



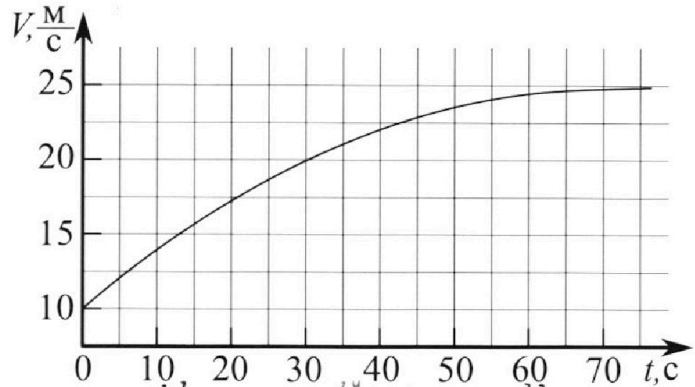
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## 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.



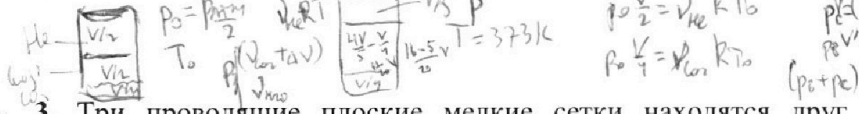
- 1) Используя график, найти ускорение автомобиля в начале разгона.
- 2) Найти силу тяги  $F_0$  в начале разгона.
- 3) Какая мощность  $P_0$  передается от двигателя на ведущие колеса в начале разгона?

Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

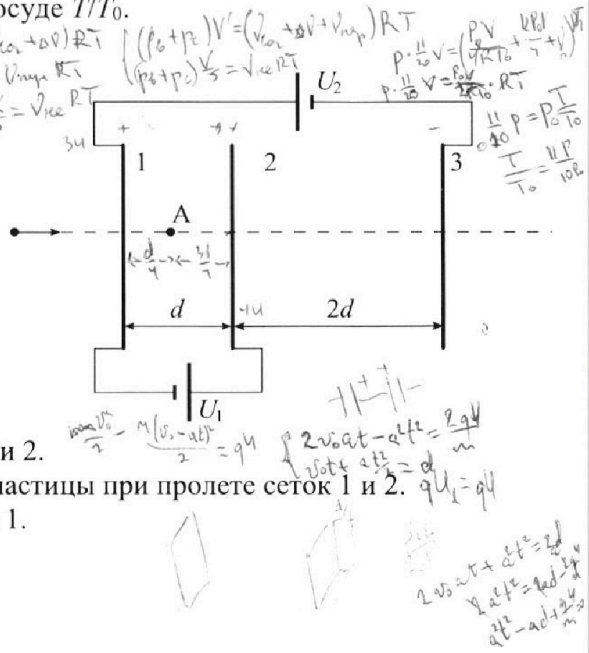
2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объёмом  $V$  разделён тонким невесомым теплопроводящим герметичным поршнем (диск соосный с сосудом) на две равные части. Поршень может перемещаться без трения. В верхней части цилиндра находится гелий, а в нижней - вода и углекислый газ. В начальный момент система находилась в равновесии при давлении  $P_0 = P_{\text{ATM}}/2$  ( $P_{\text{ATM}}$  - 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  $\Delta v$  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  $k \approx 0,5 \cdot 10^{-3}$  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.

- 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 А на расстоянии  $d/4$  от сетки 1.

# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 11-03

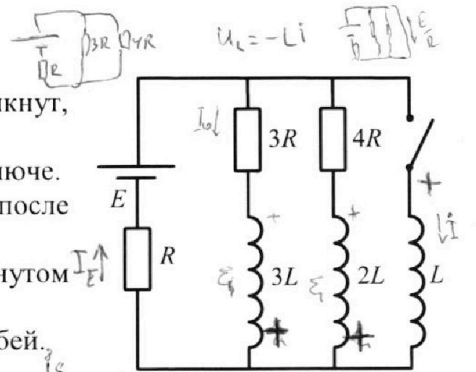
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.



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

- 1) Найти ток  $I_{10}$  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.



$$\frac{12^2 \cdot 3}{2} = \frac{134}{R}$$

$$\mathcal{E}_3 = 3I_3 R + I_3 R - E$$

$$\mathcal{E}_3 = 4I_3$$

$$L_3 \dot{I}_3 = I_3 R$$

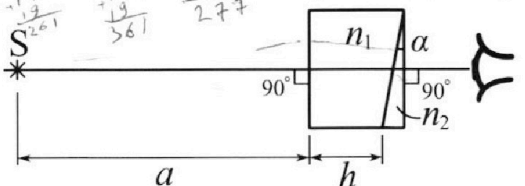
$$\frac{1}{2} \frac{dI}{dt}$$

$$\frac{1}{3} \frac{dI}{dt}$$

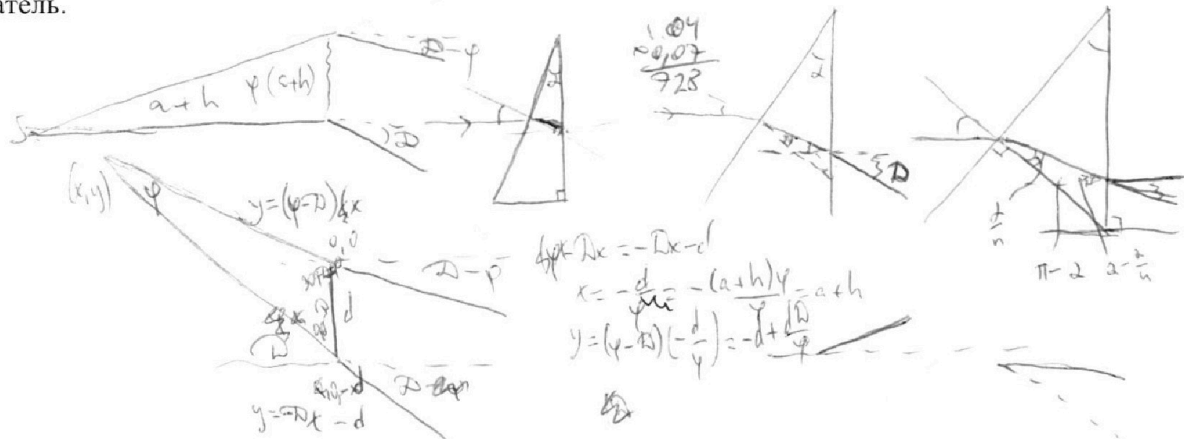
$$\frac{1}{2} \frac{dI}{dt}$$

$$-I_1 R + E - I_3 \cdot 3R + \mathcal{E}_3 = 0$$

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  $a = 90$  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  $n_1 = n_b = 1,0$ ,  $n_2 = 1,7$ , 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.



$$d \frac{dx}{dt} = -dx - d$$

$$x = -\frac{d}{\mu} = -(a+h) \frac{y}{h} = a+h$$

$$y = (y-d) \left( -\frac{d}{y} \right) = -d + \frac{d^2}{y}$$

$$-E + IR + L \dot{I} = 0$$

$$\dot{I} = \frac{E}{L} - \frac{R}{L} I$$



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"/>	<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!

№1

1) В начале разгона (при  $t \leq 20$  с) график  $V(t)$  с хорошей точностью  
прямой  $\Rightarrow$  ускорение почти постоянно.

По графику скорость  $V$  (время  $t = 0$  с)  $\approx 10$  м/с;  $V(20$  с)  $\approx 17,5$  м/с.

Ускорение  $a = \frac{\text{изменение } V}{\text{изменение } t} = \frac{17,5 \text{ м/с} - 10 \text{ м/с}}{20 \text{ с} - 0 \text{ с}} = \frac{7,5 \text{ м/с}}{20 \text{ с}} = 0,375 \text{ м/с}^2$

Ответ:  $a = 0,375 \text{ м/с}^2$ .

2) По графику конечная скорость  $v_k = 25$  м/с. Пусть  $\alpha$  - коэффициент  
целости, с которым сила сопротивления пропорциональна  
скорости. Сила сопротивления в конце разгона  $= \alpha v_k$ ,  
в начале  $= \alpha v_0$ , где  $v_0 = 10$  м/с - начальная скорость (по графику)

Т.к. в конце разгона ускорение  $= 0$ , II закон Ньютона:

в начале:  $ma = F_0 - \alpha v_0$ ; в конце:  $m \cdot 0 = F_k - \alpha v_k$

(т.к. на автомобиль действует сила тяжести и сопротивление воздуха)  
 $\Rightarrow \alpha = \frac{F_k}{v_k}$ ;  $F_0 = ma + \alpha v_0 = ma + \frac{F_k \cdot v_0}{v_k} = 7500 \text{ кг} \cdot 0,375 \text{ м/с}^2 +$   
 $+ 600 \text{ Н} \cdot \frac{10 \text{ м/с}}{25 \text{ м/с}} = \frac{5}{2} = 562,5 \text{ Н} + 240 \text{ Н} = 802,5 \text{ Н}$

Ответ:  $F_0 = 802,5 \text{ Н}$ .

3) Т.к. <sup>в начале</sup> сила со стороны двигателя  $= F_0$ , скорость  $= v_0$ , то  
он передает мощность  $P_0 = F_0 v_0 = 802,5 \text{ Н} \cdot 10 \text{ м/с} = 8025 \text{ Вт}$   
Ответ:  $P_0 = 8025 \text{ Вт}$ .

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!



№2

1) Пусть в начале кол-во гелия —  $\nu_{He}$ , углекислого газа —  $\nu_{CO_2}$ .  
 В верхней части объем  $\frac{V}{2}$ , давление  $P_0$ ; в нижней — тоже, температура кол-во большого газа можно перебрать, т.к. можно его разделить. Эти моменты — Клендерман для He:  $P_0 \cdot \frac{V}{2} = \nu_{He} R T_0$ ,  
 для  $CO_2$ :  $P_0 \cdot \frac{V}{4} = \nu_{CO_2} R T_0$

Объем  $CO_2 = \frac{V}{2} - \frac{V}{4}$ , т.е. газ занимает  $\frac{V}{4}$ , газ свободно  $\frac{V}{4}$

$$\nu_{He} = \frac{P_0 V}{2 R T_0}; \quad \nu_{CO_2} = \frac{P_0 V}{4 R T_0}; \quad \frac{\nu_{He}}{\nu_{CO_2}} = \frac{4}{2} = \frac{2}{1}$$

$\swarrow$  вес газ вверх  
 $\nwarrow$  вес газ вниз

Ответ:  $\frac{\nu_{He}}{\nu_{CO_2}} = 2:1$ .

2) До нагревания в газе было некоторое количество  $\Delta V = k \cdot P_0 \cdot \frac{V}{4} \Rightarrow$   
 $\Rightarrow$  после нагревания, когда кинематика не работает, кол-во  $CO_2 = (\nu_{CO_2} + \Delta V)$ .

Внизу объем газа будет  $V - \frac{V}{5} - \frac{V}{4} = \frac{20V - 5V - 5V}{20} = \frac{11V}{20}$ . Пусть установившееся давление —  $P$  (оно в обеих частях, т.е. поршень движется без трения). Кол-во большого газа после нагревания —  $\nu_n$ , его парциальное давл. —  $P_n \Rightarrow$  парц. давл.  $CO_2 = P - P_n$ .

Упр-ие Менделеев-Клапейрон сверху:  $P \cdot \frac{V}{5} = \nu_{He} R T$ ,

внизу:  $P \cdot \frac{11V}{20} = (\nu_{CO_2} + \Delta V + \nu_n) R T$

~~$\frac{11}{20} P$~~  отсюда для  $CO_2$ :  $(P - P_n) \cdot \frac{11V}{20} = (\nu_{CO_2} + \Delta V) R T$   $\left( \frac{P V}{5} = \frac{P_0 V}{2 R T_0} \cdot R T \Rightarrow \frac{T}{T_0} = \frac{2}{5} \cdot \frac{P}{P_0} \right)$

для газа:  $P_n \cdot \frac{11V}{20} = \nu_n R T$   $\left( (P - P_n) \cdot \frac{11V}{20} = \left( \frac{P_0 V}{4 R T_0} + \frac{k P_0 V}{4} \right) R T \right)$

$$\frac{11}{20} (P - P_n) = \left( \frac{P_0}{4 R} \cdot \frac{2 P}{5 P_0} \cdot T + \frac{k P_0}{4} \right) R T$$

$$\frac{11}{20} (P - P_n) = \frac{P_0}{4} \left( \frac{5 P}{2 P_0} + k R T \right)$$

$$P - P_n = \frac{5}{11} P_0 \left( \frac{5 P_0}{2 P} + k R T \right)$$

$$P_n = P - \frac{5}{11} P_0 \left( \frac{5 P_0}{2 P} + k R T \right)$$

$$\nu_n = \frac{11 V}{20 R T} \cdot P_n = \frac{11 V}{20 R T} \left( P - \frac{5}{11} P_0 \left( \frac{5 P_0}{2 P} + k R T \right) \right)$$



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

2) Разность потенциалов между 1 и 2 создаётся зарядом  $U_1 \Rightarrow$   
 $\Rightarrow$  при прохождении между ними частица приобретает кин.  
 энергию:  $K_1 - K_2 = q(\varphi_1 - \varphi_2) = q(\varphi_2 - \varphi_1) = qU_1 = qU$   
 (или  $K_2 - K_1 = q(-U)$ )  
 разность потенциалов между 1 и 2  
 Ответ:  $K_1 - K_2 = qU$ .

1) Так как плоский конденсатор из сеток 2 и 3 не создаёт поля  
 вне себя, здесь поле создаётся только плоским конденсатором  
 из сеток 1 и 2. Но ~~он не создаёт~~  $U$  1 и 2 не создают поле  
 вне себя  $\Rightarrow$  частица движется по  $\perp$  с начальной  $v_0$ .

Внутри конденсатора электрическое поле постоянно, пусть оно  $= a$ .  
 Пусть частица пролетит 1  $\rightarrow$  2 за время  $t$ . Пусть  $d =$   
 $\rightarrow v_0 t - \frac{at^2}{2} = d$  (потенциал 2  $>$  чем у 1  $\Rightarrow a$  замедляет)  
 $2v_0 t - at^2 = 2d$  (1)

Закон сохр. эк-и:  $\frac{mv_0^2}{2} - qU = \frac{m(v_0 - at)^2}{2}$   
 $mv_0^2 - 2qU = mv_0^2 - 2mv_0 at + mat^2$

или  $2v_0 at - at^2 = \frac{2qU}{m}$  (2)

по формуле (2) из (1):  $a = \frac{qU}{md}$   
 Ответ:  $a = \frac{qU}{md}$ .

3) Пусть частица пролетит по А за время  $\tau$ :

~~$v_0 \tau - \frac{a\tau^2}{2} = \frac{d}{4}$~~   
 ~~$v_0 \tau - \frac{\tau^2 \cdot \frac{qU}{2md}}{2} = \frac{d}{4}$~~   
 ~~$\tau^2 - \frac{2mdv_0 \cdot \tau + \frac{md^2}{2}}{2} = 0$~~   
 ~~$\tau = \frac{mdv_0 \pm \sqrt{md^2(mv_0^2 - \frac{qU}{2})}}{qU}$~~   
 т.е.  $\sqrt{md^2(mv_0^2 - \frac{qU}{2})}$

Для прохождения частицы по А за время  $\tau$   
 времени её путь пролетит

Пусть частица пролетит по А за время  $\tau$ :

$v_0 \tau - \frac{a\tau^2}{2} = \frac{d}{4} \Rightarrow$  Пусть  $2a\tau^2 - 4v_0 \tau + d = 0$   
 $\frac{2qU}{md} \tau^2 - 4v_0 \tau + d = 0$   
 $\frac{d}{4} = 4v_0^2 - d \cdot \frac{2qU}{md} = 4v_0^2 - \frac{2qU}{m}$   
 $\tau = \frac{2v_0 \pm \sqrt{4v_0^2 - \frac{2qU}{m}}}{\frac{2qU}{md}} \cdot md \frac{md}{2qU}$

Возьмём только  $-$ , т.к.  $+$  частица успеет пролететь по 1 и 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 (сформулировано)

$$\tau = \frac{md}{2gH} (2v_0 - \sqrt{4v_0^2 - \frac{2gH}{m}})$$

После этого скорости достигнут -  $v = v_0 - a\tau = v_0 - \frac{gH}{md} \cdot \frac{md}{2gH}$   
 $\cdot (2v_0 - \sqrt{4v_0^2 - \frac{2gH}{m}}) = v_0 - (v_0 - \frac{1}{2}\sqrt{4v_0^2 - \frac{2gH}{m}}) = \sqrt{v_0^2 - \frac{gH}{2m}}$

Ответ:  $v = \sqrt{v_0^2 - \frac{gH}{2m}}$



1  2  3  4  5  6  7

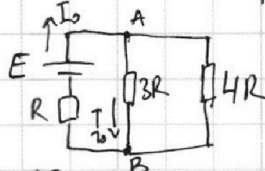
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



№4

1) Рассмотрим установившийся дозарядочный режим: все токи в катушках постоянны  $\Rightarrow$  индуцируется ЭДС = 0, катушки можно заменить перемычками. Ток через  $L$  не течет так, т.к. ключ разомкнут  $\Rightarrow$  её можно выкинуть.

Схема эквивалентная:



A - потенциал у положительной клеммы источника, B - у общего клемм резистора R

$3R$  и  $4R$  параллельно, R последовательно им  $\Rightarrow$  общее сопротивление

$$R_0 = R + \frac{3R \cdot 4R}{3R + 4R} = R + \frac{12}{7}R = \frac{19}{7}R$$

Ток через источник -  $I_0 = \frac{E}{R_0} = \frac{7E}{19R}$

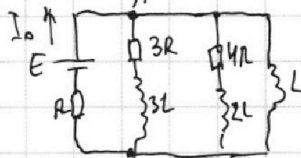
на R падает напряжение  $I_0 R$ ; разность потенциалов на AB -  $E - I_0 R$

$\Rightarrow$  падение на  $3R$  -  $E - I_0 R$ , оно же по закону Ома  $3R \cdot I_{10}$

$$\Rightarrow I_{10} = \frac{E - I_0 R}{3R} = \frac{E - \frac{7E}{19R} \cdot R}{3R} = \frac{19E - 7E}{3R \cdot 19} = \frac{12E}{57R}$$

Ответ:  $I_{10} = \frac{12E}{57R}$

2) Т.к. сразу после замыкания ток резко не меняется, он останется на мгновенном уровне  $I_0 \Rightarrow$  разность потенциалов AB останется  $= E - I_0 R = \frac{19E - 7E}{19} = \frac{12E}{19}$



После замыкания цель состоит:

Разной потенциалов A-B совпадает с ЭДС, индуцируемой в  $L$  (какой её  $\mathcal{E}_i$ )  $\Rightarrow |\mathcal{E}_i| = \frac{12E}{19}$

Т.к. по закону Фарадея-Максвелла  $|\mathcal{E}_i| = L \dot{I}$ , где  $\dot{I}$  - скорость возрастания тока в катушке, то  $\dot{I} = \frac{|\mathcal{E}_i|}{L} = \frac{12E}{19L}$

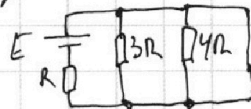
Ответ:  $\dot{I} = \frac{12E}{19L}$

3) До замыкания и в момент размыкания ток через  $4R$  -  $I_{20} = \frac{12E}{19 \cdot 4R} = \frac{3E}{19R}$ , т.к. разность потенциалов - та же A-B.

В тот же момент энергии в катушке  $3L$  -  $W_{10} = \frac{3L \cdot I_{10}^2}{2} = \frac{3L \cdot (12E)^2}{2 \cdot (57R)^2} = \frac{18LE^2}{(19R)^2}$

и в катушке  $4L$  -  $W_{20} = \frac{4L \cdot I_{20}^2}{2} = \frac{4L \cdot (3E)^2}{2 \cdot (19R)^2} = \frac{18LE^2}{(19R)^2}$

Рассм. установившийся после замыкания режим: токи постоянны  $\Rightarrow$  катушки заменить перемычками.





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!

Т.к. резистором  $3R$  и  $4R$  параллельная цепь (NY (трансформация))  
мощн, ток через них (и посл. им ветви) не течёт  $\Rightarrow$   
 $\Rightarrow$  энергия в  $3L$  ~~и много позже замкнется~~  $- W_{11} = \frac{3L \cdot 0^2}{2} =$   
 $= 0$ , в  $4L - W_{221} = \frac{4L \cdot 0^2}{2} = 0$

Ток через вет.  $- I_1 = \frac{E}{R}$  т.к. общ. сопр.  $= R \Rightarrow$   
 $\Rightarrow$  энергия в  $L - W_{31} = \frac{R \cdot L \cdot I_1^2}{2} = \frac{LE^2}{2R^2}$

До замыкания через  $L$  не течёт ток  $\Rightarrow$  энергия в  $L$  док  $W_{30} = \frac{L \cdot 0^2}{2} = 0$

Работа источника  $A_{ист} = \text{изменение магн. энергии} = (W_{11} - W_{10}) +$   
 $+ (W_{21} - W_{20}) + (W_{31} - W_{30}) = -\frac{216LE^2}{(57R)^2} - \frac{18LE^2}{(19R)^2} + \frac{LE^2}{2R^2} = \frac{LE^2}{R^2} \cdot$   
 $\cdot \left( \frac{1}{2} - \frac{216}{3^2 \cdot 19^2} - \frac{18}{19^2} \right) = \frac{LE^2}{R^2} \left( \frac{1}{2} - \frac{24+18}{19^2} \right) = \frac{LE^2}{R^2} \left( \frac{1}{2} - \frac{42}{19^2} \right) = \frac{LE^2}{R^2} \cdot \frac{381-84}{2 \cdot 361} =$   
 $= \frac{277LE^2}{722R^2}$

$A_{ист} = qE$ , где  $q$  — заряд, прош. через вет.  $\Rightarrow q = \frac{A_{ист}}{E} = \frac{277LE}{722R^2}$





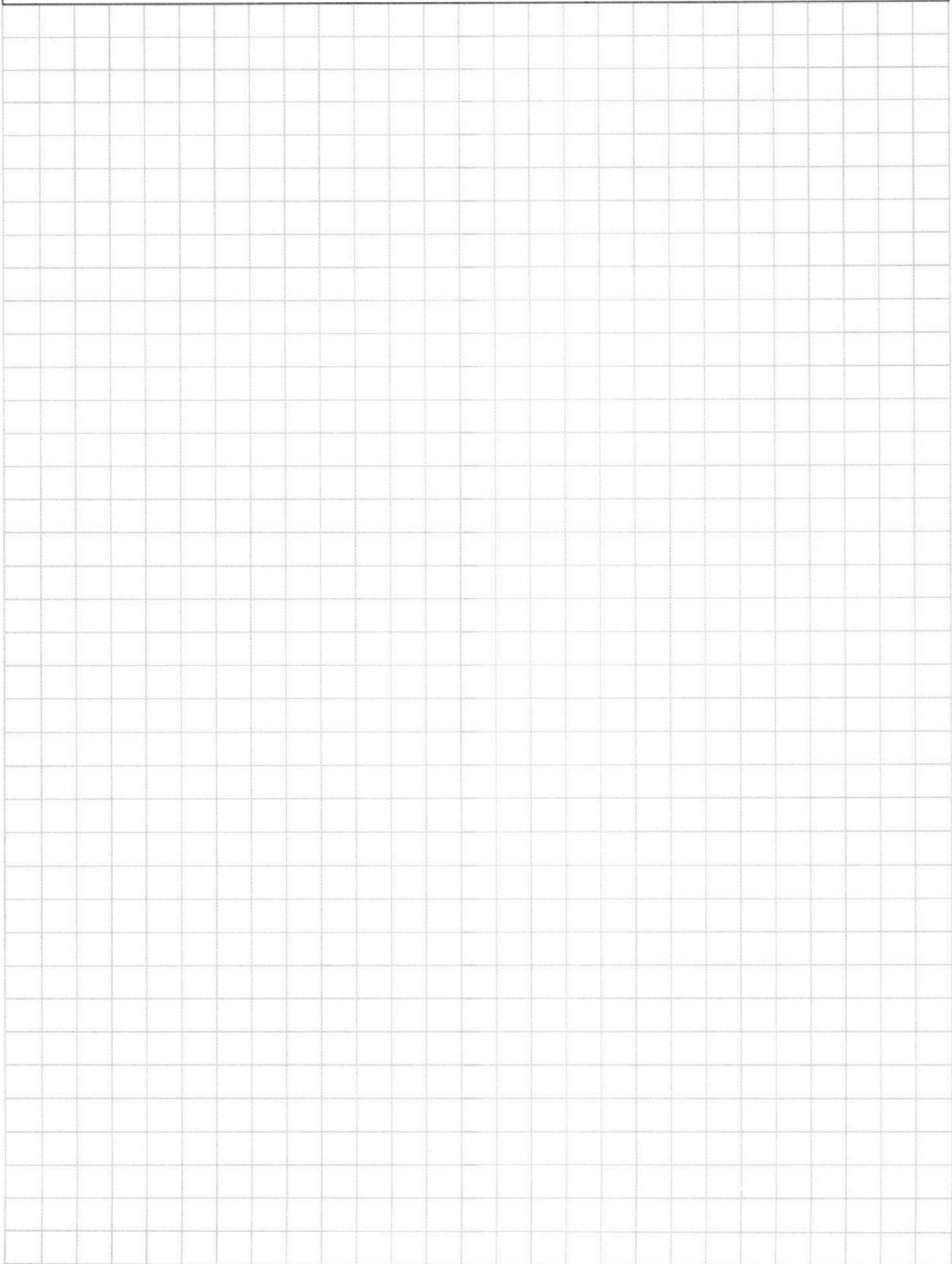
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!







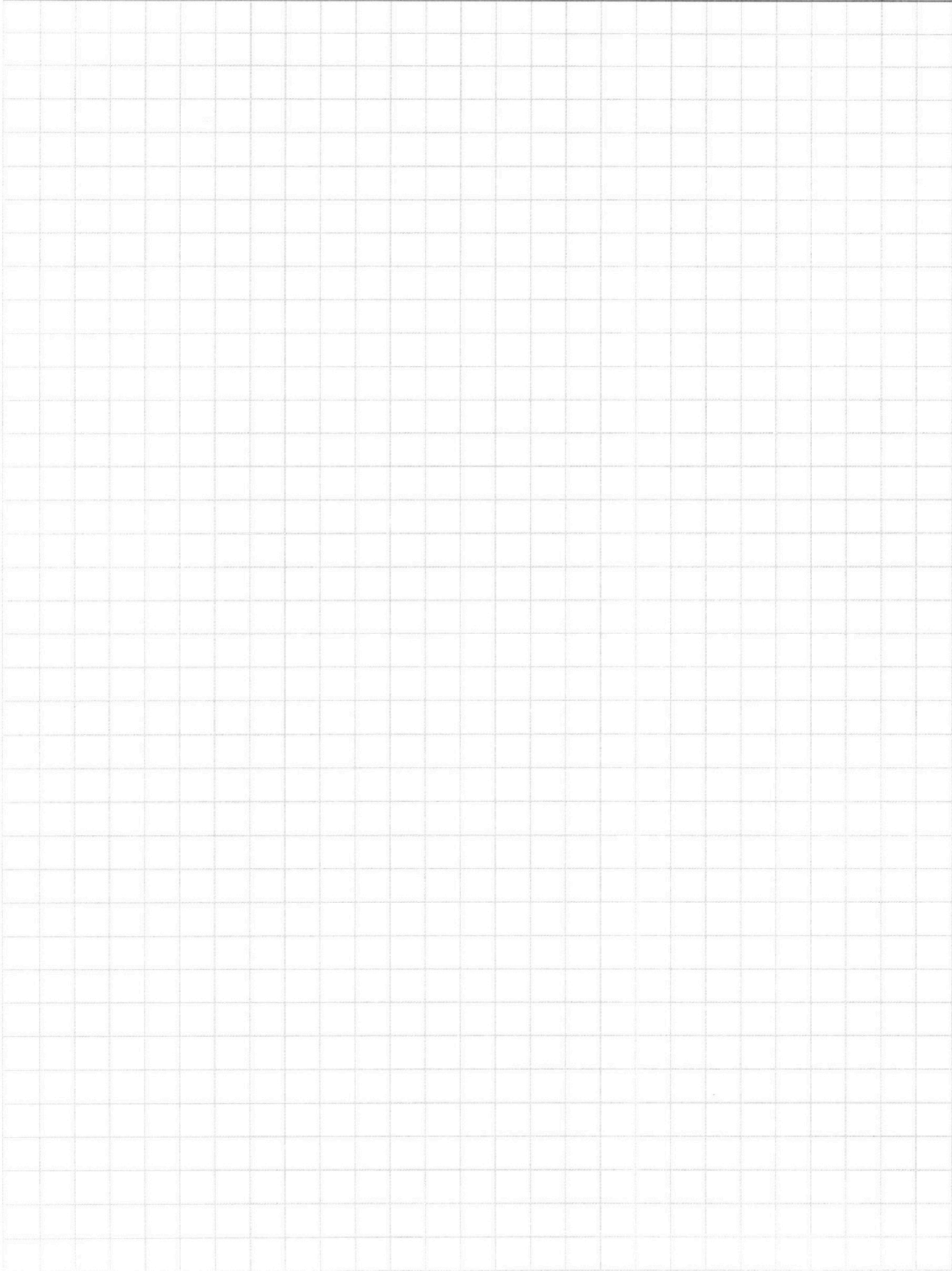
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<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
<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!

