



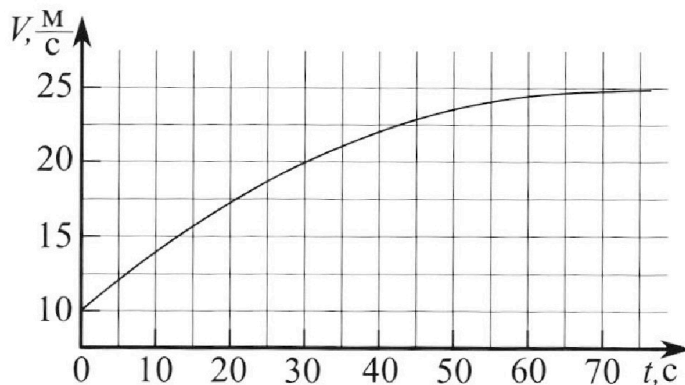
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

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 ?

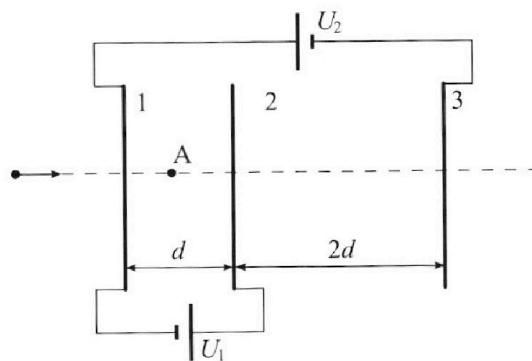
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

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 A на расстоянии $d/3$ от сетки 1.

Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

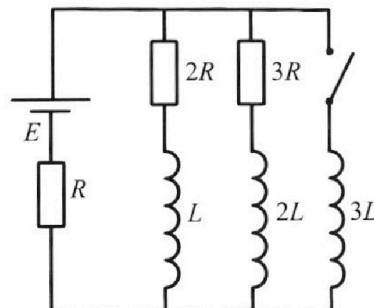
Вариант 11-01

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_{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 ч-исловыми 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.

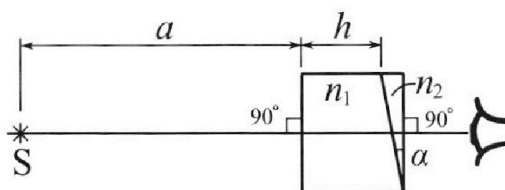


рис.). Угол $\alpha = 0,1$ рад можно считать малым, толщина $h = 9$ см. Толщина призмы с показателем преломления n_2 на прямой «источник – глаз» намного меньше h . Отражения в системе не учитывать.

- 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.

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: $F_{\text{тяги}} - dV_1 = ma$
 $F_{\text{тяги}} = dV_1 + ma$; $F_{\text{тяги}} = 20(400 + 1800 \cdot 0,2) \text{ Н} = 760 \text{ Н}$

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

- 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!

N2

До нагревания:

$$\begin{array}{|c|} \hline V/2 \cdot D \\ \hline V/4 \cdot D_0 \\ \hline V/4 = \dots \\ \hline \end{array} T_0$$

После нагревания:

$$\begin{array}{|c|} \hline V/5 \cdot D \\ \hline 11/20 \cdot V \cdot D_1 \\ \hline V/4 = \dots \\ \hline \end{array} T = \frac{5}{4} T_0$$

Ур-ня Клапейрона-Менделеева

До:

верхн. часть: $P_0 \frac{V}{2} = DRT_0$

нижн. часть: $P_0 \frac{V}{4} = DRT_0$

$P_{\text{пл}} \frac{V}{5} = DR \frac{5}{4} T_0$ (1)

$P_{\text{пл}} \frac{11V}{20} = D_1 R \frac{5}{4} T_0$ (2)

где $D = \text{const}$ - ^{кол-во веш-ва} газа сверху; D_0 и D_1 - кол-во веш-ва газа снизу до и после нагрева. (т.к. $T = 100^\circ\text{C}$ и снизу еще есть вода $\Rightarrow$ это насыщ. пар, $P_{\text{пл}}(100^\circ\text{C}) = P_{\text{атм}} = 10^5 \text{ Па}$, а т.к. после нагревания поршень пришел в равновесие, то давн. сверху тоже $P_{\text{пл}}$)

$\Rightarrow \frac{D_0}{D} = \frac{1}{2}$; $\Delta D = D_0 - D_1 = \Delta(K P_{\text{пар}} V_{\text{жидк}}) = K \frac{V}{4} (P_{\text{пл}} - P_0)$ -

из 3-й Гейсса ($V_{\text{жидк}} = \frac{V}{4} = \text{const}$)

$D_0 = \frac{P_0 V}{4RT_0}$

$\Rightarrow K \frac{V}{4} (P_{\text{пл}} - P_0) = \frac{V}{4RT_0} \left(\frac{P_0}{2} - \frac{11P_{\text{пл}}}{20} \right)$; пусть

$D_1 = \frac{P_{\text{пл}} V_0}{RT_0} \cdot \frac{11}{20}$ $\frac{1}{RT_0} = d$; $\rightarrow K(P_{\text{пл}} - P_0) = d(P_0 - \frac{11}{20} P_{\text{пл}})$

$K P_{\text{пл}} - K P_0 = d P_0 - 1,76 d P_{\text{пл}}$; $P_0 = \frac{K}{K + d}$

$d = \frac{1}{RT_0} = \frac{1}{4 \cdot 3 \cdot 10^3} \cdot \frac{1}{1,76} \cdot \frac{1}{3 \cdot 10^{-3}} + 1,76 \cdot \frac{1}{2,4 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{1}{10^5}$

$= \frac{1}{3} + \frac{1,76}{2,4} \cdot 10^5 \text{ Па}$

$D_0 = \frac{P_0 V}{4RT_0}$

(2): (1): $\frac{D_1}{D} = \frac{11}{4}$; $\frac{D}{D_0} = \frac{1}{2} \Rightarrow \frac{D_1}{D_0} = \frac{11}{8}$; $D_1 = \frac{11D_0}{8}$

$\Delta D = D_1 - D_0 = \frac{3}{8} D_0 = \frac{V}{4} K (P_{\text{пл}} - P_0)$ (из 3-й Гейсса); $\frac{P_0}{4RT_0} = K(P_{\text{пл}} - P_0)$

$P_0 = \frac{K P_{\text{пл}}}{\frac{1}{4RT_0} + K}$ $P_{\text{пл}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{P_{\text{пл}}}{\frac{1}{4 \cdot 3 \cdot 0,8} + \frac{1}{3}} = \frac{32}{42} \cdot 10^5 \text{ Па} = \frac{16}{21} \cdot 10^5 \text{ Па}$

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

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 ☐

2 ☐

3 ☒

4 ☐

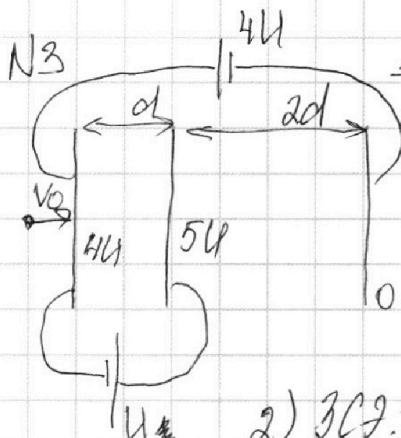
5 ☐

6 ☐

7 ☐

МФТИ

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 самой правой, тогда
4U - средней; 5U - средней
правой

2 ЗН: $qE = ma$;

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

2) ЗСЭ: $K_1 + q\varphi_1 = K_2 + q\varphi_2$; φ_1, φ_2 - потенциалы,
при пролете 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: $E = 2RI_1 + R(I_1 + I_2)$

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

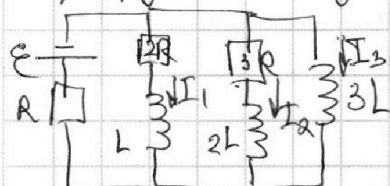
$\Rightarrow E = I_1 R (3 + \frac{2}{3}) = \frac{11}{3} I_1 R \Rightarrow I_1 = \frac{3E}{11R}$; $I_2 = \frac{2}{3} \frac{3E}{11R} =$

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

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:

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

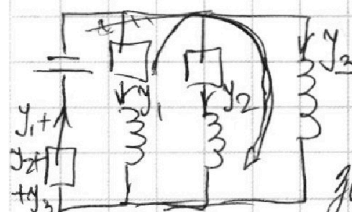


$I_3 = \frac{2}{11} \frac{E}{L}$ (считаем, что $I_3 = 0$, но $\dot{I}_3 \neq 0$)

в произвольный момент после замык: (y_1, y_2, y_3 - др. ток y_1)

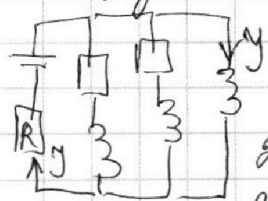
з-н Ома:

$2y_1 R + L \dot{y}_1 = 3L \dot{y}_3$ (1); $\dot{y}_3 = \frac{dy_3}{dt}$



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); $y = E/R$

$\Rightarrow$ делим (1) на dt , получаем

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

$2R q + LI_1 = 3L y$

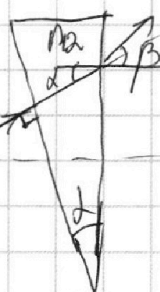
$q = \frac{L}{2R} (y + I_1) = \frac{L}{2R} (\frac{E}{R} + \frac{3}{11} \frac{E}{R}) = \frac{7LE}{11R}$

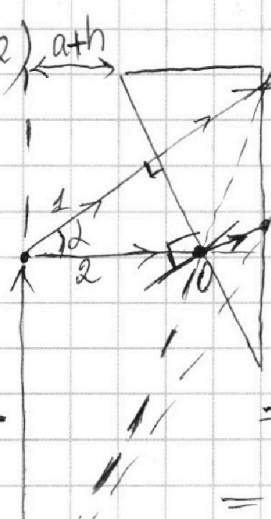
Ответ: $\frac{3}{11} \frac{E}{R}$; $\frac{2}{11} \frac{E}{R}$; $\frac{7LE}{11R}$

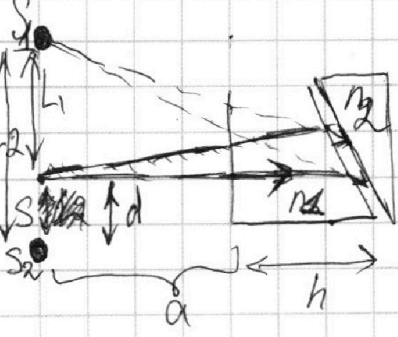
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

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

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 предметом выше один
луч, параллельный основанию призмы.
Человек увидит изображение изобр., получен-
ное продолжением лучей (на их пересек.)
Заметим, что продолжение 1-го луча прой-
дет $x/3$ от O, в которую приходит 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. Δ - угол при верши-
не у второй призмы (хор. лучей она
обедн. аналогичен п. 2). S_1 - если бы была
только 1-ая призма; S_2 - после 2-й
призмы. По аналогии с п. 2. (абсолютно
симметричные ситуации)*
 $L_1 = a \beta$; где $\beta = n_2 \alpha$; $L_2 = (a+h) \beta$;
где $\gamma = n_2 \alpha$; $d = L_2 - L_1 = d(a(n_2 - 1) + h n_2) =$
 $= 0,1(194 \cdot 0,2 + 9 \cdot 1,7) = 5,21 \text{ см}$
* только 1-ая призма "сдвигается"
изображение вверх, а вторая 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
☐

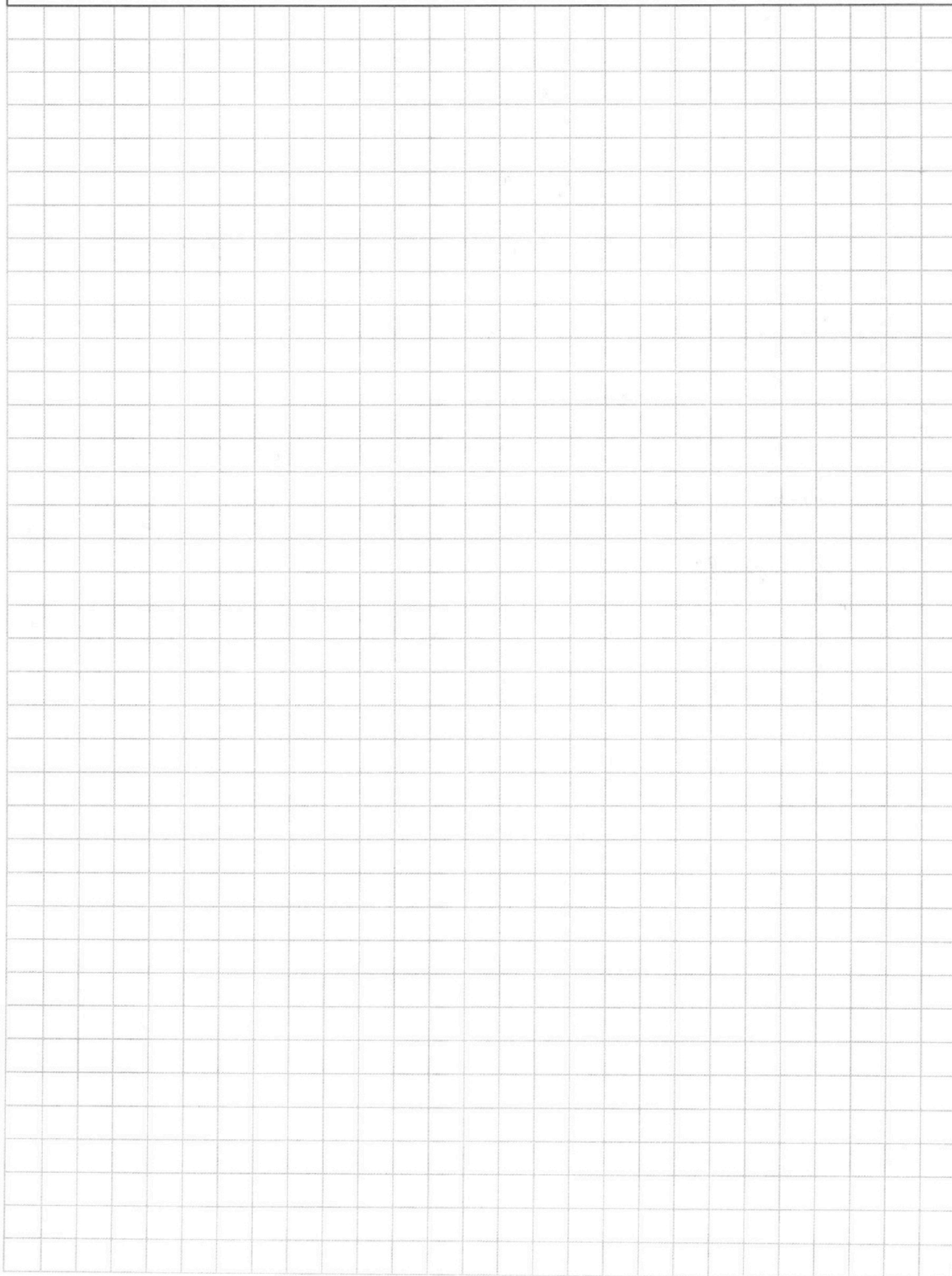
5
☐

6
☐

7
☐



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.

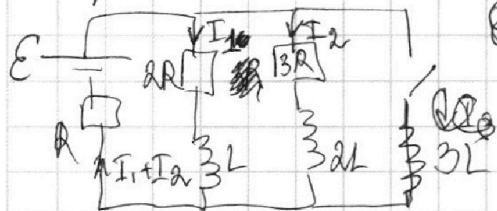
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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)



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

$$E = 3LI_2 + R(I_1 + I_2)$$

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

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

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

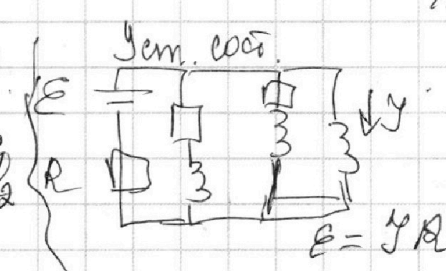
$$3LI_3 = \frac{6E}{11}$$

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

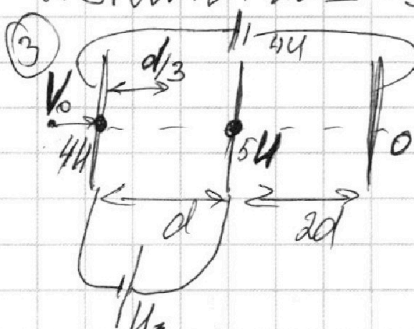
$$\frac{5E}{4R} = \frac{5E}{11}$$



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



$$2Y_1 d + R + L dI = 3L Y_3$$



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

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

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

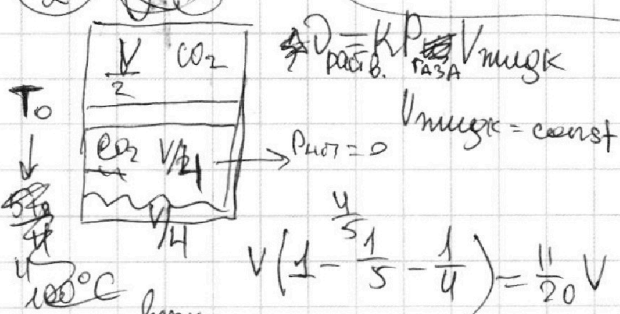
$$\frac{mV_0^2}{2} - \frac{mV^2}{2} = \frac{qU}{3d}$$

$$V_0^2 - V^2 = \frac{2qU}{3md}; V^2 = \sqrt{V_0^2 - \frac{2qU}{3md}}$$

$$K_1 + q_1 q = K_2 + q_2 q$$

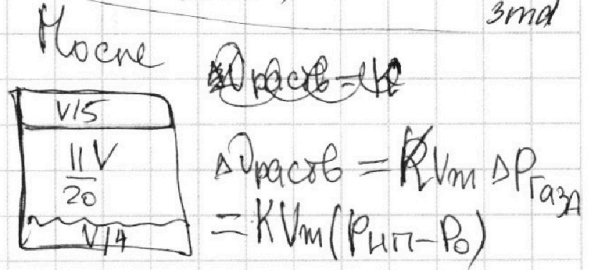
$$K_1 - K_2 = q(q_2 - q_1) = qU$$

(2)



$$\frac{PV}{T} = \nu R T_0; P_0 \frac{V}{4} = \nu R T_0$$

$$\frac{P}{P_0} = \frac{1}{4}$$



$$\frac{PV}{T} = \nu R T_0; P_0 \frac{V}{4} = \nu R T_0$$

$$\frac{P}{P_0} = \frac{1}{4}$$

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!

$$P_{\text{нп}} \frac{V}{S} = D R \frac{S}{4} T_0 \quad \text{после}$$

$$P \frac{V}{2} = D R T_0$$

$$P_{\text{нп}} \frac{4V}{205} = D R \frac{S}{4} T_0$$

$$P_0 \frac{V}{4} = D_0 R T_0$$

$$D_0 = \frac{P_0 V}{4 R T_0}$$

$$\Delta P = K \frac{1}{4} (P_{\text{нп}} - P_0)$$

$$\frac{44}{25} = \frac{176}{176}$$

$$D_1 = \frac{P_{\text{нп}} V}{R T_0} \frac{11}{25}$$

$$\Delta D = D_1 - D_0; \quad \frac{1}{R T_0} \left(\frac{11 P_{\text{нп}}}{25} - \frac{P_0}{4} \right) = \frac{K}{4} (P_{\text{нп}} - P_0)$$

$$\left(\frac{1}{R T_0} \right) \left(\frac{44}{25} P_{\text{нп}} - P_0 \right) = K (P_{\text{нп}} - P_0); \quad 1.76 \Delta P_{\text{нп}} - \Delta P_0 = K P_{\text{нп}} - K P_0$$

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

$$P_0 = P_{\text{нп}} \frac{1.76 \Delta - K}{\Delta - K}$$

$$\frac{4}{5} \frac{1.76}{3 \cdot 10^3} - \frac{1}{3 \cdot 10^3}$$

$$\frac{1.76}{4} \cdot \frac{1}{3 \cdot 10^3} - 3 \cdot 10^{-3} = \frac{0.8 \cdot 1.76}{3} - 3$$

$$= \frac{36 - 3.2 \cdot 1.76}{36 - 5}$$

$$\frac{176}{32} = \frac{352}{128}$$

$$\frac{4}{5} \frac{5}{4} R T_0 = 3 \cdot 10^3$$

$$R T_0 = 2.4 \cdot 10^3 \quad \frac{1}{R T_0} = \frac{1}{2.4 \cdot 10^3}$$

$$R T_0 = 3.08$$

$$\frac{1}{3} + \frac{17.6}{24} = 25.6$$

$$\frac{1}{3} + \frac{10}{24} = \frac{18}{24} \quad \frac{25.6}{18}$$

$$1) \quad \frac{10005}{255} = \frac{1}{11}$$

$$E_0 = 2V$$

1000

$$P = \frac{dA}{dt} = \frac{F_{\text{max}} V}{V}$$

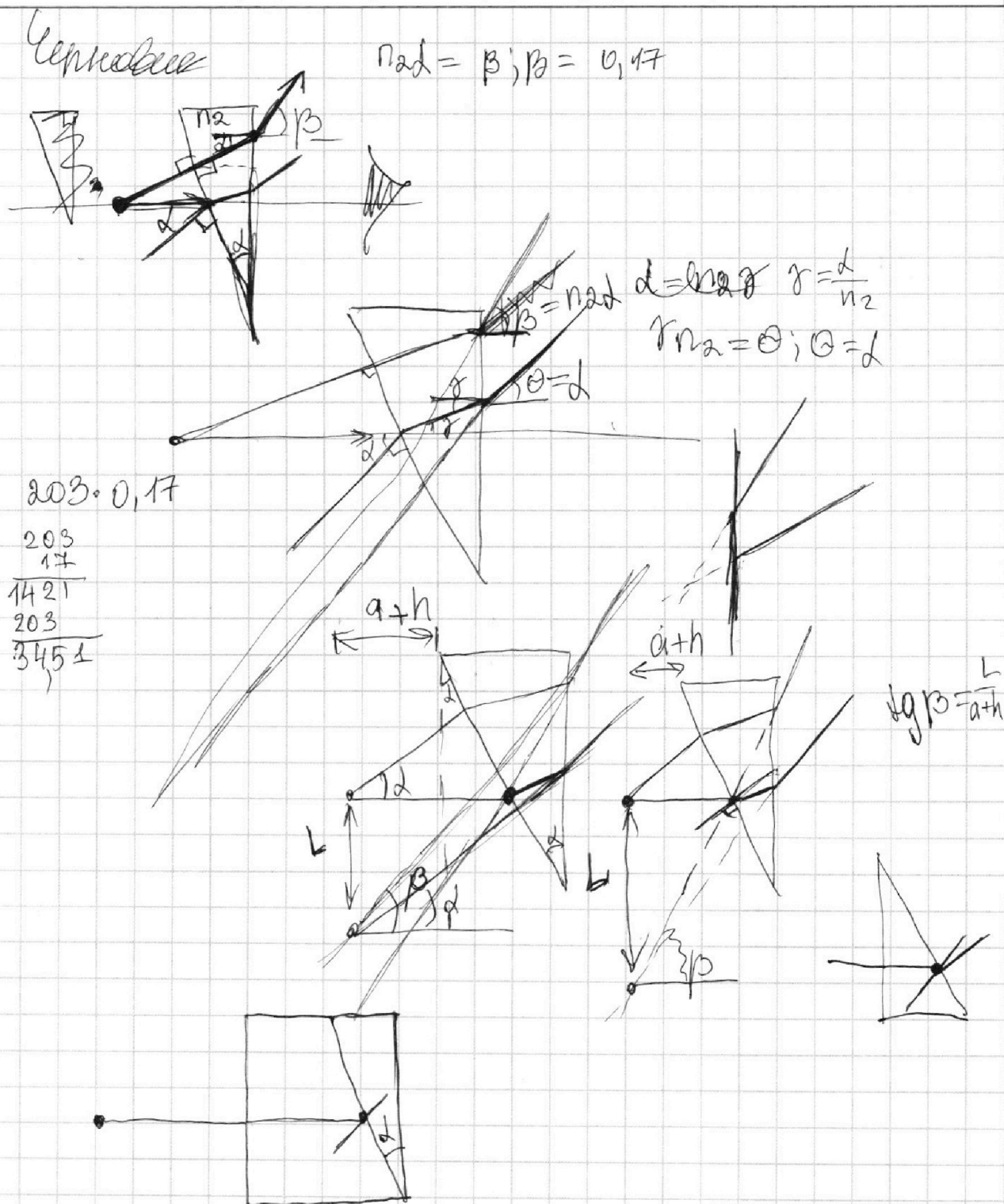
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!

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

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

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

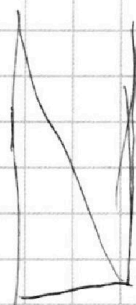
$$8V_1 = 11V_0; V_1 = \frac{11V_0}{8}$$

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

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

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

$$\frac{\frac{1}{3}}{\frac{1}{4 \cdot 2,4} + \frac{1}{3}} = \frac{1}{3} \Rightarrow \frac{4,2}{9,6} = \frac{3,2}{4,2}$$



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

$$(a + h) n_{ad} - a n_{id} = d(a(n_2 - n_1) +$$

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