q_1}{2\epsilon_0 S} \\ E_1 = \frac{q_1}{2\epsilon_0 S} - \frac{q_2}{2\epsilon_0 S} - \frac{q_3}{2\epsilon_0 S} \\ q_1 + q_2 + q_3 = 0 \end{cases}$$

Из найденного из первого уравнения
 E_1 найдем силу, действующую на
заряд q между контактами 1 и 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!

$$F = E_1 q = \frac{Uq}{d}$$

из 2 3-х равновесия:

$$F = ma \Rightarrow a = \frac{F}{m} = \frac{Uq}{dm}$$

из 3-х равенств $K_1 - K_2 = \text{раб. сил}$
силы $A = F \cdot d = Uq$

В точке A $K_1 - K_2 = F \cdot \frac{d}{3} = \frac{Uq}{3}$

$$K_1 = \frac{mU_0^2}{2}$$

$$K_2 = \frac{mV^2}{2} \Rightarrow \frac{mU_0^2}{2} - \frac{mV^2}{2} = \frac{Uq}{3}$$

$$V = \sqrt{U_0^2 - \frac{2Uq}{3m}}$$

Ответ: 1) $a = \frac{Uq}{dm}$

2) $K_1 - K_2 = Uq$

3) $V = \sqrt{U_0^2 - \frac{2Uq}{3m}}$

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

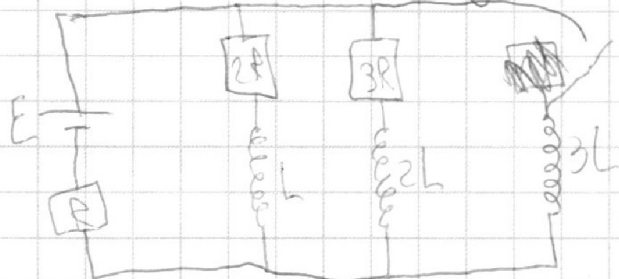
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

МФТИ

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



Задача 114



1) режим установившийся $\Rightarrow$ ток в цепи не меняется $\Rightarrow$ напряжение на катушке 0.

Затем ~~за~~ применим правила Кирхгофа для контура $E-3R-2L-R$ и $E-2R-L-R$:

$$\begin{cases} E = I_2 \cdot 2R + (I_2 + I_3)R \\ E = I_3 \cdot 3R + (I_2 + I_3)R \end{cases} \quad \begin{array}{l} * \text{ тут } I_2 - \text{ток через } 2R \\ I_3 - \text{ток через } 3R \end{array}$$

$$\Rightarrow I_2 = \frac{E}{R} - 4I_3$$

$$E = 3E - 12I_3R + I_3R \Rightarrow I_3 = \frac{2E}{11R} \Rightarrow I_2 = \frac{3E}{11R}$$

2) ток через катушки не может измениться мгновенно $\Rightarrow$ применим правило Кирхгофа для контура $E-3L-R$:

$$E - 3L \cdot I' = (I_2 + I_3)R$$



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. Порча QR-кода недопустима!

$$3L \cdot I' = \frac{6E}{11} \Rightarrow I' = \frac{2E}{11L}$$

3) В установившемся режиме ток будет течь по контуру $E-3L-R$, т.к. ~~иначе~~ если бы через $2R$ и $3R$ тек ток, то на $3L$ было бы напряжение. Этот ток будет равен $\frac{E}{R}$.

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

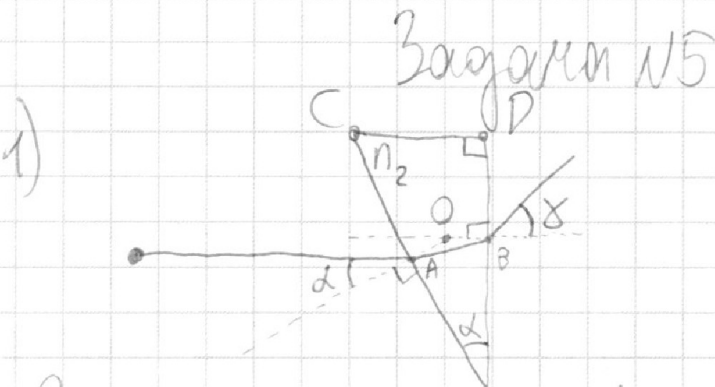
5 ☒

6 ☐

7 ☐

МФТИ

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



Вотчим закон преломления для малых углов!

$$\alpha = n_2 \cdot \angle OAB \Rightarrow \angle OAB = \frac{\alpha}{n_2}$$

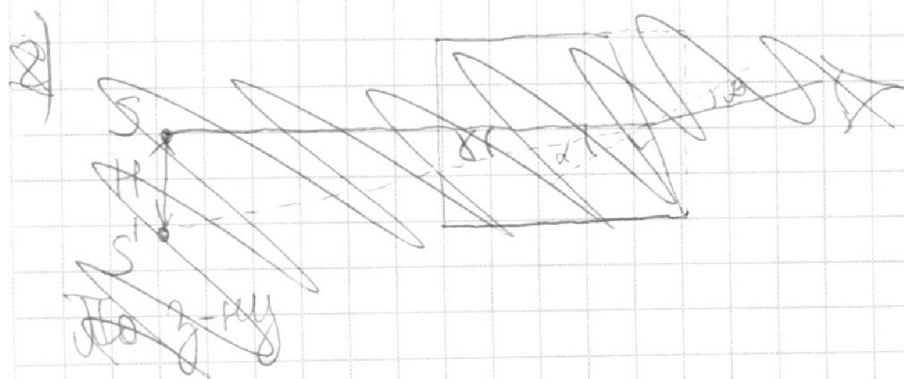
$$n_2 \cdot \angle OBA = \chi$$

Выразим $\angle OBA$ через $\angle OAB$ из 4-х угольника ACDB и его суммы углов:

$$\angle OAB + 90^\circ + 90^\circ + \alpha + 90^\circ + 90^\circ + \angle OBA = 360^\circ$$

$$\angle OBA = \alpha - \angle OAB = \alpha \left(1 - \frac{1}{n_2}\right)$$

$$\chi = n_2 \alpha \left(1 - \frac{1}{n_2}\right) = \alpha (n_2 - 1) = 0,4 \alpha = 0,04 \text{ (рад)}$$



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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1
☐

2
☐

3
☐

4
☐

5
☒

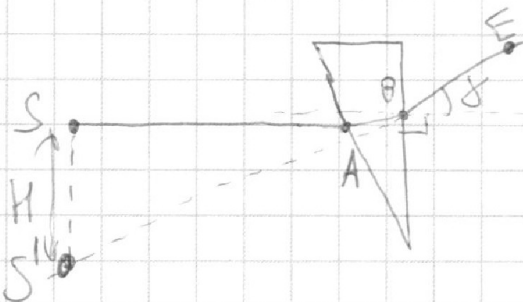
6
☐

7
☐

МФТИ

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

2)



Глаз видит источник света бы он
вышел из S' в отсутствие призмы. Так
узлы малы, то можем считать, что
 S' лежит на той же перпендикулярной от
призмы, что и S . S' лежит на про-
должении луча EB от точки B .

$\angle SBS' = \delta$, $\triangle SBS'$ - прямоугольный ($\angle S = 90^\circ$)

$$SS' = SB \cdot \tan \delta \approx SB \cdot \delta = (a+h) \delta = (a+h)(n_2-1) \cdot d =$$

$$= 14,21 \text{ (см)}$$

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

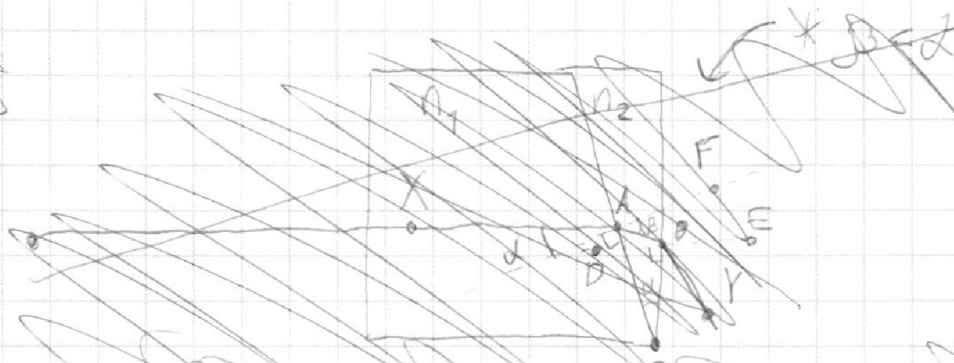
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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)~~



~~Планка, расположенная под рис., записана зрелищно~~

~~$n_1 \cdot \alpha = n_2 \cdot \beta$~~



Также, как в первом
двух пунктах находим угол γ ,
только $n_1 \cdot \alpha = n_2 \cdot \angle OAB \Rightarrow \angle OAB = \frac{n_1 \cdot \alpha}{n_2} \Rightarrow$
 $\Rightarrow \angle OBA = \alpha - \angle OAB = \alpha \left(1 - \frac{n_1}{n_2}\right) \Rightarrow$
 $\Rightarrow \gamma = n_2 \alpha \left(1 - \frac{n_1}{n_2}\right) = \alpha (n_2 - n_1) = 0,2 \alpha = 0,02 \text{ рад}$

И также находим $SS' = (a+h) \cdot \tan \gamma = (a+h) \cdot \gamma =$
 ~~$= 4,06 \text{ см}$~~ $= (a+h) \cdot (n_2 - n_1) \cdot \alpha = 4,06 \text{ см}$

- Ответ: 1) 0,04 рад
 2) 14,21 см
 3) 4,06 см

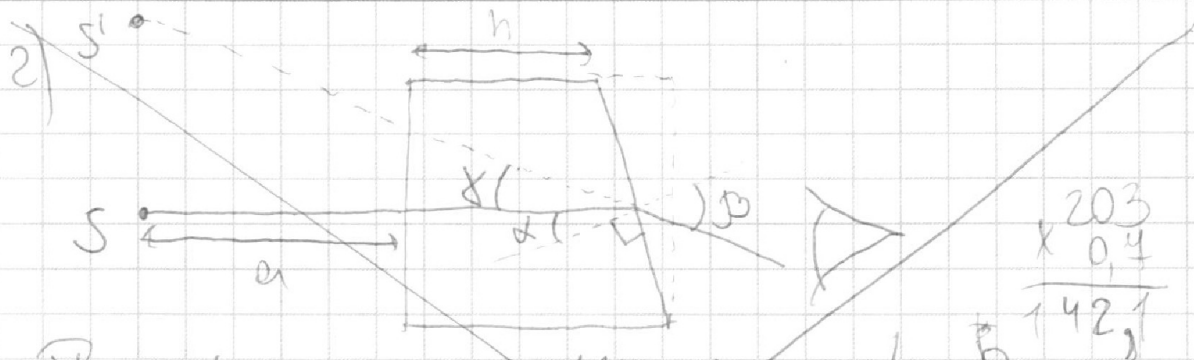
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



По 3-му предположению
для малых α

$$r\alpha = \beta$$

Если бы были источники света бы они
были из S' . П.к. углы малые, то можно
считать что S' лежит на том же расстоя-
нии от призмы, что и S .



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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

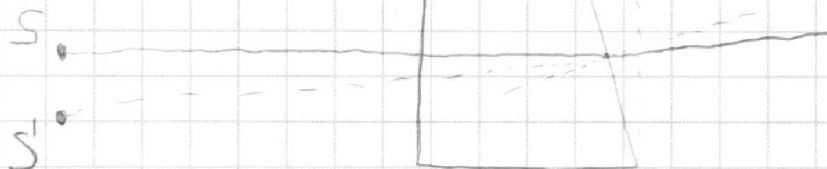
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

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

$$\begin{array}{r} \times 850 \\ 20 \\ \hline 17000 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1800 \cdot 21 \\ - 15 \\ \hline 20 \\ 1450 \end{array}$$



$$\frac{P_a}{70} = \frac{5P_a}{76}$$
$$P_0 = 0,32 P_a$$

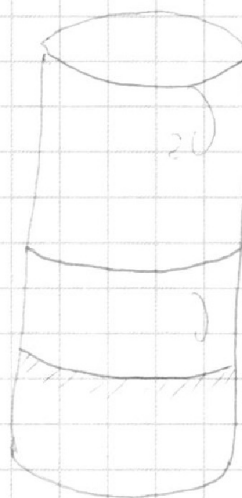
$$\left(\lambda - \frac{\lambda}{n}\right)(h+a)$$

$$P_0 \cdot \frac{V}{2} = 20RT \cdot \frac{4T}{5}$$

$$P_a \cdot \frac{V}{5} = 20RT$$

$$P_0 = \frac{160RT}{5V}$$

$$P_a = \frac{100RT}{V} \Rightarrow P_0 =$$





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!

$$-2R \cdot I_2 + L I_2' = -3R \cdot I_3 + 2L I_3' \quad \sqrt{3} \Delta \neq 4$$

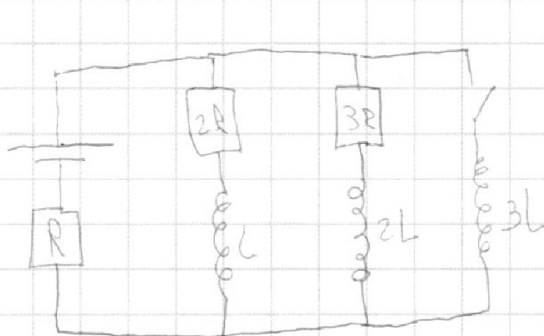
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$$1) E - I_2 \cdot 2R - (I_2 + I_3)R = 0$$

$$E - I_3 \cdot 3R - (I_2 + I_3)R = 0$$

$$E = I_2 \cdot 3R + I_3 R$$

$$E = I_3 \cdot 4R + I_2 R$$

$$I_2 = \frac{E}{R} - 4I_3$$

$$E = 3E - 12I_3 R + I_3 R$$

$$I_3 = \frac{2E}{11R}$$

$$I_2 = \frac{3E}{11R}$$

$$2) E - \frac{5E}{11} - 3L \cdot I' = 0$$

$$I' = \frac{2E}{11L}$$

N7

ускорение в точке, где $V = V_1$ - это касат. ккл.
~~касательной~~ касательной к графике в этой точке

$$a = \frac{5 \text{ м}}{20 \text{ с}^2} = 0,25 \text{ (м/с}^2\text{)}$$

2) при $V = 25 \text{ (м/с)}$ ускорение заканчивается,
уменьш $F_T = F_{\text{снр}} = 500 \text{ Н} \Rightarrow F_{\text{снр}} = \lambda V \Rightarrow$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{500}{25} = 20 \left(\frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}} \right)$$

$$ma = F_T - \lambda V_1 \Rightarrow F_T = ma + \lambda V_1$$

$$P = \frac{F_T \cdot \Delta S}{\Delta t} = \frac{F_T \cdot V_1 \cdot \Delta t}{\Delta t} = F_T \cdot V_1$$

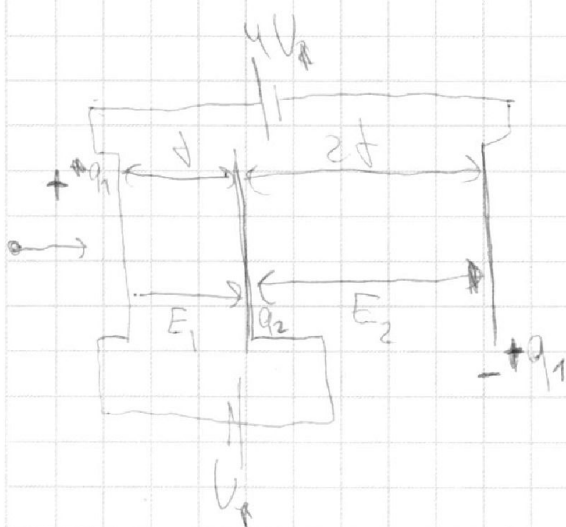
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$$q_1 = \frac{-3\epsilon_0 S U}{4d} \quad q_2 = \frac{-4\epsilon_0 S U}{2d}$$

$$4q_1 = \frac{-3\epsilon_0 S U}{d}$$

$$E_1 d = U$$

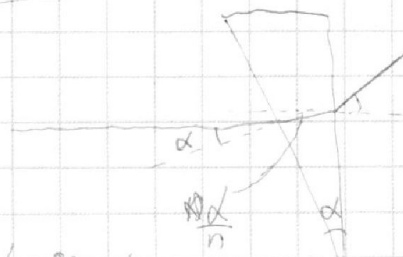
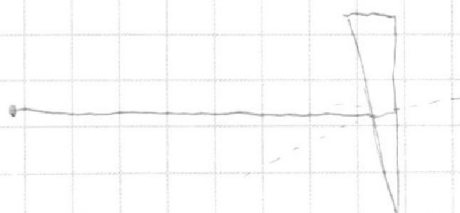
$$-E_1 d + E_2 \cdot 2d = 4U$$

$$q_1 - \frac{q_2}{2} = \frac{\epsilon_0 S U}{d}$$

$$-q_1 + \frac{q_2}{2} - q_2 - 2q_1 = \frac{4\epsilon_0 S U}{d}$$

$$E_1 = \frac{q_1}{\epsilon_0 S} - \frac{q_2}{2\epsilon_0 S} \Rightarrow E_1 = \frac{U}{d} \Rightarrow D = \frac{Uq}{dm}$$

$$E_2 = -\frac{q_2}{2\epsilon_0 S} - \frac{q_1}{\epsilon_0 S}$$



$$90 + \frac{\alpha}{n} + 90 - \alpha + 90 + 90 + \gamma = 360$$

$$\gamma = \alpha \left(1 - \frac{1}{n}\right)$$

$$\beta = \alpha(n-1)$$

$$\begin{array}{r} 203 \\ \times 0.02 \\ \hline 4.06 \end{array}$$