

Олимпиада «Физтех» по физике,  
февраль 2023

Вариант 11-04

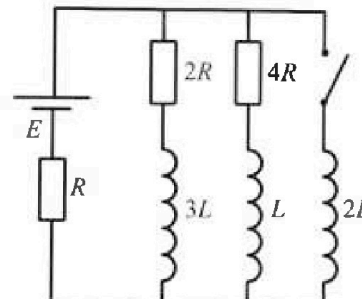
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби  
и радикалы.



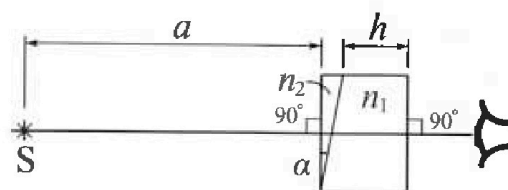
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 1) Найти ток  $I_0$  через резистор с сопротивлением  $4R$  при разомкнутом ключе.
- 2) Найти скорость возрастания тока в катушке индуктивностью  $2L$  сразу после замыкания ключа.
- 3) Какой заряд протечет через резистор с сопротивлением  $4R$  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  $n_в = 1,0$ . Точечный источник света S расположен на расстоянии  $a = 100$  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.



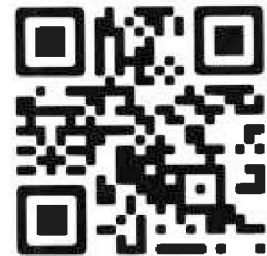
(см. рис.). Угол  $\alpha = 0,1$  рад можно считать малым, толщина  $h = 14$  см. Толщина призмы с показателем преломления  $n_2$  на прямой «источник – глаз» намного меньше  $h$ . Отражения в системе не учитывать.

- 1) Считая  $n_1 = n_в = 1,0$ ,  $n_2 = 1,7$ , найдите на какой угол отклонится системой луч, идущий от источника перпендикулярно левой грани системы.
- 2) Считая  $n_1 = n_в = 1,0$ ,  $n_2 = 1,7$ , 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.



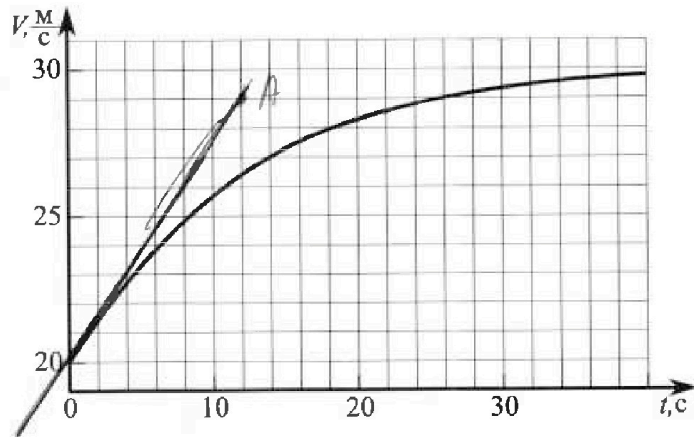
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 11-04



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

1. Мотоциклист массой (вместе с мотоциклом)  $m = 240$  кг движется с постоянной скоростью и затем разгоняется на прямолинейном горизонтальном участке дороги так, что мощность, передаваемая от двигателя на ведущее колесо, остается постоянной. График зависимости скорости от времени при разгоне показан на рисунке. В конце разгона сила сопротивления движению равна  $F_k = 200$  Н.



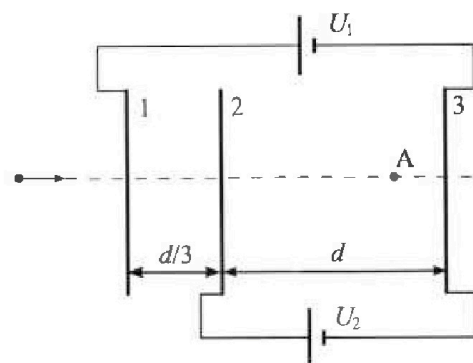
- Используя график, найти ускорение мотоцикла в начале разгона.
- Найти силу сопротивления движению  $F_0$  в начале разгона.
- Какая часть мощности, передаваемой на ведущее колесо, идет на преодоление силы сопротивления движению в начале разгона? Требуемая точность численного ответа на первый вопрос 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  $3V/8$ . Затем цилиндр медленно нагрели до  $T = 4T_0/3 = 373$  К. Установившийся объём его верхней части стал равен  $V/8$ .

По закону Генри, при заданной температуре количество  $\Delta v$  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  $k \approx 0,6 \cdot 10^{-3}$  моль/(м<sup>3</sup>·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  $d/3$  (см. рис.). Размеры сеток значительно больше  $d$ . Изначально сетки не заряжены. К сеткам подсоединили источники с напряжением  $U_1 = 5U$  и  $U_2 = U$ . 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 2 и 3.
- Найти разность  $K_3 - K_2$ , где  $K_2$  и  $K_3$  — кинетические энергии частицы при пролете сеток 2 и 3.
- Найти скорость частицы в точке А на расстоянии  $3d/4$  от сетки 2.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

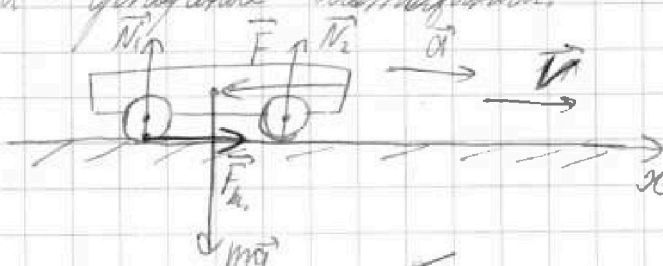
1  2  3  4  5  6  7



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



Пусть  $P$  — мощность, передаваемая от двигателя на ведущее колесо мотоцикла,  $F_m$  — сила тяги ведущего колеса,  $F_k$  — сила сопротивления движению,  $a$  — ускорение мотоцикла.



ИЗ для мотоцикла с помощью формулы:  $ma = F_m - F_k$   
 $a = \frac{dv}{dt} \Rightarrow a$  — постоянная величина, направленная в сторону  $v(t)$ .

$$P = F_m v \Rightarrow F_m = \frac{P}{v}$$

$$m \frac{dv}{dt} = \frac{P}{v} - F_k$$

Если ведущее колесо мотоцикла проскальзывает, то  $F_m =$  сила трения скольжения  $\Rightarrow F_m = \text{const}$ .

Если при этом увеличивается  $v$ , то  $P \neq F_m v$  часть  $P$  идет на работу по преодолению  $F_k$  и трения, а на увеличение за счет трения колеса в дороге. Если ведущее колесо не проскальзывает, то  $P = F_m v$ . Тогда на 3 км/ч:  $ma = \frac{P}{v} - F_k$   $A_F = \frac{mv^2}{2}$ ,  $A_F = \int F_k dx$

1) Точкой приложения к траектории в точке, соответствующей началу разгона. Она находится, если точка  $A(12\text{ м}; 29 \frac{\text{м}}{\text{с}})$ . Тогда ускорение мотоцикла в начале разгона  $a_0 = \frac{29 \frac{\text{м}}{\text{с}} - 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{12\text{ м} - 0} = \frac{9 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{12\text{ м}} = \frac{3}{4} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$  его ускорение

2) В конце разгона скорость мотоцикла  $V_k = 30 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ,  $a_k = 0 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$   
 $F_{m.k} - F_k = 0 \Rightarrow 0 = \frac{P}{V_k} - F_k \Rightarrow P = F_k V_k$

В начале разгона скорость мотоцикла  $V_0 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .  
 $ma_0 = \frac{P}{V_0} - F_0 \Rightarrow F_0 = \frac{P}{V_0} - ma_0 = F_k \frac{V_k}{V_0} - ma_0$   
 $F_0 = 200\text{ Н} \cdot \frac{30 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{20 \frac{\text{м}}{\text{с}}} - 240\text{ кг} \cdot \frac{3}{4} \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 300\text{ Н} - 180\text{ Н} = 120\text{ Н}$

3) На протяжении силы сопротивления в начале разгона идет мощность  $P_0 = F_0 V_0$ , т.к. мощность силы  $F_0$  равна  $(-F_0 V_0)$ .  $\frac{P_0}{P} = \frac{F_0 V_0}{F_k V_k} = \frac{120\text{ Н} \cdot 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{200\text{ Н} \cdot 30 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = \frac{2400\text{ Вт}}{6000\text{ Вт}} = 0,4$

Ответ: 1)  $\frac{3}{4} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ ; 2) 120 Н; 3) 0,4.

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!



Изначально:

$p_0, \frac{V}{2}, T_0$	$J_2$
$J_1, p_0, T_0$	$T$
$\frac{3}{8}V$	$\Delta U$ - паров $H_2O$

Закон Дюруи:

$$\Delta U = k \cdot p_0 \cdot \frac{3}{8} V$$

При температуре  $T = 373K$  давление паров  $H_2O$  равно  $p_{амм.}$ , т.к.  $T$  - температура кипения  $H_2O$  при атмосферном давлении. Тогда по уравнению Менделеева-Клапейрона для паров  $H_2O$ :

$$p_{амм.} \cdot \frac{V}{2} = J_3 RT$$

После нагревания:

$p, \frac{V}{2}, T$	$J_2$
$p, \frac{V}{2}, T$	$(J_1 + \Delta U) - CO_2$
	$J_3$ - паров $H_2O$
$\frac{3}{8}V$	

По уравнению Менделеева-Клапейрона для паров в вершине и нижней части сосуда соответственно:

$$\begin{aligned} \text{Изначально: } p_0 \frac{V}{2} &= J_2 RT_0 \quad (1) \\ p_0 \frac{V}{8} &= J_1 RT_0 \quad (2) \end{aligned} \Rightarrow \frac{J_2}{J_1} = 4$$

$$\begin{aligned} \text{После нагревания: } p \frac{V}{8} &= J_2 RT \quad (3) \\ p \frac{V}{2} &= (J_1 + \Delta U + J_3) RT \quad (4) \end{aligned} \Rightarrow \frac{J_2}{J_1 + \Delta U + J_3} = \frac{1}{4}$$

$$4J_2 = J_1 + k p_0 \frac{3}{8} V + \frac{p_{амм.} V}{2RT}$$

$$J_2 = 4J_1 \Rightarrow 15J_1 = \left( \frac{3}{8} k p_0 + \frac{p_{амм.}}{2RT} \right) V$$

$$\text{Из (2)} \Rightarrow V = \frac{8J_1 RT_0}{p_0}$$

$$15J_1 = \left( \frac{3}{8} k p_0 + \frac{p_{амм.}}{2RT} \right) \cdot \frac{8J_1 RT_0}{p_0}$$

$$15 = 3kRT_0 + 4 \frac{p_{амм.}}{p_0} \cdot \frac{T_0}{T}$$

$$T_0 = \frac{3}{4} T \Rightarrow 15 = \frac{3}{4} kRT + 3 \frac{p_{амм.}}{p_0}$$

$$\frac{p_{амм.}}{p_0} = 5 - \frac{3}{4} kRT$$

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"/>

**ЛМОТИ**

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

$$p_0 = \frac{p_{\text{атм.}}}{5 - \frac{3}{4} kRT}$$
$$p_0 = \frac{p_{\text{атм.}}}{5 - \frac{3}{4} \cdot 0,6 \cdot 10^{-3} \frac{\text{моль}}{\text{м}^3 \cdot \text{Па}} \cdot 3 \cdot 10^3 \frac{\text{Па} \cdot \text{м}^3}{\text{моль}}}$$
$$p_0 = \frac{20}{100 - 27} p_{\text{атм.}} = \frac{20}{73} p_{\text{атм.}}$$

Ответ: 1) 4; 2)  $\frac{20}{73} p_{\text{атм.}}$

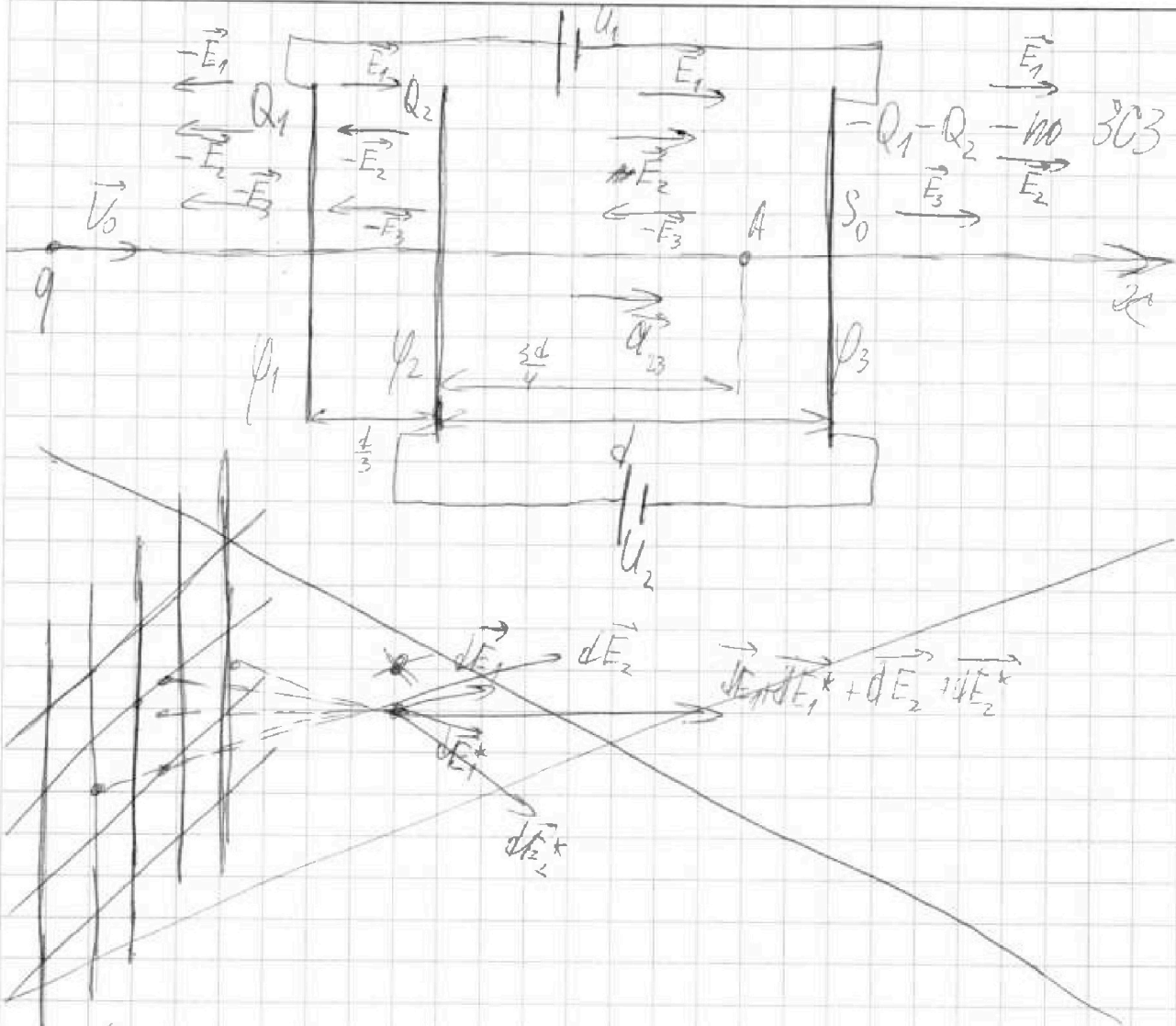
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



Условие задачи выполняется от того, что мы имеем  
 три пластины, значит конфигурация электрического  
 поля на всей территории ~~внутри~~ <sup>между</sup> пластинами перпендикулярна  
 пластинам. Разность потенциалов между соседними  
 пластинами равна  $U_1 - U_0$  и  $U_0 - U_2$ .  
 Будем считать все напряженности суммируем на рас-  
 стоянии от пластины, равным  $\epsilon$ .  
 Сетка проводящая, значит заряд распределится  
 по ее поверхности. Если пластины не проводящие  
 заряд на  $10^9$  сетке распределяется по внутренней поверхности  
 стороны пластины. Если сетка проводящая, то  
 электрическое поле  $E$  т.к. пластины проводящие, со-  
 бираются заряды на этой стороне  $E$ .

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

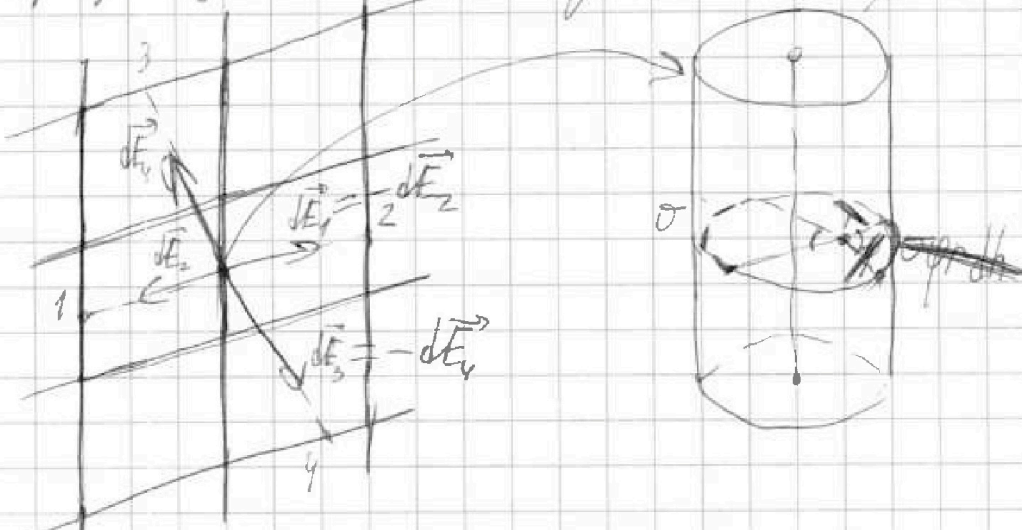
ЛФТИ

- 1  2  3  4  5  6  7

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



Поле  $\vec{E}$  т.н. это равномерно заряженный слой  
цилиндрической поверхности, а зарядовые  
местности от других зарядов точки цилиндрической  
поверхности. Мысленно рассматриваем или  
однозначно рассматриваем отрезок  
(т.н. длина большая, то такие цилиндрические  
отрезки вырезаются для любой стороны), т.н. на  
заряды отрезков при одинаковой поверхностной плотности.

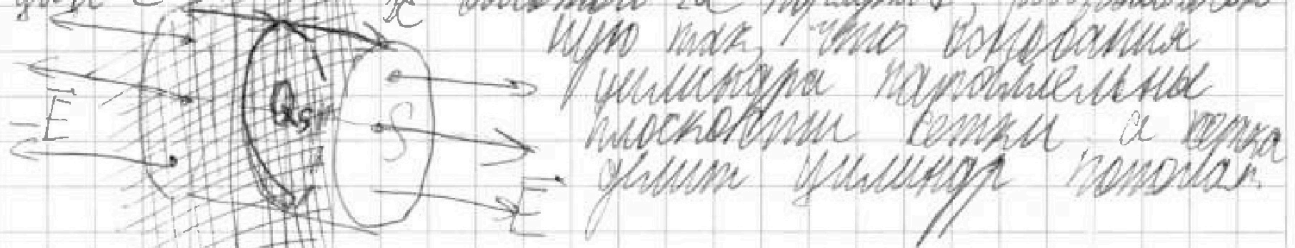


Значит, то

То значение единичности поверхностной плотности  
заряда постоянна.

т.н. длина большая по сравнению с радиусом  $d$ ,  
то часть сферы, выходящая за пределы  $S$  по длине  $d^2$   
будет иметь заряд  $Q_s = \frac{s}{\epsilon_0} Q$ , где  $s_0$  - площадь всей  
сферы,  $Q$  - ее заряд.

Рассмотрим в сферическую поверхность с площадью  
основания  $S$  и высотой  $h$ , совпадающей с радиусом части-  
цы  $S$  и высотой  $h$  по длине  $d$ , радиусом  $d$ .



Чтобы найти, что выходящая  
цилиндра параллельная  
поверхности сферы и точка  
длиной цилиндра по длине.

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!

Поле по  $th$  плоскости:

$$2ES = \frac{Qs}{\epsilon_0} = \frac{s}{S_0} \frac{Q}{\epsilon_0}$$

$$E = \frac{Q}{2S_0\epsilon_0} - \text{не зависит от } x.$$

$\vec{E}_1, \vec{E}_2$  и  $\vec{E}_3$  - напряженности, создаваемые пластинами 1, 2 и 3 соответственно, направлены от пластины к пластине.

$$E_1 = \frac{Q_1}{2S_0\epsilon_0}$$

$$E_2 = \frac{Q_2}{2S_0\epsilon_0}$$

$$E_3 = \frac{-Q_1 - Q_2}{2S_0\epsilon_0} = -E_1 - E_2$$

$$U_2 = (E_1 + E_2 - E_3)d = 2(E_1 + E_2)d \Rightarrow E_1 + E_2 = \frac{U_2}{2d}$$

$$U_1 = (E_1 - E_2 - E_3)\frac{d}{3} + U_2$$

$$U_1 - U_2 = 2E_1\frac{d}{3} \Rightarrow E_1 = \frac{3(U_1 - U_2)}{2d} = \frac{qU}{d}$$

$$E_2 = \frac{U_2}{2d} - \frac{3(U_1 - U_2)}{2d} = \frac{4U_2 - 3U_1}{2d} = -\frac{11U}{2d}$$

$$1) \text{ по } R: \text{ по } m_{23} v_{23} = (E_1 + E_2 - E_3)q$$

$$v_{23} = \frac{q}{m} \cdot \frac{U_2}{d} = \frac{qU}{md}$$

$$2) \text{ по } 3) \text{ по } q \text{ по } K_2 + q(\varphi_3 - \varphi_2) = K_3, \text{ где } \varphi_3 - \varphi_2$$

$\varphi_3$  - потенциалы точек 2 и 3.

$$\varphi_3 - \varphi_2 = -U_2 \Rightarrow K_3 - K_2 = qU_2 = qU$$

3) по 1) по  $A$ :

~~$$\frac{mv_0^2}{2} + q(\varphi_A - \varphi_1) = \frac{mv_A^2}{2} + q\varphi_A$$~~

$$\frac{mv_0^2}{2} + q(E_1 - E_2 - E_3)\frac{d}{3} + q(E_1 + E_2 - E_3)\frac{3d}{4} = \frac{mv_A^2}{2}$$



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!

$$\frac{mv_0^2}{2} + q(U_1 - U_2) + q \cdot \frac{3}{4} U_2 = \frac{mV_A^2}{2}$$
$$\frac{mV_A^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2} + q \left( U_1 - \frac{1}{4} U_2 \right) = \frac{mv_0^2}{2} + \frac{19}{4} U q$$
$$V_A = \sqrt{v_0^2 + \frac{19 q U}{2 m}}$$

Ответ: 1)  $\frac{qU}{md}$ ; 2)  $qU$ ; 3)  $\sqrt{v_0^2 + \frac{19 q U}{2 m}}$

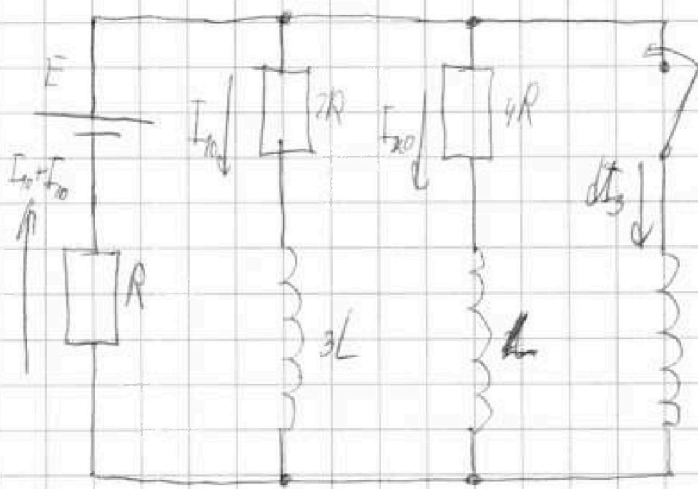
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$$1) \begin{cases} E = I_{10} \cdot 2R + (I_{10} + I_{20})R \\ E = I_{20} \cdot 4R + (I_{10} + I_{20})R \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{E}{R} = 3I_{10} + I_{20} \\ \frac{E}{R} = 5I_{20} + I_{10} \end{cases}$$

$$I_{10} = \frac{E}{R} - 5I_{20}$$

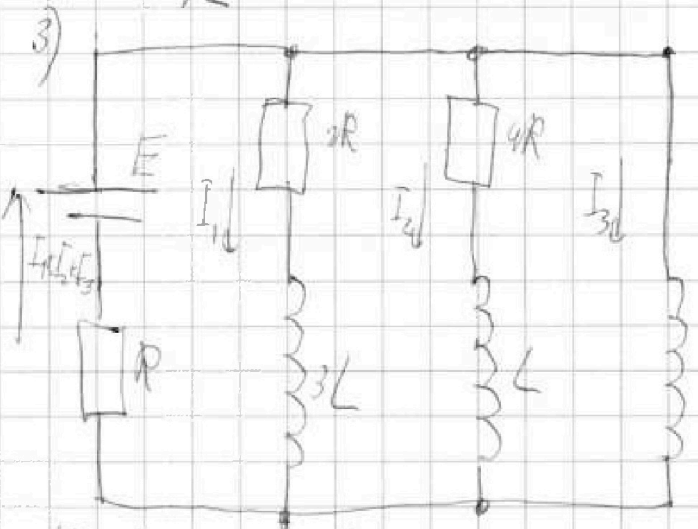
$$\frac{E}{R} = 3 \frac{E}{R} - 15I_{20} + I_{20}$$

$$I_{10} = \frac{14I_{20}}{7R} = 2 \frac{E}{R} - \frac{E - 5E}{7R} = \frac{2E}{7R}$$

$$2) E - \frac{dI_{30}}{dt} \cdot 2L = (I_{10} + I_{20})R$$

$$E - \frac{dI_{30}}{dt} \cdot 2L = \frac{3}{7}E$$

$$\frac{dI_{30}}{dt} = \frac{2E}{7L}$$



$$\begin{cases} E - \frac{dI_1}{dt} \cdot 3L = I_1 \cdot 2R + (I_1 + I_2 + I_3)R \\ E - \frac{dI_2}{dt} \cdot L = I_2 \cdot 4R + (I_1 + I_2 + I_3)R \\ E - \frac{dI_3}{dt} \cdot 2L = (I_1 + I_2 + I_3)R \end{cases}$$

$$\frac{dI_2}{dt} \cdot L - \frac{dI_1}{dt} \cdot 3L = 2I_1R - 4I_2R = 2I_1R - 4I_2R$$

$$\frac{dI_2 - 3dI_1}{dt} \cdot L = 2(I_1 - 2I_2)R - I_2 \cdot 4R + \frac{dI_2}{dt} L = I_1 \cdot 2R + 3 \frac{dI_1}{dt} L$$

$$4dI_2R + dI_2L = dI_1 \cdot 2R + 3dI_1L$$

$$E dt - (I_1 + I_2 + I_3)R dt = 2L dI_3 \quad E dt = (dI_1 + dI_2 + dI_3)R = 2L dI_3$$

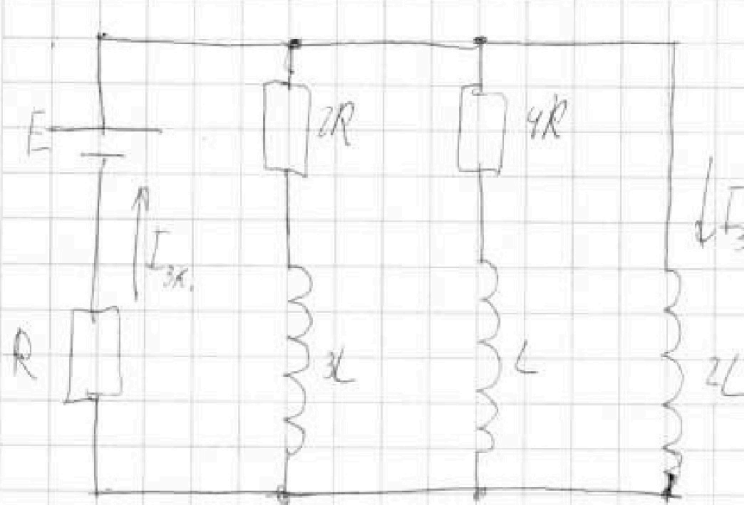
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



$$I_{1K} = I_{2R} = 0, \text{ м.к.}$$

$$I_{1K} \cdot 2R = I_{2K} \cdot 4R = \varphi \cdot I_{3K} \cdot R$$

$$E = I_{3K} \cdot R$$

$$I_{3K} = \frac{E}{R}$$

~~307 307:~~

$$E(Q_1 + Q_2 + Q_3) = \frac{3L \cdot I_{10}^2}{2} + \frac{L \cdot I_{20}^2}{2} + \frac{2L I_3^2}{2}$$

$$E(Q_1 + Q_2 + Q_3) = \frac{E^2 L}{4R^2} + \frac{E^2 L}{9R^2} + \frac{E^2 L}{R^2} = \frac{2 E^2 L}{R^2} \cdot \frac{17}{98}$$

$$\frac{dI_2}{dt} \cdot L + I_2 \cdot 4R = 2 \frac{dI_3}{dt} \cdot 2L \quad | \cdot dt$$

$$\frac{dQ_2}{dt} \cdot 4R = \frac{dI_3}{dt} \cdot 2L - \frac{dI_2}{dt} \cdot L$$

$$4R \int dQ_2 = 2L \int dI_3 - L \int dI_2$$

$$4R Q_2 = 2L I_{30} + L I_{20}$$

$$Q_2 = \frac{(2 I_{30} + I_{20}) L}{4R}$$

$$Q_2 = \frac{(2 \frac{E}{R} + \frac{E}{7R}) L}{4R} = \frac{15 E L}{28 R^2}$$

Ответ: 1)  $\frac{E}{7R}$ ; 2)  $\frac{2E}{7L}$ ; 3)  $\frac{15EL}{28R^2}$ .

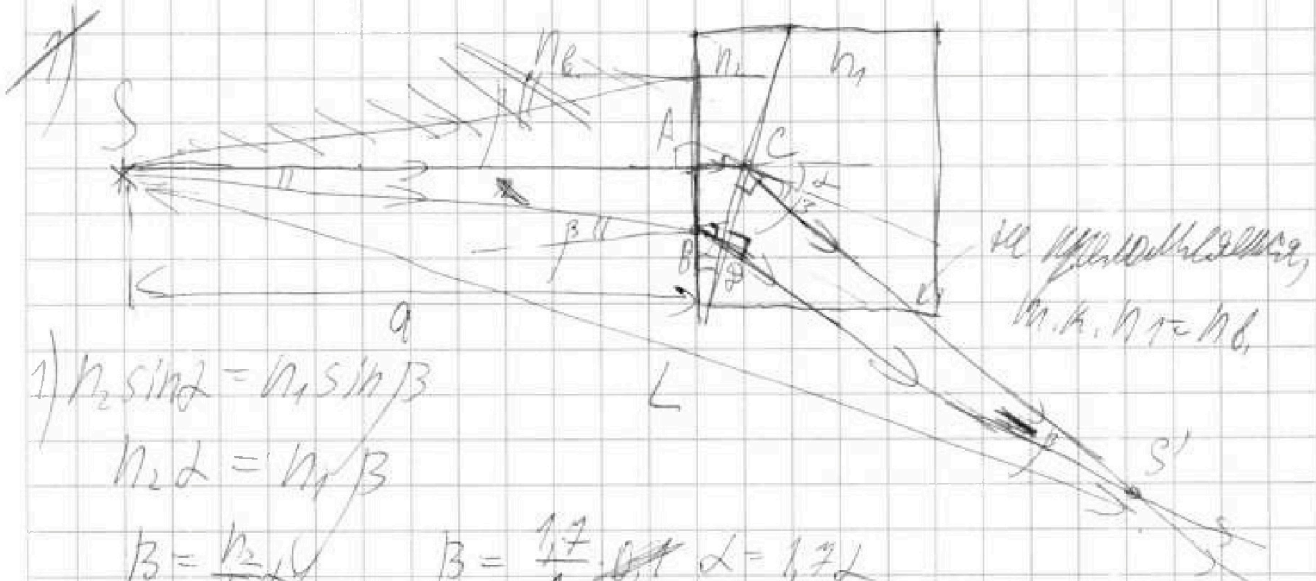
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



$$1) n_2 \sin \alpha = n_1 \sin \beta$$

$$n_2 \alpha = n_1 \beta$$

$$\beta = \frac{n_2}{n_1} \alpha \quad \beta = \frac{1,7}{1} \alpha \quad \alpha = 1,7 \alpha$$

луч распространяется как  $\alpha + \beta = \frac{n_1 + n_2}{n_1} \alpha = \frac{1 + 1,7}{1} \cdot 0,1 = 0,27$  радиан

2) Рассчитать путь, пройденный лучом в среде  $n_2$  к углу, перпендикулярному границе раздела.

$$n_2 \sin \beta = n_1 \sin \alpha, \quad n_2 \neq n_1 \Rightarrow \text{угол преломления}$$

меньше  $\alpha \Rightarrow$  на границе между  $n_2$  и  $n_1$

луч падает перпендикулярно  $\Rightarrow$

луч не преломляется,

$$AB = a \tan \beta \approx a \beta$$

$$CD \approx AB = \frac{a \beta}{2}$$

$$CS' \approx \frac{CD}{\sin \beta} = \frac{a \beta / 2}{\sin \beta} = \frac{a}{2} \frac{\beta}{\sin \beta} = \frac{a}{2} \frac{1}{\cos \alpha}$$

$$L = SS' \approx \sqrt{AS^2 + CS'^2 + 2AS \cdot CS' \cdot \cos(\alpha + \beta)}$$

$$L \approx \sqrt{a^2 + \frac{a^2}{4} + 2a^2 \frac{1 - \beta^2}{2}}$$

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!

$$L \approx \sqrt{a^2 + \frac{1}{\left(1 - \frac{d^2}{2}\right)} a^2 + 2a^2 \frac{1 - \frac{(d+\beta)^2}{2}}{1 - \frac{d^2}{2}}} = a \sqrt{1 - d^2 + \frac{d^4}{4}}$$

$$\left(1 - \frac{d^2}{2}\right)^2 \approx 1 - d^2 \quad \frac{1 - \frac{d^2}{2}}{\left(1 - \frac{(d+\beta)^2}{2}\right)} \approx 1 - \frac{d^2}{2} - \frac{(d+\beta)^2}{2}$$

$$L \approx a \sqrt{\frac{1 - d^2 + 1 + 2 - d^2 - (d+\beta)^2}{1 - d^2}} = a \sqrt{\frac{4 - 2d^2 - (d+\beta)^2}{1 - d^2}}$$

$$L \approx 100 \text{ см} \sqrt{\frac{4 - 0,02 - 0,0729}{1 - 0,01}} \approx 100 \text{ см} \sqrt{\frac{3,91}{0,99}}$$



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!

