



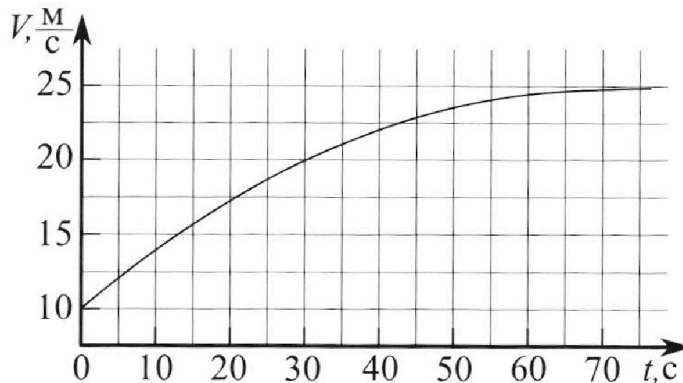
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

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 ?

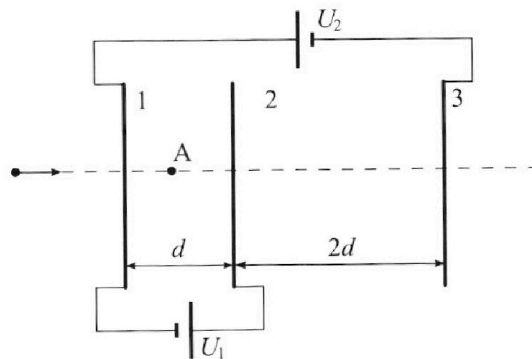
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объемом V разделён тонким невесомым теплопроводящим герметичным поршнем (диск соосный с сосудом) на две равные части. Поршень может перемещаться без трения. В верхней части цилиндра находится углекислый газ, а в нижней - вода и углекислый газ. В начальный момент система находилась в равновесии при комнатной температуре T_0 . При этом жидкость занимала объём $V/4$. Затем цилиндр медленно нагрели до $T = 5T_0/4 = 373$ К. Установившийся объём его верхней части стал равен $V/5$.

По закону Генри, при заданной температуре количество Δn 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/(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 А на расстоянии $d/3$ от сетки 1.

Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

Вариант 11-01

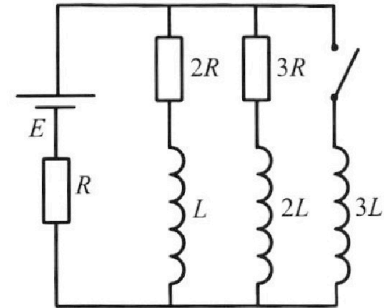
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



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

- 1) Найти ток I_0 через резистор с сопротивлением $2R$ при разомкнутом ключе.
- 2) Найти скорость возрастания тока в катушке индуктивностью $3L$ сразу после замыкания ключа.
- 3) Какой заряд протечет через резистор с сопротивлением $2R$ при замкнутом ключе?

Ответы давать с ч ислowymi 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.

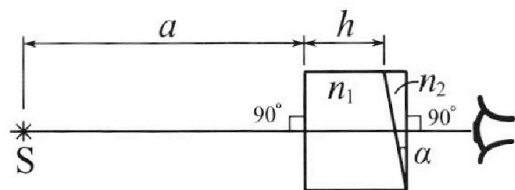


рис.). Угол $\alpha = 0,1$ рад можно считать малым, толщина $h = 9$ см. Толщина призмы с показателем преломления n_2 на прямой «источник – глаз» намного меньше h . Отражения в системе не учитывать.

- 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.

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!

N1

1) $a = \frac{dV}{dt} \Rightarrow$ ускорение по графику $V(t)$ найдем как тан-
генс угла наклона касательной
 $a \approx 0,2 \text{ м/с}^2$

2) по графику видно что при $V \rightarrow 25 \text{ м/с}$ ускорение почти
0 (прямая горизонтальная) \rightarrow этот промежуток соответ-
ствует концу разгона. 2 ЗН на конец разгона;
 $F_k - F_c = 0$, где $F_c = dV$, d - коэф. пропорц. $d = \frac{F_k}{V}$, где
 $V = 25 \text{ м/с}$; $\Rightarrow d = 20 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}$

Для момента когда $V_1 = 20 \text{ м/с}$ 2 ЗН: $F_{\text{марш}} - dV_1 = ma$
 $F_{\text{марш}} = dV_1 + ma$; $F_{\text{марш}} = 20(400 + 1800 \cdot 0,2) \text{ Н} = 760 \text{ Н}$

3) $P = \frac{dA}{dt} = \frac{F_{\text{марш}} V dt}{dt} = F_{\text{марш}} V$; $P = 760 \cdot 20 \text{ Вт} = 15200 \text{ Вт}$

- мгновенная мощность

Ответ: $0,2 \text{ м/с}^2$; 760 Н ; 15200 Вт

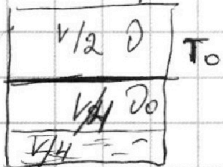


- 1 2 3 4 5 6 7

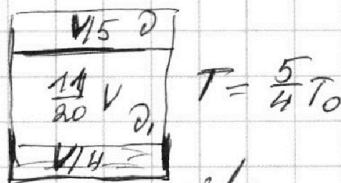
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

№2

До нагревания:



После нагревания:



Ур-ня Клапейрона-Менделеева

До:

Верхн. часть: $P_0 \frac{V}{2} = \nu R T_0$

нижн. часть: $P_0 \frac{V}{4} = \nu_1 R T_0$

После: $P_{11} \frac{V}{5} = \nu R \frac{5}{4} T_0$ (1)

После: $P_{11} \frac{11V}{20} = \nu_1 R \frac{5}{4} T_0$ (2)

где $\nu = \text{const}$ - кол-во вещества сверху; ν_0 и ν_1 - кол-во вещества газа снизу до и после нагрева. (т.к. $T = 100^\circ\text{C}$ и снизу еще есть вода \Rightarrow это насыщ. пар, $P_{\text{нат}}(100^\circ\text{C}) = P_{\text{атм}} = 10^5 \text{ Па}$, а т.к. после нагревания парильщик пришел в равновесие, то давн. сверху тоже P_{11} .)

$\Rightarrow \nu_0 = \frac{1}{2} \nu$; $\Delta \nu = \nu_0 - \nu_1 = \Delta(\nu R \text{ газа } V_{\text{нижн}}) = K \frac{V}{4} (P_{11} - P_0)$

из 2-на Гейсса ($V_{\text{нижн}} = \frac{V}{4} = \text{const}$)

$\nu_0 = \frac{P_0 V}{4 R T_0}$

$\Rightarrow K \frac{V}{4} (P_{11} - P_0) = \frac{V}{4 R T_0} (P_0 - \frac{11 P_{11}}{20})$; пусть

$\nu_1 = \frac{P_{11} V_0}{R T_0} \frac{11}{20}$ $\frac{1}{R T_0} = d$; $\rightarrow K (P_{11} - P_0) = d (P_0 - \frac{11}{20} P_{11})$

$K P_{11} - K P_0 = d P_0 - 1,176 d P_{11}$; $P_0 = \frac{K + d}{K + 1,176 d} P_{11}$

$d = \frac{1}{R T_0} = \frac{1}{4 \cdot 3 \cdot 10^3} \text{ моль } P_{\text{атм}}^{-1}$; $P_0 = \frac{1}{3} \cdot 10^{-3} + 1,176 \cdot \frac{1}{2,4} \cdot 10^{-3} \text{ моль } P_{\text{атм}}^{-1}$

$= \frac{1}{3} + \frac{1,176}{2,4} \cdot 10^5 \text{ Па}$

$\nu_0 = \frac{P_0 V}{4 R T_0}$

(2):(1): $\frac{\nu_1}{\nu} = \frac{11}{4}$; $\frac{\nu}{\nu_0} = \frac{1}{2} \Rightarrow \frac{\nu_1}{\nu_0} = \frac{11}{8}$; $\nu_1 = \frac{11 \nu_0}{8}$

$\Delta \nu = \nu_1 - \nu_0 = \frac{3}{8} \nu_0 = \frac{V}{4} K (P_{11} - P_0)$ (из 2-на Гейсса); $\frac{P_0}{4 R T_0} = K (P_{11} - P_0)$

$P_0 = \frac{K P_{11}}{\frac{1}{4 R T_0} + K}$ $P_{11} = \frac{1}{3} P_{\text{атм}} = \frac{32}{42} \cdot 10^5 \text{ Па} = \frac{16}{21} \cdot 10^5 \text{ Па}$

Ответ: $\frac{16}{21} \cdot 10^5 \text{ Па}$.

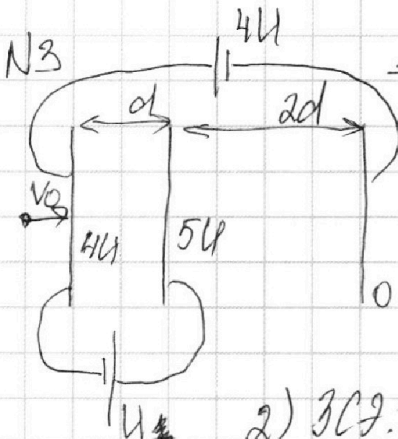
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



1) Пусть 0 - потенциал правой, тогда $4U$ - средней; $5U$ - средней

2 ЗН: $qE = ma$;

$\Delta\varphi = Ed = U$; $E = \frac{U}{d} \Rightarrow a = \frac{qU}{md}$

2) ЗСЭ: $K_1 + \varphi_1 q = K_2 + \varphi_2 q$; φ_1, φ_2 - потенциалы, при проходе точек 1 и 2
 $\Rightarrow K_1 - K_2 = q(\varphi_2 - \varphi_1) = qU$

3) $\Delta\varphi = \frac{Ed}{3} = \frac{U}{3}$ (поле E между сетками однородно)

ЗСЭ: $\frac{mv_0^2}{2} - \frac{mv^2}{2} = q\Delta\varphi$; $\Delta\varphi = \frac{U}{3} \Rightarrow v_0^2 - v^2 = \frac{2qU}{3m}$

$v = \sqrt{v_0^2 - \frac{2qU}{3m}}$

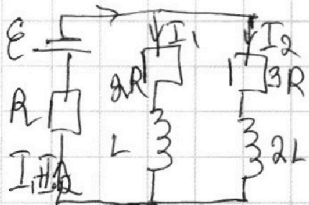
Ответ: $\frac{qU}{md}$; qU ; $\sqrt{v_0^2 - \frac{2qU}{3m}}$

- 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!

N4

уст. состояние при разомкн. ключе. (ток не меняется)



з-н Ома: $E = 2RI_1 + R(I_1 + I_2)$

$0 = I_1 2R - I_2 3R$; $I_2 = \frac{2I_1}{3}$

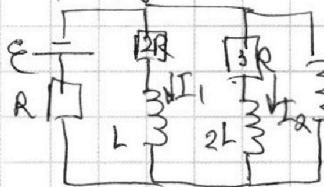
$\Rightarrow E = I_1 R (3 + \frac{2}{3}) = \frac{11I_1 R}{3} \Rightarrow I_1 = \frac{3E}{11R}$; $I_2 = \frac{2 \cdot 3E}{3 \cdot 11R} =$

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

сразу после замыкания: (ток в катушках мгновенно не меняется, т.е. I_1 и I_2 те же); поэтому

сразу после замык. з-н Ома:

$E = 3LI_3 + (I_1 + I_2)R$; $3LI_3 = \frac{6}{11}E$;

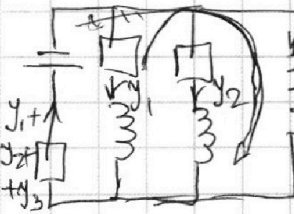


$I_3 = \frac{2E}{11L}$ (считаем, что $I_3 = 0$, но $\dot{I}_3 \neq 0$)

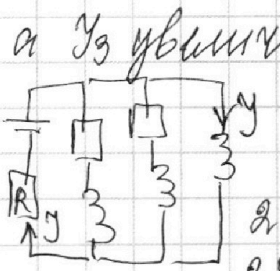
в произвольной момент после замык: (y_1, y_2, y_3 - заряды конденсаторов)

з-н Ома:

$2y_1 R + Ly_1 = 3Ly_3$ (1); $y_3 = \frac{dI_3}{dt}$



заметьте, что с течением времени после замыкания ключа y_1 и y_2 уменьшаются, а y_3 увеличивается, в конечном сост. система имеет вид:



(токи y_1 и y_2 0); $y = E/R$
 \Rightarrow дифференцируем (1) на dt , получаем

$2y_1 dt \cdot R + L dy_1 = 3L dy_3$; проинтегрируем его
 $2R \int y_1 dt + L \int dy_1 = 3L \int dy_3$

$2R q + LI_1 = 3L y$

$q = \frac{L}{2R} (y + I_1) = \frac{L}{2R} (\frac{E}{R} + \frac{3E}{11R}) = \frac{7LE}{11R}$

Ответ: $\frac{3E}{11R}, \frac{2E}{11L}, \frac{7LE}{11R}$

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

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

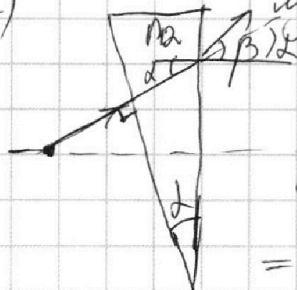
1
 2
 3
 4
 5
 6
 7

МФТИ

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

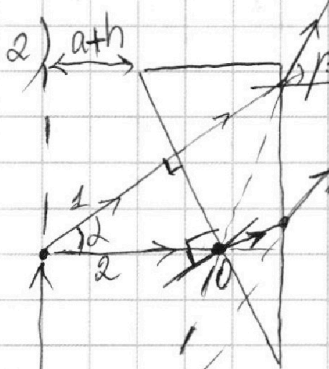
N5

1) луч \perp левой грани \Rightarrow при входе не отклоняется



по 3-му закону преломления $n_2 \sin \alpha = \sin \beta$;

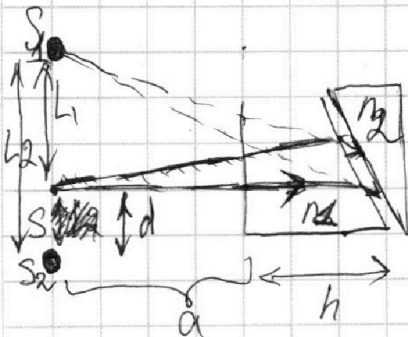
α и β - малые углы $\Rightarrow \sin \alpha \approx \alpha$; $\sin \beta \approx \beta$; $\beta = n_2 \alpha = 0,17 \text{ рад}$;
 $\Delta = \beta - \alpha = 0,07 \text{ рад}$ - отклонение угла



2) Чтобы найти изображение пусть выше один луч параллельный основанию призмы. Глядя сверху увидит множество изображений, полученных параллельными лучами (на их пересеч.) Заметим, что продолжение 1-го луча пройдет $\alpha/2$ от O, в которую переходит 2-й луч, изображение будет лежать под источником

\Rightarrow ввиду малости ширины призмы $\Delta \beta \approx \beta = \frac{L}{a+h}$;
 $L = (a+h)\beta = 0,17 \cdot 203 \text{ см} = 34,51 \text{ см}$

3) рассмотрим систему как ответ: $0,07 \text{ рад}$; $34,51 \text{ см}$. две отдельных призмы с почти нулевой расстоянием между ними. α - угол при вершине заметим, что α - угол при вершине у второй призмы (хорда и касательная в одной точке и аналогично н.д. S_1 - если бы была только 1-ая призма; S_2 - после 2-й призмы. По аналогии с н.д. (абсолютно симметричные ситуации) *



$L_1 = a \beta$; где $\beta = n_2 \alpha$; $L_2 = (a+h) \beta$;
 где $\beta = n_2 \alpha$; $d = L_2 - L_1 = d(a(n_2 - 1) + hn_2) =$

$= 0,1(194 \cdot 0,2 + 9 \cdot 1,7) = 5,21 \text{ см}$

* только 1-ая призма "сдвигается" из-за того, что верх, а втора вниз
 Ответ: $0,07 \text{ рад}$; $34,51 \text{ см}$; $5,21 \text{ см}$.



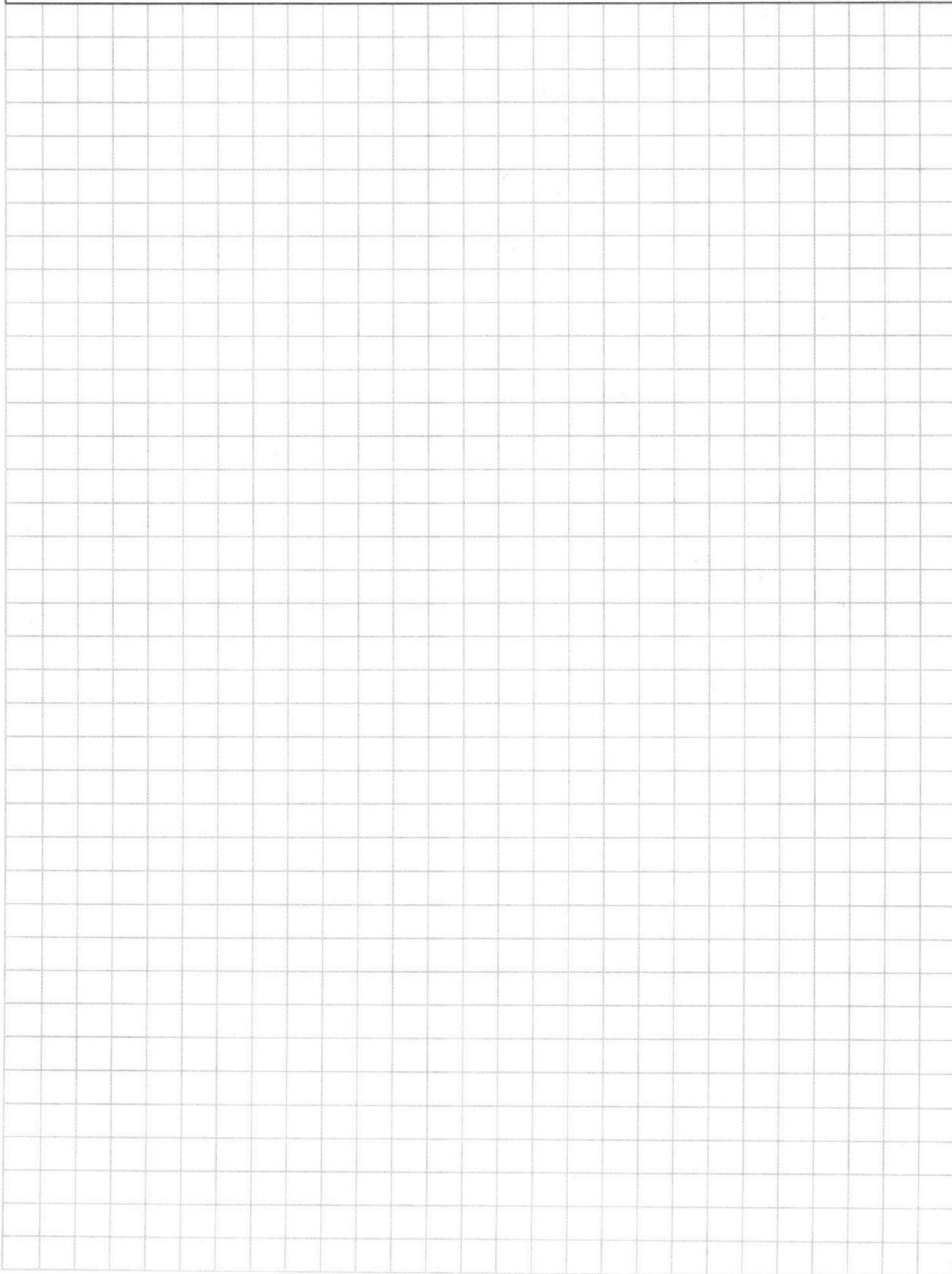
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<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!



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

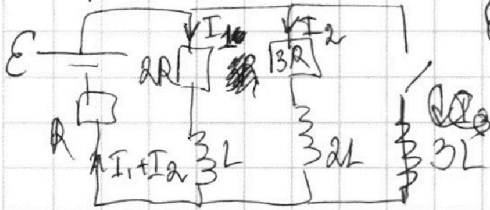
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

- 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 (4)



$$E = 2RI_1 + R(I_1 + I_2) \quad ; \quad E = I_1 R \left(2 + 1 + \frac{2}{3} \right) \frac{11E}{3}$$

$$E = 3RI_2 + R(I_1 + I_2)$$

$$0 = I_1 2R - I_2 3R, \quad I_2 = \frac{2I_1}{3}$$

$$E = 3LI_3 + (I_1 + I_2)R$$

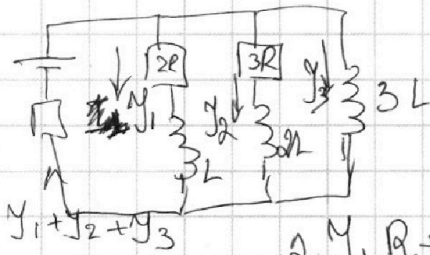
$$I_1 = \frac{3E}{11R}$$

$$I_2 = \frac{2}{3} \frac{3E}{11R} = \frac{2E}{11R}$$

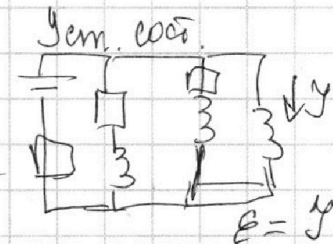
$$3LI_3 = \frac{6E}{11}$$

$$\frac{5E}{4R} = \frac{5E}{11}$$

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

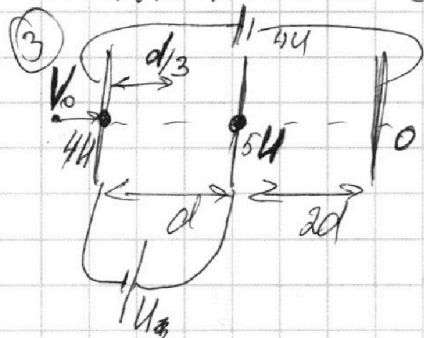


$$E = 2RI_1 + R(I_1 + I_2)$$



$$2Y_1 R + LY_1 = 3LY_2$$

$$2Y_1 d + R + LY_1 = 3LY_2$$



$$qE = ma; \quad a = \frac{qE}{m} = \frac{qU}{md}$$

$$\Delta\varphi = Ed; \quad E = \frac{U}{d}$$

$$\frac{4}{5} - \frac{1}{4} = \frac{11}{20}$$

$$\Delta\varphi = E \frac{d}{3} = \frac{U}{3d}$$

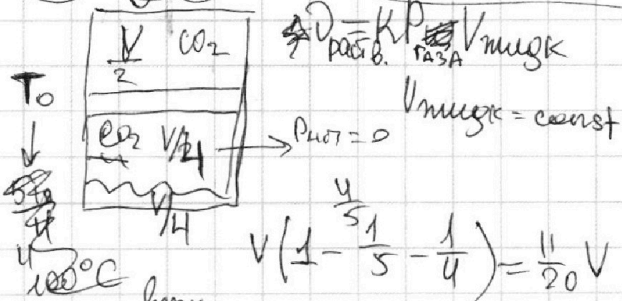
$$\frac{mv_0^2}{2} - \frac{mv^2}{2} = \frac{qU}{3d}$$

$$v_0^2 - v^2 = \frac{2qU}{3md}; \quad v^2 = \sqrt{v_0^2 - \frac{2qU}{3md}}$$

$$K_1 + q\varphi_1 = K_2 + q\varphi_2$$

$$K_1 - K_2 = q(\varphi_2 - \varphi_1) = qU$$

(2)



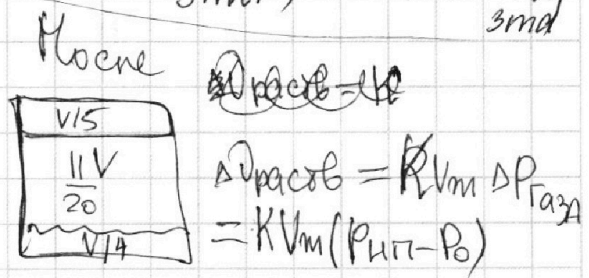
$$P_0 = P + \rho g h$$

$$P_0 = P + \rho g h$$

$$v \left(1 - \frac{1}{5} - \frac{1}{4} \right) = \frac{11}{20} v$$

$$P_0 v = P v_0; \quad P_0 \frac{v}{4} = P_0 v_0$$

$$\frac{P}{P_0} = \frac{1}{2}$$



$$P_0 v = P v_0; \quad P_0 \frac{v}{4} = P_0 v_0$$

$$\frac{P}{P_0} = \frac{1}{2}$$

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 type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

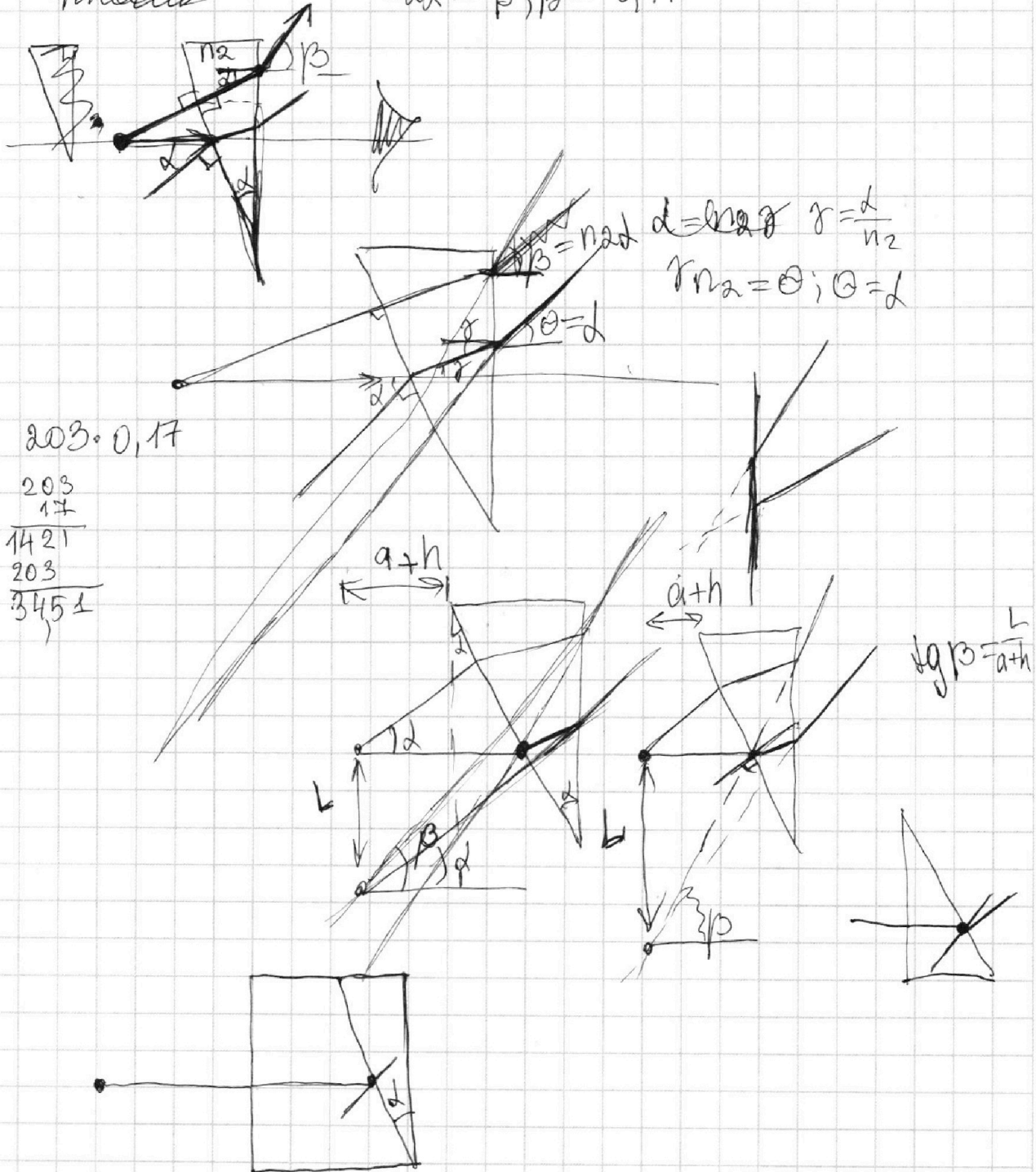
 МФТИ

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



Задача

$$n_2 d = \beta; \beta = 0,17$$



$$203 \cdot 0,17$$

$$\begin{array}{r} 203 \\ 17 \\ \hline 1421 \\ 203 \\ \hline 3451 \end{array}$$

$$\beta = \frac{L}{a+h}$$

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!

$$\frac{V_1}{V} = \frac{11}{8}$$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{1}{2}$$

$$\frac{V_1}{V_0} = \frac{11}{8} \quad 8V_1 = 11V_0; \quad V_1 = \frac{11V_0}{8}$$

$$\Delta V = V_1 - V_0 = \frac{3}{8}V_0 = \frac{V}{4} K(P_{\text{шт}} - P_0)$$

$$\frac{K P_{\text{шт}}}{\left(\frac{1}{4RT_0} + K\right)} = P_0$$

$$V_0 = \frac{P_0 V}{4RT_0} \quad \frac{P_0}{4RT_0} = K(P_{\text{шт}} - P_0)$$

$$\frac{\frac{1}{3}}{4 \cdot 2,4 + \frac{1}{3}} = \frac{1}{3} = \frac{3,2}{4,2}$$



$$\frac{1,7}{9} = 15,3$$

$$(a+n)d - a \cdot n \cdot d = d(a(n-1) + \dots)$$

$$0,4 \cdot (194 \cdot 0,2 + 9 \cdot 1,7) = 52,4$$