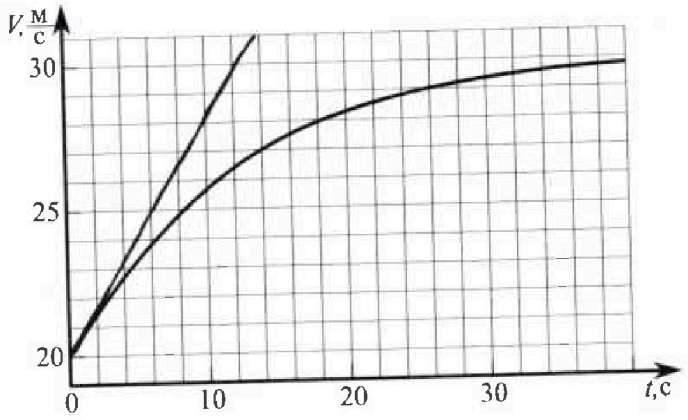
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-04

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

1. Мотоциклист массой (вместе с мотоциклом) $m = 240$ 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 $F_k = 200$ Н.



1) Используя график, найти ускорение мотоцикла в начале разгона.
2) Найти силу сопротивления движению F_0 в начале разгона.
3) Какая часть мощности, передаваемой на ведущее колесо, идет на преодоление силы сопротивления движению в начале разгона?

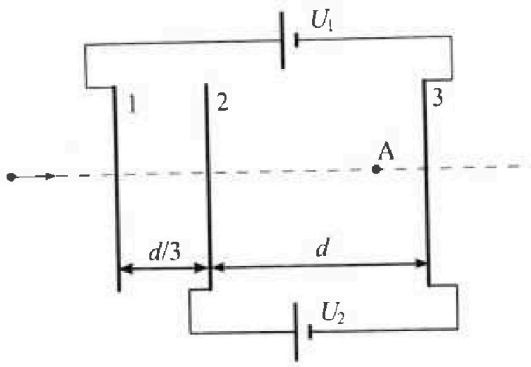
Требуемая точность ч исленного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

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 $3V/8$. Затем цилиндр медленно нагрели до $T = 4T_0/3 = 373$ К. Установившийся объём его верхней части стал равен $V/8$.

По закону Генри, при заданной температуре количество $\Delta\nu$ растворённого газа в объёме жидкости w пропорционально парциальному давлению p газа: $\Delta\nu = kpw$. Объём жидкости при этом практически неизменен. Для углекислого газа константа Генри для данной комнатной температуры $k \approx 0{,}6\cdot10^{-3}$ моль/(м$^3\cdot$Па). При конечной температуре T углекислый газ в воде практически не растворяется. Можно принять, что $RT \approx 3\cdot10^3$ 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 $P_{атм}$ (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 $U_1 = 5U$ 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.



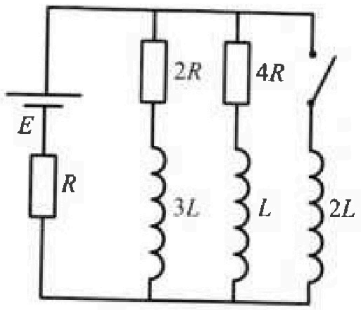
1) Найти модуль ускорения частицы в области между сетками 2 и 3.
2) Найти разность $K_3 - K_2$, где K_2 и K_3 — кинетические энергии частицы при пролете сеток 2 и 3.
3) Найти скорость частицы в точке А на расстоянии $3d/4$ от сетки 2.

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-04

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

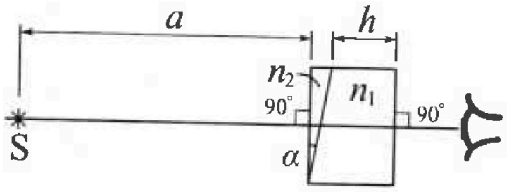
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.



1) Найти ток I_{20} через резистор с сопротивлением $4R$ при разомкнутом ключе.
2) Найти скорость возрастания тока в катушке индуктивностью $2L$ сразу после замыкания ключа.
3) Какой заряд протечет через резистор с сопротивлением $4R$ 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 $n_в = 1{,}0$. Точечный источник света S расположен на расстоянии $a = 100$ 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 $h = 14$ см. Толщина призмы с показателем преломления n_2 на прямой «источник – глаз» намного меньше h. Отражения в системе не учитывать.



1) Считая $n_1 = n_в = 1{,}0$, $n_2 = 1{,}7$, найдите на какой угол отклонится системой луч, идущий от источника перпендикулярно левой грани системы.
2) Считая $n_1 = n_в = 1{,}0$, $n_2 = 1{,}7$, найдите расстояние между источником и его изображением, которое будет видеть наблюдатель.
3) Считая $n_1 = 1{,}4$, $n_2 = 1{,}7$, 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
X						

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

МФТИ

Построим касательную к графику $V(t)$ в точке $t=0$, угловой коэффициент касательной будет равен ускорению мотоцикла в начале разгона a_0.

$a_0 = \frac{5}{6}$ м/с^2 ЗСЭ для мотоциклиста с мотоциклом:

$$P\,dt = d\left(\frac{mV^2}{2}\right) + VF_c\,dt = mV\,dV + F_c\,dt\,V$$

$P = mVa + F_cV$ F_c - сила сопротивления

P - мощность двигателя В конце разгона $a=0$:

$P = F_k v_k$ v_k - скорость в конце разгона

В начале разгона: $P = mV_0a_0 + F_0V_0$

V_0 - скорость в начале разгона F_0 - сила сопротивления в начале разгона

$$F_0 = \frac{P}{V_0} - ma_0 = F_k\frac{v_k}{V_0} - ma_0 = 200\cdot\frac{30}{20} - 240\cdot\frac{5}{6} =$$

$= 300 - 200 = 100$ Н η - доля мощности двигателя идущая на преодоление силы сопротивления в начале разгона

$$\eta = \frac{F_0V_0}{P} = \frac{F_0V_0}{F_kV_k} = \frac{100\cdot 20}{200\cdot 30} = \frac{2000}{6000} = \frac{1}{3}$$

Ответ: $\frac{5}{6}$ м/с^2; 100 Н; $\frac{1}{3}$

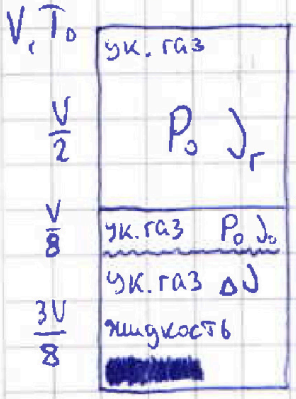
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

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

МФТИ

До нагревания:

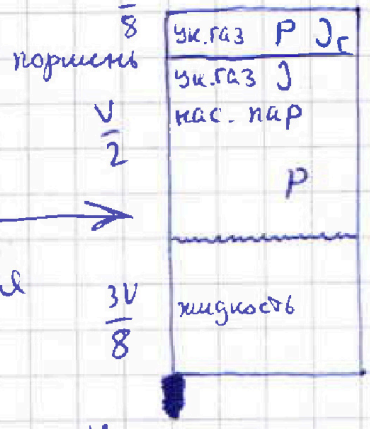


V, T_0; $\frac{V}{2}$; $\frac{V}{8}$; $\frac{3V}{8}$

$$\eta = \frac{\nu_г}{\nu_0} = \frac{\frac{V}{2}}{\frac{V}{8}} = \frac{4V}{V} = 4$$

На схемах → показано, какая величина что обозначает

После нагревания:



$\frac{V}{8}$; $\frac{V}{2}$; $\frac{3V}{8}$; V, T

$$P_0 \frac{V}{2} = \nu_г R T_0$$

$$P_0 \frac{V}{8} = \nu_0 R T_0$$

$$\Delta\nu = k P_0 \frac{3V}{8}$$

$$P \frac{V}{8} = \nu_г R T$$

$$P = \frac{\nu R T}{V/2} + P_{атм}$$

$$\nu = \nu_0 + \Delta\nu$$

$$P \frac{V}{2} = \nu_0 R T + \Delta\nu R T +$$

$$+ P_{атм} \frac{V}{2} = 4 \nu_г R T$$

$$\frac{P_0}{6} + \frac{3kRTP_0}{8} + \frac{P_{атм}}{2} = \frac{8P_0}{3}$$

$$\frac{P_0}{2} + \frac{9kRTP_0}{8} + \frac{3P_{атм}}{2} = 8P_0$$

$$4P_0 + 9kRTP_0 + 12P_{атм} = 64P_0$$

$$\frac{P_0 V}{8T_0} T + kP_0 \frac{3V}{8} RT + P_{атм} \frac{V}{2} =$$

$$= \frac{P_0 V}{2T_0} \cdot 4T \qquad T = \frac{4}{3} T_0 \quad \frac{T}{T_0} = \frac{4}{3} = \alpha$$

$$P_0 = P_{атм} \frac{12}{60 - 9kRT}$$

$$\alpha = \frac{4}{20 - 3 \cdot \frac{3}{5} \cdot 10^{-2} \cdot 3 \cdot 10^{2}} = \frac{4}{20 - \frac{27}{5}} =$$

$$= \frac{20}{100 - 27} = \frac{20}{73}$$

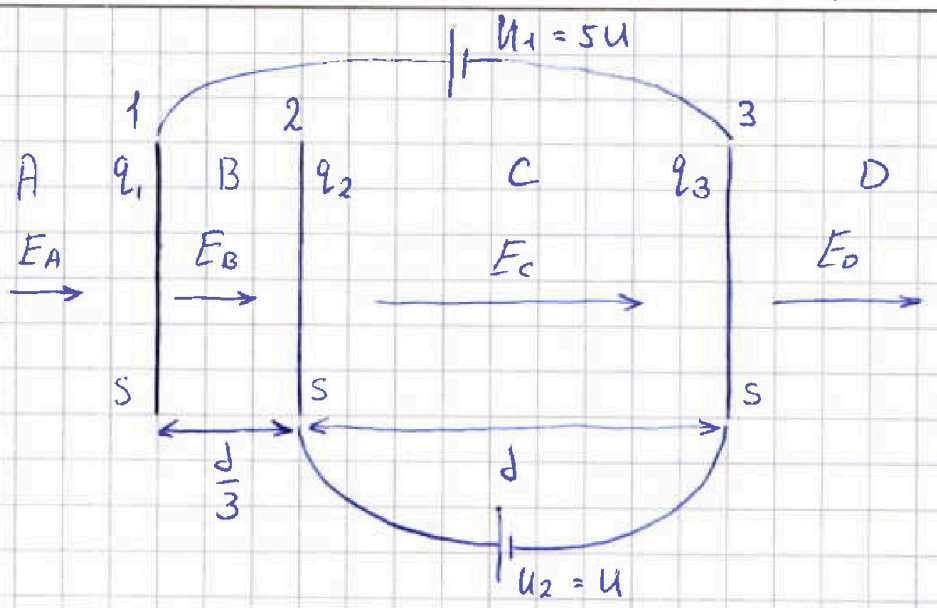
Ответ: $4; \frac{20}{73} P_{атм}$

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

1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

МФТИ

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



Разобьем все пространство на области A, B, C и D

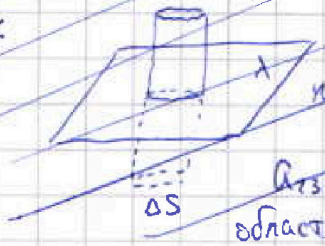
E_A, E_B, E_C и E_D - электрические поля в областях A, B, C и D соответственно

q_1, q_2 и q_3 - заряды сеток 1, 2 и 3 соответственно

Будем считать большую плоскую металлическую сетку бесконечной плоскостью. Найдем выражение для поля бесконечной плоскости:

По теореме Гаусса:

$2E_0 S = \frac{\lambda_0 S}{\varepsilon_0}$ $E = \frac{\lambda}{2\varepsilon_0}$



λ - поверхностная плотность заряда

a_{23} - ускорение частицы в области между сетками 2 и 3

$E_C = \frac{U}{d}$ $E_C q = m a_{23} = \frac{qU}{d}$ $a_{23} = \frac{qU}{md}$

$K_3 - K_2 = E_C q d = Uq$

Ответ: $\frac{qU}{md}$; qU; —

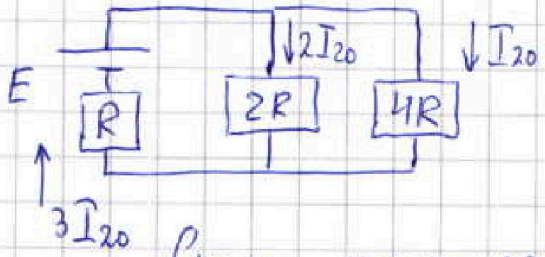
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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!

В установившемся режиме $\frac{dI}{dt}=0$, поэтому напряжения на катушках равны 0.



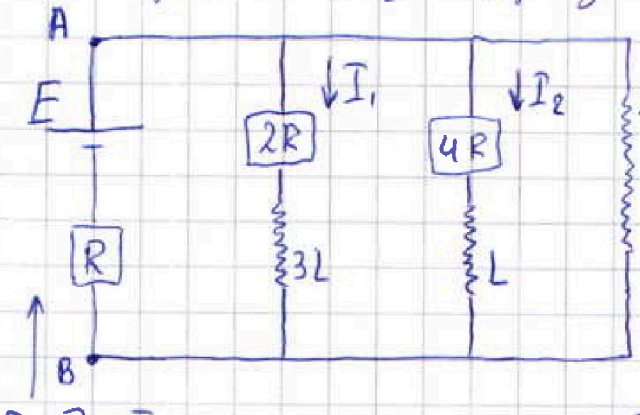
$$E = 3I_{20}R + 4I_{20}R$$

$$I_{20} = \frac{E}{7R}$$

Сразу после замыкания ключа токи не успеют измениться, поэтому напряжение на катушке 2L равно $\frac{4}{7}E$

$$\frac{4}{7}E = 2L\dot{I}_2 \qquad \dot{I}_2 = \frac{dI_2}{dt} = \frac{2E}{7L}$$

Рассмотрим схему в произвольный момент времени:



$$\varphi_A - \varphi_B = E - (I_1+I_2+I_3)R$$

$$\varphi_A - \varphi_B = 2I_1R + 3L\frac{dI_1}{dt}$$

$$\varphi_A - \varphi_B = 4I_2R + L\frac{dI_2}{dt}$$

$$\varphi_A - \varphi_B = 2L\frac{dI_3}{dt}$$

$$2L\frac{dI_3}{dt} = 4I_2R + L\frac{dI_2}{dt} \qquad 2L\,dI_3 = 4R\,dq_2 + L\,dI_2$$

$$2L\frac{E}{R} = 4Rq_2 + L(0 - I_{20}) \qquad 2LE = 4R^2q_2 - \frac{1}{7}LE$$

$$4R^2q_2 = \frac{15}{7}LE \qquad q_2 = \frac{15LE}{28R^2}$$

Ответ: $\frac{E}{7R}$; $\frac{2E}{7L}$; $\frac{15LE}{28R^2}$

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

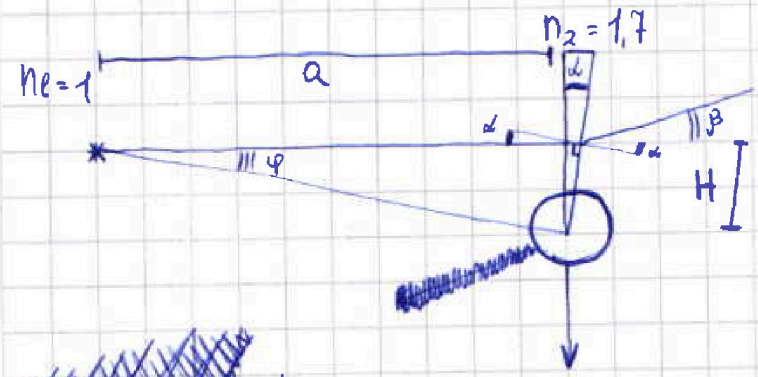
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

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

МФТИ

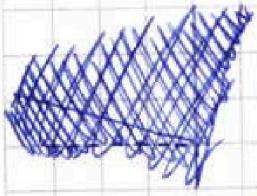
Для пунктов 1 и 2:

$n_2 \alpha = n_1 (\alpha + \beta)$

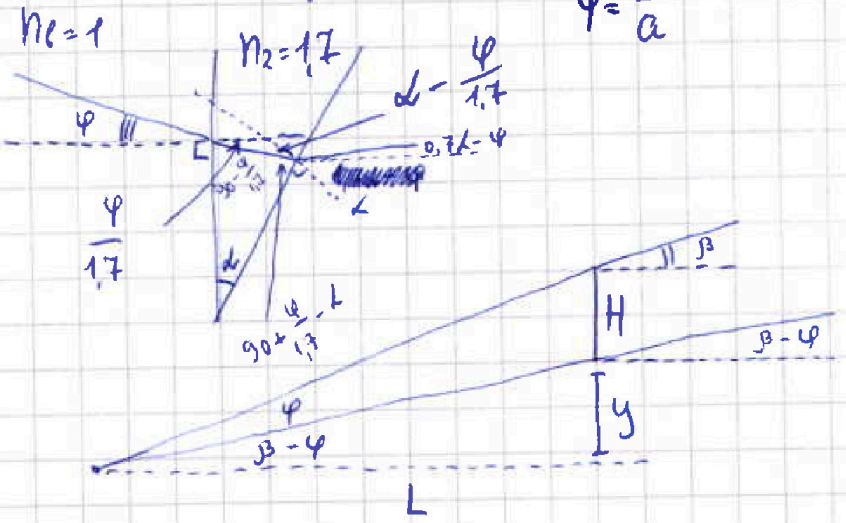


$1{,}7\alpha = \alpha + \beta \qquad \beta = \frac{7}{10}\alpha$

$\beta = 0{,}07$ рад



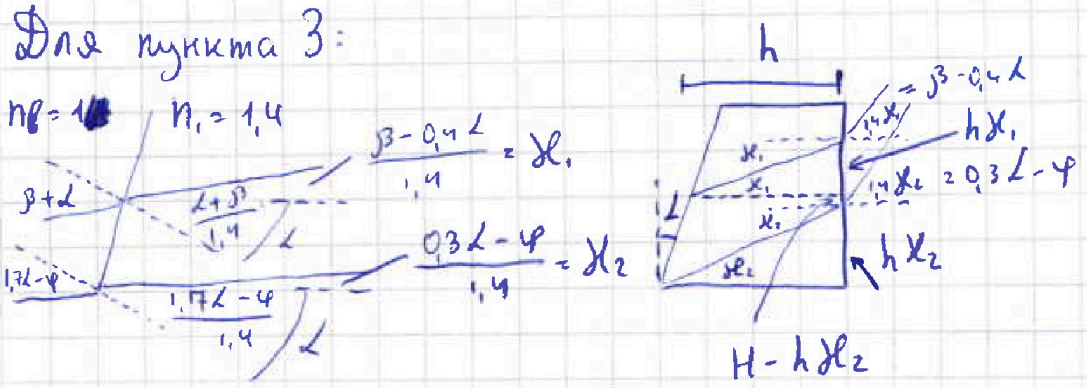
$\varphi = \frac{H}{a}$



$\frac{H+y}{L} = \beta \qquad \frac{y}{L} = \beta - \varphi \qquad \frac{H}{L} + \beta - \varphi = \beta \qquad \frac{H}{L} = \varphi = \frac{H}{a} \quad L = a$

$\Rightarrow$ Расстояние между источником и изображением равно 0

Для пункта 3:



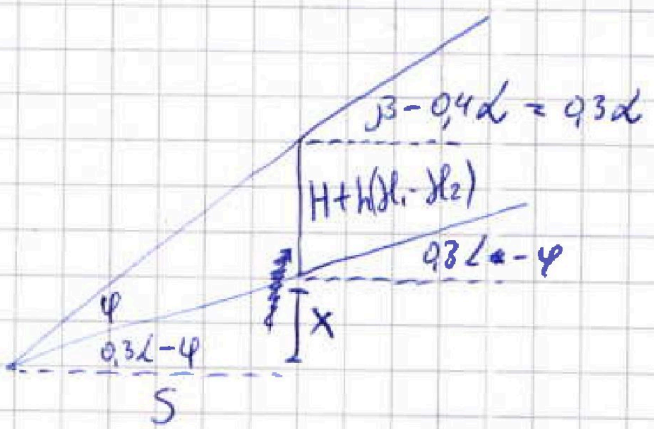
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

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

МФТИ

$$\frac{H+h(\gamma_1-\gamma_2)+x}{S}=\varphi$$



$$\frac{x}{S}=0{,}3\alpha-\varphi$$

$$\frac{H+h(\gamma_1-\gamma_2)}{S}+0{,}3\alpha-\varphi=\varphi$$

$$\gamma_1-\gamma_2=\frac{\cancel{\beta}-0{,}4\alpha-0{,}3\alpha+\varphi}{1{,}4}=\frac{\varphi}{1{,}4}$$

$$\frac{\gamma a+h\cdot\frac{\varphi}{1{,}4}}{S}+0{,}3\alpha=2\varphi \qquad a+\frac{h}{1{,}4}+0{,}3\alpha S=2S$$

$$S=\frac{a+\frac{h}{1{,}4}}{2-0{,}3\alpha} \qquad L_3=a+h-\frac{a+\frac{h}{1{,}4}}{2-0{,}3\alpha}=100+14-\frac{100+10}{2-0{,}03}=$$

$$=114-\frac{110}{1{,}97}=114-\frac{11000}{197}=\frac{22458-11000}{197}=\frac{11458}{197}$$

$$\begin{array}{r} 197\times \\ 114 \\ \hline 788 \\ 197 \\ 197 \\ \hline 22458 \end{array}$$

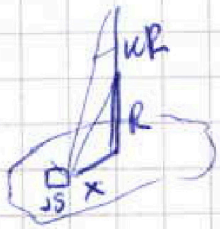
Ответ: 0,07 рад; 0 см; $\frac{11458}{197}$ см

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

1	2	3	4	5	6	7
X	X	X	X	X	X	X

МФТИ

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



Ц:

$$dR = \frac{dS}{\cos\alpha \sqrt{x^2 + L^2 R^2}}$$

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!

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!

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!