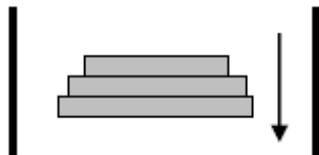


11 класс, Экспресс-подготовка к ЕГЭ по физике

Заключительное задание для самостоятельной тренировки.

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 $m_3 = 6,45$ 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 м/с². 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 $E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{maR}{2} = 100$ мДж.

Ответ: 100.

Задание 5 (2 балла) [механика, гидростатика]

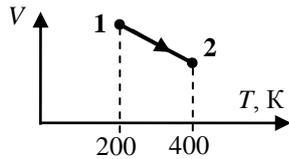
В таблице представлены результаты измерений давления p на глубине h в двух покоящихся жидкостях: в воде и в 66% растворе NaOH, при постоянной температуре.

h , м	0	10	20	30	40	50
$p_{\text{воды}}$, кПа	101	201	301	401	501	601
p_{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 г/см³ 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.

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 $Q = \frac{3}{2} R(T_2 - T_1) - A' \approx 1350$ 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%.

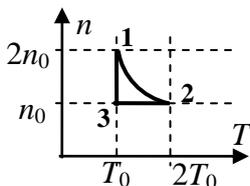
Решение:

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.

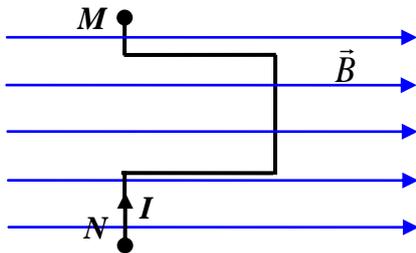
Решение:

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.

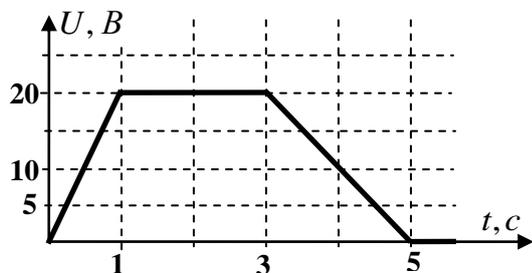
Решение:

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: отнаблюдателя.

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 пренебечь.



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.

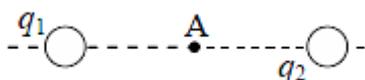
Проверка: 2 очевидно противоречит формуле линзы. 1 тоже, ибо по формуле линзы связь a и b нелинейная, и ускорения не могут быть всегда одинаковы.

Ответ: 34.

Задание 17 (2 балла) [электростатика]

На два одинаковых маленьких металлических шарика были нанесены заряды $q_1 = +7$ нКл и $q_2 = -1$ 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 $q' = +3$ 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 19 (1 балл) [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.

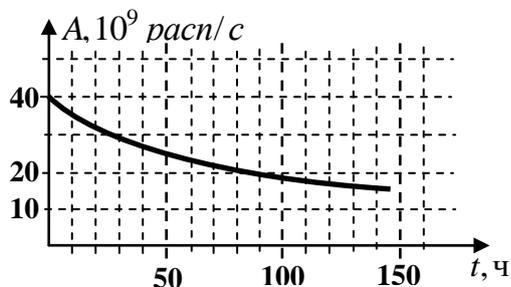
Решение:

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 (1 балл) [ядерная физика, период полураспада]

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

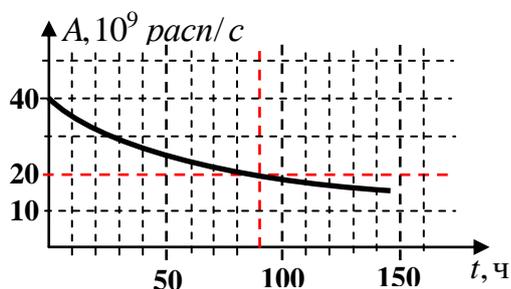


Ответ: _____ ч.

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 (1 балл) [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: (_____ ± _____) 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 (1 балл) [методика эксперимента]

Необходимо экспериментально определить удельное сопротивление материала прямолинейного куска проволоки толщиной менее 0,2 мм. Для этого школьник, 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 (2 балла) [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	$7,7 \cdot 10^{-5}$
ε 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
α Центавра А	5730	1,02	1,2	0,80

Выберите два утверждения, которые соответствуют характеристикам 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 α Центавра А относится к звёздам главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга – Рассела.

Ответ:

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

Решение:

Вообще для ЕГЭ-2019 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
O	30 000 – 60 000	голубой	голубой
B	10 000 – 30 000	бело-голубой и белый	бело-голубой
A	7500 – 10 000	белый	белый
F	6000 – 7500	белый	желто-белый
G	5000 – 6000	желтый	желтый
K	3500 – 5000	желто-оранжевый	оранжевый
M	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 α Центавра А близки к характеристикам Солнца, про которое точно нужно знать, что оно – звезда главной последовательности. Если эта связь не вспоминается, придется анализировать другие утверждения: 2 неверно – размеры Альдебарана очень уж велики для карлика, утверждение 3 неверно – соотношение плотностей можно увидеть непосредственно в таблице, и нам приходится признать, что 1 верно.)

Ответ: 15.

Задание 25 (2 балла) [механика, уравнения движения]

Два бруска разных размеров, но одинаковой массы $m = 3\text{ кг}$ связаны легкой нерастяжимой нитью. Они падают в воздухе с постоянной скоростью таким образом, что нить все время вертикальна. Известно, что сила сопротивления воздуха, действующая на верхний брусок, в два раза больше силы сопротивления воздуха, действующей на нижний брусок. Найдите силу натяжения нити.

Ответ: _____ Н.

Подсказка 1: Поскольку $v = \text{const} \Rightarrow a_1 = a_2 = 0$, то есть равны нулю суммы сил, приложенных к каждому бруску.

Решение:

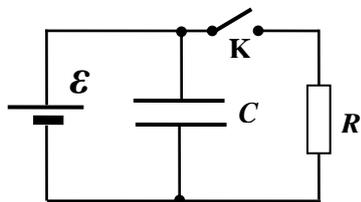
Поскольку $v = \text{const} \Rightarrow a_1 = a_2 = 0$, то есть равны нулю суммы сил, приложенных к каждому бруску. Тогда из этого условия находим (T – сила натяжения нити, F и $2F$ – силы сопротивления воздуха, действующие соответственно на нижний и верхний бруски):

$$\begin{cases} mg - T - F = 0 \\ mg + T - 2F = 0 \end{cases} \Rightarrow T = \frac{1}{3} mg \approx 10\text{ Н.}$$

Ответ: 10.

Задание 26 (2 балла) [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: _____ 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 27 (2 балла) [дифракция, дифракционная решетка, фотоны]

Дифракционную решетку освещают нормально падающим световым пучком, фотоны в котором имеют энергию $E_1 = 2$ 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 λ – 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 λ – 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 28 (3 балла) [качественная задача с развернутым ответом]

К колебательному контуру подсоединили источник тока, на клеммах которого напряжение меняется по синусоидальному закону с частотой ν . Индуктивность L катушки колебательного контура можно плавно менять от максимального значения L_{\max} до минимального L_{\min} , а емкость его конденсатора постоянна. Ученик постепенно уменьшал индуктивность катушки от максимального значения до минимального и обнаружил, что амплитуда колебаний силы тока в контуре все время возрастала. Опираясь на свои знания по электродинамике, объясните наблюдения ученика.

Внимание! Данная задача в ЕГЭ предполагает развернутый ответ. Поэтому сначала напишите его самостоятельно, затем дайте ответ на следующую часть задания, и уже потом сверьте Ваш ответ по содержанию с предлагаемым!

Для проверки Вашего ответа, используя его текст, выберите два правильных утверждения из приведенных ниже, и внесите в поле ответа номера выбранных утверждений:

- 1) Амплитуда колебаний тока в контуре, подключенном к источнику синусоидального напряжения, не зависит от частоты источника тока.
- 2) При приближении частоты внешнего напряжения к собственной частоте амплитуда тока возрастает, при отдалении – убывает.
- 3) При уменьшении индуктивности катушки частота собственных колебаний в контуре уменьшалась.
- 4) В описанном опыте в контуре происходили только свободные электромагнитные колебания.
- 5) Возрастание амплитуды тока было связано с уменьшением индуктивного сопротивления катушки.
- 6) Возрастание амплитуды колебаний тока было связано с тем, что для всех значений индуктивности катушки частота собственных колебаний в контуре была меньше, чем частота изменения напряжения источника.

Ответ:

Подсказка 1: При неизменной амплитуде вынуждающего напряжения амплитуда тока зависит от соотношения между частотой внешнего вынуждающего напряжения и частотой собственных колебаний в контуре.

Подсказка 2: Частота собственных колебаний зависит от индуктивности катушки и емкости конденсатора в контуре: $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$.

Развернутый ответ:

Ответ: возрастание амплитуды колебаний тока было связано с тем, что для всех значений индуктивности катушки частота собственных колебаний в контуре была меньше, чем частота изменения напряжения источника.

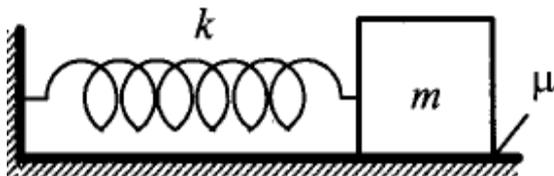
Объяснение: Под действием источника в контуре возникнут вынужденные колебания тока. При неизменной амплитуде вынуждающего напряжения амплитуда тока зависит от соотношения между частотой внешнего вынуждающего напряжения и частотой собственных колебаний в контуре: при приближении частоты внешнего напряжения к собственной частоте амплитуда тока возрастает, при отдалении – убывает. Частота собственных колебаний зависит от индуктивности катушки и емкости конденсатора в контуре: $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$. Следовательно, при уменьшении индуктивности катушки частота собственных колебаний увеличивалась, приближаясь к частоте $\omega = 2\pi\nu$ колебаний вынуждающего напряжения. Таким образом, возрастание амплитуды колебаний тока было связано с тем, что для всех значений индуктивности катушки $L \in [L_{\min}, L_{\max}]$ частота собственных колебаний в контуре меньше, чем частота изменения напряжения источника: $\frac{1}{\sqrt{L_{\min}C}} < 2\pi\nu$.

Для второй части задания: из развернутого решения видно, что правильны утверждения 2 и 6.

Ответ: 26.

Задание 29 (3 балла) [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 трения покоя.

Решение:

В результате сжатия начальная деформация пружины $x_0 \equiv -a$, и она приобретает потенциальную энергию $E_0 = \frac{ka^2}{2}$. После отпускания 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 $E_1 - E_0 = \frac{kb^2}{2} - \frac{ka^2}{2} = A_{\text{тр}}$. В процессе скольжения от старта до остановки сила трения всегда равна $F_{\text{тр}} = \mu N = \mu mg$ ($N = mg$ – сила нормальной реакции поверхности) и направлена против перемещения $s = a + b$, то $A_{\text{тр}} = -\mu mgs = -\mu mg(a + b)$. 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.

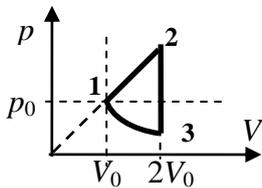
Для этого величина сдвигающей силы упругости пружины $F = kb$ не должна превосходить максимальной величины силы прения покоя: $kb \leq \mu mg \Rightarrow a - \frac{2\mu mg}{k} \leq \frac{\mu mg}{k} \Rightarrow a \leq \frac{3\mu mg}{k}$.

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

Ответ: 20.

Задание 30 (3 балла) [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

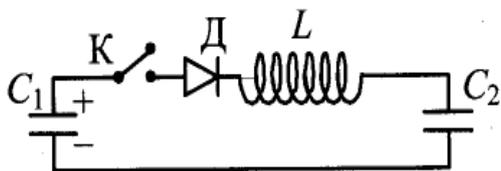
поэтому $U_2 - U_1 = 3(A + |A_{31}|)$. В результате получаем:

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

Ответ: 1750.

Задание 31 (3 балла) [электродинамика, электромагнитные колебания, энергия конденсатора]

К конденсатору C_1 через ключ K , идеальный диод D 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:
 $C_1U = C_1U_1 + C_2U_2 \Rightarrow CU = CU_1 + 2CU_2 \Rightarrow U_1 = U - 2U_2$.

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.

Задание 32 (3 балла) [геометрическая оптика, тонкая линза]

Линза с фокусным расстоянием $F = 12$ см создает на экране изображение небольшого светящегося предмета с девятикратным увеличением. Предмет расположен на главной оптической оси линзы перпендикулярно ей. Если вместо этой линзы использовать другую, не изменяя положения предмета и экрана, то на экране можно получить изображение предмета с трехкратным увеличением. Найдите фокусное расстояние второй линзы. Ответ дайте в сантиметрах.

Подсказка 1: Поскольку изображения получены на экранах, то они являются действительными, и обе линзы являются собирающими..

Подсказка 2: Величина поперечного увеличения тонкой линзы $\Gamma = \left| \frac{b}{a} \right| = \frac{b}{a}$, где a – расстояния от источника до линзы и b – расстояние от экрана до линзы.

Решение:

Поскольку изображения получены на экранах, то они являются действительными, и обе линзы являются собирающими. Их оптические силы и фокусные расстояния считаются положительными. Для такой линзы, как видно из построения (на рисунке), величина

поперечного увеличения $\Gamma = \left| \frac{b}{a} \right| = \frac{b}{a}$. При построении изображения использованы луч, идущий через оптический центр линзы без преломления, и луч, падающий параллельно главной оптической оси – он после преломления в линзе проходит через главный фокус линзы.

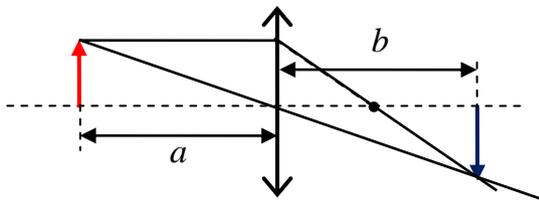
Итак, для первой линзы $b_1 = \Gamma_1 a_1$. Из формулы линзы следует, что $\frac{1}{a_1} + \frac{1}{b_1} = \frac{1}{a_1} \frac{\Gamma_1 + 1}{\Gamma_1} = \frac{1}{F}$.

Значит, $a_1 = \frac{\Gamma_1 + 1}{\Gamma_1} F$ и $b_1 = (\Gamma_1 + 1)F$. Расстояние между предметом и экраном

$L = a_1 + b_1 = \frac{(\Gamma_1 + 1)^2}{\Gamma_1} F$. Во втором опыте аналогичные вычисления дадут для того же

расстояния $L = \frac{(\Gamma_2 + 1)^2}{\Gamma_2} F_2$. Поэтому $F_2 = \frac{\Gamma_2 (\Gamma_1 + 1)^2}{\Gamma_1 (\Gamma_2 + 1)^2} F$. Подставляя численные значения,

находим: $F_2 = \frac{25}{12} F = 25 \text{ см}$.



Ответ: 25.