

# Интересные задачи открытого банка заданий ЕГЭ

Бородин И.Д.  
учитель физики Лицея № 130.  
bujhm61@mail.ru

# Часть 1. Механические явления

Установление соответствия физической величины и характера ее изменения.

6

Высота полёта искусственного спутника над Землёй увеличилась с 400 до 500 км. Как изменились в результате этого скорость спутника и его потенциальная энергия?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличилась
- 2) уменьшилась
- 3) не изменилась

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

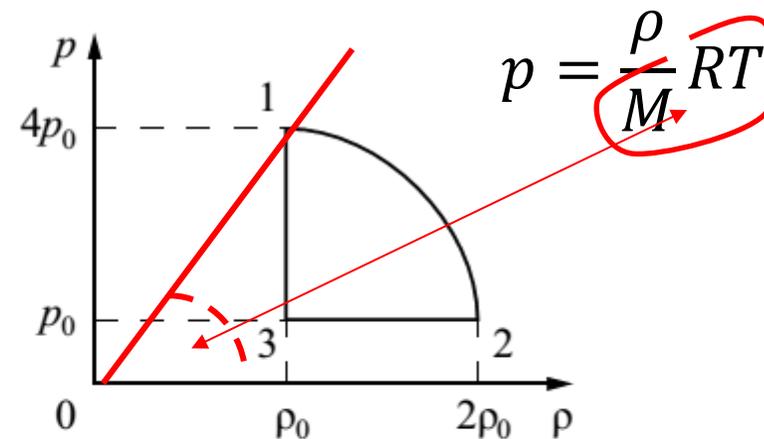
Скорость спутника	Потенциальная энергия спутника	ускорение	период
<b>2</b>	<b>1</b>		

$$G \frac{\cancel{mM}}{R^2} = \cancel{m} \frac{v^2}{\cancel{R}}$$

$$E_k \downarrow + E_p \uparrow = const$$

# Умение читать графики функций

**11** На рисунке показана зависимость давления газа  $p$  от его плотности  $\rho$  в циклическом процессе, совершаемом 2 моль идеального газа в идеальном тепловом двигателе. Цикл состоит из двух отрезков прямых и четверти окружности. На основании анализа этого циклического процесса выберите два верных утверждения.



- + 1) В процессе 1–2 температура газа уменьшается.
- 2) В состоянии 3 температура газа максимальна.
- 3) В процессе 2–3 объём газа уменьшается.
- + 4) Отношение максимальной температуры к минимальной температуре в цикле равно 8.
- 5) Работа газа в процессе 3–1 положительна.

Ответ:

**14**

Демо 2017

14

На графике показана зависимость силы тока в проводнике от времени. Определите заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за  $\Delta t = 60$  с.



205 – 34,0%

120 – 11,4%

180 – 7,4%

300 – 2,2%

Ответ: 205 Кл.

59 вариантов ответов на  
403 участника

$$U = \mathcal{E} - Ir$$

$$0 = \mathcal{E} - I_{\text{кз}}r$$

$$U = \mathcal{E} - 0 \cdot r$$

На рис. 1 приведена схема установки, с помощью которой исследовалась зависимость напряжения на реостате от величины протекающего тока при движении ползунка реостата **справа налево**. На рис. 2 приведены графики, построенные по результатам измерений для двух разных источников напряжения.

Выберите два утверждения, соответствующих результатам этих опытов, и запишите в таблицу цифры, под которыми указаны эти утверждения. Вольтметр считать идеальным.

- 1) При силе тока 12 А вольтметр показывает значение ЭДС источника.
- + 2) Ток короткого замыкания равен 12 А.
- 3) Во втором опыте сопротивление резистора уменьшалось с большей скоростью.
- + 4) Во втором опыте ЭДС источника в 2 раза меньше, чем в первом.
- 5) В первом опыте ЭДС источника равна 5 В.

Ответ: 

2	4
---	---

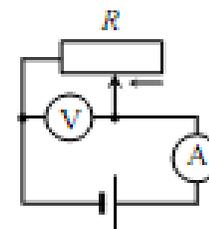


Рис. 1

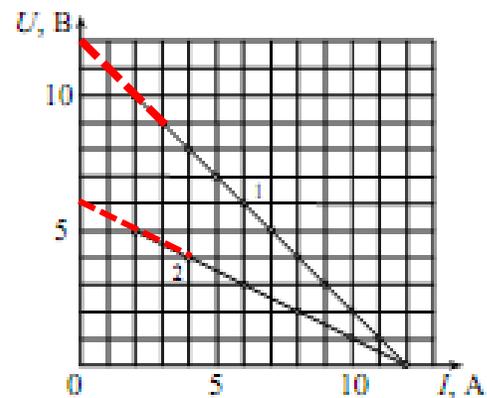


Рис. 2

# Часть 1. Тепловые явления. Чтение таблицы

Тренировка 2018

11

При изучении процессов, происходящих с аргоном, школьник занёс в таблицу результаты измерения температуры и давления одного и того же количества газа в различных равновесных состояниях. Какие **два** из утверждений, приведённых ниже, соответствуют результатам этих опытов? Газ считать идеальным.

№ состояния	1	2	3	4	5	6	7
$p$ , кПа	100	90	75	50	55	75	100
$t$ , °C	27	27	27	27	57	177	327

- 1 Внутренняя энергия газа в состоянии 7 в 2 раза меньше, чем в состоянии 3 )

+ 2 При переходе от состояния 2 к состоянию 3 в ходе изотермического процесса газ получил положительное количество теплоты.

- 3 При переходе из состояния 1 в состояние 7 объём газа постоянно уменьшался. )

- 4 При переходе от состояния 4 к состоянию 7 газ совершил положительную работу. )

+ 5 Объём газа в состоянии 4 в 2 раза больше объёма газа в состоянии 1. )

$$pV = \nu RT$$

$$\frac{50}{300} = \frac{100}{600} \Rightarrow V_4 = V_7$$

$$U = \frac{3}{2} \nu RT \quad Q = \Delta U + A_{\text{газа}}$$

$$V \uparrow \Rightarrow A_{\text{газа}} > 0$$

$$V \downarrow \Rightarrow A_{\text{надгазом}} > 0$$

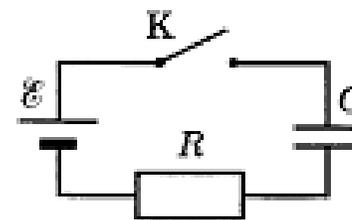
Ответ:

2	5
---	---

# Умение читать таблицы

16

Конденсатор подключён к источнику тока последовательно с резистором  $R = 20 \text{ кОм}$  (см. рисунок). В момент времени  $t = 0$  ключ замыкают. В этот момент конденсатор полностью разряжен. Результаты измерений силы тока в цепи, выполненных с точностью  $\pm 1 \text{ мкА}$ , представлены в таблице.



$t, \text{ с}$	0	1	2	3	4	5	6
$I, \text{ мкА}$	300	110	40	15	5	2	1

Выберите *два* утверждения, соответствующих результатам этого опыта, и укажите их номера. Внутренним сопротивлением источника и сопротивлением проводов пренебречь.

- 1) В течение первой секунды ток через резистор не течёт.
- 2) В момент времени  $t = 2 \text{ с}$  напряжение на резисторе равно  $5,2 \text{ В}$ .
- 3) В течение всего времени наблюдения конденсатор заряжается.
- 4) ЭДС источника тока равна  $12 \text{ В}$ .
- 5) В момент времени  $t = 4 \text{ с}$  напряжение на конденсаторе равно  $4,9 \text{ В}$ .

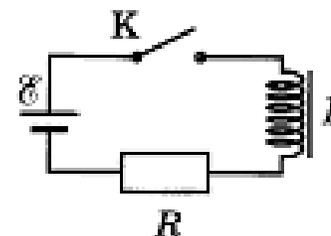
Ответ: 2 3

$$\varepsilon = IR + U_c \quad U_c = 0 \quad \text{при} \quad t = 0$$

# Умение читать таблицы

16

Катушка индуктивности подключена к источнику тока с пренебрежимо малым внутренним сопротивлением через резистор  $R = 60$  Ом (см. рисунок). В момент  $t = 0$  ключ  $K$  замыкают. Значения силы тока в цепи, измеренные в последовательные моменты времени с точностью  $0,01$  А, представлены в таблице. Сопротивление провода катушки пренебрежимо мало.



$$\varepsilon + \varepsilon_S = IR$$

$$W = \frac{LI^2}{2}$$

$t, \text{ с}$	0	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
$I, \text{ А}$	0	0,12	0,19	0,23	0,26	0,28	0,29	0,30	0,30

Выберите *два* верных утверждения о процессах, происходящих в цепи.

- 1) Энергия катушки максимальна в момент времени  $t = 0$  с.
- 2) Напряжение на катушке максимально в момент времени  $t = 6,0$  с.
- 3) Модуль ЭДС самоиндукции катушки в момент времени  $t = 2,0$  с равен  $2,4$  В.
- 4) Напряжение на резисторе в момент времени  $t = 1,0$  с равно  $1,9$  В.
- 5) ЭДС источника тока равна  $18$  В.

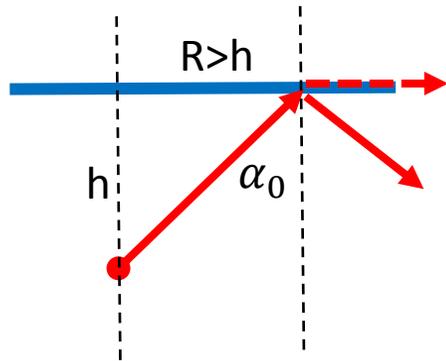
Ответ: 35

$$\varepsilon_S = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad \varepsilon_S = 0 \quad \text{Когда } I = 0,3 \text{ А}$$

# Умение читать таблицы

16

Точечный источник света находится в ёмкости с жидкостью и опускается вертикально вниз от поверхности жидкости. При этом на поверхности жидкости возникает пятно, в пределах которого лучи света от источника выходят из жидкости в воздух. Глубина погружения источника (расстояние от поверхности жидкости до источника света), измеренная через равные промежутки времени, а также соответствующий радиус светлого пятна представлены в таблице. Погрешность измерения глубины погружения и радиуса пятна составила 1 см. Выберите два верных утверждения на основании данных, приведённых в таблице.



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

$$n \cdot \sin \alpha_0 = 1 \cdot 1$$

$$n = \frac{1}{\sin \alpha_0} < \sqrt{2}$$

Глубина погружения, см	10	20	30	40	50	60	70
Радиус пятна, см	12	24	36	48	60	72	84

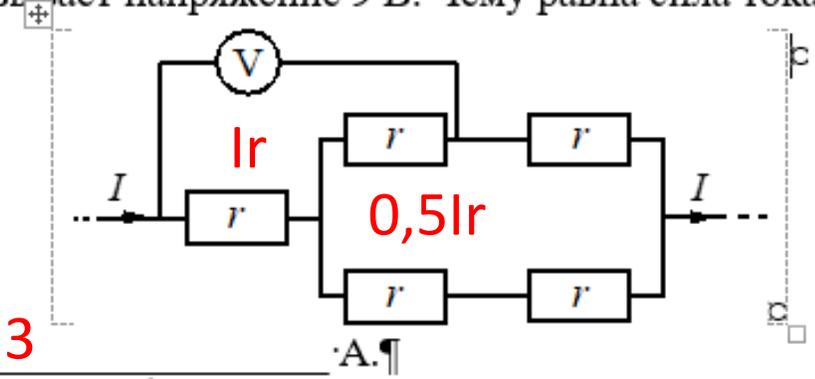
- 1) Образование упомянутого пятна на поверхности обусловлено дисперсией света в жидкости.
- 2) Предельный угол полного внутреннего отражения меньше  $45^\circ$ .
- + 3) Показатель преломления жидкости меньше 1,5.
- + 4) Образование пятна на поверхности обусловлено явлением полного внутреннего отражения.
- 5) Граница пятна движется с ускорением.

Ответ:

**3 4**

Демо 2017

14. Пять одинаковых резисторов с сопротивлением 2 Ом соединены в электрическую цепь, через которую течёт ток  $I$  (см. рисунок). Идеальный вольтметр показывает напряжение 9 В. Чему равна сила тока  $I$ ?

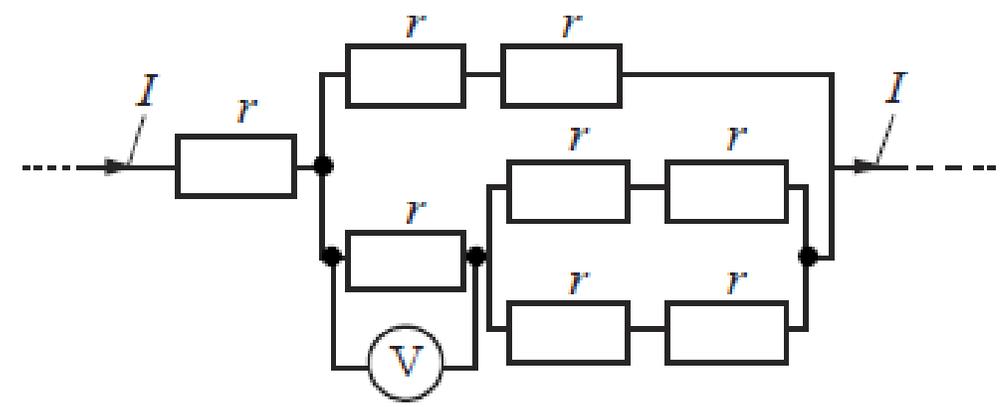


$$U = IR$$

$$9 = 1,5Ir$$

Ответ: 3 А.

14. Восемь одинаковых резисторов с сопротивлением  $r = 1$  Ом соединены в электрическую цепь, через которую течёт ток  $I = 4$  А (см. рисунок). Какое напряжение показывает идеальный вольтметр?



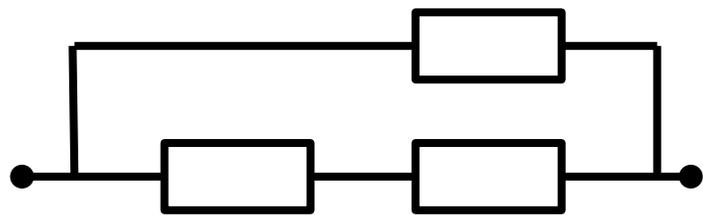
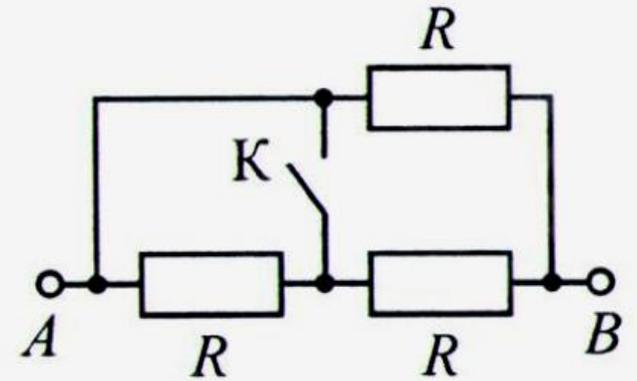
Демоверсия  
2021

Ответ: 2 В.

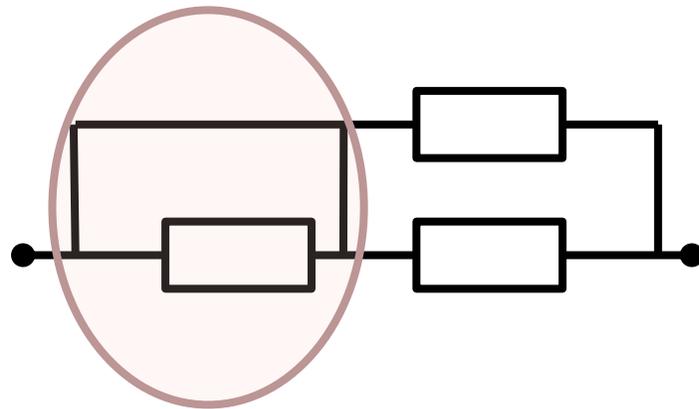
14

На сколько уменьшится сопротивление участка цепи  $AB$ , изображённого на рисунке, после замыкания ключа  $K$ , если сопротивление каждого резистора  $R = 6 \text{ Ом}$ ?

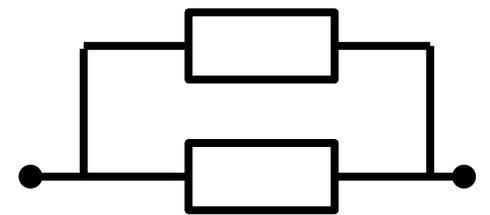
Ответ: на 1 Ом.



$R = 4 \text{ Ом}$



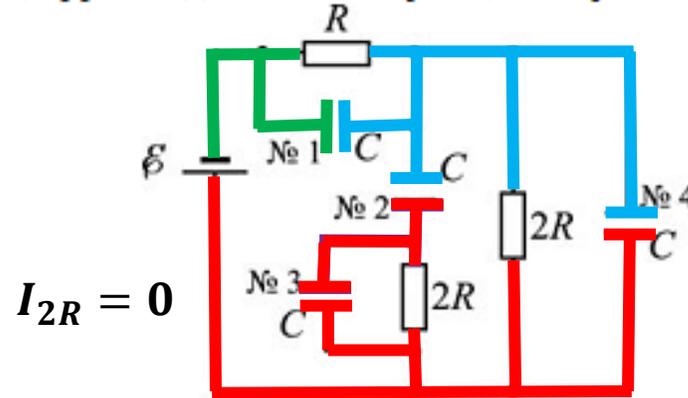
*Сопротивление бесполезно !*



$R = 3 \text{ Ом}$

**В4**

В электрической цепи, схема которой показана на рисунке, энергия конденсатора №1 равна  $W$ . Чему равна энергия конденсатора №3 и конденсатора №4? Установите соответствие между физическими величинами и их значениями. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.



$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{C(IR)^2}{2}$$

$$W_4 = \frac{C(I \cdot 2R)^2}{2} = 4W$$

**ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА**      **ЕЁ ЗНАЧЕНИЕ**

- |                            |         |
|----------------------------|---------|
| А) энергия конденсатора №3 | 1) 0    |
| Б) энергия конденсатора №4 | 2) $W$  |
|                            | 3) $2W$ |
|                            | 4) $4W$ |

Ответ:

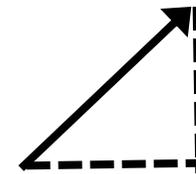
А	Б
1	4

24

Из начала декартовой системы координат в момент времени  $t = 0$  тело (материальная точка) брошено под углом к горизонту. В таблице приведены результаты измерения координат тела  $x$  и  $y$  в зависимости от времени наблюдения. Выберите два верных утверждения на основании данных, приведённых в таблице.

Время, с	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Координата $x$ , м	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4
Координата $y$ , м	0,35	0,60	0,75	0,80	0,75	0,60	0,35	0

- 1) В момент времени  $t = 0,4$  с скорость тела равна 3 м/с.
- 2) Проекция скорости  $v_y$  в момент времени  $t = 0,2$  с равна 2 м/с.
- 3) Тело бросили со скоростью 6 м/с.
- 4) Тело бросили под углом  $45^\circ$ .
- 5) Тело поднялось на максимальную высоту, равную 1,2 м.



Ответ:

**1 2**

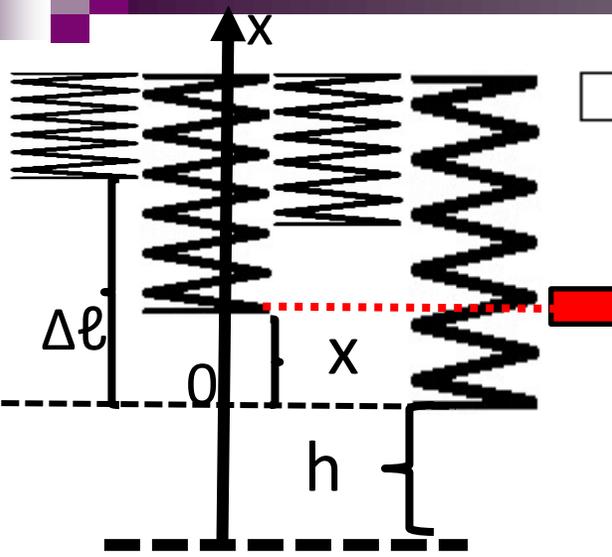
$$x = v_{0x}t$$

$$y = v_{0y}t - \frac{gt^2}{2}$$

$$v_y = v_{0y} - gt$$

$$0 = v_{0y} - 10 \cdot 0.4$$

$$v_y = 4 - 10 \cdot 0.2$$



6 Массивный груз, подвешенный к потолку на пружине, совершает вертикальные свободные колебания. Пружина всё время остаётся растянутой. Как изменяются кинетическая энергия груза и его потенциальная энергия в поле тяжести, когда груз движется вниз от положения равновесия? Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) не изменяется

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Кинетическая энергия груза	Потенциальная энергия груза в поле тяжести	Потенциальная энергия упругой деформации	Потенциальная энергия колебательной системы
2	2		

$$E_{п\ грав} = mgh \quad \downarrow$$

$$E_{п\ упр} = \frac{k\Delta\ell^2}{2} \quad \uparrow$$

$$E_{п} = E_{\downarrow} \quad E_{к} = \frac{kx^2}{2} \quad \uparrow$$

6 На поверхности воды плавает сплошной деревянный брусок. Как изменятся глубина погружения бруска и сила Архимеда, действующая на брусок, если его заменить сплошным бруском той же плотности и высоты, но большей массы? Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

$$\rho_{ж} g V_{погр} = mg$$

$$\rho_{ж} h_{погр} = \rho h$$

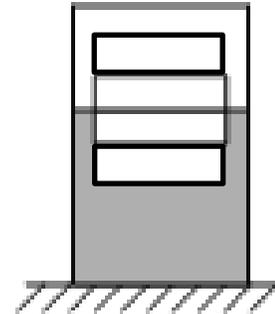
Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Глубина погружения бруска	Сила Архимеда
3	1

# Механика (досрочный 2020, демоверсия)

5

Два одинаковых бруска толщиной 5 см и массой 1 кг каждый, связанные друг с другом, плавают в воде так, что уровень воды приходится на границу между ними (см. рисунок). Из приведённого ниже списка выберите два правильных утверждения.



- 1) Плотность материала, из которого изготовлены бруски, равна  $500 \text{ кг/м}^3$ .
- 2) Если на верхний брусок положить груз массой  $0,7 \text{ кг}$ , то бруски утонут.
- 3) Если воду заменить на керосин, то глубина погружения брусков уменьшится.
- 4) Сила Архимеда, действующая на бруски, равна  $20 \text{ Н}$ .
- 5) Если в стопку добавить ещё два таких же бруска, то глубина её погружения увеличится на  $10 \text{ см}$ .

Ответ:

1 4

$$F_A = mg$$

$$\rho_{\text{ж}} g V_{\text{погр}} = \rho g 2V$$

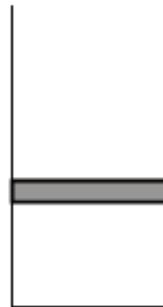
# Часть 1. Тепловые явления.

Установление соответствия физической величины и характера ее изменения.

12

В цилиндрическом сосуде под массивным поршнем находится газ. Поршень не закреплён и может перемещаться в сосуде без трения (см. рисунок). В сосуд закачивается ещё такое же количество газа при неизменной температуре. Как изменятся в результате этого давление газа и концентрация его молекул?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:



$$p = p_0 + \frac{mg}{S}$$

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

$$p = nkT$$

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Давление газа	Концентрация молекул газа
<b>3</b>	<b>3</b>

Демо 2017, 2019

# Тепловые явления (досрочный 2020, демоверсия)

12 Температуру нагревателя тепловой машины Карно понизили, оставив температуру холодильника прежней. Количество теплоты, отданное газом холодильнику за цикл, не изменилось. Как изменились при этом КПД тепловой машины и работа газа за цикл?

Для каждой величины определите соответствующий характер её изменения:

- 1) увеличилась
- 2) уменьшилась
- 3) не изменилась

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

КПД тепловой машины	Работа газа за цикл
2	2

$$\eta = \frac{T_{\text{H}} - T_{\text{X}}}{T_{\text{H}}} = 1 - \frac{T_{\text{X}}}{T_{\text{H}}}$$

$$\eta = \frac{Q_{\text{H}} - Q_{\text{X}}}{Q_{\text{H}}} = 1 - \frac{Q_{\text{X}}}{Q_{\text{H}}} = \frac{A}{Q_{\text{H}}}$$

## Часть 1. Тепловые явления. Чтение таблицы

**11** Горячее вещество, первоначально находившееся в жидком состоянии, медленно охлаждали. Мощность теплоотвода постоянна. В таблице приведены результаты измерений температуры вещества с течением времени.

Время, мин.	0	5	10	15	20	25	30	35
Температура, °C	250	242	234	232	232	232	230	216

Выберите из предложенного перечня **два** утверждения, которые соответствуют результатам проведённых измерений, и укажите их номера.

- 1) Процесс кристаллизации вещества занял более 25 мин.
- 2) Удельная теплоёмкость вещества в жидком и твёрдом состояниях одинакова.
- + 3) Температура плавления вещества в данных условиях равна 232 °C.
- + 4) Через 30 мин. после начала измерений вещество находилось только в твёрдом состоянии.
- 5) Через 20 мин. после начала измерений вещество находилось только в твёрдом состоянии.

$$c = \frac{Q}{m\Delta t} = \frac{P\tau}{m\Delta t}$$

Ответ:

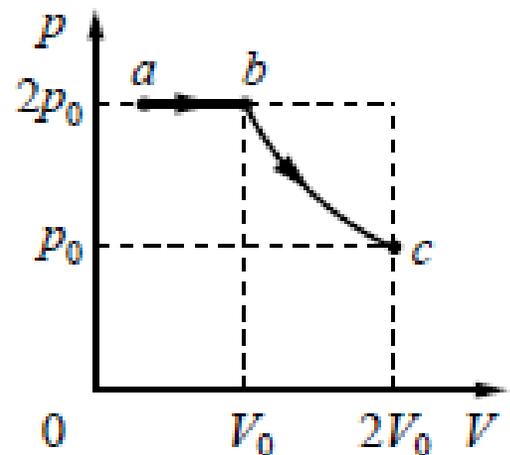
**34**

досрочный 2017

# Тепловые явления (демоверсия 2021)

11

В цилиндрическом сосуде, закрытом подвижным поршнем, находится водяной пар и капля воды. С паром в сосуде при постоянной температуре провели процесс  $a \rightarrow b \rightarrow c$ ,  $pV$ -диаграмма которого представлена на рисунке. Из приведённого ниже списка выберите два правильных утверждения относительно проведённого процесса.



- 1) На участке  $b \rightarrow c$  масса пара уменьшается.
- 2) На участке  $a \rightarrow b$  к веществу в сосуде подводится положительное количество теплоты.
- 3) В точке  $c$  водяной пар является насыщенным.
- 4) На участке  $a \rightarrow b$  внутренняя энергия капли уменьшается.
- 5) На участке  $b \rightarrow c$  внутренняя энергия пара уменьшается.

Ответ:

24

$$pV \uparrow = \uparrow \nu RT$$

Насыщенный пар

$$\downarrow pV \uparrow = \nu RT$$

Ненасыщенный пар

# Тепловые явления

$$pV = \nu RT$$

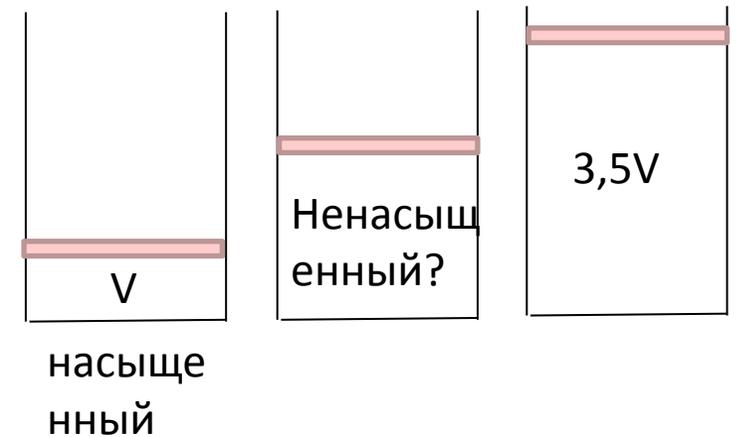
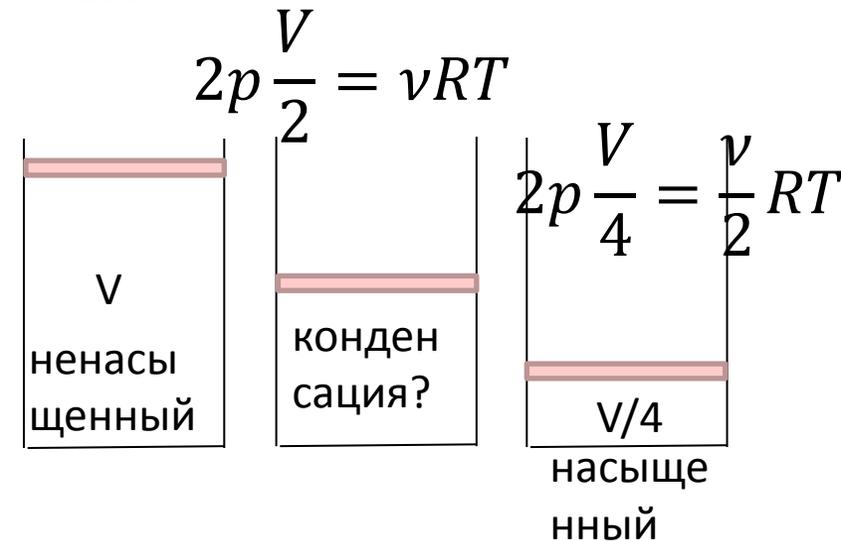
В сосуде под поршнем находится 2 г водяного пара под давлением 50 кПа и при температуре 100 °С. Не изменяя температуры, объем сосуда уменьшили в 4 раза. Найдите массу образовавшейся при этом воды.

$$p_{\text{нас}} = 100 \text{ кПа}$$

Ответ: 1 г.

В сосуде под поршнем при температуре 100 °С находится 2 г водяного пара и такое же количество воды. Не изменяя температуры, объем сосуда увеличили в 3,5 раза. Определите массу пара в сосуде после изменения объема.

4 г

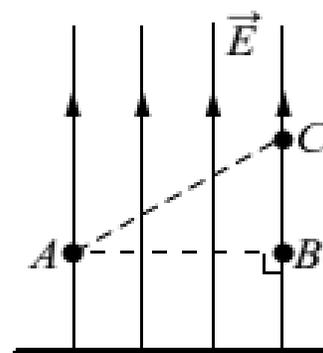


$$\rho_{\text{H}} = \frac{m}{V} \quad \rho_{\text{H}} = \frac{2m}{2V}$$

16

Однородное электростатическое поле создано равномерно заряженной протяжённой горизонтальной пластиной. Линии напряжённости поля направлены вертикально вверх (см. рисунок).

Из приведённого ниже списка выберите два правильных утверждения и укажите их номера.



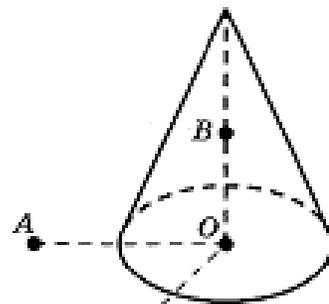
- + 1) Если в точку  $A$  поместить пробный точечный отрицательный заряд, то на него со стороны пластины будет действовать сила, направленная вертикально вниз.
- 2) Пластина имеет отрицательный заряд.
- 3) Потенциал электростатического поля в точке  $B$  ниже, чем в точке  $C$ .
- 4) Напряжённость поля в точке  $A$  меньше, чем в точке  $C$ .
- + 5) Работа электростатического поля по перемещению пробного точечного отрицательного заряда из точки  $A$  и в точку  $B$  равна нулю.

Ответ:

1 5

18

На неподвижном проводящем уединённом конусе высотой  $H$  и радиусом основания  $R = \frac{H}{2}$  находится заряд  $Q$ . Точка  $O$  — центр основания конуса,  $OA = OC = 2R$ ,  $OB = R$ , угол  $AOC$  прямой, отрезки  $OA$  и  $OC$  лежат в плоскости основания конуса. Модуль напряжённости электростатического поля заряда  $Q$  в точке  $C$  равен  $E_C$ . Чему равен модуль напряжённости электростатического поля заряда



Установите соответствие между ф

18

На неподвижном проводящем уединённом шарике радиусом  $R$  находится заряд  $Q$ . Точка  $O$  — центр шарика,  $OA = \frac{3R}{4}$ ,  $OB = 3R$ ,  $OC = \frac{3R}{2}$ .

К каждой позиции первого столбца и запишите в таблицу выбранны

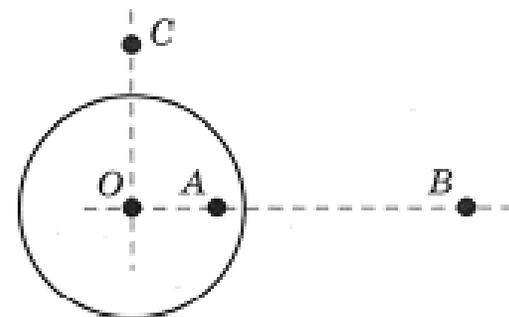
**ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ**

- А) модуль напряжённости электр поля конуса в точке  $A$
- Б) модуль напряжённости электр поля конуса в точке  $B$

Ответ: 

А	Б
2	1

Модуль напряжённости электростатического поля заряда  $Q$  в точке  $C$  равен  $E_C$ . Чему равен модуль напряжённости электростатического поля заряда  $Q$  в точке  $A$  и точке  $B$ ?



Установите соответствие между физическими величинами и их значениями.

К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

**ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ**

- А) модуль напряжённости электростатического поля шарика в точке  $A$
- Б) модуль напряжённости электростатического поля шарика в точке  $B$

**ИХ ЗНАЧЕНИЯ**

- 1) 0
- 2)  $4E_C$
- 3)  $\frac{E_C}{2}$
- 4)  $\frac{E_C}{4}$

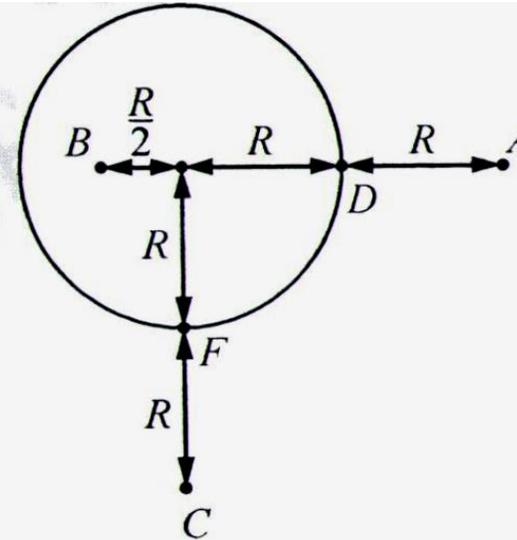
Ответ: 

А	Б
1	4

$$E = k \frac{|Q|}{r^2}$$

16

На уединённой неподвижной проводящей сфере радиусом  $R$  находится положительный заряд  $Q$ . Сфера находится в вакууме. Напряжённость электростатического поля сферы в точке  $A$  равна  $36 \text{ В/м}$ . Все расстояния указаны на рисунке. Выберите **два** верных утверждения, описывающих данную ситуацию.



- 1) Напряжённость поля в точке  $C$   $E_C = 36 \text{ В/м}$ .
- 2) Потенциал электростатического поля в точке  $B$  выше, чем в точке  $D$ :  $\varphi_B > \varphi_D$ .
- 3) Потенциал электростатического поля в точках  $D$  и  $F$  одинаков:  $\varphi_D = \varphi_F$ .
- 4) Напряжённость поля в точке  $B$   $E_B = 576 \text{ В/м}$ .
- 5) Потенциал электростатического поля в точке  $C$  выше, чем в точке  $F$ :  $\varphi_C > \varphi_F$ .

Демоверсия 2019

- 16 Две параллельные металлические пластины больших размеров расположены на расстоянии  $d$  друг от друга и подключены к источнику постоянного напряжения (рис. 1). Пластины закрепили на изолирующих подставках и спустя длительное время отключили от источника (рис. 2).

$q = \text{const}$

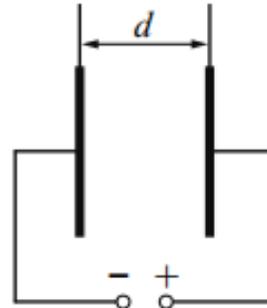


Рис. 1

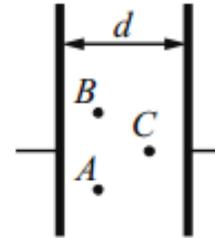


Рис. 2

$q = CU = CE d$   
 $C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$

$q = \epsilon_0 \epsilon S E$

Из приведённого ниже списка выберите **два** правильных утверждения.

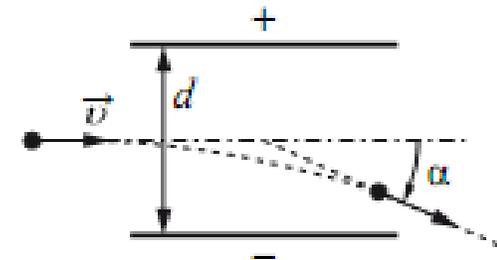
- 1) Напряжённость электрического поля в точке  $A$  больше, чем в точке  $B$ .
- 2) Потенциал электрического поля в точке  $A$  больше, чем в точке  $C$ .
- + 3) Если увеличить расстояние между пластинами  $d$ , то напряжённость электрического поля в точке  $C$  не изменится.
- + 4) Если уменьшить расстояние между пластинами  $d$ , то заряд правой пластины не изменится.
- 5) Если пластины полностью погрузить в керосин, то энергия электрического поля конденсатора останется неизменной.

$W = \frac{q^2}{2C}$

Ответ: 3 4

17

Заряженная частица массой  $m$ , движущаяся со скоростью  $\vec{v}$ , влетает в поле плоского конденсатора (см. рисунок). Расстояние между пластинами конденсатора равно  $d$ , а напряжённость электрического поля между пластинами равна  $E$ . Пролетев конденсатор, частица отклоняется от первоначального направления на угол  $\alpha$ .



Как изменятся модуль скорости вылетевшей частицы и угол  $\alpha$ , если уменьшить напряжённость электрического поля между пластинами конденсатора?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

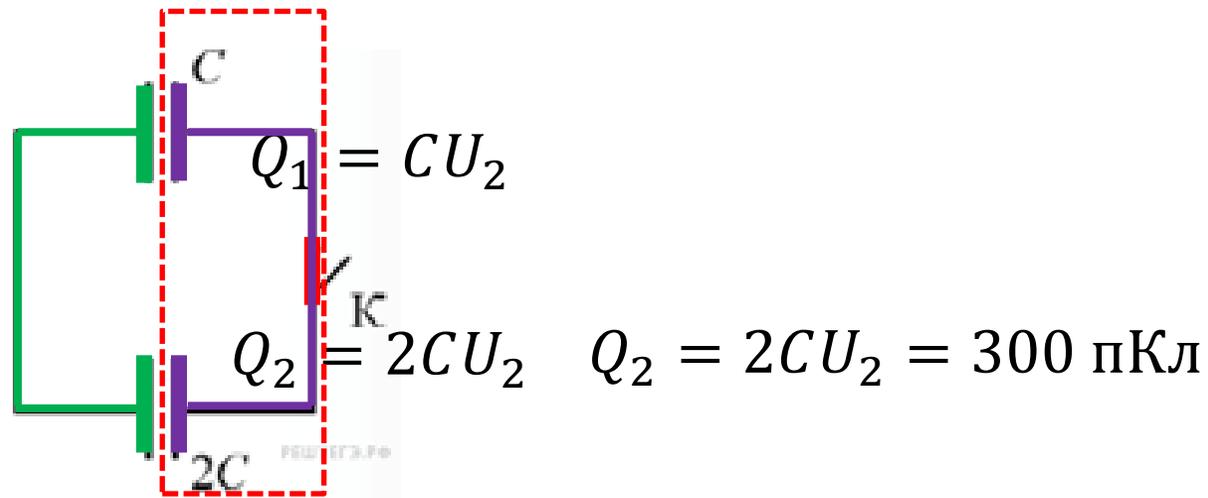
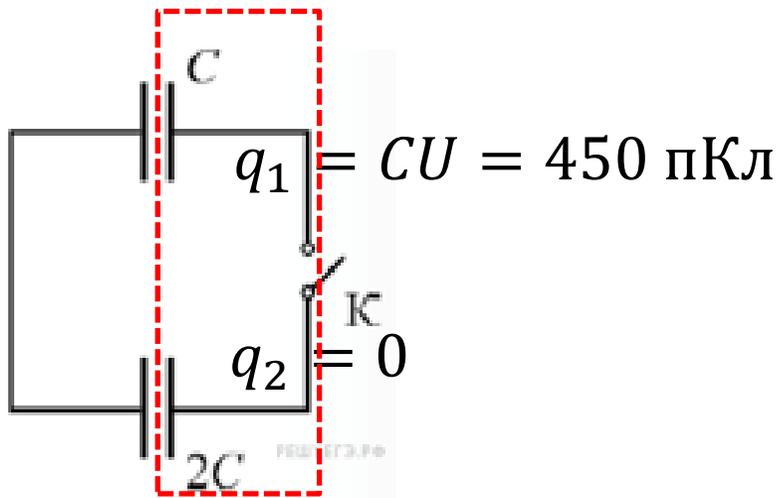
Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

$$v_x^{\text{кон}} = v$$

$$v_y^{\text{кон}} = \frac{qE}{m} t$$

Модуль скорости вылетевшей частицы	Угол отклонения $\alpha$
2	2

Два плоских конденсатора и ключ К соединены так, как показано на схеме. При разомкнутом ключе конденсатор ёмкостью  $C = 50$  пФ заряжают до напряжения 9 В от источника питания. Затем ключ замыкают. Чему будет равен установившийся заряд на конденсаторе ёмкостью  $2C$ ? Ответ выразите в нанокулонах.



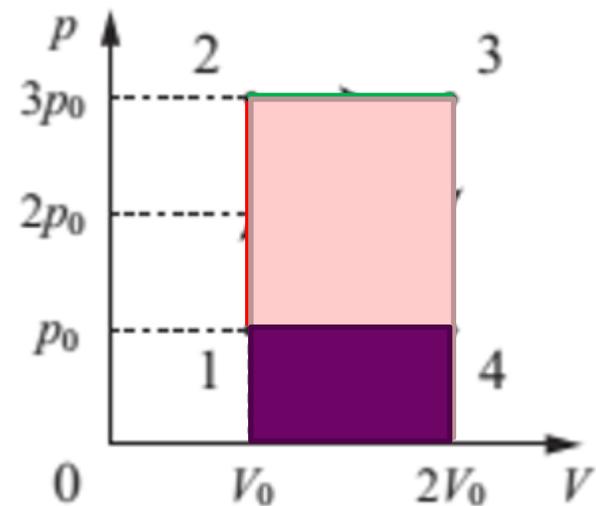
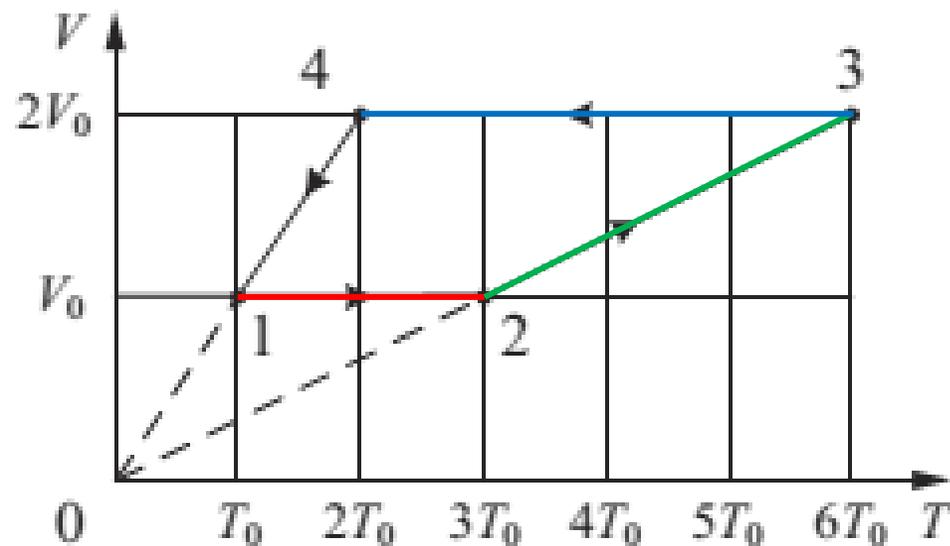
$$q_1 + q_2 = Q_1 + Q_2$$

$$U_2 = \frac{CU}{3C} = 3\text{В}$$

27

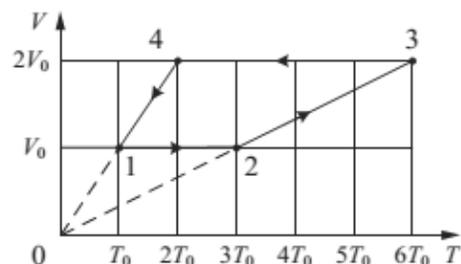
1 моль разреженного гелия участвует в циклическом процессе 1–2–3–4–1, график которого изображён на рисунке в координатах  $V$ – $T$ , где  $V$  – объём газа,  $T$  – абсолютная температура. Постройте график цикла в координатах  $p$ – $V$ , где  $p$  – давление газа,  $V$  – объём газа. Опираясь на законы молекулярной физики и термодинамики, объясните построение графика. Определите, во сколько раз работа газа в процессе 2–3 больше модуля работы внешних сил в процессе 4–1.

$$p = \frac{\nu RT}{V}$$



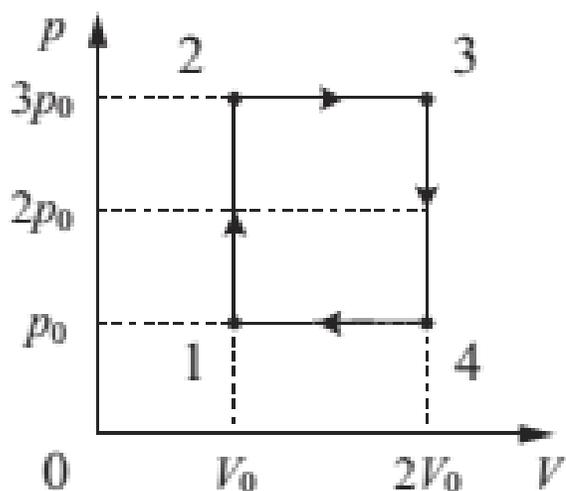
$$\frac{A_{23}}{|A_{41}|} = \frac{3p_0V_0}{p_0V_0} = 3$$

27 1 моль разреженного гелия участвует в циклическом процессе 1–2–3–4–1, график которого изображён на рисунке в координатах  $V$ – $T$ , где  $V$  – объём газа,  $T$  – абсолютная температура. Постройте график цикла в координатах  $p$ – $V$ , где  $p$  – давление газа,  $V$  – объём газа. Опираясь на законы молекулярной физики и термодинамики, объясните построение графика. Определите, во сколько раз работа газа в процессе 2–3 больше модуля работы внешних сил в процессе 4–1.



Возможное решение

$$1. \frac{A_{23}}{|A_{41}|} = 3.$$



2. Перестроим график цикла в координатах  $p$ – $V$ .

Процесс 1–2 является изохорным, в нём абсолютная температура газа

увеличилась в 3 раза, а значит, согласно закону Шарля  $\left(\frac{p}{T} = \text{const}\right)$  и давление газа увеличилось в 3 раза.

Процесс 2–3 является изобарным, поскольку его график в координатах  $V$ – $T$  проходит через начало координат  $\left(\frac{V}{T} = \text{const}\right)$ . В этом процессе и объём, и абсолютная температура газа увеличились в 2 раза.

В процессе 3–4 газ изохорно уменьшил свою абсолютную температуру в 3 раза, а в процессе 4–1 изобарно вернулся в исходное состояние (см. рисунок).

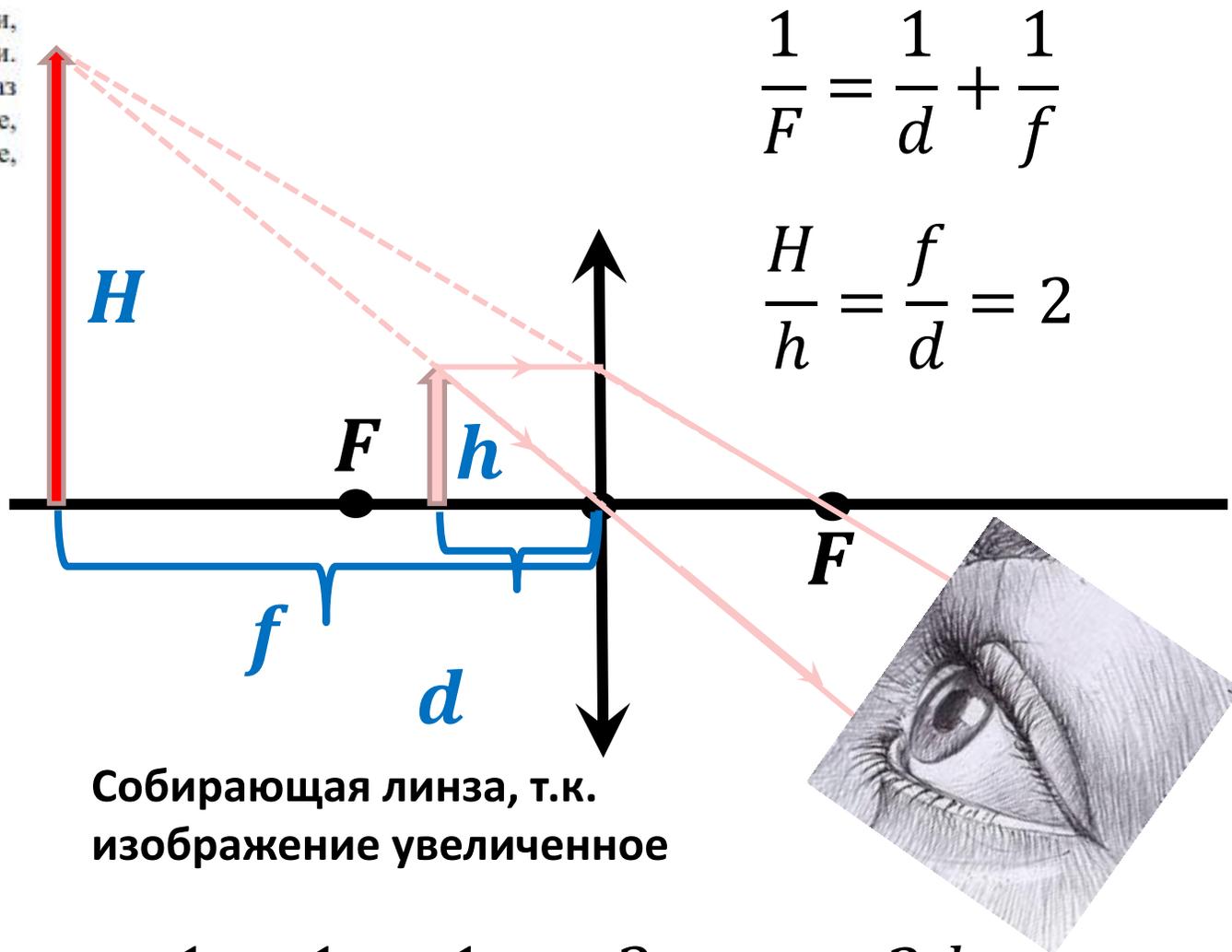
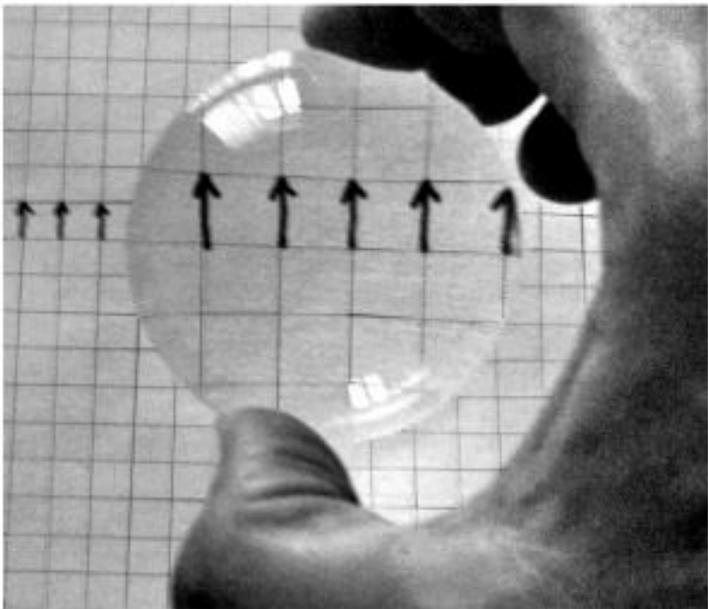
3. Из графика видно, что работа газа в процессе 2–3  $A_{23} = 3p_0(2V_0 - V_0) = 3p_0V_0$ , а модуль работы внешних сил в процессе 4–1  $|A_{41}| = p_0(2V_0 - V_0) = p_0V_0$ .

Таким образом, искомое отношение  $\frac{A_{23}}{|A_{41}|} = 3$ .

Критерии оценивания выполнения задания

Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ (в данном случае:  $n. 1$ ) и исчерпывающие верные рассуждения с прямым указанием наблюдаемых явлений и законов (в данном случае: законы изопроцессов, графический смысл работы в термодинамике)

24 Линзу удерживают на расстоянии 3 см от тетрадного листа с клетками, на котором нарисованы направленные в одну сторону одинаковые стрелки. (На фотографии показано изображение стрелок, которое видит глаз человека.) Укажите тип линзы (собирающая или рассеивающая) и вычислите, используя фотографию, фокусное расстояние этой линзы. Ответ объясните, опираясь на явления и законы оптики. Линзу при этом считать тонкой.



$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

$$\frac{H}{h} = \frac{f}{d} = 2$$

Собирающая линза, т.к. изображение увеличенное

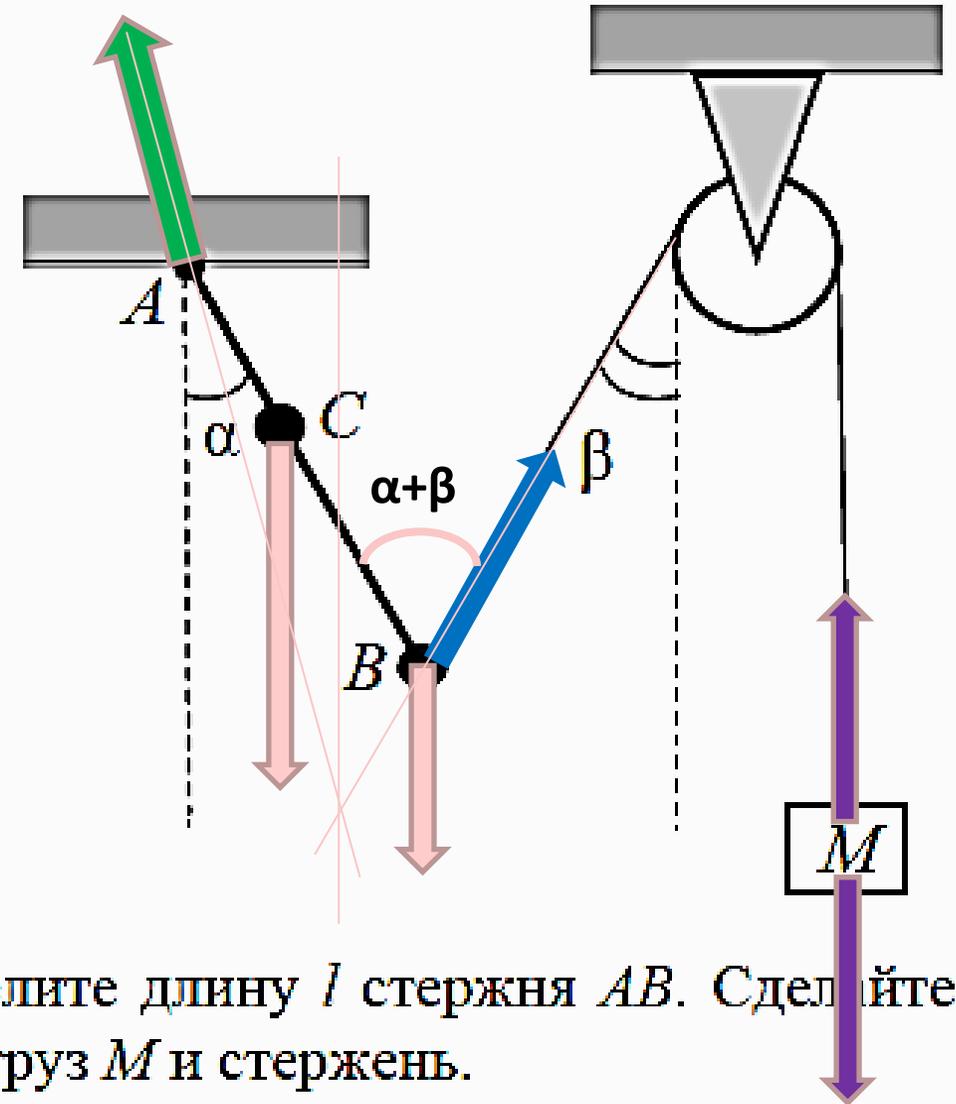
$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{2d} = \frac{3}{2d} \quad F = \frac{2d}{3} = 2\text{ см}$$

Средний балл	0	1	2	3
24,7	55,34	27,49	5,05	12,12

# Анализ выполнения заданий ЕГЭ на примере варианта № 301

30

Невесомый стержень  $AB$  с двумя маленькими грузиками массами  $m_1 = 200$  г и  $m_2 = 100$  г, расположенными в точках  $C$  и  $B$  соответственно, шарнирно закреплён в точке  $A$ . Груз массой  $M = 100$  г подвешен к невесомому блоку за невесомую и нерастяжимую нить, другой конец которой соединён с нижним концом стержня, как показано на рисунке. Вся система находится в равновесии: если стержень отклонён от вертикали на угол  $\alpha = 30^\circ$ , а нить составляет угол с вертикалью, равный  $\beta = 30^\circ$ . Расстояние  $AC = b = 25$  см. Определите длину  $l$  стержня  $AB$ . Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на груз  $M$  и стержень.

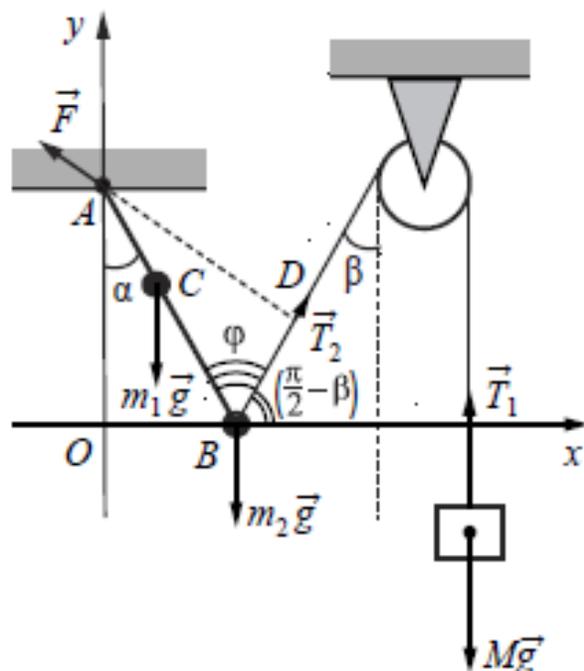


$$A: m_1 g \cdot b \sin \alpha + m_2 g \cdot l \sin \alpha = T \cdot l \sin(\alpha + \beta); T = Mg \quad l = 68 \text{ см}$$

### Возможное решение

1. Систему отсчёта, связанную с Землёй, считаем инерциальной. Введём декартову систему координат  $xOy$ , как показано на рисунке. Поскольку груз находится в равновесии, согласно второму закону Ньютона

$$T_1 - Mg = 0. \quad (1)$$



2. На стержень с грузами  $m_1$  и  $m_2$  действуют силы  $m_1 \vec{g}$  и  $m_2 \vec{g}$ , а также сила натяжения нити  $\vec{T}_2$ . Поскольку нить невесома, то  $|\vec{T}_1| = |\vec{T}_2| = T$ . Кроме того, на стержень действует сила  $\vec{F}$  со стороны шарнира. Запишем условие равенства нулю суммы моментов этих сил относительно оси вращения, проходящей через точку  $A$  – точку шарнирного закрепления стержня:

$$m_1 g \cdot b \sin \alpha + m_2 g \cdot l \sin \alpha - T \cdot AD = 0. \quad (2)$$

3. Решая систему уравнений (1) и (2), с учётом

$$AD = l \sin \varphi = l \sin(\alpha + \beta)$$

получим:

$$l = \frac{m_1 \cdot b \sin \alpha}{M \sin(\alpha + \beta) - m_2 \sin \alpha} = \frac{200 \cdot 25 \frac{1}{2}}{100 \frac{\sqrt{3}}{2} - 100 \frac{1}{2}} \approx 68,3 \text{ см.}$$

Ответ:  $l \approx 68,3 \text{ см}$

30

В вертикальном цилиндре, закрытом лёгким поршнем, находится бензол ( $C_6H_6$ ) при температуре кипения  $t = 80^\circ C$ . При сообщении бензолу количества теплоты  $Q$  часть его превращается в пар, который при изобарном расширении совершает работу  $A$ . Удельная теплота парообразования бензола  $L = 396 \cdot 10^3$  Дж/кг, его молярная масса  $M = 78 \cdot 10^{-3}$  кг/моль. Какая часть подведённого к бензолу количества теплоты переходит в работу? Объёмом жидкого бензола пренебречь.

$$Q = \Delta U + A \quad A = p\Delta V = (\nu_2 RT - \nu_1 RT) = \frac{\Delta m}{M} RT$$

$$Q = L\Delta m \quad Q = \Delta U + \frac{Q}{LM} RT \quad \frac{\Delta U}{Q} = 1 - \frac{RT}{LM}$$

В вертикальном цилиндре с гладкими стенками, открытом сверху, под поршнем находится одноатомный идеальный газ. В начальном состоянии поршень массой  $M$  и площадью основания  $S$  покоится на высоте  $h$ , опираясь на выступы (см. рис. 1). Давление газа  $p_0$  равно внешнему атмосферному. Какое количество теплоты  $Q$  нужно сообщить газу при медленном его нагревании, чтобы поршень оказался на высоте  $H$  (см. рис. 2)? Тепловыми потерями пренебречь.

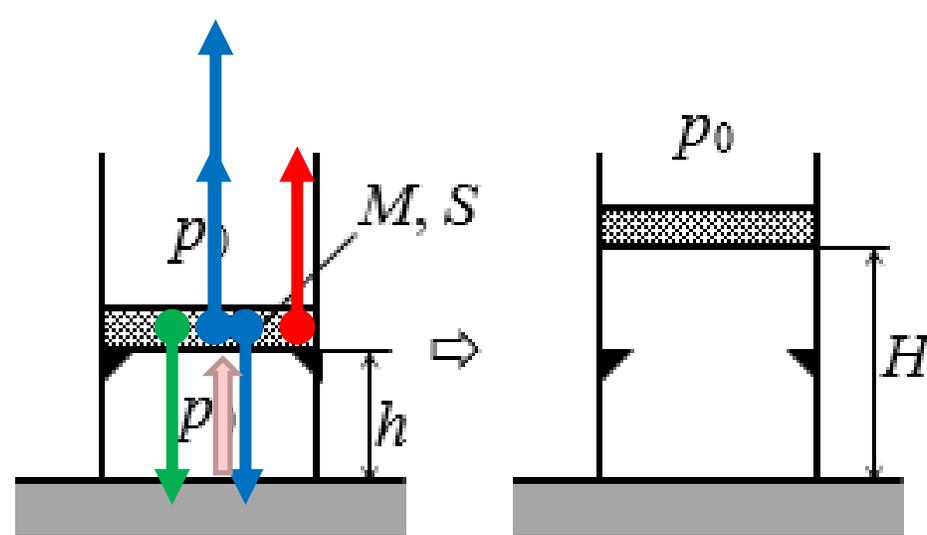


Рис. 1

Рис. 2

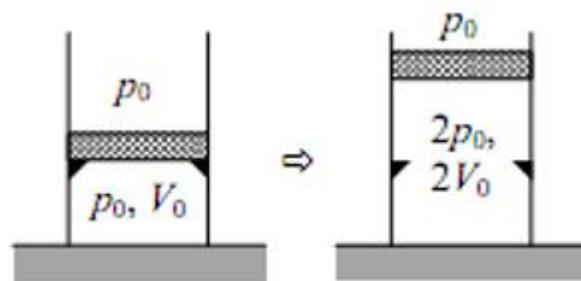
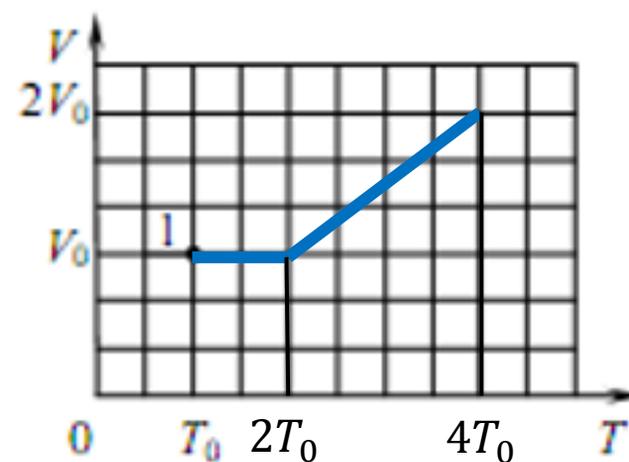


Рис. 1

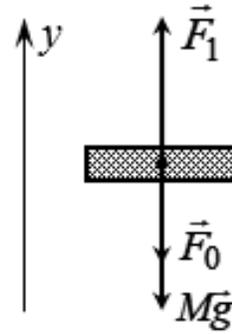
Рис. 2



1. Систему отсчёта, связанную с Землёй, будем считать инерциальной. В процессе медленного подъёма поршня его ускорение считаем ничтожно малым. Поэтому сумма приложенных к поршню сил при его движении равна нулю. В проекциях на вертикальную ось  $y$  получаем:

$$F_1 - F_0 - Mg = 0, \text{ или } p_1 S - p_0 S - Mg = 0.$$

Отсюда получаем давление газа  $p_1$  под движущимся поршнем:  $p_1 = p_0 + \frac{Mg}{S}$ .



2. Используем модель одноатомного идеального газа: 
$$\begin{cases} pV = \nu RT, \\ U = \frac{3}{2} \nu RT. \end{cases}$$

Отсюда получаем:  $U = \frac{3}{2} pV$ . Внутренняя энергия газа в исходном состоянии

$$U_0 = \frac{3}{2} p_0 S h, \text{ а в конечном состоянии } U_1 = \frac{3}{2} p_1 S H = \frac{3}{2} (p_0 S + Mg) H.$$

3. Процесс движения поршня идёт при постоянном давлении газа  $p_1$ . Поэтому

из первого начала термодинамики получаем:

$$Q = U_1 - U_0 + p_1 \Delta V = U_1 - U_0 + p_1 S (H - h).$$

Подставляя сюда выражения для  $p_1$ ,  $U_0$  и  $U_1$ , получим:

$$\begin{aligned} Q &= \frac{3}{2} (p_0 S + Mg) H - \frac{3}{2} p_0 S h + (p_0 S + Mg) (H - h) = \\ &= \frac{3}{2} Mgh + \frac{5}{2} (Mg + p_0 S) \cdot (H - h) \end{aligned}$$

Ответ:  $Q = \frac{3}{2} Mgh + \frac{5}{2} (Mg + p_0 S) \cdot (H - h)$

30

В вертикальном цилиндре с гладкими стенками, открытом сверху, под поршнем находится одноатомный идеальный газ. В начальном состоянии поршень массой  $M$  и площадью основания  $S$  покоится на высоте  $h$ , опираясь на выступы (см. рис. 1). Давление газа  $p_0$  равно внешнему атмосферному. Какое количество теплоты  $Q$  нужно сообщить газу при медленном его нагревании, чтобы поршень оказался на высоте  $H$  (см. рис. 2)? Тепловыми потерями пренебречь.

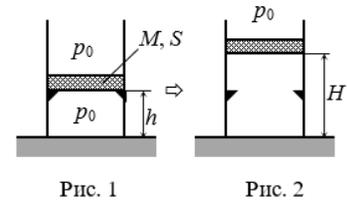


Рис. 1

Рис. 2

27

В комнате при 20 °С относительная влажность воздуха составляет 40%. При умеренной физической нагрузке через лёгкие человека проходит 15 л воздуха за 1 мин. Выдыхаемый воздух имеет температуру 34 °С и относительную влажность 100%. Давление насыщенного водяного пара при 20 °С равно 2,34 кПа, а при 34 °С – 5,32 кПа. Какую массу воды теряет тело человека за 1 ч за счёт дыхания? Считать, что объём выдыхаемого воздуха равен объёму, который проходит через лёгкие человека. Влажность воздуха в комнате считать неизменной.

$$\varphi = \frac{p_1}{p_{H1}}; \quad \varphi p_{H1} V = \frac{m_1}{M} RT_1; \quad p_{H2} V = \frac{m_2}{M} RT_2; \quad V = \frac{V_1}{t_1} \tau = \frac{0,015}{1} \cdot 60 = 0,9 \text{ м}^3$$

$$m = m_2 - m_1 = \frac{MV}{R} \left( \frac{\varphi p_{H2}}{T_2} - \frac{p_{H1}}{T_1} \right) = \frac{18 \cdot 0,9}{8,31} \left( \frac{5,32}{307} - \frac{0,4 \cdot 2,34}{293} \right) \approx 28 \text{ г}$$

30

В горизонтально расположенной трубке постоянного сечения, запаянной с одного конца, помещён столбик ртути длиной 7,5 см, который отделяет воздух в трубке от атмосферы. Трубку расположили вертикально, запаянным концом вниз. На сколько градусов следует нагреть воздух в трубке, чтобы объём, занимаемый воздухом, стал прежним? Температура воздуха в лаборатории 300 К, а атмосферное давление составляет 750 мм рт. ст.

## Возможное решение

Тренировка 2018

Условие механического равновесия столбика ртути определяет давление воздуха в вертикальной трубке:  $p = p_0 + \rho g d$ , где  $p_0 = \rho g H$  – давление атмосферы. Здесь  $H = 750$  мм,  $d$  – длина столбика ртути.

Поскольку нагревание воздуха в трубке происходит до температуры  $T$  и первоначального объема, то по уравнению Клапейрона – Менделеева

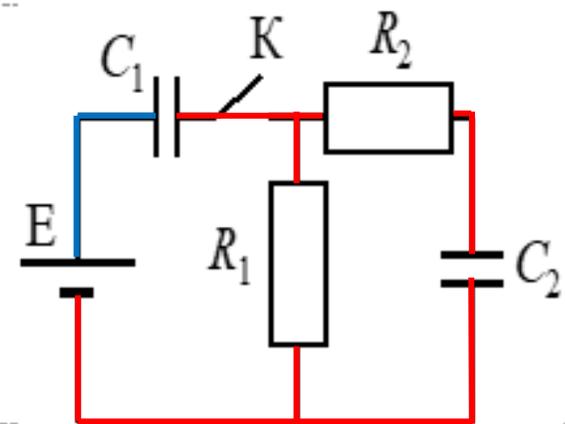
$$\frac{T}{T_0} = \frac{p}{p_0} = 1 + \frac{d}{H}.$$

$$\text{Отсюда: } \Delta T = T - T_0 = T_0 \frac{d}{H} = 300 \frac{7,5}{75} = 30 \text{ К.}$$

Ответ:  $\Delta T = 30$  К

31

В цепи, изображённой на рисунке, ЭДС батареи равна  $100\text{ В}$ , сопротивления резисторов  $R_1 = 10\text{ Ом}$  и  $R_2 = 6\text{ Ом}$ , а ёмкости конденсаторов  $C_1 = 60\text{ мкФ}$  и  $C_2 = 100\text{ мкФ}$ . В начальном состоянии ключ  $K$  разомкнут, а конденсаторы не заряжены. Через некоторое время после замыкания ключа в системе установится равновесие. Какое количество теплоты выделится в цепи к моменту установления равновесия?



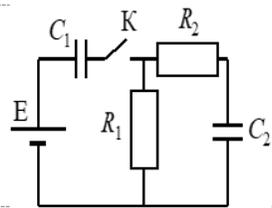
$$A_{\text{ст}} = W + Q$$

$$Q = \frac{C_1 E^2}{2} = \frac{60 \cdot 10^{-6} 10^4}{2} = 0,3 \text{ Дж}$$

$$C_1 E \cdot E = \frac{(C_1 E)^2}{2C_1} + Q$$

31.

В цепи, изображённой на рисунке, ЭДС батареи равна 100 В, сопротивления резисторов  $R_1 = 10 \text{ Ом}$  и  $R_2 = 6 \text{ Ом}$ , а ёмкости конденсаторов  $C_1 = 60 \text{ мкФ}$  и  $C_2 = 100 \text{ мкФ}$ . В начальном состоянии ключ  $K$  разомкнут, а конденсаторы не заряжены. Через некоторое время после замыкания ключа в системе установится равновесие. Какое количество теплоты выделится в цепи к моменту установления равновесия?



## Возможное решение

1. После установления равновесия ток через резисторы прекратится, конденсатор  $C_1$  будет заряжен до напряжения, равного ЭДС батареи, а  $C_2$  — разряжен (его пластины соединены между собой через резисторы):

$$U_{1\max} = E, \quad U_{2\max} = 0.$$

2. При этом через батарею пройдёт заряд  $q$ :

$$q = C_1 E.$$

3. Энергия заряженного конденсатора  $C_1$  равна  $W$ :

$$W = C_1 \frac{E^2}{2}.$$

4. Работа сторонних сил источника тока пропорциональна заряду, прошедшему через него:

$$A = qE = C_1 E^2.$$

5. Эта работа переходит в энергию конденсаторов и теплоту:

$$Q = A - W = C_1 \frac{E^2}{2}.$$

6. Подставляя значения физических величин, получим

$$Q = 0,3 \text{ Дж.}$$

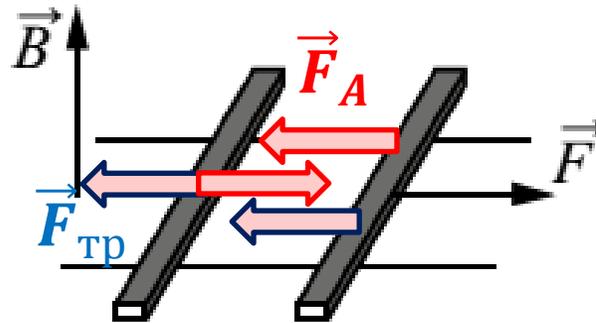
Ответ:  $Q = 0,3 \text{ Дж}$ .

31

По горизонтально расположенным шероховатым рельсам с пренебрежимо малым сопротивлением могут скользить два одинаковых стержня массой  $m = 100$  г и сопротивлением  $R = 0,1$  Ом каждый. Расстояние между рельсами  $l = 10$  см, а коэффициент трения между стержнями и рельсами  $\mu = 0,1$ . Рельсы со стержнями находятся в однородном вертикальном магнитном поле с индукцией  $B = 1$  Тл (см. рисунок). Под действием горизонтальной силы, действующей на первый стержень вдоль рельс, оба стержня движутся поступательно равномерно с разными скоростями. Какова скорость движения первого стержня относительно второго? Самоиндукцией контура пренебречь.

$$F_A = BI\ell = B \frac{B\ell v_1 - B\ell v_2}{2R} \ell$$

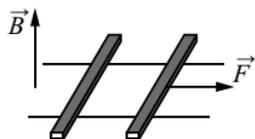
$$B \frac{B\ell(v_1 - v_2)}{2R} \ell = \mu mg$$



$$(v_1 - v_2) = v_{\text{отн}}$$

$$v_{\text{отн}} = \frac{2\mu mg R}{B^2 \ell^2}$$

По горизонтально расположенным шероховатым рельсам с пренебрежимо малым сопротивлением могут скользить два одинаковых стержня массой  $m = 100$  г и сопротивлением  $R = 0,1$  Ом каждый. Расстояние между рельсами  $l = 10$  см, а коэффициент трения между стержнями и рельсами  $\mu = 0,1$ . Рельсы со стержнями находятся в однородном вертикальном магнитном поле с индукцией  $B = 1$  Тл (см. рисунок). Под действием горизонтальной силы, действующей на первый стержень вдоль рельс, оба стержня движутся поступательно равномерно с разными скоростями. Какова скорость движения первого стержня относительно второго? Самоиндукцией контура пренебречь.



### Возможное решение

При движении стержней с разными скоростями изменение потока вектора магнитной индукции, пронизывающего контур, за промежуток времени  $\Delta t$  определяется по формуле  $\Delta\Phi = Bl(v_1 - v_2)\Delta t = Blv_{\text{отн}}\Delta t$ , что приводит к возникновению в контуре ЭДС индукции.

Согласно закону Фарадея  $\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -Blv_{\text{отн}}$ .

Здесь мы пренебрегли самоиндукцией контура.

В соответствии с законом Ома для замкнутой цепи в контуре появился ток

$$I = \frac{|\mathcal{E}|}{2R} = \frac{Blv_{\text{отн}}}{2R}.$$

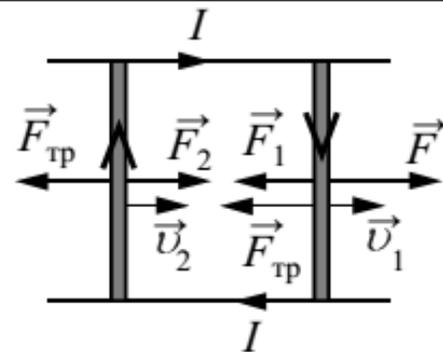
На проводники с током в магнитном поле действуют силы Ампера  $F_1$  и  $F_2$ ,  $F_1 = F_2 = IBl$ , как показано на рисунке. Кроме этих сил, на каждый стержень действует тормозящая сила трения,  $F_{\text{тр}} = \mu mg$ .

Так как стержни движутся равномерно, сумма сил, приложенных к каждому стержню, равна нулю. На второй стержень действуют только сила Ампера  $F_2$

и сила трения, поэтому  $\frac{(Bl)^2 v_{\text{отн}}}{2R} = \mu mg$ . Отсюда: относительная скорость

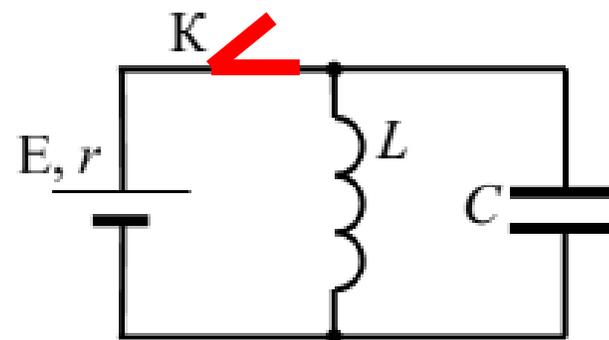
$$v_{\text{отн}} = \frac{2\mu mgR}{(Bl)^2} = \frac{2 \cdot 0,1 \cdot 0,1 \cdot 10 \cdot 0,1}{(1 \cdot 0,1)^2} = 2 \text{ м/с}.$$

Ответ:  $v_{\text{отн}} = 2$  м/с



31

В электрической цепи, показанной на рисунке, ключ К длительное время замкнут,  $E = 6$  В,  $r = 2$  Ом,  $L = 1$  мГн. В момент  $t = 0$  ключ К размыкают. Амплитуда напряжения на конденсаторе в ходе возникших в контуре электромагнитных колебаний равна ЭДС источника. В какой момент времени напряжение на конденсаторе в первый раз достигнет значения  $E$ ? Сопротивлением проводов и активным сопротивлением катушки индуктивности пренебречь.

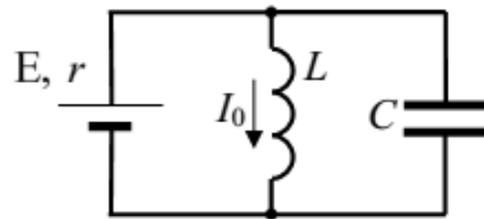


$$I(0) = \frac{E}{r} \quad U_c(0) = 0 \quad U_{max} = E = U \left( \frac{T}{4} \right) \quad \frac{LI(0)^2}{2} = \frac{CE^2}{2}$$

$$C = \frac{L}{r^2} \quad T = 2\pi\sqrt{LC} \quad t = \frac{2\pi \frac{L}{r}}{4} = \frac{\pi \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 2} = 0,8 \text{ мс}$$

### Возможное решение

1. Непосредственно перед размыканием ключа К ток через конденсатор равен нулю, по катушке течёт ток  $I_0 = \frac{E}{r}$ , напряжение  $U_{0C}$  на конденсаторе равно напряжению на катушке, поэтому  $U_{0C} = 0$ .



2. После размыкания ключа К в контуре возникают гармонические колебания напряжения между обкладками конденсатора и тока в контуре. В

частности, благодаря начальному условию  $U_{0C} = 0$  потенциал верхней обкладки конденсатора относительно нижней  $U(t) = -U_{\max} \sin \omega t$ , где  $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  – циклическая частота колебаний. (Знак «-» в формуле связан с тем, что сразу после размыкания ключа К ток приносит положительный заряд на нижнюю обкладку конденсатора.)

3. Энергия электромагнитных колебаний в контуре сохраняется:

$$\frac{LI^2}{2} + \frac{CU^2}{2} = \frac{LI_0^2}{2} = \frac{CU_{\max}^2}{2}, \text{ откуда получаем: } U_{\max} = I_0 \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Учитывая, что

$$U_{\max} = E, \quad I_0 = \frac{E}{r}, \text{ получим: } C = \frac{L}{r^2}.$$

4. Период колебаний в контуре:  $T = 2\pi\sqrt{LC} = 2\pi\frac{L}{r}$ . Судя по зависимости  $U(t) = -U_{\max} \sin \omega t$ , наименьшим положительным корнем уравнения  $|U(t)| = E$  (т.е. уравнения  $|E \sin \omega t| = E$ ) является

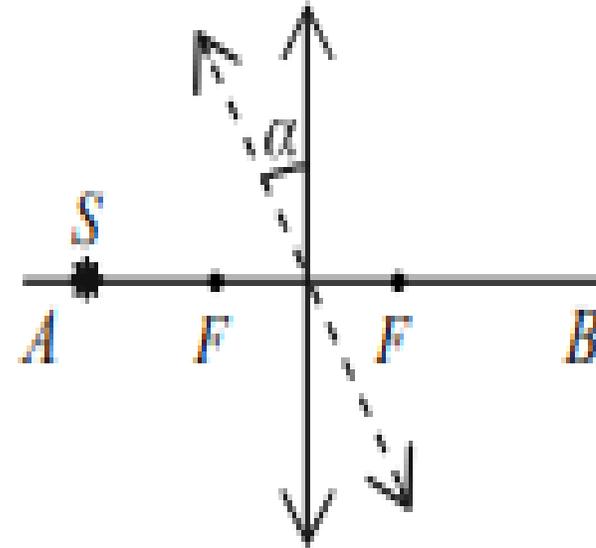
$$\tau = \frac{T}{4} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{L}{r} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{10^{-3}}{2} \approx 0,785 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Ответ:  $\tau \approx 0,785 \text{ мс}$

## Анализ выполнения заданий ЕГЭ

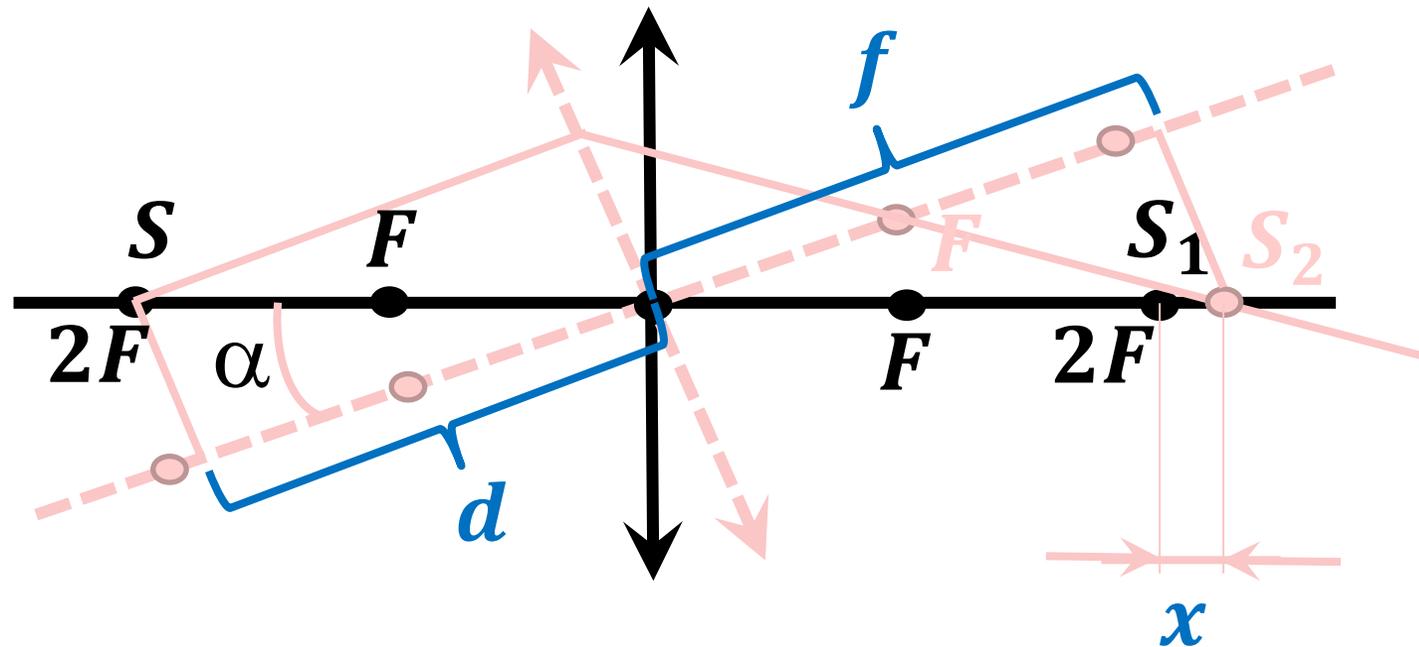
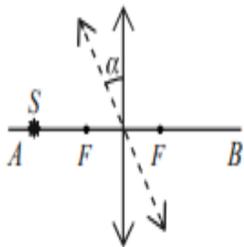
29

Точечный источник света  $S$  расположен на расстоянии 40 см от оптического центра тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием 0,2 м на её главной оптической оси  $AB$ . При повороте линзы на угол  $\alpha$  относительно оси, перпендикулярной плоскости рисунка и проходящей через её оптический центр, изображение источника сместилось вдоль прямой  $AB$  на 10 см. Определите угол поворота линзы. Сделайте пояснительный чертёж, указав ход лучей в линзе для обоих случаев её расположения.



# Анализ выполнения заданий ЕГЭ

- 29 Точечный источник света  $S$  расположен на расстоянии 40 см от оптического центра тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием 0,2 м на её главной оптической оси  $AB$ . При повороте линзы на угол  $\alpha$  относительно оси, перпендикулярной плоскости рисунка и проходящей через её оптический центр, изображение источника сместилось вдоль прямой  $AB$  на 10 см. Определите угол поворота линзы. Сделайте пояснительный чертёж, указав ход лучей в линзе для обоих случаев её расположения.



$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

$$d = 2F \cos \alpha$$

$$f = (2F + x) \cos \alpha$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{2F \cos \alpha} + \frac{1}{(2F + x) \cos \alpha}$$

$$\cos \alpha = \frac{F}{2F} + \frac{F}{(2F + x)} = \frac{1}{2} + \frac{0,2}{2 \cdot 0,2 + 0,1} = 0,9$$



Спасибо за внимание!