



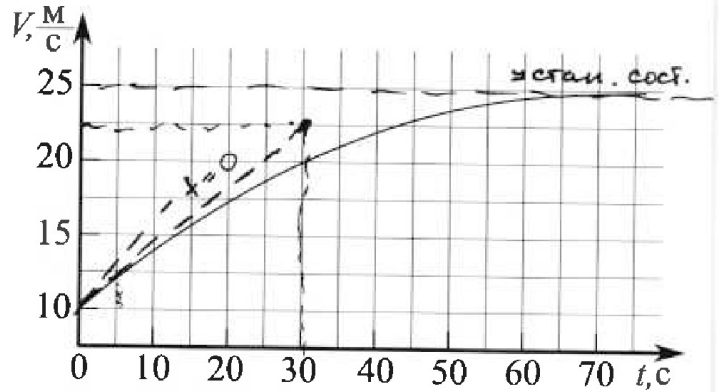
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-03

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



1. Автомобиль массой $m = 1500$ 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 $F_k = 600$ Н. Считать, что при разгоне сила сопротивления движению пропорциональна скорости.



- 1) Используя график, найти ускорение автомобиля в начале разгона.
- 2) Найти силу тяги F_0 в начале разгона.
- 3) Какая мощность P_0 передается от двигателя на ведущие колеса в начале разгона?

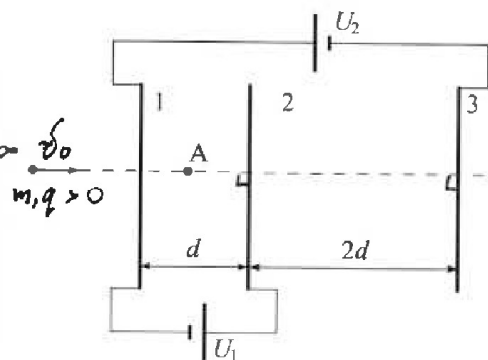
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

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 гелий, а в нижней - вода и углекислый газ. В начальный момент система находилась в равновесии при давлении $P_0 = P_{\text{атм}}/2$ ($P_{\text{атм}}$ - нормальное атмосферное давление) и при комнатной температуре T_0 . При этом жидкость занимала объём $V/4$. Затем цилиндр медленно нагрели до $T = 373$ К. Установившийся объём его верхней части стал равен $V/5$.

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 $k \approx 0,5 \cdot 10^{-3}$ 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 отношение конечной и начальной температур в сосуде T/T_0 .

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 $U_2 = 3U$. 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 $d/4$ от сетки 1.

Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

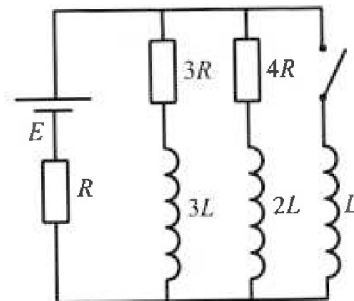
Вариант 11-03

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

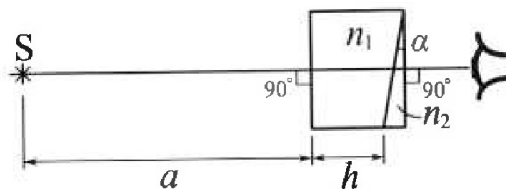
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 1) Найти ток I_0 через резистор с сопротивлением $3R$ при разомкнутом ключе.
- 2) Найти скорость возрастания тока в катушке индуктивностью L сразу после замыкания ключа.
- 3) Какой заряд протечет через резистор с сопротивлением $3R$ 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 $n_v = 1,0$. Точечный источник света S расположен на расстоянии $a = 90$ 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 $n_1 = n_v = 1,0$, $n_2 = 1,7$, найдите на какой угол отклонится системой луч, идущий от источника перпендикулярно левой грани системы.
- 2) Считая $n_1 = n_v = 1,0$, $n_2 = 1,7$, 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
☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

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

№1

Дано

$$m = 1500 \text{ кг}$$

$$F_k = 600 \text{ Н}$$

1) $a_0 = ?$

2) $F_0 = ?$

3) $P_0 = ?$

Решение

$$1) \bar{a} = \frac{d\bar{v}}{dt}$$

$$a_0 = v_0'(0) = k \approx \frac{15}{30} = 0,5 \text{ м/с}^2 \text{ (см рше. у сн.)}$$



$$\begin{aligned} \bar{F}_c &= -k\bar{v} \\ F_c &= kv \end{aligned}$$

$$23 \text{ Н} : \bar{F}_T + \bar{F}_c = m\bar{a}$$

$$F_T - kv = ma$$

$$\text{При } t > 75 \text{ с } a \approx 0 \Rightarrow F_k - kV_{ycr} = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow k = \frac{F_k}{v_{ycr}} = \frac{600}{25} = 24$$

при $a = 0$

$$F_0 = kv_0 + ma_0 = 990 \text{ Н}$$

$$3) P_0 = F_0 v_0 = 9900 \text{ Вт}$$

Ответ:

1) $0,5 \text{ м/с}^2$

2) 990 Н

3) 9900 Вт

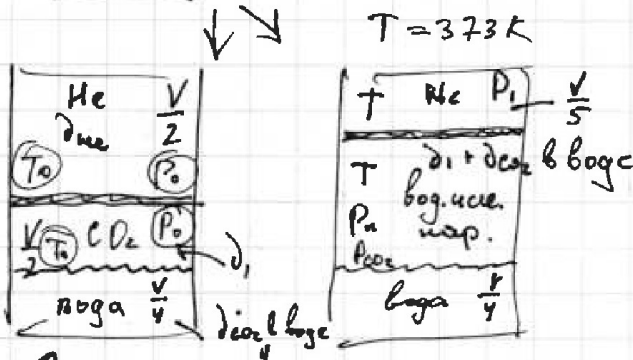
1 ☐ 2 ☒ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

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



№2

Дано:



Найти:

$$\frac{d_{He}}{d_1} = ?$$

$$\frac{T}{T_0} = ?$$

Поршень теплопр. и невесомый (T_0 — темп. пар. $P_0 = \frac{1}{2}$ атм)

$$d_{\text{в пар.}} = k P_0 \frac{V}{4}$$

$$1) \int P_0 \cdot \frac{V}{2} = d_{He} R T_0$$

$$P_0 \cdot \frac{V}{4} = d_1 R T_0$$

↑ поделим

$$\frac{d_{He}}{d_1} = 2$$

2) В сост. 2 пар. вод. экв. чистым ($T = 373 K$) $\Rightarrow P_{\text{нп}} = P_{\text{атм.}} = 2 P_0$

$$P_1 \cdot \frac{V}{5} = d_{He} R T$$

$$\left\{ \begin{aligned} P_{\text{CO}_2} \cdot V_{\text{CO}_2} &= (d_1 + d_{\text{CO}_2}) R T \\ \frac{11}{20} V \left(V - \frac{V}{5} - \frac{V}{4} \right) & \end{aligned} \right. \Rightarrow P_{\text{CO}_2} = \frac{20}{11V} (d_1 + d_{\text{CO}_2}) R T$$

$$P_1 = P_{\text{нп}} + P_{\text{CO}_2}$$

$$\frac{5 d_{He} R T}{V} = 2 P_0 + \frac{20}{11V} (d_1 + d_{\text{CO}_2}) R T \Rightarrow$$

$$\Rightarrow (\text{черновик}) \frac{T}{T_0} = \frac{10 K R T + 44}{45} = \frac{59}{45}$$

Ответ:

$$1) \frac{d_{He}}{d_1} = 2$$

$$2) \frac{T}{T_0} = \frac{59}{45}$$

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!



√3

Дано:

рис-ок;

$d, 2d$

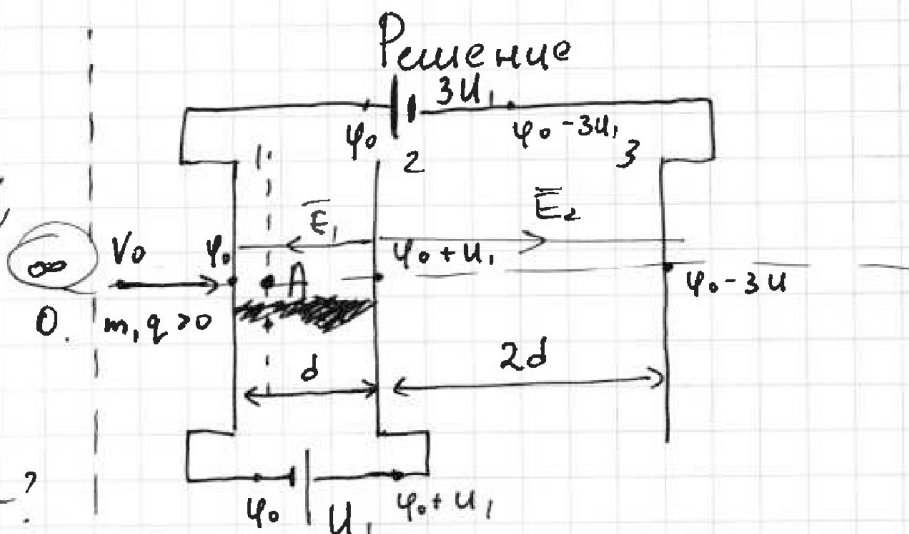
$$u_1 = u$$

$$u_2 = 3u$$

1) a - ?

2) $k_1 - k_2$ - ?

3) $\varphi(A)$ - ?



1) $E_1 = \frac{\varphi_0 - u_1 - \varphi_0}{d} = \frac{u_1}{d}$

$$E_2 = \frac{\varphi_0 + u_1 - (\varphi_0 - 3u_1)}{2d} = \frac{4u_1}{2d} = \frac{2u_1}{d}$$

$$23H: \begin{cases} F_1 = ma, \\ F_1 = E_1 q = \frac{u_1 q}{d} \end{cases}$$

$$\Rightarrow a_1 = \frac{u_1 q}{md}$$

2) ЗСЭ: $k_1 + \varphi_0 q = k_2 + (\varphi_0 + u_1) q$

$$k_1 - k_2 = u_1 q$$

3) $\varphi_A - \varphi_0 = E_1 \frac{d}{4} = \frac{u_1}{4}$

?

.

.

Ответ: 1) $q_1 = \frac{u_1 q}{md} = \frac{u_1 q}{md}$
2) $u_1 q$
" $u_1 q$

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

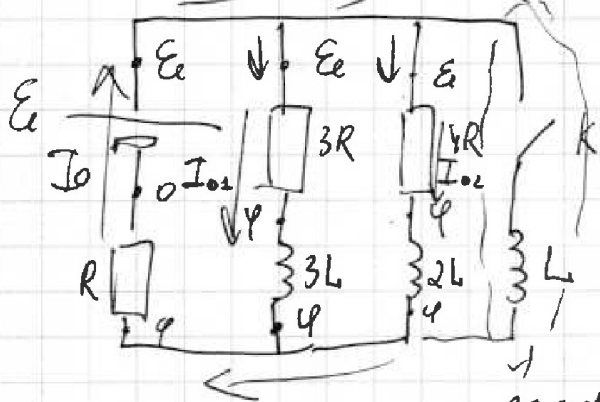
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

МФТИ

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



1.4 (метод потенциалов)



до замык. все расем.

$$I_0 = I_{01} + I_{02}$$

$$I_0 = \frac{U}{R}$$

$$I_{01} = \frac{E - \varphi}{3R}$$

$$I_{02} = \frac{E - \varphi}{4R}$$

Дано:

R
L
E

$I_{01} - ?$

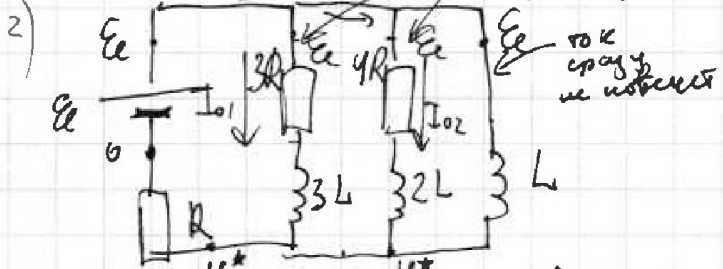
$I'(0) - ?$

$\varphi - ?$

$$\Rightarrow \varphi = \frac{7(E - \varphi)}{12} \Rightarrow \left[\varphi = \frac{7}{19} E \right] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left[\begin{aligned} I_{01} &= \frac{4}{19} \cdot \frac{E}{R} \\ I_{02} &= \frac{3}{19} \cdot \frac{E}{R} \end{aligned} \right] - \text{ответ}$$

то сразу же увеличивается сразу после замыкания: $(t=0)$



$$I_0 = I_{01} + I_{02} = \frac{7}{19} \cdot \frac{E}{R}$$

$$\varphi^* - 0 = I_0 R = \frac{7}{19} \cdot \frac{E}{R} \Rightarrow \varphi^* = \frac{7}{19} E$$

$$U_L(0) = E - \varphi^* = E - \frac{7}{19} E = \frac{12}{19} E$$

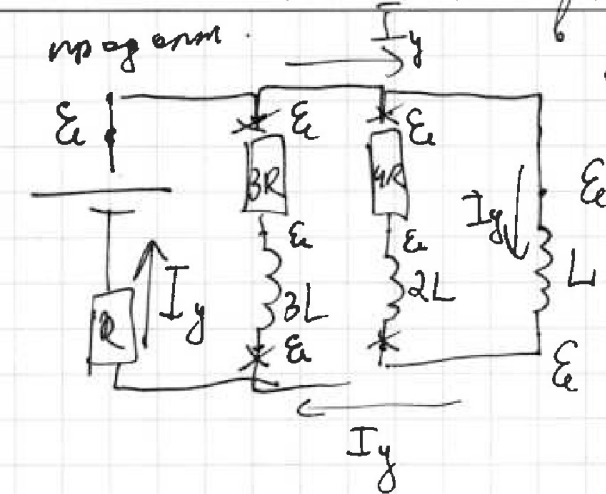
$$U_L(0) = L \cdot I_L'(0) \Rightarrow I_L'(0) = \frac{U_L(0)}{L} = \frac{12}{19} \cdot \frac{E}{L}$$

ответ

см. продолжение

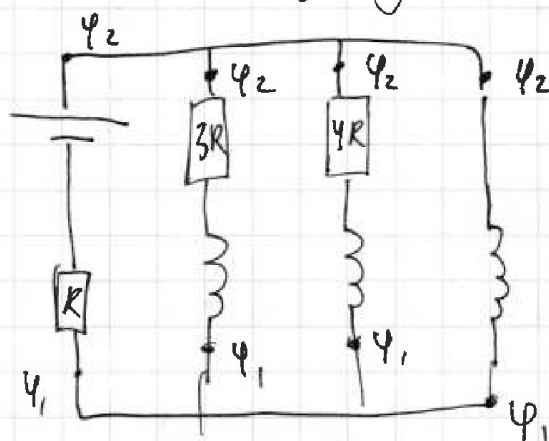
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

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



$$I_{y'} = \frac{\varepsilon - 0}{R} = \frac{\varepsilon}{R}$$

От $t=0$ go услов. сост.-ия



$$\varphi_2 - \varphi_1 = \varphi_2 - \varphi_3 + \varphi_3 - \varphi_1$$

$$= I_1(t) \cdot 3R + U_{3L}(t)$$

$$U_L(t) = 3R \cdot I_1(t) + U_{3L}(t)$$

$$L \frac{\Delta i}{\Delta t} = 3R I_1(t) + 3L \frac{\Delta I_1}{\Delta t} \cdot \Delta t$$

$$L \cdot \Delta i = 3R \cdot \Delta q + 3L \Delta I_1$$

$$L \cdot \Delta i = 3R \Delta q + 3L \Delta I_1$$

отсюда $\frac{\varepsilon}{R}$ и пропускать! от $\frac{\varepsilon}{R}$ go 0

$$L \sum \Delta i = 3R \sum \Delta q + 3L \Delta I_1$$

$$L \left(\frac{\varepsilon}{R} - 0 \right) = 3R q + 3L \left(0 - \frac{4\varepsilon}{19R} \right)$$

$$\frac{L \varepsilon}{R} = 3R q - \frac{12}{19} \cdot \frac{L \varepsilon}{R} \Rightarrow$$

Не угадал чертиса

$$\Rightarrow q = \frac{31 L \varepsilon}{57 R^2} \quad \uparrow \text{ (критерий)}$$

Ответ:

1) $I_{02} = I_{10} = \frac{4}{19} \cdot \frac{\varepsilon}{R}$

2) $I_L'(0) = \frac{12}{19} \cdot \frac{\varepsilon}{L}$

3) $q = \frac{31}{57} \cdot \frac{L \varepsilon}{R^2}$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

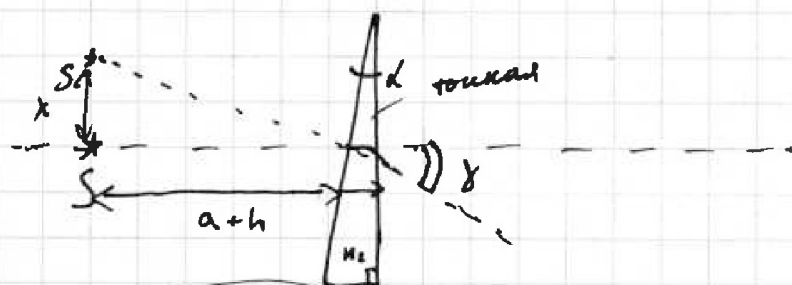
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☒ 6 ☐ 7 ☐

МФТИ

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

№5

1)



$$\delta = \alpha(n_2 - 1) = 0,07 \text{ рад}$$

Ответ:

1) 0,07 рад

2) 7 см

3) 3 см

2.) $\tan \delta \approx \delta$ ($\tan x \approx x$ as $x \rightarrow 0$)

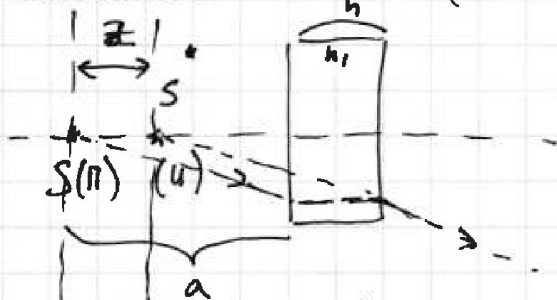
$$\tan \delta = \frac{x}{a+h}$$

$$x \approx \delta(a+h) \approx \alpha(n_2-1)(a+h)$$

$$x \approx 0,07 \text{ рад} (0,09 \text{ м} + 0,14 \text{ м}) \approx 0,07 \text{ м} \approx 7 \text{ см}$$

3) Разделим жизнь:

1) Сначала через (1)



$$z = h(1 - \frac{1}{n_1})$$



$$\tan \delta = \frac{y}{d}$$

$$\delta \approx \frac{y}{d}$$

$$y \approx \delta \cdot d$$

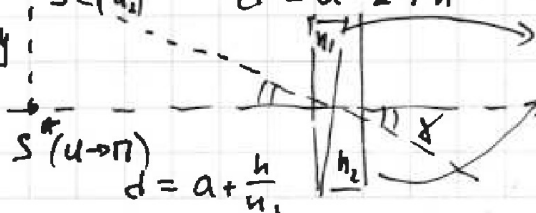
$$y \approx (a + \frac{h}{n_1}) \alpha(n_2 - 1)$$

$$y \approx 0,03 \text{ м}$$

$$z \approx 0,04 \text{ м}$$

$$d = a - z + h = a - h(1 - \frac{1}{n_1}) + h = a + \frac{h}{n_1}$$

2)



поворот на $\delta_1 = \alpha(n_1 - 1)$

поворот на $\delta_2 = \alpha(n_2 - 1)$

$$n_1 < n_2 \Rightarrow \delta_1 < \delta_2$$

$$\delta = \delta_2 - \delta_1 \Rightarrow \delta = \alpha(n_2 - n_1)$$

1 ☒ 2 ☒ 3 ☒ 4 ☒ 5 ☒ 6 ☒ 7 ☒

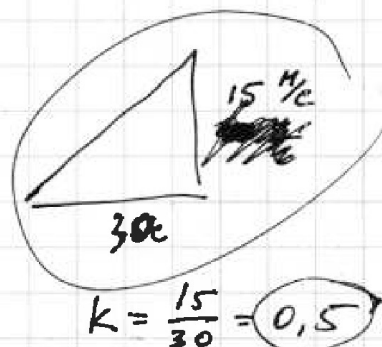
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

✓ 1

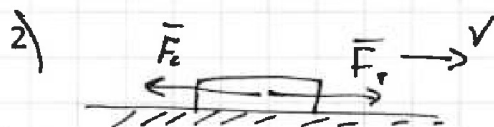
Черновик

$$1) \bar{a} = \frac{d\bar{v}}{dt}$$

$$a_0 = v_0'(0) = k \text{ (см. рис)}$$



$$a = 0,5 \text{ м/с}^2$$



$$\text{По } OX: F_c = -k\bar{v}$$

$$F_c = k\bar{v}$$

$$2) 3 \text{ Н: } \bar{F}_t + \bar{F}_c = m\bar{a}$$

$$F_t - kv = ma$$

$$\text{При } t > 75 \text{ с } a \approx 0 \Rightarrow F_k - kv_{уст} = 0$$

$$k = \frac{F_k}{v_{уст}} = \frac{600 \text{ Н}}{25 \text{ м/с}} = 24 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}$$

$$F_0 = kv_0 + ma_0$$

$$F_0 = 24 \cdot 10 + 1500 \cdot 0,5 = 990 \text{ Н}$$

$$3) P_0 = F_0 \cdot v_0 = 990 \cdot 10 = 9900 \text{ Вт}$$

Ответ: 1) $0,5 \text{ м/с}^2$

2) 990 Н

3) 9900 Вт

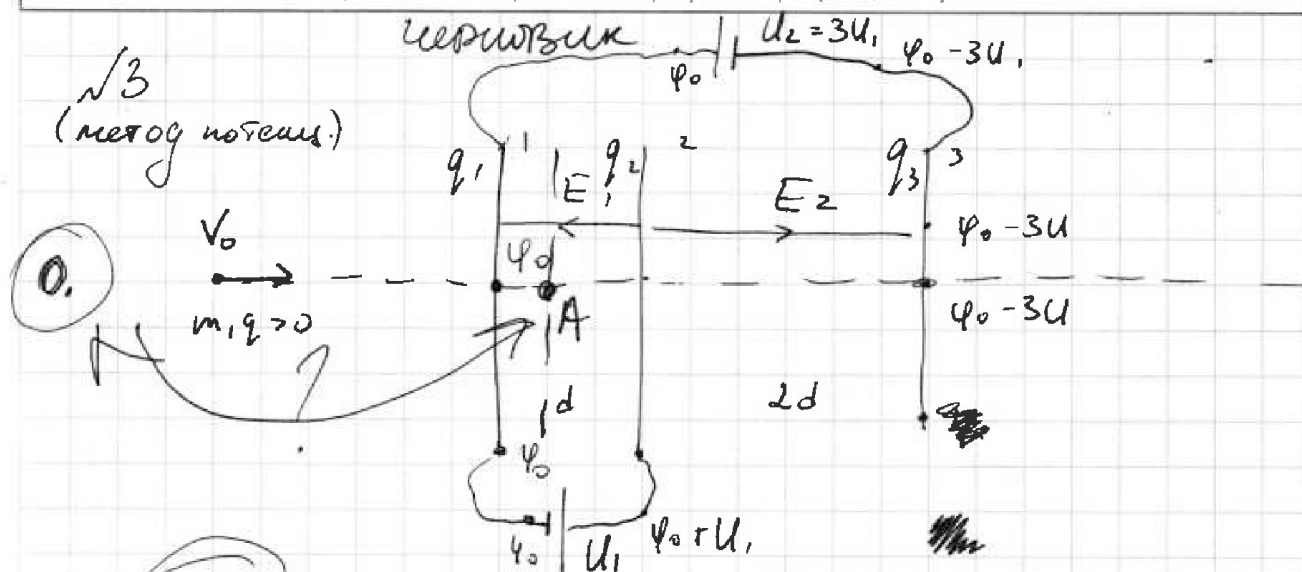
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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



1) 3(3): $q_1 + q_2 + q_3 = 0$

$$E_1 = \frac{\varphi_0 - U - \varphi_0}{d} = \frac{U}{d}$$

$$E_2 = \frac{\varphi_0 + U - (\varphi_0 - 3U)}{2d} = \frac{4U}{2d} = \frac{2U}{d}$$

$q_1 \leftarrow E_1$
 $\leftarrow F_1$ $q > 0$

23H: $F_1 = ma_1$

~~$F_1 = E_1 q$~~

$ma_1 = \frac{U \cdot q}{d}$

$a_1 = \frac{U \cdot q}{md}$

$F_1 = E_1 q = \frac{U \cdot q}{d}$

2) 3(3): $K_1 + \varphi_0 q = K_2 + (\varphi_0 + U) \cdot q$

$K_1 - K_2 = U \cdot q$

3) $\varphi_A - \varphi_0 = E_1 \cdot \frac{d}{4} = \frac{U}{d} \cdot \frac{d}{4} = \frac{U}{4}$

$\varphi_0 =$ ~~φ_0~~





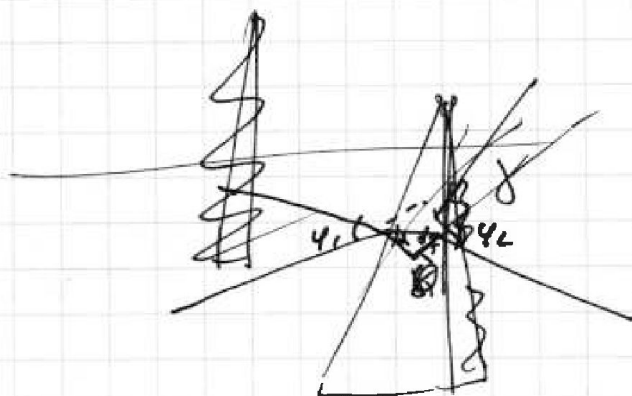
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

МОТИ

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



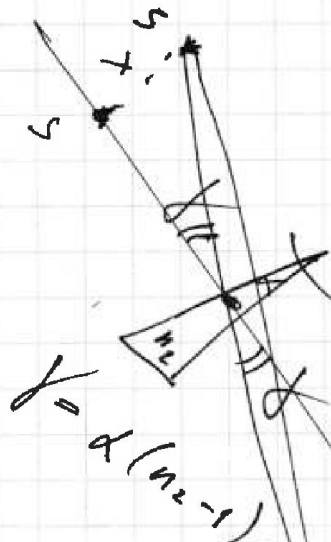
$$1 \cdot \sin \varphi_1 = n \sin \alpha_1$$

$$\varphi_1 \approx n \alpha_1, \quad \varphi_2 = n \alpha_2$$

$$\begin{aligned} \delta &= \varphi_1 - \alpha_1 + \varphi_2 - \alpha_2 \\ &= \varphi_1 + \varphi_2 - (\alpha_1 + \alpha_2) = \\ &= (\alpha_1 + \alpha_2)(n - 1) \end{aligned}$$

$$\delta + \alpha_1 + \alpha_2 = 180^\circ$$

$$\delta = (\alpha_1 + \alpha_2)(n - 1)$$



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

$$\tan \delta \approx \delta$$
$$x \approx \delta(a + b) = d(n - 1)(a + b)$$

2 формулы

$$d = a + \frac{b}{n_1}$$

$$d = b - \frac{a}{n_1} + \frac{b}{n_1}$$

