



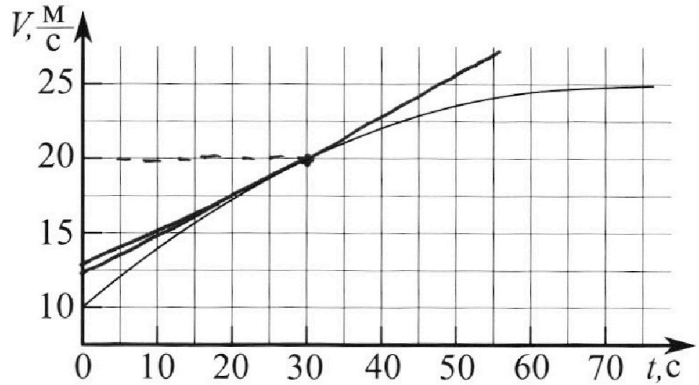
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

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.



- Используя график, найти ускорение автомобиля при скорости $v_1 = 20$ м/с.
- Найти силу тяги F_1 при скорости v_1 .
- Какая мощность P_1 передается от двигателя на ведущие колеса при скорости v_1 ?

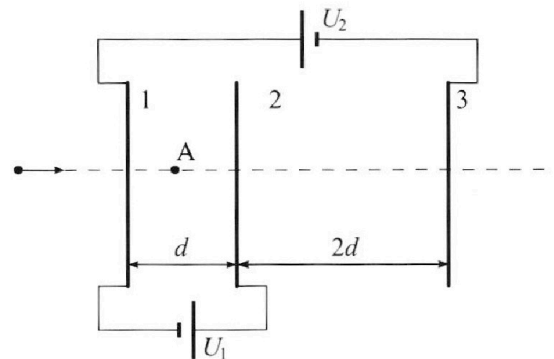
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

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 $\Delta\nu$ 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 $k \approx (1/3) \cdot 10^{-3}$ 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.

- Найти отношение количеств вещества в газообразном состоянии в верхней и нижней частях до нагревания.
- 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.



- Найти модуль ускорения частицы в области между сетками 1 и 2.
- Найти разность $K_1 - K_2$, где K_1 и K_2 — кинетические энергии частицы при пролете сеток 1 и 2.
- Найти скорость частицы в точке A на расстоянии $d/3$ от сетки 1.

Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

Вариант 11-01

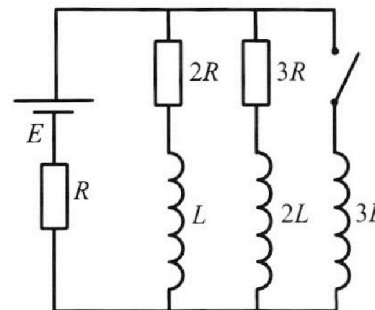
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



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

- 1) Найти ток I_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 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 $a = 194$ 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.

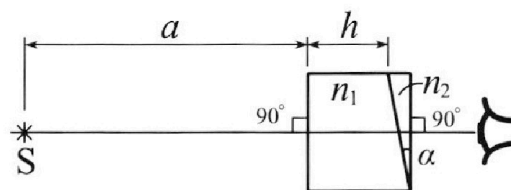


рис.). Угол $\alpha = 0,1$ рад можно считать малым, толщина $h = 9$ см. Толщина призмы с показателем преломления n_2 на прямой «источник – глаз» намного меньше h . Отражения в системе не учитывать.

- 1) Считая $n_1 = n_v = 1,0$, $n_2 = 1,7$, 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 $n_1 = 1,5$, $n_2 = 1,7$, 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!



№1

$m = 1800 \text{ кг}$

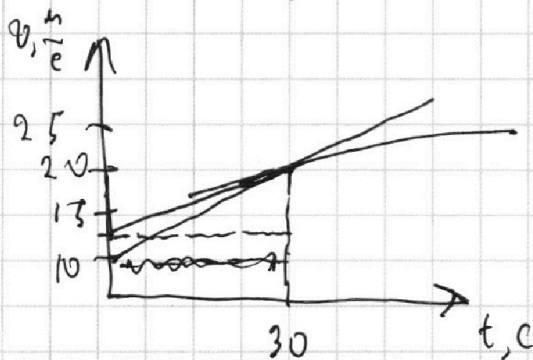
$F_{TK} = 500 \text{ Н}$

1) $a_1 = ?$

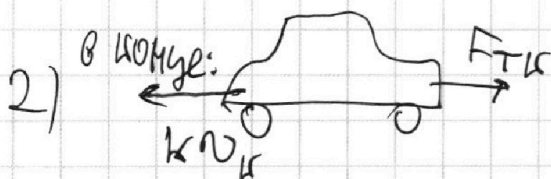
2) $F_1 = ?$

3) $P_1 = ?$

1) $a = \dot{v} \Rightarrow a$, равно тангенсу угла наклона ~~графика~~ касательной к графику скорости в этот момент



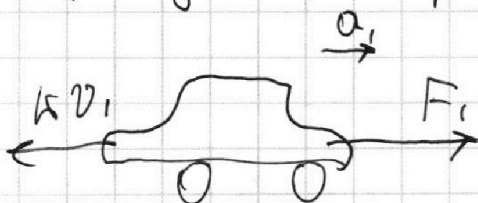
$a_1 \approx \frac{12,5 \text{ м}}{30 \text{ с}^2} = \frac{5 \text{ м}}{12 \text{ с}^2}$



~~F_TK = k v_K~~ $a = 0$
 $F_{TK} = k v_K$

$k = \frac{F_{TK}}{v_{TK}}$, где ~~v_K~~ - ~~исходная~~ ~~скорость~~ $v_K = 25 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

в момент, когда скорость равна v_1 :



$F_1 - k v_1 = m a_1$

$F_1 = k v_1 + m a_1$

$F_1 = \frac{F_{TK}}{v_{TK}} v_1 + m a_1$

$F_1 = 400 \text{ Н} + 1800 \text{ кг} \cdot \frac{5 \text{ м}}{12 \text{ с}^2} = 400 \text{ Н} + \frac{3000}{4} \text{ Н}$

$F_1 \approx 1150 \text{ Н}$

~~Ответ: $F_1 = 1150 \text{ Н}$~~

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!

$$3) P_1 = \frac{\delta A}{dt} = \frac{F_1 ds}{dt} = F_1 \cdot \omega_1 \quad P_1 = 1150 \text{ Н} \cdot 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$P_1 = 11500 \cdot 2 \text{ Вт} = 23 \text{ кВт}$$

$$\text{Ответ: } \omega_1 = \frac{5}{12} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}; F_1 = 1150 \text{ Н}; P_1 = 23 \text{ кВт}$$

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

$$1) p_0 \frac{V}{4} = \nu_m R T_0$$

$$p_0 \frac{V}{2} = \nu_0 R T_0$$

$$\frac{\nu_0}{\nu_m} = 2$$

Ответ: $\frac{\nu_0}{\nu_m} = 2$.

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!



№ 3

$U_1 = \varphi$

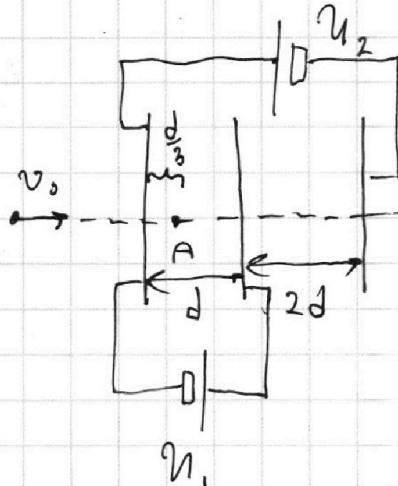
$U_2 = 4\varphi$

q, m, v_0

1) $\sigma_{12} = ?$

2) $\Delta E_{к12} = ?$

3) $v = ?$



1) м.к. $\rho \gg d$, то

внутри пластин создается однородное электрическое поле.

$\sigma_{12} = qE_{12}$, E_{12} поле между пластинами 1 и 2

$E_{12} = \frac{U_1}{d} = \frac{\varphi}{d}$ $\sigma_{12} = \frac{q\varphi}{d}$

2) ~~ЗСЭ~~: как действует влево \Rightarrow частица замедляется

замедляется

ЗСЭ: $\frac{mv_0^2}{2} = qU + E_{к12}$

$\Delta E_{к12} = qU$

3) $\frac{mv^2}{2} = \frac{q\varphi}{3} + \frac{mv^2}{2}$

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

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

Ответ: $\sigma_{12} = \frac{q\varphi}{d}$; $\Delta E_{к12} = qU$;

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

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

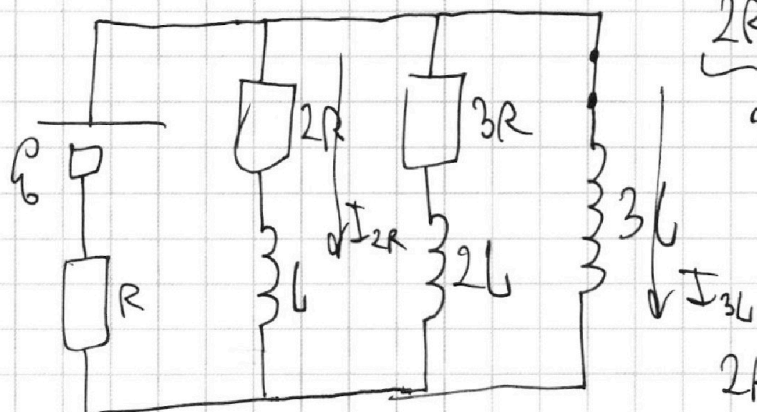
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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!

3) после \rightarrow в уст. сост. ток будет течь
только через катушку } $3L$



$$2R \cdot I_{2R} + L \dot{I}_{2R} = 3L \dot{I}_{3L}$$

$U_{2R} + U_L \qquad U_{3L}$

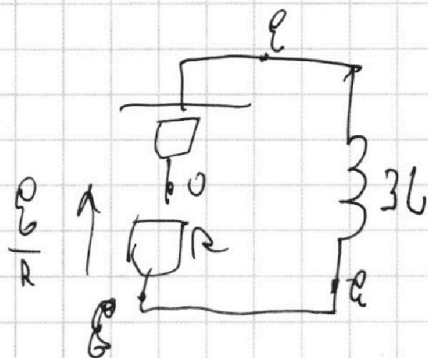
формулы из д.:

$$2R \cdot \varphi_{2R} + L \Delta I_{2R} = 3L \Delta I_{3L}$$

$$\Delta I_{2R} = 0 - I_{10}$$

$$\Delta I_{3L} = \frac{\mathcal{E}}{R} - 0$$

$$2R \varphi_{2R} =$$



$$2R \varphi_{2R} = \frac{3L \mathcal{E}}{R} + \frac{3L \mathcal{E}}{11R} = \frac{36L \mathcal{E}}{11R}$$

$$\varphi_{2R} = \frac{18L \mathcal{E}}{11R^2}$$

Ответ: $I_{10} = \frac{3\mathcal{E}}{11R}$; $\dot{I}_{3L} (-\rightarrow) = \frac{2\mathcal{E}}{11L}$; $\varphi_{2R} = \frac{18L \mathcal{E}}{11R^2}$

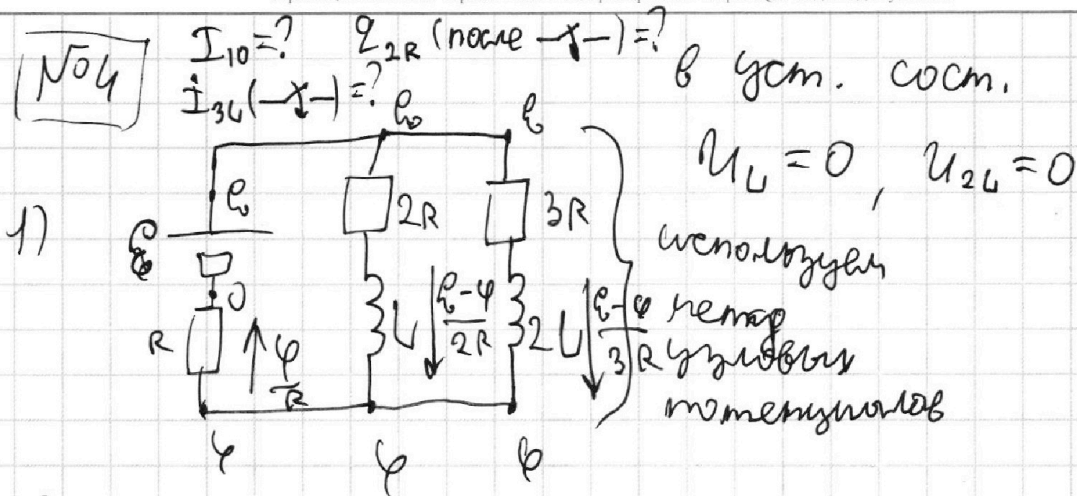
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$$I_{2R} + I_{3R} = I_R$$

$$\frac{5}{6} E = \frac{11}{6} \varphi \quad \varphi = \frac{5}{11} E$$

$$\frac{E - \varphi}{3R} + \frac{E - \varphi}{2R} = \frac{\varphi}{R}$$

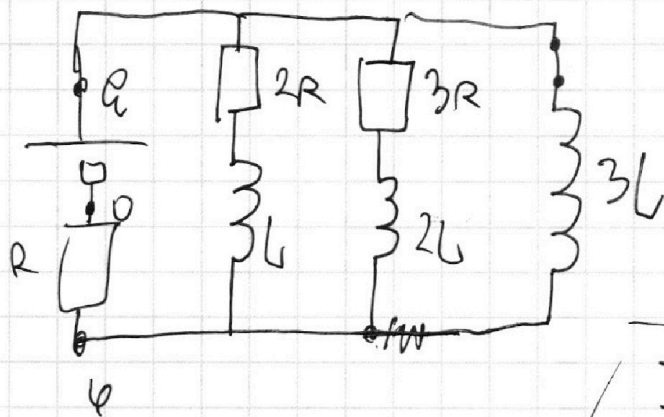
$$I_{10} = \frac{6E}{22R} = \frac{3E}{11R}$$

после χ

2) ток через катушку не измеряется, $\Rightarrow I_R$

не измеряется, тогда $U_{3L} = E - \varphi = \frac{6}{11} E$

с другой стороны



$$U_{3L} = 3L I_{3L}$$

$$3L I_{3L} = \frac{2E}{11}$$

$$I_{3L} = \frac{2E}{11L}$$

- 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!

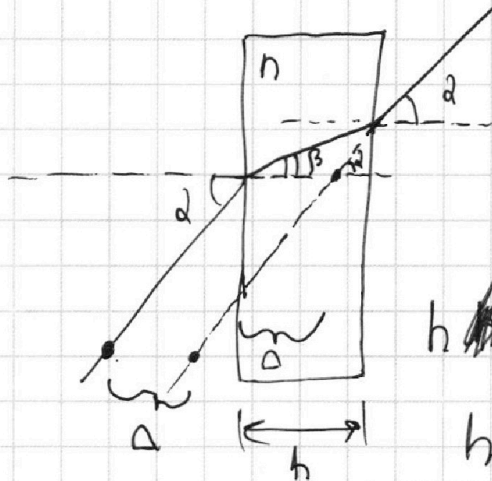


№5

Найдем смещение ^{изобразительная} ~~Δ~~ в плоско-параллельной пластине:

- $a = 104 \text{ см}$
 $h = 9 \text{ см}$
 $d = 0,1 \text{ рад}$
 $n_2 = 1,7$

- 1) $\delta = ? (n_1 = 1)$
 2) $x = ? (n_1 = 1)$
 3) $y = ? (n_1 = 1,5)$



$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$
 для малых углов: $\alpha = n_2 \beta$,
 $\tan \alpha = n_2 \tan \beta$

$h \tan \beta = (h - \Delta) \tan \alpha$

$h = nh - n\Delta$

$\Delta = \frac{h(n-1)}{n}$

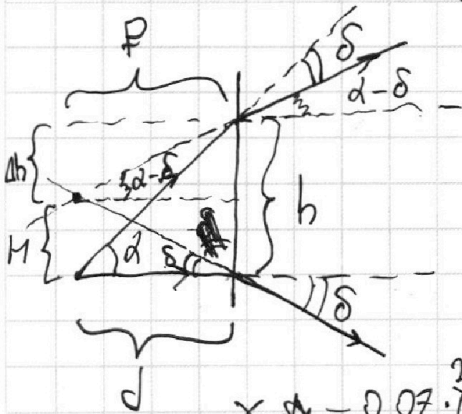
1) известно, что

луч, прошедший через ~~оптический элемент~~ ^{материал или} отклоняется

на угол $\delta = 2(n-1)$ где d - угол ~~при вершине~~

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

2) Найдем смещение ^{изобразительная} в ^{материал или} ~~оптический элемент~~:



$h = \Delta h + H$ $h = d \tan \alpha = d \alpha$

$\Delta h = f d - f \delta$; $H = \delta f$

$d d = f d - f \delta + \delta f$ $f = d$

$H = \delta d$

$x = d(n_2 - 1)(a + h)$

$x = 0,07 \cdot \frac{203}{100} = \frac{1358}{100} \text{ см} \approx 13,6 \text{ см} \approx 14 \text{ см}$

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

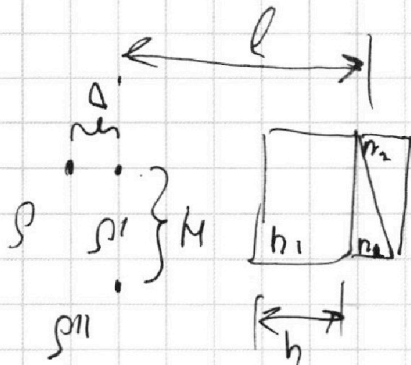
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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!

~~153~~ 3)



$$\Delta \varphi = \frac{h(n_2 - 1)}{n_1}$$

$$\Delta = \frac{9 \text{ см} \cdot 0,2}{1,53} = 3 \text{ см}$$

$$l = 200 \text{ см}$$

$$\begin{aligned} M &= |M_2| - |M_1| = d(n_2 - 1)l - d(n_1 - 1)l = \\ &= dl(n_2 - n_1) \end{aligned}$$

$$M = 0,1 \cdot 200 \text{ см} \cdot 0,2 = 4 \text{ см}$$

$$y = \sqrt{\lambda^2 + M^2}$$

$$y = 5 \text{ см}$$

Ответ: $\delta = 0,07 \text{ рад}$; $\lambda = 14 \text{ нм}$; $y = 5 \text{ см}$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7

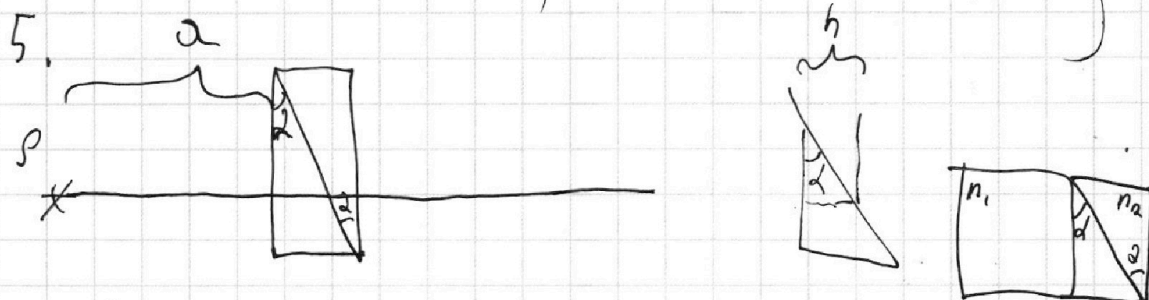


Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

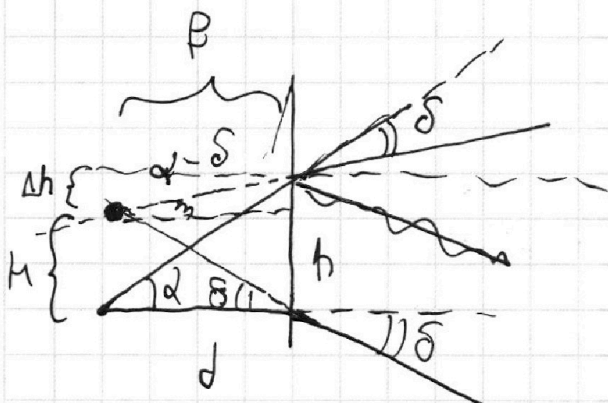
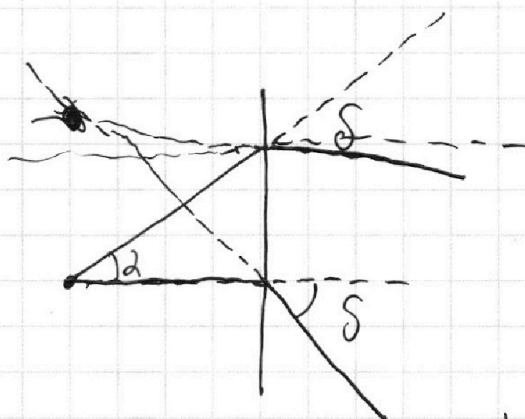
$$2R \mathcal{E}_{2R} = \cancel{L \Delta I_{2R}} 3L \Delta I_{3L} - L \Delta I_{2R} \quad \mathcal{E}_{2R} = \frac{L}{2R} (3\Delta I_{3L} - \Delta I_{2R})$$

$$\Delta I_{2R} = 0 - \frac{3\mathcal{E}}{11R} \quad \Delta I_{3L} = \frac{\mathcal{E}}{R} - 0$$

$$\mathcal{E}_{2R} = \frac{L}{2R} \left(\frac{3\mathcal{E}}{R} + \frac{3\mathcal{E}}{11R} \right) = \frac{36L\mathcal{E}}{22R^2} = \frac{18L\mathcal{E}}{11R^2}$$



$$1) \delta = d(n_2 - 1)$$



$$\Delta h = f\alpha - f\delta$$

$$M = \delta f$$

$$h = 2d$$

$$d = \delta + f\alpha + f\delta$$

$$d(d - f) = \delta(d - f) \quad \boxed{M = \delta d}$$

$$\Delta h = \frac{h(n-1)}{h}$$

$$l = \sqrt{M^2 + \Delta^2}$$

$$l = \sqrt{(M_2 - M_1)^2 + \Delta^2}$$



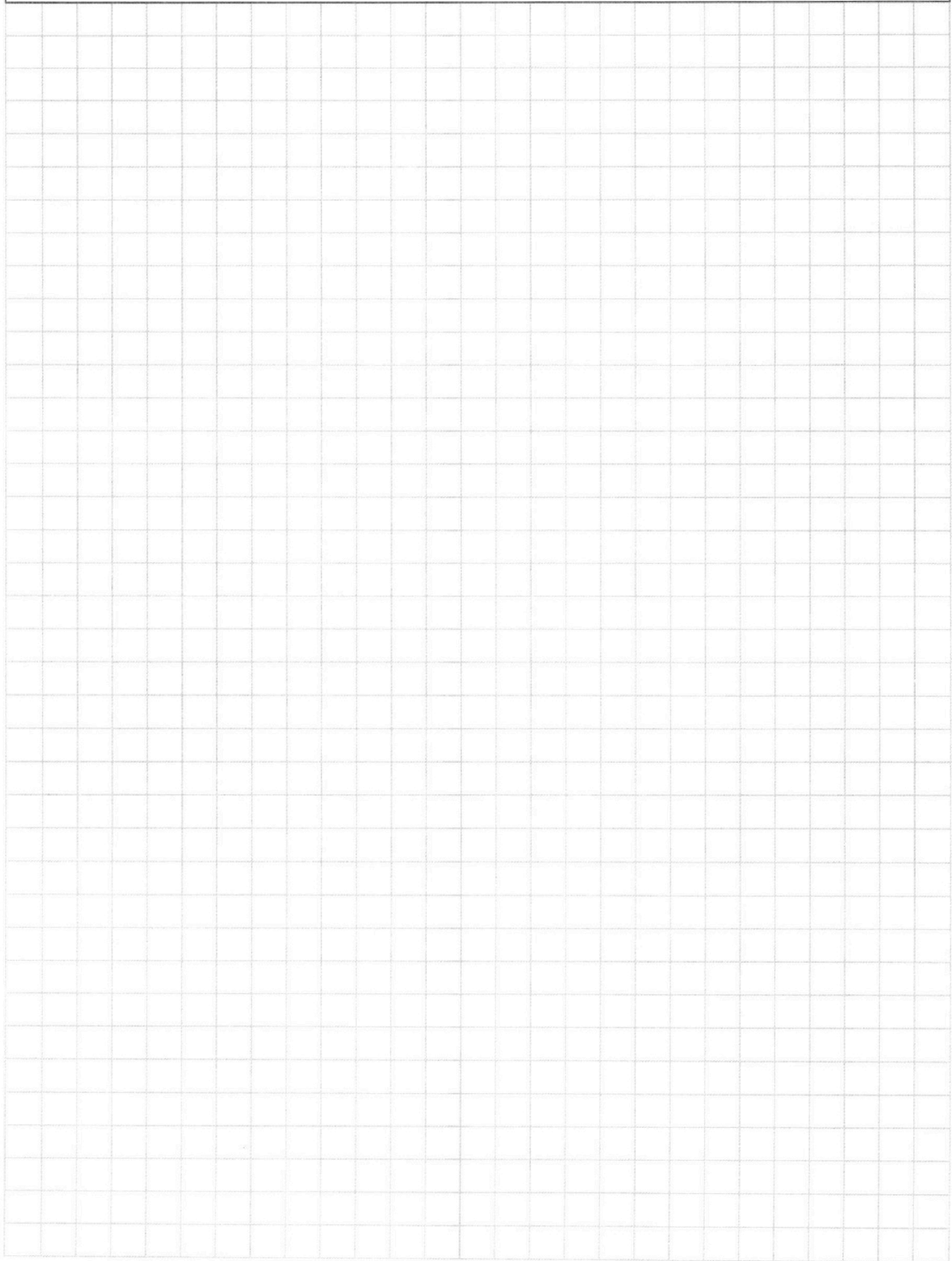
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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"/>



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:

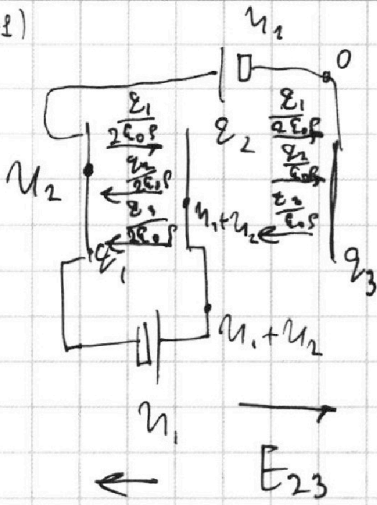
1 2 3 4 5 6 7



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



$f = \Theta(n-1)$



$q_1 + q_2 + q_3 = 0$

$E_{12} = \frac{(q_3 + q_2 - q_1) \rho}{2 \epsilon_0 \rho}$

$d = U_1 = \frac{(q_3 + q_2 - q_1)}{2 \epsilon_0 \rho}$

$E_{23} \cdot 2d = \frac{(q_1 + q_2 - q_3)}{\epsilon_0 \rho} d = U_1 + U_2$

$2 \frac{\rho}{\epsilon_0} = 3L \dot{i} \cdot E_{12}$
 $\dot{i} = \frac{2\rho}{3L \epsilon_0}$

$U_1 = U = E d$

$qE = ma$

$q \frac{U}{d} = ma \left(a = \frac{qU}{md} \right)$

$qU = \Delta E_k \quad 2) \quad (qEd = \Delta E_k)$

~~$q = I_0 R =$~~

$U' = E_{12} \cdot \frac{d}{3} = \frac{U}{3}$

$\frac{U}{3} = m \frac{v^2}{2}$

$q - \frac{q}{R} = q - I_0 R$

$\dot{i}_1 + \dot{i}_2 + \dot{i}_3 = \dot{i}_0$

$\dot{i}_0 = 3L \dot{i}_3$

$q - q = 3L \dot{i}_3$
 $q_0 R = 3L \dot{i}_3$

$I_{3R} = \frac{q}{R}$

$q_0 R = 3L \frac{q}{R}$

$q_0 = \frac{3Lq}{R^2} \quad \dot{i}_{3L} =$

$2R I_{2R} + L \dot{i}_{2R} = 3R I_{3R} + 2L \dot{i}_{3R}$

$2R q_{2R} + L \Delta I_{2R} = 3R q_{3R} + 2L \Delta I_{3R}$

$2R \dot{i}_{2R} + L \dot{i}_{2R} = 3L \dot{i}_3$

$2R q_{2R} + L \Delta I_{2R} = 3L \Delta I_{3L}$

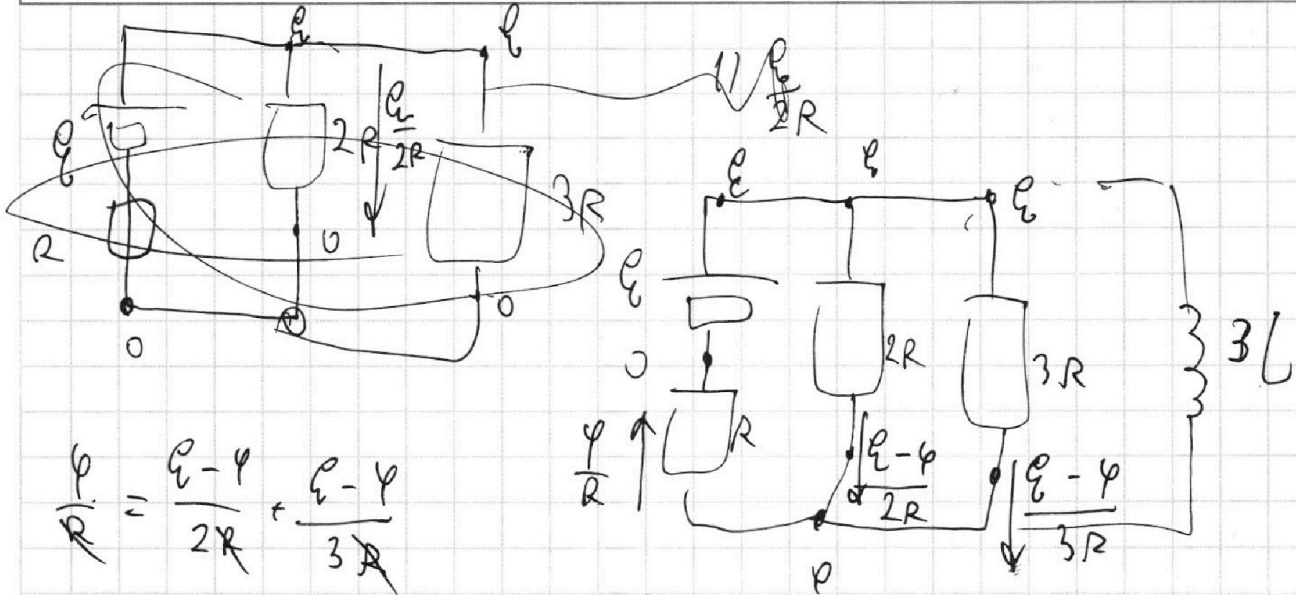
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$$\frac{E}{R} = \frac{E - \varphi}{2R} + \frac{E - \varphi}{3R}$$

$$\frac{11}{6} \varphi = \frac{5}{3} E \quad \varphi = \frac{5}{11} E$$

$$I_{10} = \frac{6E}{22R} = \frac{3E}{11R}$$

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

$$U_U = L \frac{dI_1}{dt}$$

$$U_{2R} = 2I_1 R$$

$$U_{2U} = 2L \frac{dI_2}{dt}$$

$$U_{2R} = 3I_2 R$$

$$L \Delta I_1 + 2 \varphi_{2R} R = 2L \Delta I_2 + 3 \varphi_{2R} R$$

$$1. 1) \frac{15}{30} = \frac{1}{2} \frac{m}{c^2}$$



$$F_k = k v_k$$

$$k = \frac{F_k}{v_k}$$

$$F_T - k v_1 = m a \quad F_T = \dots$$

$$P_1 = \frac{\delta A}{\delta t} = \frac{F_T \cdot \delta s}{\delta t} = F_T \cdot v_1$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

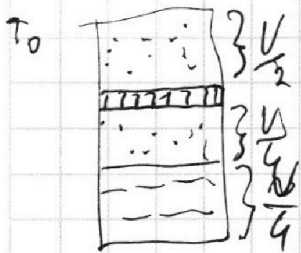
Отметьте крестиком номер задачи,

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!



$$P_0 \frac{V_0}{2} = \nu_B R T_0$$

$$\nu_B = 2 \nu_M$$

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

$$\frac{\nu_B}{\nu_M} = 2$$

$$\Delta \nu = \kappa P W$$

$$P \frac{V}{5} = \nu_B R T$$

$$\frac{\Delta \nu_1}{\Delta \nu_2} = \frac{P_1}{P_2}$$

$$\Delta \nu_0 = \kappa P_0 \frac{V}{4}$$

$$\Delta \nu = (P - P_0) \frac{V}{4}$$

$$\Delta \nu_1 = \kappa P \frac{V}{4}$$

$$\Delta P = \kappa R T \nu_M$$

$$P \frac{V}{5} = \nu_B R T$$

$$P \frac{V}{5} = \nu_B R \cdot \frac{5}{4} T_0$$

$$P V_M = \nu_M (1 + \Delta \nu) R T$$

$$P \frac{V}{5} = \frac{5}{4} P_0 \frac{V}{2}$$

$$P = \frac{25}{8} P_0$$

$$\Delta \nu = \frac{\kappa V}{4} (P - P_0) = \frac{\kappa P_0 V}{4} \cdot \frac{17}{8} =$$

$$= \frac{17}{32} \kappa P_0 V = \frac{17}{32} \kappa \cdot 2 \nu_M R T_0 = \frac{17}{16} \kappa \nu_M R T_0$$

$$P V_M = \nu_M \left(1 + \frac{17}{16} \kappa R T_0 \right) R T = \nu_M (\dots) R \frac{5}{4} T_0 = P_0 \frac{V_0}{4} \left(1 + \frac{17}{16} \kappa R T_0 \right)$$

$$\Delta \nu = \kappa P_0 \frac{V}{4}$$

$$P V_M = \left(\nu_M + \kappa P_0 \frac{V}{4} \right) R T$$

$$P V_M = \nu_M (1 + \kappa R T_0) R T$$

$$P \frac{V}{5} = \nu_B R T$$

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!

$$\Delta T = k \frac{P_0 V}{4}$$

$$P_0 \frac{V}{2} = \nu_B R T_0$$

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

$$\frac{T}{T_0} = \frac{P X}{5} \cdot \frac{2}{P_0 X}$$

$$P \frac{V}{5} = \nu_B R T$$

$$P V_M = (\nu_H + \Delta \nu) R T_M$$

$$\frac{5}{4} = \frac{2}{5} \cdot \frac{P}{P_0}$$

$$P = \frac{25}{8} P_0$$

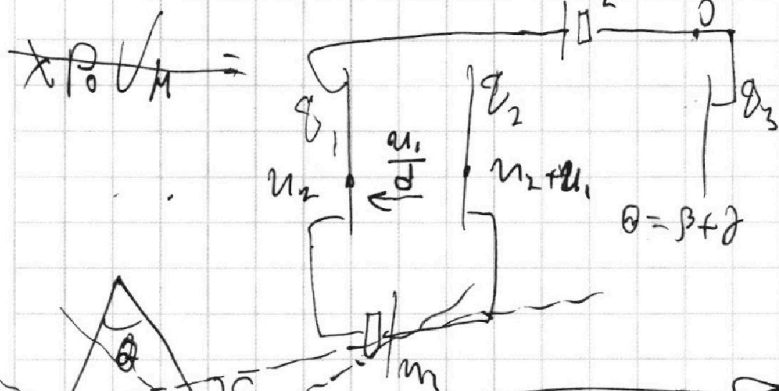
$$D_M = \frac{P_0 V}{4 R T_0}$$

$$\theta + 180 - \beta - \gamma = 180$$

$$P V_M = \left(\nu_M + \frac{P_0 V}{4 R T_0} + \frac{k V P_0}{4} \right) R T \quad \theta = \beta + \gamma$$

$$P V_M = \frac{P_0 V}{4} \left(\frac{1}{R T_0} + k \right) R T$$

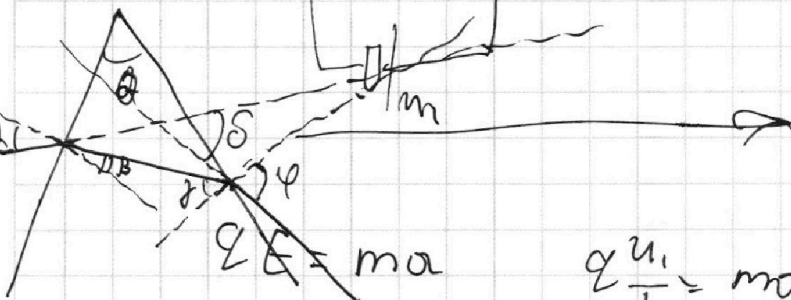
$$\gamma = \pi \quad \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 0 \quad \theta = \beta + \gamma$$



$$U \varphi_2 = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 - \varphi_3}{2 \epsilon_0 S} d$$

$$U \varphi_3 = \frac{\varphi_1 + \varphi_2 - \varphi_3}{2 \epsilon_0 S} d$$

$$\varphi_1 + \varphi_2 - \varphi_3 = 2\varphi_1 - 2\varphi_2 - 2\varphi_3$$



$$q U_1 = \Delta E_{kin} = q U$$

$$q \frac{U_1}{d} = m a \quad a = \frac{q U_1}{m d}$$

$$\frac{m v_0^2}{2} = \frac{m v^2}{2} + q \frac{U_1}{3}$$

