

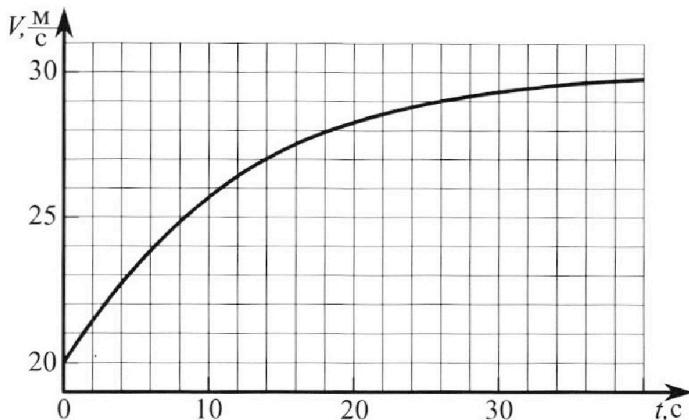
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

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.



- 1) Используя график, найти ускорение мотоцикла в начале разгона.
- 2) Найти силу сопротивления движению F_0 в начале разгона.
- 3) Какая часть мощности, передаваемой на ведущее колесо, идет на преодоление силы сопротивления движению в начале разгона?

Требуемая точность чисел енного ответа на первый вопрос ориентировано 10%.

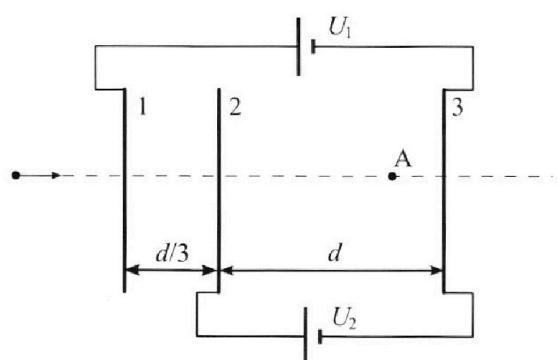
2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объёмом V разделён тонким невесомым теплопроводящим герметичным поршнем (диск соосный с сосудом) на две равные части. Поршень может перемещаться без трения. В верхней части цилиндра находится углекислый газ, а в нижней - вода и углекислый газ. В начальный момент система находилась в равновесии при комнатной температуре T_0 . При этом жидкость занимала объём $3V/8$. 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 Δv растворённого газа в объёме жидкости w пропорционально парциальному давлению p газа: $\Delta v = k_{\text{Генри}} w$. Объём жидкости при этом практически неизменен. Для углекислого газа константа Генри для данной комнатной температуры $k \approx 0,6 \cdot 10^{-3}$ 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 $d/3$ (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.

- 1) Найти модуль ускорения частицы в области между сетками 2 и 3.
- 2) Найти разность $K_3 - K_2$, где K_2 и K_3 — кинетические энергии частицы при пролете сеток 2 и 3.
- 3) Найти скорость частицы в точке А на расстоянии $3d/4$ от сетки 2.



Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

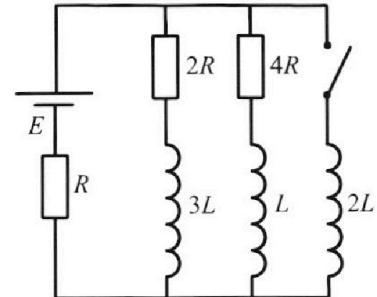
Вариант 11-04

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

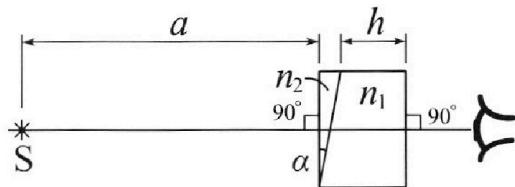
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 1) Найти ток I_{20} 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 к оэфициентами 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 $n_b = 1,0$. 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.



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



- | | | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| <input checked="" 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!

n¹

Дано: Решение:

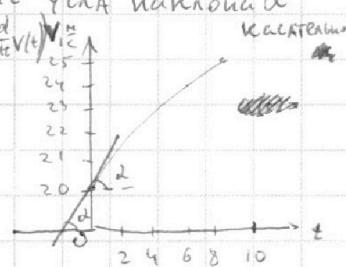
$$m = 240 \text{ кг}$$

$$F_K = 200 \text{ Н}$$

1) Т.к. требуется найти численного ответа на этот вопрос ориентировочно 10%, то можно примерно определить начальное ускорение мотоцикла с газом в 0° как тангенс угла наклона d к графику зависимости $V(t)$ в момент $t=0$: $\alpha_0 = \frac{d}{dt} V(t)|_{t=0}$

По графику можно определить $\tan \alpha_0 \approx 0,75$

$$\text{Значит } \alpha_0 \approx 0,75 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$$



2) По графику видно, что в конце

разгона скорость мотоцикла практически стала постоянной.

Из второго закона Ньютона ($F = ma$) можно сделать вывод, что ускорение в этот момент равно нулю

Значит ускорение в этот момент равно нулю.

На основании второго закона Ньютона (Иса-закон) можно сделать вывод, что равнодействующих сил тела и сопротивления, действующих на мотоцикл равна нулю ($\vec{F}_K + \vec{F}_{TK} = \vec{ma} = \vec{0}$)

В проекциях: $F_K = F_{TK}$, где F_{TK} - сила тормоза в конечный момент.

$$\text{Т.е. } F_{TK} = 200 \text{ Н}$$

Мощность двигателя $P = F_{TK} \cdot V_K$, но график показывает

$$P = F_{TK} \cdot V_K = 200 \cdot 30 = 6000 \text{ (Вт)}$$

Установившее

самостоятельно

$$\text{скорость } V_K = 30 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Мощность двигателя в начале разгона $P_0 = F_{OT} \cdot V_0$, F_{OT} - начальная сила тела.

Из условия начальная мощность $P = P_0$.

V_0 - нач. скорость.

$$V_0 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$\text{T.e. } F_{OT} \cdot V_0 = P$$

$$F_{OT} = \frac{P}{V_0} = \frac{6000}{20} = 300 \text{ (Н)}$$

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:



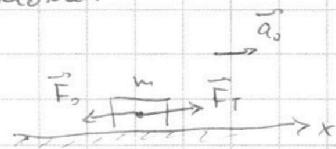
- | | | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>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

МФТИ

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

Второй закон Ньютона для маятника в нач. момет 6
проехав на горизонтальном осб: $F_{0T} - F_0 = ma_0$

$$F_{0T} - ma_0 = 300 - 240 \cdot 0,75 = 120 \text{ (Н)}$$



3) Могу найти движител P = 6 кВт

Мощность, изучая на преодоление силы сопротивления движению

работа $P_{\text{кур}} = F_0 \cdot V_0 = 120 \cdot 20 = 2400 \text{ (Дж)} - 6 \text{ нач. момет.}$

$$n = \frac{P_{\text{кур}}}{P} = \frac{2400}{6000} = \frac{2}{5} = 0,4$$

Ошибки: 1) $a_0 = 0,75 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

2) $F_0 = 120 \text{ Н}$

3) $n = 0,4$

(Всегда $P = F v \cos \alpha$)

$$P = \frac{A}{t} = \frac{F \cdot s \cdot \cos \alpha}{t} = F v \cos \alpha$$

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:



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

Числовые (1) находят: $v_1 = \frac{P_0 V}{2 R T_0}$

Уз (4) находят: $p_1 = \frac{8 v_1 R T}{V} = \frac{8 \cdot P_0 V \cdot R \cdot \frac{4}{3} T_0}{2 R T_0 \cdot V} = \frac{16}{3} P_0$

Числовые (2) находят: $v_2 = \frac{P_0 V}{8 R T_0}$; Уз (3): $v_3 = \frac{3}{8} k p_0 V$

Уз (5) находят: $P_2 = \frac{2(v_2+v_3)R T}{V} = \frac{2 \left(\frac{P_0 V}{8 R T_0} + \frac{3}{8} k p_0 V \right) \cdot R T_0 \cdot \frac{4}{3}}{V} = \frac{P_0}{3} + k \cdot R \cdot p_0 \cdot T_0 =$

$$= \frac{P_0}{3} + k \cdot \frac{3}{4} T R \cdot P_0 = \frac{P_0}{3} + 0,6 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{3}{4} \cdot 3 \cdot 10^3 \cdot P_0 = \frac{101}{60} P_0$$

Установив равновесие парных в конечном состоянии: $P_1 = P_2 + P_{\text{атм}}$

$$\frac{16}{3} P_0 = \frac{101}{60} P_0 + P_{\text{атм}}$$

$$P_0 = \frac{60}{219} P_{\text{атм}}$$

Ответ: 1) 4
2) $\frac{60}{219} P_{\text{атм}}$

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

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:



- | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <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!

№3.

Дано: Решение:

d

$$q(q>0)$$

m

$$U_1 = 5U$$

$$U_2 = U$$

$$V_0$$

$$1) a_{23}?$$

$$2) K_3 - K_2?$$

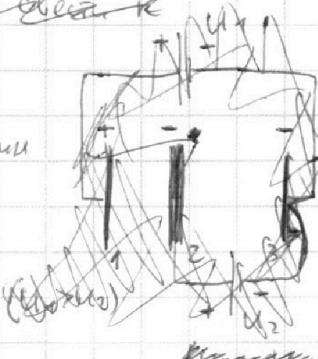
$$3) V_A - ?$$

~~Схему, данную в задаче решите сначала
эквивалентной:~~

1) В области 2-3 на частицу действует электрический

$$\text{сила } F_{23} = qE_{23}$$

$$E_{23} = \frac{U_2}{d}$$



2) По второму закону Ньютона: $ma_{23} = F_{23}$

$$a_{23} = \frac{F_{23}}{m} = \frac{qU_2}{md} = \frac{qU}{md}$$

2) Теорема об изменении кинетической энергии:

$$K_2 - K_0 = A_{12}; K_0 = \frac{mv_0^2}{2}; A_{12} - \text{работа электрических сил}$$

$$A_{12} = F_{12} \cdot \frac{d}{3} = qE_{12} \cdot \frac{d}{3}$$

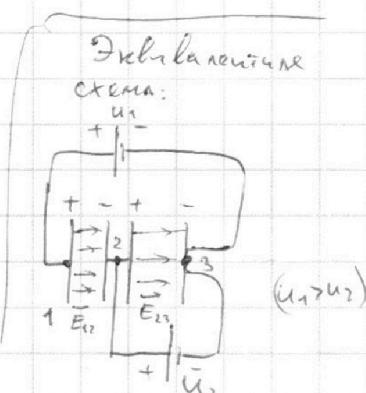
Последовательность: имеем: $\begin{cases} \varphi_1 - \varphi_3 = U_1 \\ \varphi_2 - \varphi_3 = U_2 \end{cases}$

$$\text{Откуда } \varphi_1 - \varphi_2 = U_1 - U_2 = 4U$$

$$E_{12} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d_{12}} = \frac{12U}{d}$$

$$A_{12} = q \cdot \frac{12U}{d} \cdot \frac{d}{3} = 4qU$$

$$K_2 = K_0 + A_{12} = 4qU + \frac{mv_0^2}{2} \quad (1)$$



Теорема об изменении кинетической энергии: $K_3 - K_2 = A_{23}$

A_{23} - работа электрических сил на участке 2-3.

$$A_{23} = F_{23} \cdot d = qE_{23} \cdot d = q\frac{U_2}{d} = qU$$

$$\text{т.е. } K_3 - K_1 = qU$$

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

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

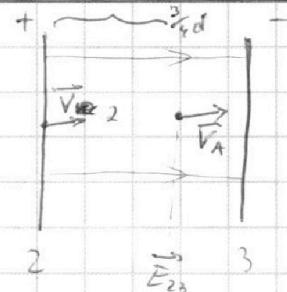
- | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <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!

3) Уз (1) находим $K_2 = 4qU + \frac{mV_0^2}{2}$

~~надо~~



По теореме об изменении кинетической энергии:

$$\cancel{\frac{mV_A^2}{2}} - K_2 = A_{\text{эн}}$$

$$A_{\text{эн}} = 9E_{23} \cdot \frac{3}{4}d = 9 \cdot \frac{3}{4}d \cdot \frac{U}{d} = \frac{3}{4}qU$$

$$\frac{mV_A^2}{2} = \frac{3}{4}qU + 4qU + \frac{mV_0^2}{2}$$

$$V_A = \sqrt{\frac{19}{2} \frac{qU}{m} + V_0^2}$$

3) Скорость V_0 частицы имеет вид от сечек, где потенциал принимается за ноль.

Потенциал ноль в центре в середине между сечками.

Т.е. в точке О скорость частицы

Очевидно: 1) $a_{23} = \frac{qU}{md}$

2) ~~а~~ $K_3 - K_2 = qU$

3) $V_A = \sqrt{\frac{19}{2} \frac{qU}{m} + V_0^2}$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:



- | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" 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!

№4.

Дано: Решение:

R

L

E

1) I₂₀ - ?

Самоиндукция $\mathcal{E}_{is} = -L \frac{di}{dt} = 0$.

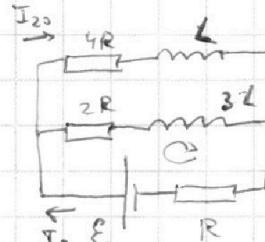
2) $\frac{dI}{dt}$ - ?

Закон Ома: $I_0 = \frac{E}{R + \frac{8R^2}{6R}} = \frac{3}{7} \frac{E}{R}$

3) q - ?

Коррекция: ~~Чтобы $\frac{dI}{dt} = 0$, нужно $2R = 3R$~~

Второе правило Кирхгофа по контуру $E - R - 4R - L$:



$$E = I_{20} \cdot 4R + I_0 R$$

$$I_{20} = \frac{E}{4R} - \frac{I_0}{4} = \frac{E}{4R} - \frac{3E}{28R} = \frac{1}{7} \frac{E}{R}$$

a) Сразу после замыкания ключа

ток через катушку $2L$ отсутствует, т.к. пропадает ~~заряд~~ ЭДС самоиндукции, возможен в начине.

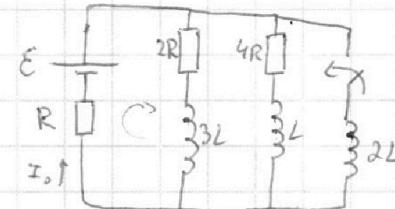
Затем второе правило Кирхгофа по контуру $E - R - 2L$ (сразу после замыкания)

$$E + \mathcal{E}_{is2} = I_0 R$$

$$E - 2L \frac{di}{dt} = \frac{3}{7} E$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{2}{7} \frac{E}{L}$$

3) Во время замыкания ключа:



Существо действие время после замыкания:

ток через $4R$ и L

$$I_{20} = \frac{1}{7} \frac{E}{R}$$

0

ток через R и C

$$I_0 = \frac{3}{7} \frac{E}{R}$$

$$I' = \frac{E}{R}$$

$$I'' = \frac{E}{R}$$

ток через $2L$

т.к. существует действие время после замыкания ток будем

ограничено

также в контуре $E - 2L - R$, т.к. катушки $2L$ не имеет конечных

(исчезнувших)

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

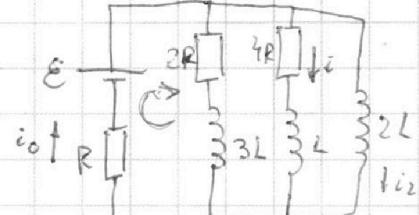
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

Запишем второе правило Кирхгофа в некоторый момент

времени после замыкания ключа: $E + E_{is} = i_0 R + i \cdot 4R$ (коэффиц. $E - R - \frac{1}{2}L$ - $4R$)

$$E - L \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t} = i_0 R + 4iR$$

$$\Delta t(E - i_0 R) = L \cdot \Delta i + 4iR \cdot \Delta t \quad (1) \quad (\Delta i \cdot \Delta t = \Delta q)$$



Запишем второе правило Кирхгофа

в некоторый момент времени после замыкания ключа $E - 2L - R$:

$$E + E_{is2} = i_0 R$$

$$E - 2L \frac{\Delta i_2}{\Delta t} = i_0 R$$

$$2L \cdot \Delta i_2 = (E - i_0 R) \Delta t$$

Суммарное от нач. момента до времени t выражение результата

$$2L \sum_{\Delta t_i} \Delta i_2 = \sum_{\Delta t_i} (E - i_0 R) \Delta t_i$$

или

$$2L (I' - 0) = \sum_{\Delta t_i} (E - i_0 R) \Delta t_i \quad \Rightarrow \text{т.е.} \quad \sum_{\Delta t_i} (E - i_0 R) \Delta t_i = 2L \frac{E}{R}$$

Теперь также процесс можно выразить (2):

$$\sum_{\Delta t_i} (E - i_0 R) \Delta t_i = L(0 - \frac{1}{2} \frac{E}{R}) + 4R \sum_{\Delta q_i} \Delta q_i$$

$\underbrace{\frac{2EL}{R}}$

$$2 \frac{EL}{R} = - \frac{1}{2} \frac{EL}{R} + 4R \cdot 9$$

откуда

$$OTK \text{ для } q = \frac{15}{28} \frac{EL}{R^2}$$

$$\text{Однако: } 1) I_{20} = \frac{1}{7} \frac{E}{R}; 2) \frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{1}{2} \frac{E}{R}; 3) q = \frac{15}{28} \frac{EL}{R^2}.$$

Проверка правильности табл.:

	Время замыкания	Сумм. выражение врем. после замык.
ток через $4R + L$ (i)	$I_{20} = \frac{1}{7} \frac{E}{R}$	0
ток через R (i_0)	$I_0 = \frac{3}{7} \frac{E}{R}$	$I' = \frac{E}{R}$
ток через $2L$ (ii)	0	$I' = \frac{E}{R}$

Эти значения необходимо для проверки:

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!

№5.

Дано:

$$1) n_8 = 1$$
$$n_1 = 1$$
$$n_2 = 1,7$$

$$2) n_8 = 1$$
$$n_1 = 1$$
$$n_2 = 1,7$$

~~запись~~

Решение:

1) Проделалось изображение призмы

n_2 не отклонится, т.к. угол отражения
равен 0° ($\sin 0 = 0$), т.е. будет на 0° .

Закон преломления: $n_2 \sin \beta = n_1 \sin \delta$

т.к. угол мал, то $n_2 \cdot \beta = n_1 \cdot \delta$

Следовательно $\beta = \delta$

$$h = 14 \text{ см}$$

$$a = 10 \text{ см}$$

$$d = 0,1 \text{ м}$$

$$1) \delta - ?$$

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

На рисунке видно, что $\delta = \beta - \beta = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \alpha$

$$2)$$

Задача №2 не преломление т.к. $n_1 = n_2$.

$$\delta = \alpha \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) = 0,7 \cdot 0,1 = 0,07 \text{ (рад)}$$

2). т.к. конец тонкий, то угол отклонения всегда **меньше**

запись δ .

