



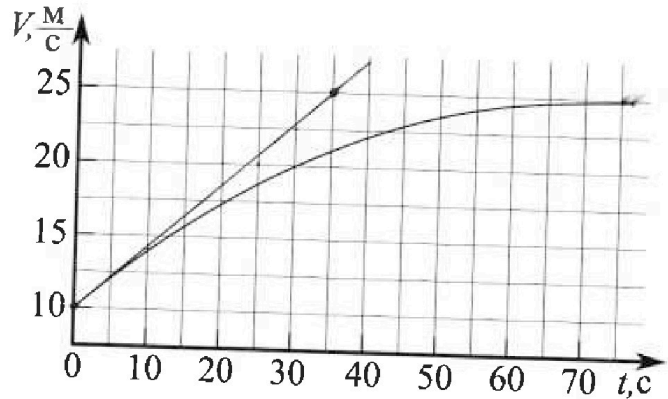
Олимпиада «Физтех» по физике, Февраль 2023

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?

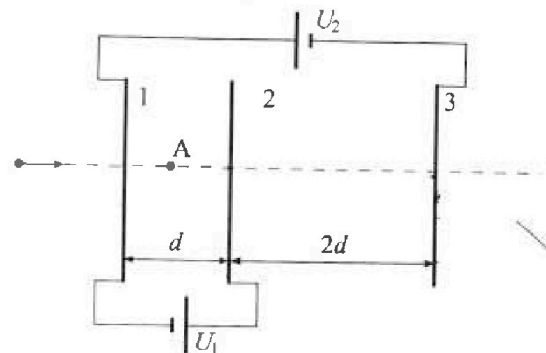
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

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 Δv растворённого газа в объёме жидкости w пропорционально парциальному давлению p газа; $\Delta v = kpw$. 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

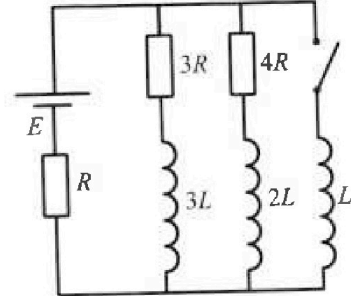
Вариант 11-03

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

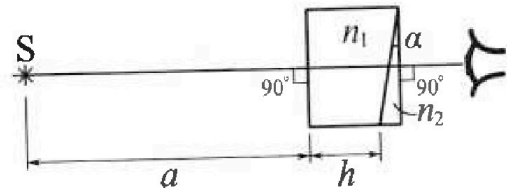


4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 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:

МФТИ



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!

$$3) P_0 \Delta \tau = \int_{v_H}^{v_H + a_H \Delta \tau} k (v_H + a_H \tau)^2 \Delta \tau = \frac{m (v_H + a_H \Delta \tau)^3}{3} - \frac{m v_H^3}{3}$$

$$P_0 \Delta \tau = k \left[\frac{(v_H + a_H \Delta \tau)^3}{3} - \frac{v_H^3}{3} \right] = \frac{m (v_H + a_H \Delta \tau) a_H \Delta \tau}{2}$$

$$P_0 \Delta \tau \approx \frac{2m v_H a_H \Delta \tau}{2} - \frac{v_H^2 a_H \Delta \tau k}{3} \quad | : \Delta \tau$$

$$P_0 \approx \frac{2m v_H a_H}{2} - \frac{v_H^2 a_H k}{3} = 2m v_H a_H - 2.1500$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

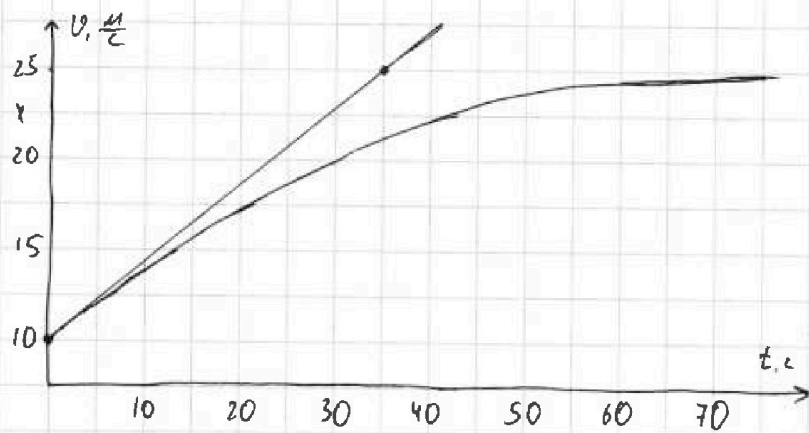
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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!

Лист 1.



1) $a(t) = v'(t) \Rightarrow a$ будет
равна угловому коэффициенту
касательной графика для мо-
мента t . Проведем касат-
ельную для точки максимума

момента времени 0. Для надежности, касательная была проведена на
данном графике, здесь представлен ее пример. По умолчанию она
проходит через $(0; 10)$, но построению оказывается, что она про-
ходит через $(35; 25)$.

$$a(0) = \frac{25-10}{35-0} = \frac{15}{35} \text{ м/с}^2$$

2) $F_c = kV$, где k - неизвестный нам коэффициент. Запишем вто-
рой закон Ньютона для начала и конца разгона.

$$F_0 - F_k V_n = m a_n$$

$$F_k - k V_k = m a_k$$

Заметим, что в конце разгона $a_k = 0$, а скорость $V_k = 25 \text{ м/с}$

$$F_k = k V_k$$

$$k = \frac{F_k}{V_k} = \frac{600}{25} = 24$$

$$F_0 = k V_n + m a_n = \frac{F_k}{V_k} V_n + m a_n = \frac{600}{25} \cdot 10 + 1500 \cdot \frac{15}{35} \approx 882,86 \text{ Н.}$$

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!

Лист 1.

He: T_0
P_0 : V
ν : ϵ
CO ₂ : ν : T_0
P_0 : V : T_0
ν

$P_0 \frac{V}{2} = \nu_{He} RT_0$ - уравнение Менделеева-Клапейрона для гелия.

$P_0 \frac{V}{4} = \nu_{CO_2} RT_0$ - уравнение Менделеева-Клапейрона для CO₂, м.к.

Вода не оказывает давления на поршень \Rightarrow все давление P_0 на поршень снизу оказывает CO₂. Раз давление водяных паров пренебрежимо мало $\Rightarrow \nu_{b1}$ - количество вещества водяных паров пренебрежимо мало по сравнению с

$$k_1 = \frac{\nu_{b2}}{\nu_{n.2.}} = \frac{\nu_{He}}{\nu_{CO_2} + \nu_{b1}} = \frac{\nu_{He}}{\nu_{CO_2}} = 2 \text{ - из вышесказанных уравнений.}$$

He: ν : T
P_1 : V
CO ₂ : T
H ₂ O: P_1
ν : V : T_0
ν

Рассмотрим систему после нагревания. Система установилась, присутствует вода, $T = 373K \Rightarrow$ водяные пары насыщены и оказывают давление $P_0 = P_{atm}$ на поршень. Пусть теперь оказывает на поршень давление P_1 . Тогда водяные пары и CO₂ оказывают вместе то же давление P_1 .

$$P_1 = 2P_0 + P_2, \text{ где } P_2 \text{ - новое давление CO}_2. \quad (1)$$

Запишем уравнение Менделеева-Клапейрона для всех He, CO₂, H₂O.

$$P_1 \frac{V}{5} = \nu_{He} RT \Rightarrow P_1 = \frac{5 \nu_{He} RT}{V}$$

$$P_2 \frac{11V}{20} = (\nu_{CO_2} + \Delta \nu_{CO_2}) RT \Rightarrow P_2 = \frac{20RT(\nu_{CO_2} + \Delta \nu_{CO_2})}{11V}, \text{ где } \Delta \nu_{CO_2} \text{ - кол-во веществ}$$

ва CO₂, до того растворенного в воде, $\frac{11V}{20}$ - объем, оставшийся на газы снизу, т.к. вода и верхняя часть газа $\frac{V}{4}$ и $\frac{V}{5}$ соответственно.

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 checked="" 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!

Лист 2. Из условия $\Delta v_{\text{Co}_2} = k p_0 \frac{V}{4}$

Подставим все в уравнение 1.

$$\frac{5 v_{\text{He}} RT}{V} = 2 p_0 + \frac{20 RT v_{\text{Co}_2}}{11 V} + \frac{20 RT k p_0 \frac{V}{4}}{11 V}$$

Из написанного ранее $v_{\text{He}} = \frac{p_0 V}{2 RT_0}$ и $v_{\text{Co}_2} = \frac{p_0 V}{4 RT_0}$, подставим это.

$$\frac{5 p_0 V RT}{2 RT_0 V} = 2 p_0 + \frac{20 RT p_0 V}{44 RT_0 V} + \frac{5 RT k p_0}{11}$$

$$\frac{5}{2} \frac{T}{T_0} = 2 + \frac{5}{11} \frac{T}{T_0} + \frac{5}{11} RTk$$

$$k_2 = \frac{T}{T_0} = \frac{2 + \frac{5}{11} RTk}{\frac{5}{2} - \frac{5}{11}} = \frac{2 + \frac{5}{11} \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^3}{\frac{45}{22}} = \frac{59}{45}$$

Заметим, что тогда $T_0 = \frac{45}{59} T > 273 \Rightarrow$ не противоречит условию.

Ответ: 2; $\frac{59}{45}$.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

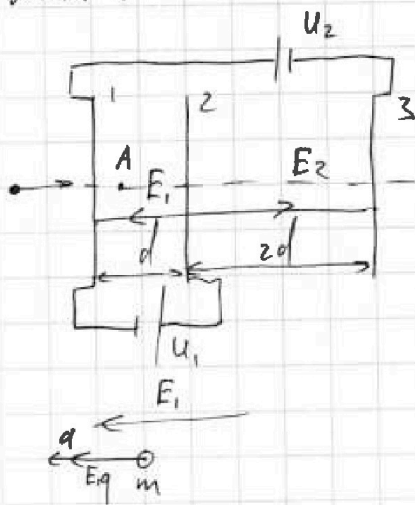
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" 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 1.



$$1) E_1 = \frac{U_1}{d} = \frac{U}{d}$$

$$E_1 q = \epsilon \epsilon_0 a$$

$$a = \frac{E_1 q}{\epsilon} = \frac{U q}{\epsilon d}$$

2) Пусть потенциал сетки 1 - φ_1 , а сетки 2 -
- φ_2 , с другой стороны $\varphi_2 - \varphi_1 = U_1$

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

$$K_1 - K_2 = (\varphi_2 - \varphi_1) q = U_1 q = U q$$

3):

$$\text{Ответ: } \frac{U q}{\epsilon d}; U q.$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

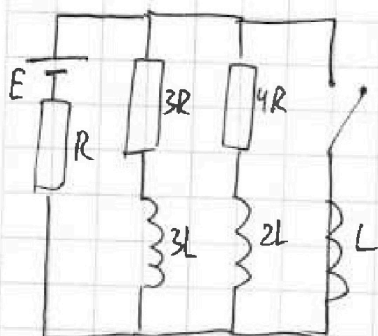
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

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!

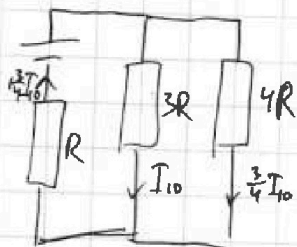
Лист 1.



1) В установленном режиме решим катушка является резистором. Рассмотрим эквивалентную схему, расставим токи и напишем уравнение для контура с $3R$ и E .

$$E = 3RI_{10} + 1\frac{3}{4}RI_{10}$$

$$I_{10} = \frac{E}{(3+1.75)R} = \frac{4E}{19R}$$



2) Рассмотрим контур с E и L .

$$E = E_{in} + R \cdot 1.75I_{10}$$

$$E_{in} = LI'$$

$$I' = \frac{E_{in}}{L} = \frac{E - R \cdot 1.75I_{10}}{L} = \frac{E - \frac{7}{19}E}{L} = \frac{12E}{19L}$$

3) Рассмотрим контур с $3R$ и L в начальный момент времени.

$$3RI_1 + 3LI_1' - LI' = 0$$

Продифференцируем все по времени.

$$3Rq - 3LI_{10} - L\frac{E}{R} = 0, \text{ т.к. через } 3R \text{ пройдет } q, \text{ через } 3L \text{ увеличится}$$

от I_{10} до 0 и макс через L увеличится от 0 до $\frac{E}{R}$.

$$q = L \frac{3I_{10} + \frac{E}{R}}{3R} = L \frac{\frac{12E}{19R} + \frac{E}{R}}{3R} = \frac{31LE}{19R^2}$$

Ответ: $\frac{4E}{19R}$; $\frac{12E}{19L}$; $\frac{31LE}{19R^2}$.



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 checked="" 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!

$$d = a - l = a - a \cos^2 \alpha = a \sin^2 \alpha = a \alpha^2 = 0,9 \cdot 0,1^2 = 0,009 \text{ м}$$

Ответ: $0,07 \text{ рад}$; $0,009 \text{ м}$.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

МФТИ

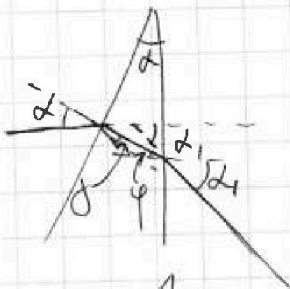
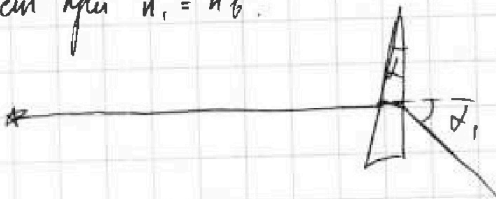


1 2 3 4 5 6 7

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

Лист 1.

1) Заметим, что мы можем считать, что левая призма существует при $n_1 = n_2$.



$n_1 \alpha = n_2 \beta$, т.к. углы маленькие, они равны синусам.

$$n_2 \varphi = n_1 \alpha_1$$

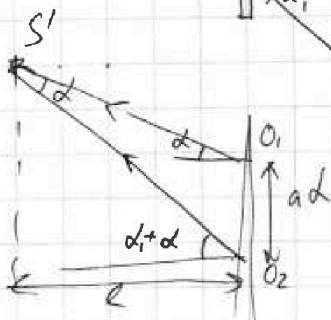
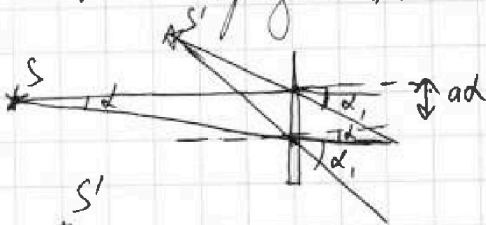
$$(\alpha + \alpha_1) n_1 = n_2 (\varphi + \beta)$$

Можно заметить, что $\varphi + \beta = \alpha$.

$$(\alpha + \alpha_1) n_1 = n_2 \alpha$$

$$\alpha_1 = \frac{(n_2 - n_1) \alpha}{n_1} = \frac{(1,7 - 1) 0,1}{1} = 0,07 \text{ рад.}$$

2) Пусть один луч как в и.л., а второй перпендикулярно грани, разделяющей n_1 и n_2 . Из симметрии относительно биссектрисы в основании призмы этот луч тоже отклонится на α_1 .



$$\frac{a \alpha}{\sin \alpha} = \frac{a \alpha_1}{\sin(90 + \alpha)} \approx a$$

$$l = S'O_2 \cos \alpha = a \sin(90 + \alpha) \cos \alpha = a \cos^2 \alpha$$

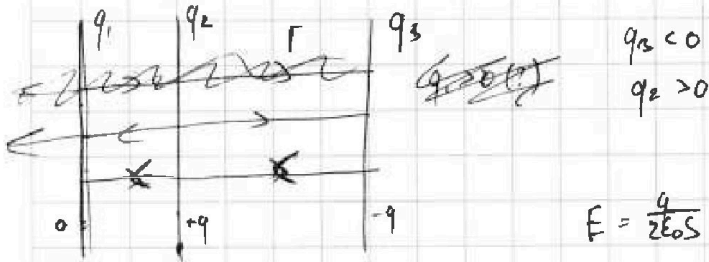
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$q_2 < 0$
 $q_2 > 0$

$E_0 = \frac{q}{\epsilon_0 S}$

$U = \frac{q d}{\epsilon_0 S}$
 $C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$

$E = \frac{q}{2\epsilon_0 S} \checkmark$

$U_1 = \varphi_2 - \varphi_1 = (E_2 + E_3 - E_1) d$

$\varphi_2 - \varphi_1 = U$
 $\varphi_1 - \varphi_3 = 3U$
 $\varphi_2 - \varphi_3 = 4U$



$U_2 = \varphi_2 - \varphi_3 = -U_1 + (E_1 + E_2 - E_3) 2d$

$E_1 = \frac{U_1}{d} = \frac{U}{d}$

$F = ma$

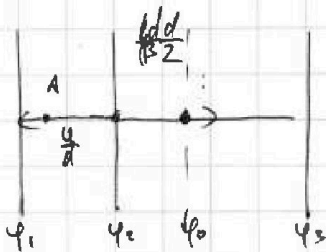
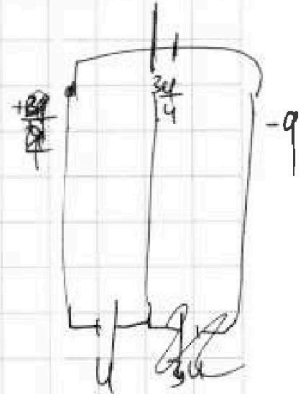
$E_1 q = ma$

$a = \frac{U q}{d m}$

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

$\varphi_2 - \varphi_1 = U_1 \checkmark$

$U_1 q = K_1 - K_2 \checkmark$



$U_2 = -U_1 + 2E_2 d$

$3U = 2E_2 d$

$E_2 = 1.5 \frac{U}{d}$

$\varphi_0 - \varphi_A = -E_2 \cdot \frac{2d}{3} + E_1 \cdot \frac{2d}{3} =$

$4.75 = 4 \frac{3}{4} = \frac{19}{4}$

$3U = (E_1 + E_2 - E_3) d$

$3RI_1 + 3LI_1' = LI_1'$

$\frac{19}{4} = 4$

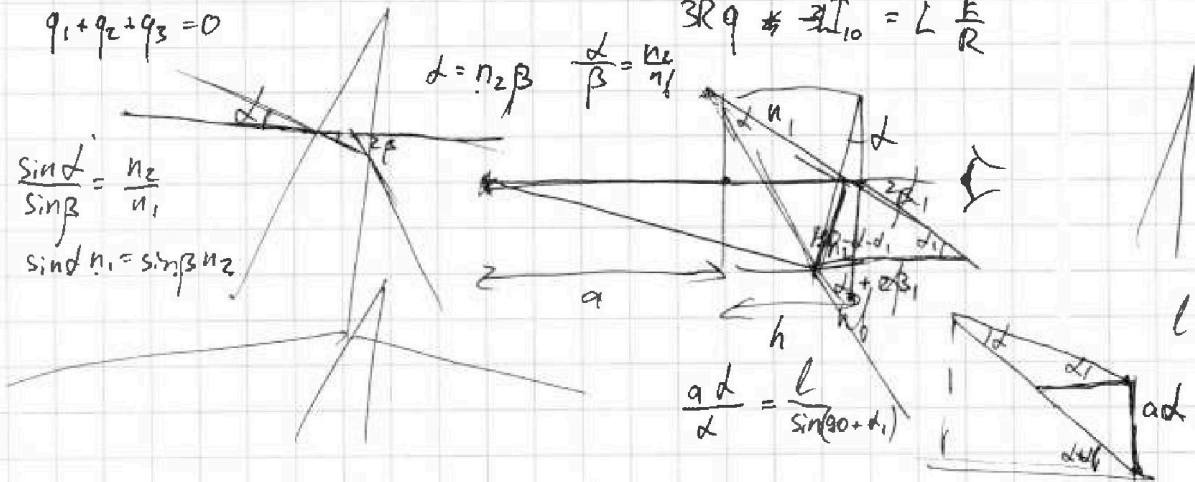
$q_1 + q_2 + q_3 = 0$

$3Rq \neq 3LI_1' = L \frac{E}{R}$

$d = n_2 \beta \quad \frac{\alpha}{\beta} = \frac{n_2}{n_1}$

$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$

$\sin \alpha n_1 = \sin \beta n_2$



$\frac{a d}{\alpha} = \frac{l}{\sin(90 + \alpha)}$