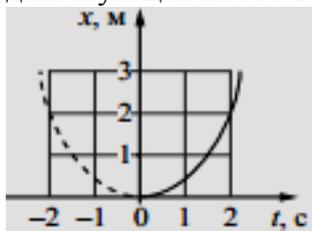


## 11 класс, Экспресс-подготовка к ЕГЭ по физике

### Заключительное задание для самостоятельной тренировки.

#### Задание 1 (1 балл) [механика, уравнение движения]

Небольшое тело массой 1 кг движется по прямой под действием постоянной силы. На рисунке представлен график зависимости ее координаты  $x$  от времени  $t$ . Найдите проекцию силы  $F_x$ , действующей на это тело.



Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

Подсказка 1: выбрав удобный момент времени на графике, из уравнения  $x(t) = \frac{a_x t^2}{2}$  можно определить проекцию ускорения  $a_x$  тела.

Подсказка 2:  $F_x = m \cdot a_x$ .

Решение:

Удобно взять момент времени  $t = 2$  с на графике, из уравнения  $x(t) = \frac{a_x t^2}{2}$  можно определить

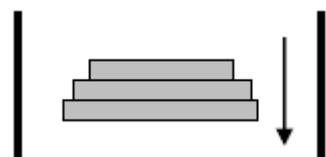
проекцию ускорения  $a_x$  тела:  $2 \text{ м} = \frac{a_x (2 \text{ с})^2}{2} \Rightarrow a_x = +1 \text{ м/с}^2$ . Из уравнения движения тела

$$F_x = m a_x = 1 \text{ Н.}$$

Ответ 1.

#### Задание 2 (1 балл) [механика, уравнение движения]

Три монеты, сложенные «стопкой» (внизу – монета достоинством 5 рублей, посередине – монета достоинством 2 рубля, сверху – монета достоинством 1 рубль), падают в трубке, из которой откачан воздух, оставаясь горизонтальными. Массы монет:  $m_1 = 3,25$  г,  $m_2 = 5,1$  г и  $m_5 = 6,45$  г. Найти равнодействующую всех сил, действующих на монету достоинством 2 рубля.



Ответ: \_\_\_\_\_ мН.

Подсказка 1: Эта монета находится в свободном падении.

Решение:

Эта монета находится в свободном падении, то есть движется с ускорением  $g$ , поэтому результирующая сила  $F_2 = m_2 g = 51$  мН.

Ответ 51.

#### Задание 3 (1 балл) [механика, движение по окружности]

Тело массой 0,5 кг движется по окружности радиуса 1 м с постоянной по модулю скоростью. Ускорение тела равно  $0,4 \text{ м/с}^2$ . Чему равна кинетическая энергия тела?

Ответ: \_\_\_\_\_ мДж.

Подсказка 1: Ускорение тела  $a = \frac{v^2}{R} \Rightarrow v^2 = aR$ .

Решение:

Ускорение тела  $a = \frac{v^2}{R} \Rightarrow v^2 = aR$ , а кинетическая энергия  $E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{maR}{2} = 100 \text{ мДж}$ .

Ответ: 100.

### Задание 5 (2 балла) [механика, гидростатика]

В таблице представлены результаты измерений давления  $p$  на глубине  $h$  в двух покоящихся жидкостях: в воде и в 66% растворе NaOH, при постоянной температуре.

$h$ , м	0	10	20	30	40	50
$p_{\text{воды}}$ , кПа	101	201	301	401	501	601
$p_{\text{NaOH}}$ , кПа	101	271	441	611	781	951

Выберите два верных утверждения, согласующихся с данными таблицы.

- 1) Давление в подсолнечном масле на глубине 5 м больше, чем в воде, но меньше, чем в растворе NaOH.
- 2) Небольшой шарик из пластика с плотностью  $1,4 \text{ г/см}^3$  тонет в воде, но всплывает в растворе NaOH.
- 3) В воде на глубине 15 м давление примерно в 1,5 раза больше атмосферного.
- 4) На глубине 20 м давление в растворе NaOH на 130 кПа больше, чем в воде на такой же глубине.
- 5) Плотность раствора NaOH больше плотности воды.

Ответ:

Подсказка 1: Давление растет с глубиной по закону  $p(h) = p_0 + \rho gh$ .

Подсказка 2: В растворе NaOH давление растет явно быстрее, поэтому его плотность больше.

Решение:

Ясно, что давление растет с глубиной по закону  $p(h) = p_0 + \rho gh$ . В растворе NaOH давление растет явно быстрее, поэтому его плотность больше – справедливо утверждение 5. Ошибочность утверждений 3 и 4 проверяется непосредственно при внимательном взгляде на таблицу. Также можно заметить, что плотность подсолнечного масла (которая есть в данных из введения) меньше плотности воды и тем более – меньше плотности раствора едкого натра, так что давление в нем на одинаковой глубине заведомо меньше, чем в обеих жидкостях – 1 ошибочно. Значит, правильным должно быть 2. Проверка: из сопоставления изменений давления плотность раствора NaOH  $\rho_2 = \frac{p_2(10) - p_2(0)}{p_1(10) - p_1(0)} \rho_1 = 1,7 \rho_1 \approx 1,7 \text{ г/см}^3$ , и плотность материала шарика действительно больше плотности воды и меньше плотности раствора NaOH.

Ответ: 25.

### Задание 6 (2 балла) [механика, гармонические колебания]

В первом опыте массивный груз, подвешенный к потолку на легкой нерастяжимой нити, совершал малые свободные колебания в вертикальной плоскости. Во втором опыте этот же груз также совершал колебания с такой же величиной максимального угла отклонения от вертикали, но длина нити была увеличена. Как при этом изменились период колебаний, скорость груза при прохождении положения равновесия и максимальная сила натяжения нити в процессе колебаний? Сопротивление воздуха не учитывать. Для каждой из величин определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) остается неизменной

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

период колебаний	скорость груза при прохождении положения равновесия	максимальная сила натяжения нити

Подсказка 1: По формуле периода колебаний маятника  $T = \frac{2\pi}{\omega} \approx 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ .

Подсказка 2: Максимальная сила натяжения достигается в момент прохождения положения равновесия, уравнивает силу тяжести и сверх того создает центростремительное ускорение груза.

Решение:

По формуле периода колебаний маятника  $T = \frac{2\pi}{\omega} \approx 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$  (период растет с увеличением длины), причем малые колебания можно считать гармоническими, поэтому максимальная скорость, которая достигается в момент прохождения положения равновесия,  $v_m = \omega x_m \approx \omega L \varphi_m \approx \varphi_m \sqrt{gL}$  (максимальная скорость тоже растет). Максимальная сила натяжения достигается в этот же момент, уравнивает силу тяжести и сверх того создает центростремительное ускорение груза  $F_m = mg + m\frac{v_m^2}{L} \approx mg(1 + \varphi_m^2)$ . Как видно,  $F_m$  практически не зависит от длины нити.

Ответ: 113.

### Задание 7 (2 балла) [механика, равноускоренное движение]

Тело массой 400 г движется вдоль оси  $x$ , и его координата изменяется с течением времени по закону  $x(t) = -3 + 6 \cdot t - 3 \cdot t^2$  (все величины записаны в единицах СИ). Установите соответствие между физическими величинами и формулами (также в единицах СИ), выражающими их изменение с течением времени. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ФОРМУЛЫ
<b>А) Проекция <math>F_x</math> результирующей силы, действующей на тело.</b>	1) $-3 + 6 \cdot t$ ; 2) $6 - 6 \cdot t$ ; 3) $+6$ ;
<b>Б) Проекция <math>v_x</math> скорости тела.</b>	4) $-2,4$ ; 5) $-1,2$ .

А	Б

Ответ:

Подсказка 1: движение является равноускоренным, и поэтому  $v_x$  изменяется линейно, а  $F_x$  постоянна.

Подсказка 2:  $x(t) = x_0 + v_0 \cdot t + \frac{a_x}{2} \cdot t^2$ , а  $v_x(t) = v_0 + a_x \cdot t$ .

Решение:

Ясно, что движение является равноускоренным, и поэтому  $v_x$  изменяется линейно, а  $F_x$  постоянна. Для равноускоренного движения  $x(t) = x_0 + v_0 \cdot t + \frac{a_x}{2} \cdot t^2$ , а  $v_x(t) = v_0 + a_x \cdot t$ .

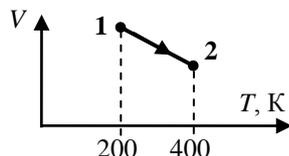
Поэтому из заданного закона движения видно, что  $v_0 = +6 \text{ м/с}$  и  $\frac{a_x}{2} = -3 \text{ м/с}^2 \Rightarrow a_x = -6 \text{ м/с}^2$ .

Теперь из уравнения движения тела находим  $F_x = m \cdot a_x = -2,4 \text{ Н}$ , и, подставляя найденные величины в закон изменения скорости, находим числовую запись этого закона в единицах СИ:  $v_x = 6 - 6 \cdot t$ . Итак, А→4 и Б→2.

Ответ: 42.

### Задание 9 (1 балл) [термодинамика, I Начало термодинамики]

На  $VT$ - диаграмме показан процесс изменения состояния одного моля одноатомного идеального газа. В этом процессе внешними силами над газом была совершена работа 1143 Дж. Какое количество тепла было сообщено газу в этом процессе?



Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

Подсказка 1: В соответствии с первым Началом термодинамики,  $Q = A + \Delta U$ , где  $A = -A'$  – это работа газа, а данная нам работа внешних сил – это  $A'$ .

Решение:

В соответствии с первым Началом термодинамики,  $Q = A + \Delta U$ , где  $A = -A'$  – это работа газа, а данная нам работа внешних сил – это  $A'$ . Изменение внутренней энергии  $\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T = \frac{3}{2} R(T_2 - T_1)$ . Поэтому  $Q = \frac{3}{2} R(T_2 - T_1) - A' \approx 1350 \text{ Дж}$ .

Ответ: 1350.

### Задание 10 (1 балл) [молекулярная физика, относительная влажность]

Относительная влажность воздуха в закрытом сосуде с поршнем равна 70%. Какой будет относительная влажность воздуха в этом сосуде, если объем сосуда уменьшить в 2 раза при неизменной температуре? Ответ выразите в процентах.

Ответ: \_\_\_\_\_ %.

Подсказка 1: Относительная влажность пара в равновесном состоянии не может быть больше 100%.

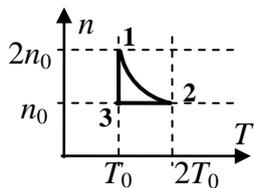
Решение:

Если бы в процессе изотермического сжатия не началась конденсация водяного пара, давление пара росло бы обратно пропорционально объему, и в результате увеличилось бы в два раза, и так же увеличилась бы относительная влажность (температура постоянна). Но тогда она стала бы равной 140%, что невозможно, и поэтому конденсация пара началась, но явно не закончилась, так как для завершения конденсации нужно уменьшить объем в сотни или даже тысячи раз. Значит, в конечном состоянии пар находится в равновесии с жидкостью, его относительная влажность равна 100%.

Ответ: 100.

### Задание 11 (2 балла) [молекулярная физика, основное уравнение МКТ]

На рисунке показана зависимость концентрации одноатомного идеального газа  $n$  от его температуры  $T$  в циклическом процессе, совершаемого 1 молем газа. Криволинейный участок диаграммы (1-2) – гипербола  $nT = const$ . На основании анализа диаграммы процесса выберите два верных утверждения.



- 1) Отношение максимального давления газа в цикле к минимальному равно 2.
- 2) В процессе 2-3 объем газа увеличивается.
- 3) В процессе 3-1 работа газа положительна.
- 4) В процессе 1-2 газ получает положительное количество теплоты.
- 5) В состоянии 3 температура газа максимальна.

Ответ:

Подсказка 1: Здесь легко установить ошибочность утверждений 2,3 и 5.

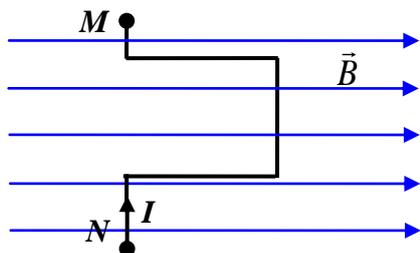
Решение:

Здесь легко установить ошибочность утверждений 2,3 и 5: в 2-3 концентрация молекул газа остается неизменной, как и полное их количество, поэтому объем постоянен, в 3-1 концентрация возрастает, что соответствует уменьшению объема газа – в этом случае работа газа отрицательна (положительная работа совершается над газом), а температура в состоянии 3 – минимальная в цикле, а не максимальная. Поэтому ясно, что правильны утверждения 1 и 4. Проверка: поскольку давление  $p = nkT$ , то давление максимально на гиперболе 1-2 и минимально в точке 3, и  $\frac{p_{\max}}{p_{\min}} = \frac{p_1}{p_3} = \frac{n_1 T_1}{n_3 T_3} = 2$ . В процессе 1-2  $p = \text{const}$ , а объем увеличивается – это изобарическое расширение, при котором к газу необходимо подводить тепло.

Ответ: 14.

### Задание 13 (2 балла) [электродинамика, сила Ампера]

В жестком проводе с током  $I$ , концы которого закреплены в шарнирах  $M$  и  $N$ , имеется плоский квадратный выступ. В области, где находится провод, создано магнитное поле, линии индукции которого параллельны плоскости выступа и перпендикулярны проводу, как показано на рисунке. Как направлена относительно рисунка (**вправо, влево, вверх, вниз, к наблюдателю, от наблюдателя**) сила Ампера, действующей на весь выступ? Ответ запишите словом (словами).



Ответ: \_\_\_\_\_.

Подсказка 1: Для определения направления можно воспользоваться правилом левой руки или другим эквивалентным.

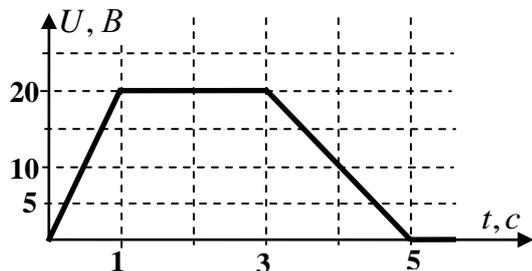
Решение:

Вектор индукции на двух сторонах выступа направлен вдоль тока, и сила Ампера равна нулю. На третьей стороне  $\vec{B}$  перпендикулярен току, сила Ампера отлична от нуля. Для определения направления можно воспользоваться правилом левой руки или другим эквивалентным. Тогда можно выяснить, что эта сила Ампера направлена от наблюдателя.

Ответ: от наблюдателя.

**Задание 15 (2 балла) [электродинамика, индуктивность, закон электромагнитной индукции]**

Катушка с индуктивностью 2 мГн включена в ветвь схемы последовательно с резистором с сопротивлением 100 Ом. На рисунке показан график зависимости напряжения на резисторе от времени. Определите величину напряжения на катушке в момент времени  $t = 4$  с. Омическим сопротивлением катушки пренебречь.



Ответ: \_\_\_\_\_ мкВ.

Подсказка 1: Напряжение на катушке равно величине ЭДС индукции  $U_L = L \left| \frac{\Delta I}{\Delta t} \right|$ , а напряжение на резисторе в каждый момент времени пропорционально току  $U_R = RI$ .

Решение:

Напряжение на катушке равно величине ЭДС индукции  $U_L = L \left| \frac{\Delta I}{\Delta t} \right|$ , а напряжение на резисторе в каждый момент времени пропорционально току  $U_R = RI$ . Поэтому  $U_L = \frac{L}{R} \left| \frac{\Delta U_R}{\Delta t} \right|$ . В момент времени  $t = 4$  с скорость изменения напряжения на резисторе  $\left| \frac{\Delta U_R}{\Delta t} \right| = \frac{20 \text{ В}}{2 \text{ с}} = 10 \text{ В/с}$ . Поэтому  $U_L = 0,2 \text{ мВ} = 200 \text{ мкВ}$ .

Ответ: 200.

**Задание 16 (2 балла) [геометрическая оптика, тонкая линза]**

Маленький источник света находится на главной оси тонкой линзы. По другую сторону от линзы размещен экран, параллельный плоскости линзы. Источник и экран перемещают так, чтобы на экране всегда наблюдалось четкое изображение источника. В таблице представлены измеренные в разных положениях величины расстояния от источника до линзы  $a$  и расстояние от экрана до линзы  $b$ . Измерения проведены с точностью до 1 мм.

$a$ , см	60,0	80,0	100,0	120,0	140,0
$b$ , см	120,0	80,0	66,7	60,0	56,0

На основании данных, представленных в таблице, выберите два верных утверждения.

- 1) Экран перемещали с ускорением, всегда равным ускорению источника.
- 2) При приближении источника к линзе экран также нужно приближать к линзе.
- 3) Оптическая сила линзы равна +2,5 дптр.
- 4) Наблюдаемое изображение источника во всех положениях было перевернутым.
- 5) Оптическая сила линзы равна -2 дптр.

Ответ:

Подсказка 1: По таблице легко вычислить оптическую силу линзы, то есть проверить утверждения 3 и 5, а затем легко проверить 2 и 4.

Решение:

Оптическая сила линзы может быть вычислена по формуле линзы, с использованием любой пары расстояний:  $D = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{0,8\text{м}} + \frac{1}{0,8\text{м}} = +2,5\text{дптр}$ , то есть 3 – верно, а 5 – нет. Это

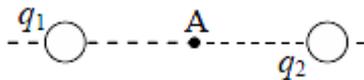
собирающая линза, а на экране наблюдаются ее действительные изображения. Такие изображения всегда являются перевернутыми – справедливо 4. Значит, 1 и 2 ошибочны. Проверка: 2 очевидно противоречит формуле линзы. 1 тоже, ибо по формуле линзы связь  $a$  и  $b$  нелинейная, и ускорения не могут быть всегда одинаковы.

Ответ: 34.

### Задание 17 (2 балла) [электростатика]

На два одинаковых маленьких металлических шарика были нанесены заряды  $q_1 = +7\text{нКл}$  и  $q_2 = -1\text{нКл}$ . Шарики располагались на некотором расстоянии друг от друга. Затем их привели в соприкосновение и развели на прежнее расстояние. Как изменятся при этом модуль силы их электростатического взаимодействия и модуль напряженности электростатического поля в точке А, расположенной посередине между шариками (см. рисунок)? Для каждой из величин определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличивается                      2) уменьшается                      3) остается неизменной



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

модуль силы электростатического взаимодействия шариков	модуль напряженности электростатического поля в точке А

Подсказка 1: В результате соприкосновения общий заряд распределится между шариками поровну.

Решение:

В результате соприкосновения общий заряд распределится между шариками поровну, и на каждом из них будет заряд  $q' = +3\text{нКл}$ . Модули сил взаимодействия  $F = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$  и  $F' = k \frac{q'^2}{r^2}$ ,

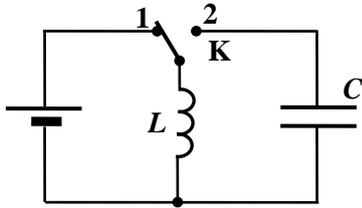
поэтому  $\frac{F'}{F} = \frac{q'^2}{|q_1 q_2|} = \frac{9}{7} > 1$ . Вектора напряженности, создаваемой каждым из зарядов в точке А,

до соприкосновения различны по модулю и направлены в одну сторону, так что модуль суммарной напряженности заведомо не ноль, а после соприкосновения эти вектора одинаковы по величине и направлены противоположно, так что результирующая напряженность равна нулю.

Ответ: 12.

### Задание 18 (3 балла) [электродинамика, колебательный контур]

Катушка индуктивности идеального колебательного контура длительное время была подключена к источнику постоянного напряжения с ненулевым внутренним сопротивлением (см. рисунок). Перед сборкой схемы конденсатор контура был разряжен. В момент  $t = 0$  переключатель К переводят из положения 1 в положение 2. Графики А и Б отображают изменения физических величин, характеризующих возникшие после этого в контуре электромагнитные колебания ( $T$  – период этих колебаний). Установите соответствие между графиками и физическими величинами, зависимости которых от времени эти графики могут отображать. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.



ГРАФИКИ	ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ
	1) заряд верхней пластины конденсатора;
	2) заряд нижней пластины конденсатора;
	3) энергия магнитного поля в катушке;
	4) энергия электрического поля в конденсаторе.

Ответ:

А	Б

Подсказка 1: В момент перевода ключа ток в катушке равен установившемуся за «длительное время» ненулевому значению, а заряд конденсатора равен нулю.

Подсказка 2: Энергия магнитного поля в катушке  $E_M = \frac{LI^2}{2}$  обращается в ноль и достигает максимума одновременно с модулем силы тока, а энергия электрического поля в конденсаторе

$$E_E = \frac{q^2}{2C} \text{ – с зарядом конденсатора, и при этом они изменяются с периодом } \frac{T}{2}.$$

Подсказка 3: График А соответствует поведению заряда одной из пластин конденсатора, и нам нужно выяснить, какой именно, по знаку заряда сразу после перевода ключа.

Решение:

За «длительное» время в катушке установился постоянный ток, а заряд конденсатора изменяться не будет. В момент перевода ключа ток в катушке равен этому установившемуся значению, а заряд конденсатора равен нулю. Поэтому сразу ясно, что при  $t = 0$  ток в катушке  $I$  и связанная с ним энергия магнитного поля в катушке  $E_M = \frac{LI^2}{2}$  имеют максимальные значения, а заряд

конденсатора  $q$  и вместе с ним энергия электрического поля в конденсаторе  $E_E = \frac{q^2}{2C}$  равны нулю. Кроме того, известно, что сила тока в катушке и заряд конденсатора изменяются по гармоническому закону вокруг средних значений (в данном контуре равных нулю) с периодом колебаний  $T$ , а энергии  $E_M$  и  $E_E$  изменяются между нулем и максимальным значением с удвоенной частотой (и половинным периодом). Поэтому график Б ведет себя в точности как график для зависимости  $E_M(t)$ , то есть для изменения величины 3. График А соответствует поведению заряда одной из пластин конденсатора, и нам нужно выяснить, какой именно, по знаку заряда сразу после перевода ключа. Ясно, что в момент  $t = 0$  ток в катушке течет «сверху вниз» по отношению к рисунку. Поэтому сразу после этого момента нижняя обкладка

конденсатора за счет притекающего тока начнет заряжаться положительно, а верхняя, соответственно, отрицательно. Значит, на рисунке А представлен график зависимости от времени заряда верхней пластины конденсатора, то есть величины 1. Итак, А→1 и Б→3.

Ответ: 13.

**Задание 19 (2 балла) [ядерные реакции]**

Деление ядра урана тепловыми нейтронами – это реакция  ${}_0^1n + {}_{92}^{235}\text{U} \rightarrow {}_Z^A\text{X} + {}_{56}^{139}\text{Ba} + 3{}_0^1n + 5\gamma$ , в ходе которой вылетают 3 нейтрона, 5 гамма-квантов, образуется ядра бария  ${}_{56}^{139}\text{Ba}$  и еще одного элемента  ${}_Z^A\text{X}$ . Определите зарядовое число  $Z$  и массовое число  $A$  этого ядра.

зарядовое число	массовое число

*В бланк ответов № 1 перенесите только числа, не разделяя их пробелом или другим знаком.*

Подсказка 1: Нужно воспользоваться законами сохранения суммарных значений зарядового и массового чисел.

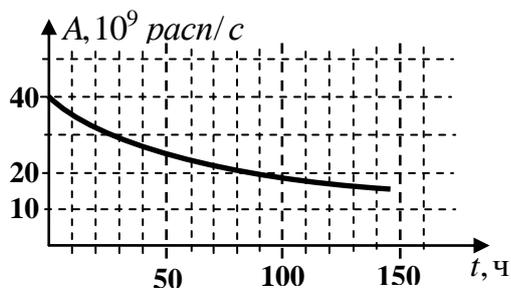
Решение:

Нужно воспользоваться законами сохранения суммарных значений зарядового и массового чисел:  $Z = 92 - 56 = 36$ ,  $A = 235 + 1 - 139 - 3 \cdot 1 = 94$ .

Ответ: 3694.

**Задание 20 (3 балла) [ядерная физика, период полураспада]**

Дан график зависимости активности образца, содержащего радиоактивные ядра  ${}_{86}^{222}\text{Rn}$ . Чему примерно равен период полураспада этого изотопа радона? Ответ приведите в часах, округлив до десятков.

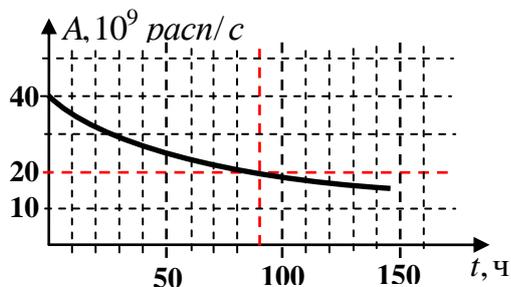


Ответ: \_\_\_\_\_ ч.

Подсказка 1: Активность образца убывает пропорционально количеству остающихся ядер, то есть по закону  $A = A_0 \cdot 2^{-t/T}$ .

Решение:

Активность образца убывает пропорционально количеству остающихся ядер, то есть по закону  $A = A_0 \cdot 2^{-t/T}$ . Поэтому период полураспада  $T$  определяется по времени, за которое активность станет в 2 раза меньше начального значения. Лучше всего провести построение прямо на графике в КИМ.



Ответ: 90.

**Задание 22 (2 балла) [методика эксперимента]**

С помощью вольтметра измеряют напряжение на резисторе. Определите это напряжение, если погрешность прямого измерения равна половине цены деления вольтметра.



*В бланк ответов № 1 перенесите только числа, не разделяя их пробелом или другим знаком.*

Ответ:   1,60   ±   0,10   В.

Подсказка 1: Цена деления равна 0,2 В, ошибка измерения – 0,1 В, и писать цифры далее второй – некорректно.

Решение:

Стрелка находится около деления, соответствующего 1,6 В. Цена деления равна 0,2 В, ошибка измерения – 0,1 В, и писать цифры далее второй – например, (1,61 ± 0,10) – некорректно.

Ответ: 1,60,1.

**Задание 23 (2 балла) [методика эксперимента]**

Необходимо экспериментально определить удельное сопротивление материала прямолинейного куска проволоки толщиной менее 0,2 мм. Для этого школьник, помимо этого куска проволоки, приготовил вольтметр, источник напряжения, линейку. Какие два предмета из приведенного ниже перечня оборудования необходимо дополнительно использовать для проведения этого измерения?

- 1) амперметр
- 2) динамометр
- 3) гигрометр
- 4) микрометр
- 5) секундомер

В ответе запишите номера выбранных предметов.

Ответ:

Подсказка 1: Удельное сопротивление  $\rho = R \frac{S}{l} = \frac{U S}{I l}$ , и для его определения можно измерить напряжение, силу тока, длину проволоки и ее сечение.

Решение:

Удельное сопротивление  $\rho = R \frac{S}{l} = \frac{U S}{I l}$ , и для его определения можно измерить напряжение, силу тока, длину проволоки и ее сечение; в наборе уже есть источник для создания тока, вольтметр для измерения  $U$  и линейка для измерения  $l$ , поэтому осталось измерить ток (нужен амперметр) и сечение (линейкой толщину такой проволоки с нормальной точностью не измеришь, а вот микрометр для точного измерения диаметра подойдет!

Ответ: 14.

### Задание 24 (5 баллов) [элементы астрофизики]

Рассмотрите таблицу, содержащую сведения о ярких звездах.

Наименование звезды	Температура поверхности, К	Масса (в массах Солнца)	Радиус (в радиусах Солнца)	Средняя плотность по отношению к плотности воды
Альдебаран	3600	5,0	45	$7,7 \cdot 10^{-5}$
$\epsilon$ Возничего В	11 000	10,2	3,5	0,33
Капелла	5200	3,3	23	$4 \cdot 10^{-4}$
Ригель	11 200	40	138	$2 \cdot 10^{-5}$
Сириус А	9250	2,1	2,0	0,36
Сириус В	8200	1	0,01	$1,75 \cdot 10^6$
Солнце	6000	1,0	1,0	1,4
$\alpha$ Центавра А	5730	1,02	1,2	0,80

Выберите из предложенного списка **все** верные утверждения о характеристиках звезд.

- 1) Температура поверхности Ригеля соответствует температурам звёзд спектрального класса *B*.
- 2) Звезда Альдебаран относится к белым карликам.
- 3) Средняя плотность звезды Капелла больше, чем средняя плотность Солнца.
- 4) Солнце относится к красным звёздам спектрального класса *M*.
- 5) Звезда  $\alpha$  Центавра А относится к звёздам главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга – Рассела.

Ответ:

Подсказка 1: Довольно легко проверить 2, 3 и 5.

Подсказка 2: Для проверки 4 и особенно 1 необходимо знать связь спектрального класса и температуры поверхности звезд, которая является однозначной или хотя бы то, что последовательность спектральных классов в порядке убывания температуры **О-В-А-F-G-K-M** (специалисты ФИПИ рекомендуют для запоминания порядка обозначений спектральных классов фразу «**Один Бритый Англичанин Финики Жевал Как Морковь**»), и при этом самые горячие (класс О) имеют температуру поверхности более 30 000 К, а самые холодные – класс М – менее 3500 К. Также полезно помнить, что Солнце – желтая звезда главной последовательности.

Решение:

Вообще для ЕГЭ полезно знать связь спектрального класса и температуры поверхности звезд, которая является однозначной: например, специалисты ФИПИ рекомендуют для запоминания порядка обозначений спектральных классов фразу «**Один Бритый Англичанин Финики Жевал Как Морковь**»:

КЛАСС	ТЕМПЕРАТУРА, К	ВИДИМЫЙ ЦВЕТ	ИСТИННЫЙ ЦВЕТ
<b>О</b>	30 000 – 60 000	голубой	голубой

<b>В</b>	10 000 – 30 000	бело-голубой и белый	бело-голубой
<b>А</b>	7500 – 10 000	белый	белый
<b>Г</b>	6000 – 7500	белый	желто-белый
<b>Г</b>	5000 – 6000	желтый	желтый
<b>К</b>	3500 – 5000	желто-оранжевый	оранжевый
<b>М</b>	2000 – 3500	оранжево-красный	красный

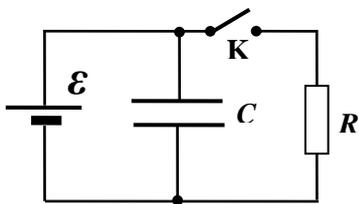
Тогда сразу ясно, что утверждение **1 верно**, а **4 – нет** (впрочем, то, что Солнце не красное, можно знать и без этого). Второе **верное** утверждение находится легко – это утверждение **5**: характеристики  $\alpha$  Центавра А близки к характеристикам Солнца, про которое точно нужно знать, что оно – звезда главной последовательности. Также легко анализировать оставшиеся утверждения: **2 неверно** – размеры Альдебарана очень уж велики для карлика, утверждение **3 неверно** – соотношение плотностей можно увидеть непосредственно в таблице. Поэтому самый сложный пункт в этом задании – это пункт 1.

Отметим (уже не в отношении предложенного здесь задания, а вообще в отношении вопросов по астрофизике), что температура поверхности Солнца в вопросе 24 может быть не сообщена, так как она может содержаться в справочных величинах в начале бланка Вашего варианта!

Ответ: 15.

### Задание 25 (5 баллов) [электростатика, закон Ома, конденсатор]

Конденсатор емкостью  $C = 5$  мкФ присоединен к батарее с ЭДС  $\mathcal{E} = 12$  В и внутренним сопротивлением  $r = 1$  Ом. В начальный момент времени ключ К был разомкнут (см. рисунок). Какой станет энергия электрического поля в конденсаторе через длительное время (более 1 с) после замыкания ключа, если сопротивление резистора  $R = 11$  Ом? Ответ запишите с точностью до десятых.



Ответ: \_\_\_\_\_ мкДж.

Подсказка 1: После замыкания ключа по цепи, состоящей из источника и резистора, потечет ток, и напряжение источника поделится между  $r = 1$  Ом и  $R = 11$  Ом пропорционально сопротивлениям.

Решение:

После замыкания ключа по цепи, состоящей из источника и резистора, потечет ток. Напряжение источника поделится между  $r = 1$  Ом и  $R = 11$  Ом пропорционально сопротивлениям. Поэтому после установления тока в цепи (это произойдет существенно быстрее, чем за 1 с) напряжение

на конденсаторе будет равно  $U_C = \frac{R}{R+r} \mathcal{E} = 11$  В. Энергия поля в конденсаторе

$$E_C = \frac{CU_C^2}{2} = 302,5 \text{ мкДж.}$$

Примечание: Отметим, что время установления тока в такой цепи порядка  $RC = 55$  мкс, что действительно существенно меньше 1 с. Впрочем, знание этой формулы не входит в программу ЕГЭ, и такое обоснование здесь все равно не требуется – это задача с кратким ответом.

Ответ: 302,5.

**Задание 26 (5 баллов) [дифракция, дифракционная решетка, фотоны]**

Дифракционную решетку освещают нормально падающим световым пучком, фотоны в котором имеют энергию  $E_1 = 2 \text{ эВ}$ . При этом на экране наблюдаются три дифракционных максимума (центральный и два побочных), причем угловое отклонение крайних от центрального составляет  $\alpha_1 = 4^\circ$ . После замены источника света для той же решетки на экране было получено пять максимумов (центральный и четыре побочных), а угловое отклонение крайних от центрального возросло до  $\alpha_2 = 5^\circ$ . Найти энергию фотонов во втором случае.

**Ответ:** \_\_\_\_\_ эВ.

Подсказка 1: Направление на  $m$ -й максимум при нормальном падении на дифракционную решетку с периодом  $d$  определяется из соотношения  $d \cdot \sin(\alpha_m) = m\lambda$ , где  $\lambda$  – длина волны света.

Подсказка 2: Энергия фотонов  $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ .

Решение:

Направление на  $m$ -й максимум при нормальном падении на дифракционную решетку с периодом  $d$  определяется из соотношения  $d \cdot \sin(\alpha_m) = m\lambda$ , где  $\lambda$  – длина волны света.

Центральный максимум отвечает  $m=0$ , а крайние в первом опыте –  $m=\pm 1$ , то есть  $\sin(\alpha_1) = \frac{\lambda_1}{d}$ . Во втором опыте крайние максимумы уже отвечают  $m=\pm 2$ , и теперь

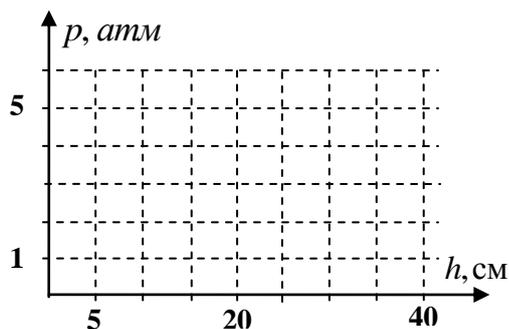
$\sin(\alpha_2) = 2 \frac{\lambda_2}{d}$ . Значит,  $\frac{\sin(\alpha_2)}{\sin(\alpha_1)} = \frac{2\lambda_2}{\lambda_1}$ . Энергия фотонов  $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ , поэтому  $\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{E_1}{E_2}$ . Из этих

соотношений находим, что  $E_2 = 2 \frac{\sin(\alpha_1)}{\sin(\alpha_2)} E_1$ . Учитывая малость углов, при вычислениях синусы

можно заменить величинами углов:  $E_2 \approx \frac{2\alpha_1}{\alpha_2} E_1 = 3,2 \text{ эВ}$ .

**Задание 27 (9 баллов) [влажный воздух, качественная задача с развернутым ответом]**

В цилиндрическом сосуде с вертикальными стенками под подвижным поршнем находится влажный воздух, температура которого поддерживается постоянной и равной  $100^\circ\text{C}$ . Известно, что количество молей сухого воздуха в сосуде равно количеству молей воды. Первоначально поршень расположен на высоте  $h_0 = 40 \text{ см}$ , а давление в сосуде  $p_0$  равно нормальному атмосферному, причем все содержимое сосуда находится в газообразной форме. Поршень медленно опускают. Постройте график зависимости давления  $p$  в сосуде (в атмосферах) от высоты поршня  $h$  над дном сосуда в диапазоне от 40 см до 5 см. Ответ поясните, указав, какие физические явления происходили в данной системе и какие физические закономерности Вы использовали для построения.



**Внимание!** Данная задача в ЕГЭ предполагает развернутый ответ. Поэтому сначала напишите его самостоятельно полностью, затем внесите в систему ответы на

**контрольные вопросы, приведенные ниже, и уже потом сверьте Ваш ответ по содержанию с предлагаемыми!**

Для проверки Вашего ответа, используя построенный график, определите значения давления (в атм, с точностью до целого значения) для приведенных значений высоты и внесите в поле ответа эти значения последовательно, не разделяя пробелами или другими знаками:

- 1)  $h = 40$  см.
- 2)  $h = 20$  см.
- 3)  $h = 10$  см.
- 4)  $h = 5$  см.

Ответ: 

--	--	--	--

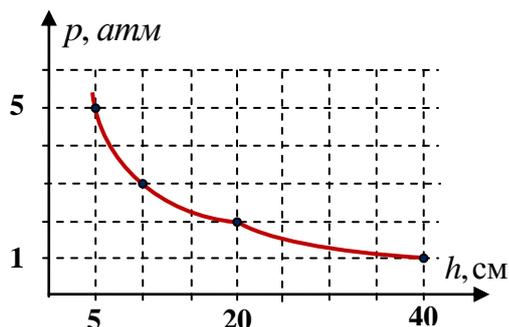
Подсказка 1: Согласно закону Дальтона, давление в сосуде под поршнем равно сумме парциальных давлений сухого воздуха и водяного пара.

Подсказка 2: Так как количества сухого воздуха и воды одинаковы, до начала конденсации водяного пара, парциальные давления сухого воздуха и водяного пара равны друг другу и составляют по половине общего давления.

Подсказка 3: Конденсация начинается, когда парциальное давление водяного пара достигает значения давления насыщенного водяного пара при температуре содержимого сосуда  $100^\circ\text{C}$ , а это давление в точности равно нормальному атмосферному.

Развернутый ответ:

Ответ: график выглядит следующим образом:



Объяснение: Согласно закону Дальтона, давление в сосуде под поршнем равно сумме парциальных давлений сухого воздуха и водяного пара. Так как количества сухого воздуха и воды одинаковы, до начала конденсации водяного пара, в соответствии с уравнением Менделеева-Клапейрона  $pV = \nu RT$ , парциальные давления сухого воздуха и водяного пара равны друг другу и составляют по половине общего давления. Кроме того, из этого уравнения следует, что до начала конденсации эти давления изменяются обратно пропорционально объему. Так как объем содержимого сосуда прямо пропорционален высоте положения поршня над дном сосуда, то до начала конденсации  $p(h) = p_0 \cdot \frac{h_0}{h}$ .

Конденсация начинается, когда парциальное давление водяного пара достигает значения давления насыщенного водяного пара при температуре содержимого сосуда  $100^\circ\text{C}$ . В соответствии с определением реперных точек шкалы Цельсия, это давление в точности равно нормальному атмосферному  $p_0$ . Значит, в этот момент общее давление равно  $2p_0$ , и высота поршня равна  $h_c = \frac{h_0}{2} = 20$  см. Следовательно, формула  $p(h) = p_0 \cdot \frac{h_0}{h}$  справедлива для  $20\text{см} \leq h \leq 40\text{см}$ .

После начала конденсации и до самого ее окончания давление водяного пара остается равно давлению насыщенного пара при  $100^\circ\text{C}$   $p_0$ . Так как плотность жидкой воды при  $100^\circ\text{C}$  в тысячи раз больше плотности насыщенного водяного пара, то при заданной точности вычислений

объемом жидкой воды можно пренебречь. Тогда парциальное давление сухого воздуха продолжает расти обратно пропорционально  $h$ . Следовательно, в интервале  $5\text{ см} \leq h < 20\text{ см}$  изменение давления под поршнем с высотой можно описывать формулой

$$p(h) \approx p_0 + p_0 \cdot \frac{h_0}{2h} = p_0 \cdot \frac{2h + h_0}{2h}.$$

По полученным формулам строим график.

*Для внесения чисел в ответ:* из графика (и формул ответа) видно, что  $p(40) = 1\text{ атм}$ ,  $p(20) = 2\text{ атм}$ ,  $p(10) = 3\text{ атм}$  и  $p(5) = 5\text{ атм}$ .

Ответ: 1235.

### Задание 28 (8 баллов) [молекулярная физика, уравнение теплового баланса]

В калориметре находится  $M_0 = 300\text{ г}$  воды. В него насыпали  $m = 60\text{ г}$  мокрого снега, состоящего на 60% из кристалликов льда и 40% жидкой воды, находящихся в равновесии. После установления равновесия температура содержимого калориметра оказалась равна  $t_1 = 36^\circ\text{С}$ . Какая температура будет у содержимого калориметра после добавления еще двух таких же порций снега и установления равновесия? Теплоемкостью калориметра пренебречь. Ответ запишите в градусах Цельсия, с точностью до десятых.

Подсказка 1: Находящиеся в равновесии компоненты мокрого снега имели температуру  $0^\circ\text{С}$ .

Подсказка 2: Уравнение теплового баланса для установления равновесия после добавления первой порции снега позволяет найти начальную температуру воды.

Подсказка 3: Поскольку кристаллики льда должны растаять, и образовавшаяся из них вода вместе с водой, изначально входившей в состав снега, должна нагреться от  $0^\circ\text{С}$  до  $t_1 = 36^\circ\text{С}$ .

Поэтому уравнение теплового баланса имеет вид  $\lambda \cdot 0,6m + cmt_1 = cM_0(t_0 - t_1)$ .

Решение:

Ясно, что находящиеся в равновесии компоненты мокрого снега имели температуру  $0^\circ\text{С}$ . Тогда уравнение теплового баланса для установления равновесия после добавления первой порции позволяет найти начальную температуру воды:

$$\lambda \cdot 0,6m + cmt_1 = cM_0(t_0 - t_1) \Rightarrow t_0 = \frac{M_0 + m}{M_0} t_1 + 0,6 \cdot \frac{m}{M_0} \frac{\lambda}{c} \approx 52,6^\circ\text{С}.$$

Теперь можно записать уравнение теплового баланса для установления равновесия после добавления еще двух порций:

$$\lambda \cdot 0,6 \cdot 3m + c3mt_3 = cM_0(t_0 - t_3) \Rightarrow t_3 = \frac{cM_0 t_0 - 1,8\lambda m}{c(M_0 + 3m)}.$$

Можно сразу получить ответ. С другой стороны, подставляя сюда выражение для  $t_0$ , можно

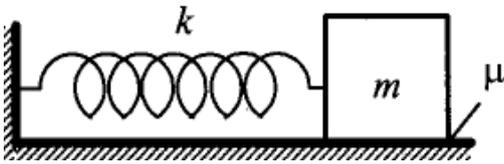
получить ответ в общем виде:  $t_3 = \frac{M_0 + m}{M_0 + 3m} t_1 - \frac{1,2\lambda m}{c(M_0 + 3m)} \approx 15^\circ\text{С}$ . Заметим, что ответ

получился выше  $0^\circ\text{С}$ , то есть лед действительно растаял весь.

Ответ: 15.

### Задание 29 (8 баллов) [механика, закон изменения механической энергии]

К одному концу легкой пружины с жесткостью  $k = 60\text{ Н/м}$  прикреплен груз массы  $m = 2\text{ кг}$ , лежащий на горизонтальной плоскости. Другой конец пружины закреплен неподвижно (см. рисунок). Коэффициент трения между грузом и плоскостью равен  $\mu = 0,2$ . Груз смещают по плоскости, сжимая пружину строго вдоль ее оси. Затем груз отпускают без начальной скорости. В результате груз приходит в движение, перемещается в одном направлении и останавливается окончательно в положении, в котором пружина растянута. Найти максимальную величину начального сжатия пружины, при которой груз движется таким образом. Ответ укажите в сантиметрах.



Подсказка 1: В результате сжатия начальная деформация пружины  $x_0 \equiv -a$ , и она приобретает механическую энергию  $E_0 = \frac{ka^2}{2}$ , которая затем уменьшается за счет работы силы трения.

Подсказка 2: После остановки груз останется неподвижным, если величина сдвигающей силы упругости пружины не будет превосходить максимальной величины силы прения покоя.

Решение:

В результате сжатия начальная деформация пружины  $x_0 \equiv -a$ , и она приобретает потенциальную энергию  $E_0 = \frac{ka^2}{2}$ . После отпущения механическая энергия  $E = \frac{kx^2}{2} + \frac{mv^2}{2}$  (где  $x$  – деформация пружины, а  $v$  – скорость груза) убывает за счет отрицательной работы силы трения. Пусть в момент остановки деформация пружины  $x_1 \equiv +b$  (пружина растянута).

Поскольку скорость равна нулю, то  $E_1 - E_0 = \frac{kb^2}{2} - \frac{ka^2}{2} = A_{mp}$ . В процессе скольжения от старта до остановки сила трения всегда равна  $F_{mp} = \mu N = \mu mg$  ( $N = mg$  – сила нормальной реакции поверхности) и направлена против перемещения  $s = a + b$ , то  $A_{mp} = -\mu mgs = -\mu mg(a + b)$ . Из записанных соотношений находим:

$\frac{kb^2}{2} - \frac{ka^2}{2} = -\frac{k}{2}(a + b)(a - b) = -\mu mg(a + b)$ . Так как груз перемещался, то  $a + b \neq 0$ , и  $b = a - \frac{2\mu mg}{k}$ . Теперь выясним, при каких  $a$  груз останется неподвижным после остановки.

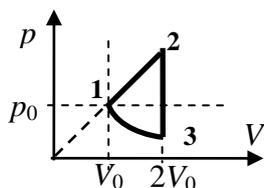
Для этого величина сдвигающей силы упругости пружины  $F = kb$  не должна превосходить максимальной величины силы прения покоя:  $kb \leq \mu mg \Rightarrow a - \frac{2\mu mg}{k} \leq \frac{\mu mg}{k} \Rightarrow a \leq \frac{3\mu mg}{k}$ .

Значит,  $a_{\max} = \frac{3\mu mg}{k} = 20 \text{ см}$ .

Ответ: 20.

### Задание 30 (8 баллов) [термодинамика, I Начало термодинамики]

Над одноатомным идеальным газом проводится циклический процесс, диаграмма которого в координатах «давление-объем» показана на рисунке. На адиабате 3-1 внешние силы сжимают газ, совершая работу  $|A_{31}| = 250 \text{ Дж}$ . Полезная работа газа за цикл  $A = 250 \text{ Дж}$ . Количество вещества в ходе этого процесса не изменяется. Найдите количество теплоты, отданное газом за цикл холодильнику. Ответ запишите в Дж.



Подсказка 1: Газ получает тепло от нагревателя в процессе 1-2 (совершается положительная работа при расширении и растет температура газа) и отдает тепло в процессе 2-3 (работа равна нулю, так как это изохорный процесс, а температура убывает).

Подсказка 2: Количество теплоты  $Q_X = |Q_{23}|$  легко связать с изменением внутренней энергии газа в этом процессе, а сами внутренние энергии в состояниях 2 и 3 можно выразить через заданные работы.

Решение:

Газ получает тепло от нагревателя в процессе 1-2 (совершается положительная работа при расширении и растет температура газа) и отдает тепло в процессе 2-3 (работа равна нулю, так как это изохорный процесс, а температура убывает). Поэтому количество теплоты, отданное холодильнику,  $Q_X = |Q_{23}|$ . В соответствии с I Началом термодинамики,

$Q_{23} = A_{23} + U_3 - U_2 = U_3 - U_2$  (здесь  $U = \frac{3}{2} pV$  – внутренняя энергия одноатомного идеального

газа). Поэтому  $Q_X = U_2 - U_3$ . С другой стороны,  $Q_{31} = 0 = A_{31} + U_1 - U_3 \Rightarrow U_1 - U_3 = |A_{31}|$ . В процессе 1-2 давление растет пропорционально объему, поэтому  $p_2 = 2p_0$ . Работа в этом процессе вычисляется как площадь под диаграммой процесса в координатах  $p - V$ , то есть

$A_{12} = \frac{p_0 + 2p_0}{2} (2V_0 - V_0) = \frac{3}{2} p_0 V_0$ , а изменение внутренней энергии газа в этом же процессе

$U_2 - U_1 = \frac{3}{2} 2p_0 \cdot 2V_0 - \frac{3}{2} p_0 V_0 = \frac{9}{2} p_0 V_0 = 3A_{12}$ . Но полезная работа газа за цикл  $A = A_{12} - |A_{31}|$ , и

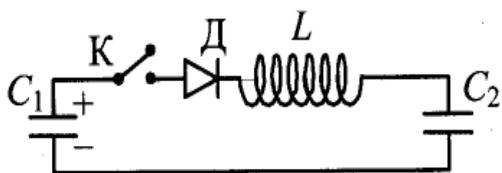
поэтому  $U_2 - U_1 = 3(A + |A_{31}|)$ . В результате получаем:

$Q_X = U_2 - U_1 + U_1 - U_3 = 3A + 4|A_{31}| = 1750 \text{ Дж}$ .

Ответ: 1750.

### Задание 31 (10 баллов) [электродинамика, электромагнитные колебания, энергия конденсатора]

К конденсатору  $C_1$  через ключ К, идеальный диод Д и катушку с индуктивностью  $L$  подключен конденсатор  $C_2$ . Изначально конденсатор  $C_1$  заряжен до напряжения  $U = 48 \text{ В}$ , а  $C_2$  не заряжен. Ключ замыкают, и через некоторое время схема перешла в новое состояние равновесия. Найти напряжение на конденсаторе  $C_2$  в этом состоянии. Емкости конденсаторов  $C_1 = C$  и  $C_2 = 2C$ , активное сопротивление цепи пренебрежимо мало. Ответ запишите в Вольтах.



Подсказка 1: После замыкания ключа конденсатор  $C_1$  начинает разряжаться, разгоняя ток в катушке и заряжая  $C_2$ . При этом напряжение на диоде уменьшается, и в конце концов оно изменит полярность – диод перейдет в запертое состояние.

Подсказка 2: Можно использовать законы сохранения заряда и энергии.

Подсказка 3: Например, закон сохранения заряда записывается в виде:  $C_1 U = C_1 U_1 + C_2 U_2 \Rightarrow CU = CU_1 + 2CU_2 \Rightarrow U_1 = U - 2U_2$ .

Решение:

После замыкания ключа конденсатор  $C_1$  начинает разряжаться, разгоняя ток в катушке и заряжая  $C_2$ . При этом напряжение на диоде уменьшается, и в конце концов оно изменит полярность – диод перейдет в запертое состояние. После этого катушка, ток в которой может быть отличен от нуля, дозарядит конденсатор  $C_2$  до окончательного напряжения, и колебания в контуре прекратятся. Пусть  $U_1$  и  $U_2$  – новые напряжения на конденсаторах, а  $C$  – одинаковая величина их емкости. Тогда по закону сохранения заряда

$C_1U = C_1U_1 + C_2U_2 \Rightarrow U_1 = U - 2U_2$  (с учетом значений емкостей). Поскольку активным сопротивлением можно пренебречь, то энергетических потерь нет и можно использовать и закон сохранения энергии конденсаторов:  $\frac{C_1U^2}{2} = \frac{C_1U_1^2}{2} + \frac{C_2U_2^2}{2} \Rightarrow U^2 = U_1^2 + 2U_2^2$ .

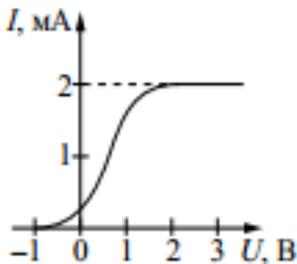
Подставляя сюда предыдущее выражение, находим:  $U_2(2U - 3U_2) = 0$ . Так как  $U_2 \neq 0$  (иначе диод не будет заперт), то  $U_2 = \frac{2}{3}U = 32\text{ В}$ .

Отметим, что  $U_1 = -16\text{ В}$ , то есть конденсатор  $C_1$  успел поменять полярность!

Ответ: 32.

### Задача 32 (8 баллов) [фотоэффект, работа выхода, уравнение Эйнштейна для фотоэффекта]

Монохроматическое излучение мощностью  $P = 0,18\text{ Вт}$  падает на поверхность катода вакуумной трубки и выбивает из него электроны, в результате чего в цепи, соединяющей анод и катод трубки, возникает электрический ток. На рисунке приведен график зависимости силы тока в этой цепи от напряжения между анодом и катодом. Известно, что при заданной мощности в среднем один из 25 фотонов, попавших на катод, выбивает электрон. Найдите работу выхода электронов из материала катода. Ответ дайте в электронвольтах, с точностью до десятых.



Подсказка 1: В этой задаче часть данных нужно извлечь из графика. Как видно, с хорошей точностью мы можем найти величину фототока насыщения и величину запирающего напряжения.

Подсказка 2: В режиме насыщения все выбитые светом электроны достигают анода. Поэтому фототок насыщения, равный заряду, перенесенному выбитыми за время  $t$  электронами, связан с количеством электронов, выбитых в единицу времени:  $I_m = \frac{q}{t} = \frac{N_e e}{t}$ , в то время как количество электронов связано с количеством фотонов, попавших в единицу времени на поверхность катода.

Подсказка 3: Величина запирающего напряжения, работа выхода и частота падающего света связаны уравнением Эйнштейна для фотоэффекта.

Решение:

В этой задаче часть данных нужно извлечь из графика. Как видно, с хорошей точностью мы можем найти величину фототока насыщения  $I_m \approx 2\text{ мА}$  и величину запирающего напряжения  $U_3 \approx 1\text{ В}$ . Величина запирающего напряжения, работа выхода  $A$  и частота падающего света  $\nu$  связаны уравнением Эйнштейна для фотоэффекта  $h\nu = eU_3 + A$ . Отметим, что  $eU_3 \approx 1\text{ эВ}$ .

Далее нужно выразить энергию фотонов  $h\nu$  из фототока насыщения. В режиме насыщения все выбитые светом электроны достигают анода. Поэтому фототок насыщения, равный заряду, перенесенному выбитыми за время  $t$  электронами, связан с количеством электронов, выбитых в единицу времени:  $I_m = \frac{q}{t} = \frac{N_e e}{t}$ . По условию, это количество связано с количеством

фотонов, попавших в единицу времени на поверхность катода:  $N_e = \frac{N_\gamma}{25}$ . Каждый фотон переносит энергию  $E_\gamma = h\nu$ , поэтому мощность излучения тоже связана с числом фотонов:

$P = \frac{N_\gamma h\nu}{t} \Rightarrow N_\gamma = \frac{Pt}{h\nu}$ . Значит, фототок насыщения  $I_m = \frac{e}{t} \frac{Pt}{25h\nu} = \frac{eP}{25h\nu}$ . Таким образом, энергия фотонов  $h\nu = \frac{eP}{25I_m}$ . Ее значение в электронвольтах  $h\nu = \frac{eP}{25I_m} \cdot \frac{1\text{эВ}}{1,6 \cdot 10^{-19}\text{ Дж}} = 3,6\text{эВ}$ .

В соответствии с уравнением Эйнштейна  $A = h\nu - eU_3 \approx 2,6\text{эВ}$ .

Ответ: 2,6.