

## Логика анализа содержания заданий ЕГЭ по физике (на примере типовых заданий 2011 года)

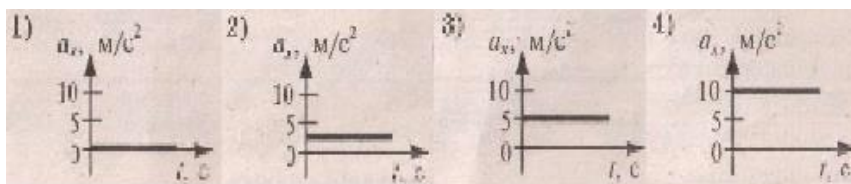
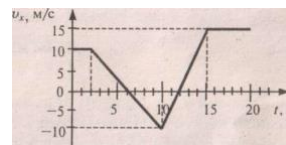
Вариант 10

ЧАСТЬ 1

При выполнении заданий части 1 в бланке ответов № 1 под номером выполняемого вами задания (A1—A25) поставьте знак «х» в клеточке, номер которой соответствует номеру выбранного вами ответа.

A1. На рисунке приведен график зависимости проекции скорости тела  $v_x$  от времени  $t$ .

График зависимости от времени проекции ускорения этого тела  $a_x$  в интервале времени от 10 до 15 с совпадает с графиком



В соответствии с определением ускорения тела, его можно рассчитать по формуле:  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_k - v_n}{t_k - t_n}$ .

$$\text{Для указанного интервала } a = \frac{15 - (-10)}{15 - 10} = \frac{25}{5} = 5 \text{ м/с}^2$$

A2. Земля притягивает к себе подброшенный мяч с силой 5 Н. С какой силой этот мяч притягивает к себе Землю?

- 1) 50 Н      2) 5 Н      3) 0,5 Н      4) 0,05 Н.

Третий закон Ньютона утверждает, что при взаимодействии тел - действие равно противодействию. Мяч притягивает к себе Землю с силой 5 Н.

A3. Деревянный брусок массой  $m$ , площади граней которого связаны отношением  $S_1 : S_2 : S_3 = 1 : 2 : 3$ , скользит равномерно по горизонтальной шероховатой опоре, соприкасаясь с ней гранью площадью  $S_1$  под действием горизонтальной силы. Какова величина этой силы, если коэффициент трения бруска об опору равен  $\mu$ ?

- 1)  $3\mu mg$       2)  $\mu mg$       3)  $\mu \frac{mg}{2}$       4)  $\mu \frac{mg}{6}$

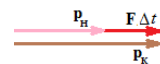
Поскольку брусок скользит с постоянной скоростью, величина горизонтальной силы, приложенной к бруску  $F = F_{\text{тр}} = \mu mg$ .

A4. Тело движется по прямой. Под действием постоянной силы величиной 2 Н за 3 с импульс тела увеличился и стал равен 15 кг·м/с. Первоначальный импульс тела равен

- 1) 9 кг·м/с      2) 10 кг·м/с      3) 12 кг·м/с      4) 13 кг·м/с

Опираясь на определение ускорения тела  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_k - v_n}{\Delta t}$ , второй закон Ньютона  $F = ma$  может быть

представлен в следующей формулировке: «Изменение импульса тела  $p_k - p_n = F \cdot \Delta t$  – импульсу силы, действующей на тело (векторная формула)». Учитывая, что импульс тела увеличился, можно сделать вывод, что направление силы совпадает с направлением движения тела. В этом случае можно использовать скалярное равенство (См. рис.):



$$p_n = p_k - F \cdot \Delta t = 15 - 2 \cdot 3 = 9 \text{ кг} \cdot \text{м/с}.$$

A5. Камень массой 1 кг брошен вертикально вверх. В начальный момент его энергия равна 200 Дж. На какую максимальную высоту поднимется камень? Сопротивлением воздуха пренебречь.

- 1) 10 м      2) 200 м      3) 20 м      4) 2 м

В момент броска камень обладает кинетической энергией  $E_k = 200$  Дж, за счёт которой он и набирает высоту. По мере подъёма его кинетическая энергия уменьшается, превращаясь в потенциальную. На основании закона сохранения энергии, в верхней точке подъёма будет выполняться равенство:  $E_k = E_n = mgh$ , которое

позволяет найти высоту подъёма:  $h = \frac{E_k}{mg} = \frac{200}{1 \cdot 10} = 20 \text{ м}.$

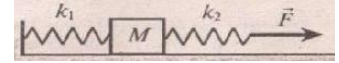
А6. Колебательное движение тела задано уравнением:  $x = a \sin(bt + \frac{\pi}{2})$ , где  $a = 5$  см,  $b = 3\text{с}^{-1}$ . Чему равна амплитуда колебаний?

- 1) 3 см      2) 5 см      3)  $\frac{\pi}{2}$  см      4)  $\frac{5\pi}{2}$  см

Амплитуда – это максимальное отклонение тела от положения равновесия. Сравнив приведенное уравнение с общим уравнением колебательного движения  $x = A \sin(\omega t + \varphi)$ , где  $A$  – амплитуда, нетрудно прийти к выводу, что амплитуда в данном случае равна 5 см.

А7. К системе из кубика массой 1 кг и двух пружин приложена постоянная горизонтальная сила  $F$  (см. рисунок). Между кубиком и опорой трения нет. Система покоится. Жесткость первой пружины  $k_1 = 300$  Н/м. Жесткость второй пружины  $k_2 = 600$  Н/м. Удлинение первой пружины равно 3 см. Модуль силы  $F$  равен

- 1) 6 Н      2) 9 Н      3) 12 Н      4) 18 Н



Поскольку система покоится, силы упругости, действующие на брусок со стороны обеих пружин одинаковы и равны  $F$  (третий закон Ньютона). В таком случае  $F = k_1 x_1 = 300 \cdot 0,03 = 9$  Н

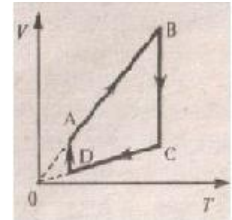
А8. Какое из утверждений справедливо для кристаллических тел?

- 1) Во время плавления температура кристалла изменяется.
- 2) В расположении атомов кристалла отсутствует порядок.
- 3) Атомы кристалла расположены упорядоченно.
- 4) Атомы свободно перемещаются в пределах кристалла.

Справедливым является утверждение: «Атомы кристалла расположены упорядоченно», чем собственно и отличается кристаллическое тело от аморфного, от жидкости и от газа. Кроме того, температура в течение всего времени плавления кристаллического тела остаётся неизменной.

А9. На рисунке показан цикл, осуществляемый с идеальным газом. Изобарному нагреванию соответствует участок:

- 1) АВ      2) ВС      3) CD      4) DA



При изобарном процессе давление  $p = \text{const}$ . Анализируя уравнение Клапейрона-Менделеева  $pV = \nu RT$ , нетрудно заметить, что при указанном условии график должен отражать прямую пропорциональную зависимость  $V \sim T$ , причём, объём  $V$  должен расти с температурой  $T$  (см направление стрелок на графике). Этим условиям удовлетворяет участок АВ/

А10. При каком процессе остается неизменной внутренняя энергия 1 моль идеального газа?

- 1) при изобарном расширении
- 2) при изохорном нагревании
- 3) при адиабатном сжатии
- 4) при изотермическом сжатии

Внутренняя энергия 1 моль идеального газа зависит только от его температуры:  $U_{\mu} = \frac{3}{2} RT$ . Внутренняя энергия газа будет неизменной, если процесс изотермический.

А11. В процессе эксперимента газ отдал окружающей среде количество теплоты, равное 3 кДж. При этом внутренняя энергия газа уменьшилась на 13 кДж. Следовательно, газ расширился, совершив работу

- 1) 3 кДж      2) 10 кДж      3) 13 кДж      4) 16 кДж

Ясно, что работу газ совершал за счёт своей внутренней энергии, поскольку тепло к газу не подводилось. В этом случае 1-е начало термодинамики (закон сохранения энергии) можно записать в следующем виде:  $\Delta U = \Delta Q + A$ . Откуда следует

$$A = \Delta U - \Delta Q = 13 - 3 = 10 \text{ кДж}$$

А12. Из стеклянного сосуда стали выпускать сжатый воздух, одновременно охлаждая сосуд. При этом температура воздуха упала вдвое, а его давление уменьшилось в 3 раза. Масса воздуха в сосуде уменьшилась в

- 1) 2 раза      2) 3 раза      3) 6 раз      4) 1,5 раза

Можно записать уравнение состояния газа до того, как начали выпускать воздух  $pV = \frac{m_1}{\mu} RT$  (1)

и по окончании этого процесса  $\frac{p}{3}V = \frac{m_2}{\mu}R\frac{T}{2}$  (2). Чтобы найти во сколько раз уменьшилась масса воздуха, достаточно (почленно) разделить 1-е уравнение на 2-е. Получим:  $\frac{m_1}{m_2} = \frac{3}{2} = 1,5$ .

A13. Расстояние между двумя точечными электрическими зарядами увеличили в 2 раза, а один из зарядов уменьшили в 4 раза. Сила электрического взаимодействия между ними

- 1) не изменилась 2) уменьшилась в 4 раза 3) увеличилась в 4 раза 4) уменьшилась в 16 раз

Сила взаимодействия между электрическими зарядами определяется законом Кулона:  $F_1 = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ .

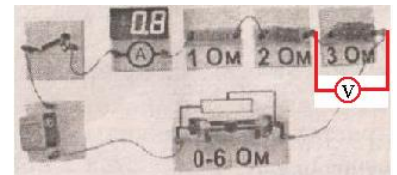
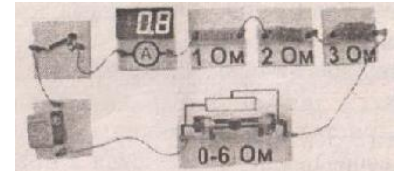
После изменений, указанных в задаче  $F_2 = k \frac{q_1}{4} \frac{q_2}{(2r)^2} = k \frac{q_1 q_2}{16r^2} = \frac{F_1}{16}$ , сила взаимодействия уменьшилась в 16 раз.

A14. На фотографии – электрическая цепь. Показания включенного в цепь амперметра даны в амперах.

Какое напряжение покажет идеальный вольтметр, если его подключить параллельно резистору 3 Ом?

- 1) 0,8 В 2) 1,6 В 3) 2,4 В 4) 4,8 В

Вольтметр должен быть подсоединён параллельно резистору 3 Ом. При этом он покажет напряжение на выбранном участке цепи, то есть на резисторе  $R = 3$  Ом. Если по резистору течёт ток  $I = 0,8$  А, в соответствии с Ома для участка цепи  $I = \frac{U}{R}$  напряжение  $U = I \cdot R = 0,8 \cdot 3 = 2,4$  В.



A15. Прямолинейный проводник длиной  $L$  с током  $I$  помещен в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции  $\mathbf{B}$ . Как изменится сила Ампера, действующая на проводник, если его длину увеличить в 2 раза, а силу тока в проводнике уменьшить в 4 раза?

- 1) не изменится 3) увеличится в 2 раза  
2) уменьшится в 4 раза 4) уменьшится в 2 раза

Величина силы Ампера, действующей на проводник с током в магнитном поле ( $\mathbf{B} \perp$  проводнику),

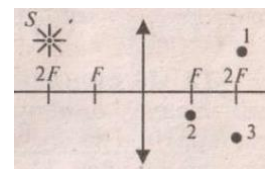
определяется выражением:  $F_A = IB\ell$ . После изменений параметров  $F_{A1} = \frac{I}{4} B \cdot 2\ell = \frac{F_A}{2}$  сила Ампера уменьшится в 2 раза.

A16. Согласно теории Максвелла, заряженная частица излучает электромагнитные волны в вакууме

- 1) только при равномерном движении по прямой в инерциальной системе отсчета (ИСО)  
2) только при гармонических колебаниях в ИСО  
3) только при равномерном движении по окружности в ИСО  
4) при любом ускоренном движении в ИСО (это верный ответ), в том числе, в частности (но не только), и в случаях, описанных в вариантах 2 и 3, поскольку в этих случаях заряженная частица также движется ускоренно.

A17. Где находится изображение светящейся точки  $S$  (см. рисунок), создаваемое тонкой собирающей линзой?

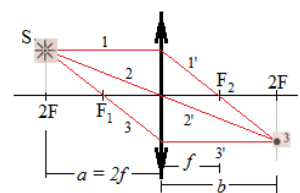
- 1) в точке 1  
2) в точке 2  
3) в точке 3  
4) на бесконечно большом расстоянии от линзы



Положение изображения можно найти либо построением, либо по формуле линзы:  $\frac{1}{b} + \frac{1}{a} = \frac{1}{f}$ .

При построении изображения полезно различать «передний –  $F_1$ » и «задний  $F_2$ » фокусы линзы. *Изображение* строят тщательно, соблюдая следующие правила:

1. Луч 1, идущий от источника света параллельно главной оптической оси, после преломления в линзе, идёт через задний фокус  $F_2$ .
2. Луч 2, проходящий через центр линзы, не преломляется.
3. Луч 3, идущий через передний фокус  $F_1$ , после преломления в линзе, идёт параллельно главной оптической оси.



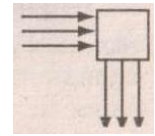
Хотя обычно для построения изображения достаточно два любых луча, полезно использовать и третий (контрольный) луч. Если все они пересекутся в одной точке, значит построение *выполнено верно*. Непосредственно из чертежа видно, что изображение находится в точке 3. (См. нижний рисунок).

Расчёт по формуле линзы:  $\frac{1}{b} + \frac{1}{2f} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{b} = \frac{1}{f} - \frac{1}{2f} = \frac{1}{2f} \Rightarrow b = 2f$ , то есть

опять же в точке 3.

A18. Пройдя некоторую оптическую систему, параллельный пучок света поворачивается на  $90^\circ$  (см. рисунок). Оптическая система представляет собой,

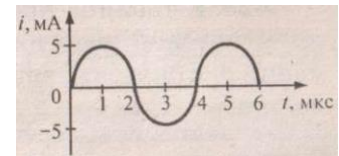
- 1) собирающую линзу
- 2) рассеивающую линзу
- 3) плоское зеркало
- 4) матовую пластинку



Оптическая система представляет собой плоское зеркало, расположенное под углом  $45^\circ$  к падающему пучку света. Линза не поворачивает падающий пучок. Матовая пластинка рассеивает свет во все стороны и параллельного пучка на выходе оптической системы возникнуть не может.

A19. На рисунке приведен график зависимости силы тока от времени в колебательном контуре с последовательно включенными конденсатором и катушкой, индуктивность которой равна  $0,2$  Гн. Максимальное значение энергии электрического поля конденсатора равно

- 1)  $2,5 \cdot 10^{-6}$  Дж
- 2)  $5 \cdot 10^{-6}$  Дж
- 3)  $5 \cdot 10^{-4}$  Дж
- 4)  $10^{-3}$  Дж



Для электромагнитных колебаний в колебательном контуре выполняется закон сохранения энергии: энергия, сосредоточенная в магнитном поле катушки равна энергии, содержащейся в электрическом поле

конденсатора:  $W_L = \frac{LI_m}{2} = \frac{CU_m}{2} = W_C$ . Таким образом:  $W_C = W_L = \frac{LI_m}{2} = \frac{0,2 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{2} = 5 \cdot 10^{-4}$  Дж.

A20. На рисунке представлен фрагмент Периодической системы элементов Д.И. Менделеева. Под названием элемента приведены массовые числа его основных стабильных изотопов, нижний индекс около массового числа указывает (в процентах) распространенность изотопа в природе.

2	II	Li <sup>3</sup> Литий 7 <sub>92</sub> 6 <sub>7,4</sub>	Be <sup>4</sup> Бериллий 9 <sub>100</sub>	5 B Бор 11 <sub>80</sub> 10 <sub>20</sub>
3	III	Na <sup>11</sup> Натрий 23 <sub>100</sub>	Mg <sup>12</sup> Магний 24 <sub>79</sub> 26 <sub>11</sub> 25 <sub>10</sub>	13 Al Алюминий 27 <sub>100</sub>
4	IV	K <sup>19</sup> Калий 39 <sub>93</sub> 41 <sub>0,7</sub>	Ca <sup>20</sup> Кальций 40 <sub>97</sub> 44 <sub>2,1</sub>	21 Sc Скандий 45 <sub>100</sub>
	V	29 Cu Медь 63 <sub>69</sub> 65 <sub>31</sub>	30 Zn Цинк 64 <sub>49</sub> 66 <sub>26</sub> 68 <sub>19</sub>	31 Ga Галлий 69 <sub>60</sub> 71 <sub>40</sub>

Число протонов и число нейтронов в ядре самого распространенного изотопа бора соответственно равно

- 1) 6 протонов, 5 нейтронов
- 2) 10 протонов, 5 нейтронов
- 3) 6 протонов, 11 нейтронов
- 4) 5 протонов, 6 нейтронов

Судя по данным, приведенным в таблице, самым распространенным является изотоп  $^{11}_5\text{B}$ , который содержит  $Z = 5$  (зарядовое число = атомный номер элемента) протонов и  $N = A - Z = 11 - 5 = 6$  нейтронов, где  $A = 11$  – массовое число ядра.

- A21.  $\beta$ -излучение представляет собой поток
- 1) ядер гелия
  - 2) протонов
  - 3) фотонов
  - 4) электронов – (верный ответ)

**Для справки:**  $\alpha$  - излучение – это поток ядер атомов  ${}^4_2\text{He}$ .  $\gamma$  - излучение – поток фотонов очень коротковолнового электромагнитного излучения, испускаемых возникающими в результате ядерной реакции возбужденными ядрами атомов при переходе их в невозбужденное (стационарное) состояние.

A22. Ядро изотопа тория  ${}^{224}_{90}\text{Th}$  претерпевает три последовательных  $\alpha$  - распада. В результате получится ядро

- |                                     |                                     |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1. полония ${}^{212}_{84}\text{Po}$ | 3) платины ${}^{196}_{78}\text{Pt}$ |
| 2. кюрия ${}^{246}_{86}\text{Cm}$   | 4) урана ${}^{230}_{92}\text{U}$    |

Используя законы сохранения зарядовых и массовых чисел, можно записать итоговую ядерную реакцию распада:  ${}^{224}_{90}\text{Th} \rightarrow 2{}^4_2\text{He} + 2{}^4_2\text{He} + 2{}^4_2\text{He} + {}^{212}_{84}\text{Po}$ . Получится ядро атома  ${}^{212}_{84}\text{Po}$ .

A23. В таблице приведены значения максимальной кинетической энергии  $E_{\text{max}}$  фотоэлектронов при облучении фотокатода монохроматическим светом с длиной волны  $\lambda$ .

$\lambda$	$\lambda_0$	$\frac{1}{2}\lambda_0$
$E_{\text{max}}$	$E_0$	$4E_0$

Чему равна работа выхода  $A_{\text{вых}}$  фотоэлектронов с поверхности фотокатода?

- 1)  $\frac{1}{2}E_0$       2)  $E_0$       3)  $2E_0$       4)  $3E_0$

Расчётная задача, опирающаяся на уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:  $h\frac{c}{\lambda} = A_{\text{вых}} + E_{\text{max}}$ . Запишем

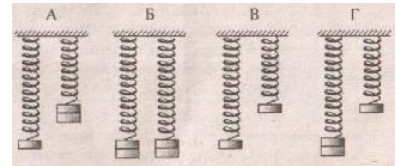
уравнение фотоэффекта для второго  $h\frac{c}{\lambda_0} = A_{\text{вых}} + E_0$  (1) и третьего столбца таблицы  $2h\frac{c}{\lambda_0} = A_{\text{вых}} + 4E_0$  (2).

Решаем совместно уравнения (1) и (2). Вычитая из уравнения (2) уравнение (1), получим:  $h\frac{c}{\lambda_0} = 3E_0$ .

Подставим найденное значение энергии фотона в уравнение (1).  $3E_0 = A_{\text{вых}} + E_0$ . Откуда следует:  $A_{\text{вых}} = 2E_0$ .

A24. Необходимо экспериментально обнаружить зависимость периода колебаний пружинного маятника от жесткости пружины. Какую пару маятников можно использовать для этой цели?

- 1) только А      3) только В  
2) только Б      4) только Г.



При выборе опираться следует на закон Гука:  $F_{\text{упр}} = -kx$ . Подойдет пара маятников, которые при одинаковой нагрузке  $F$  дадут неодинаковое удлинение  $x$ . Жесткость пружин таких маятников будет различна:  $k_1 \neq k_2$ . Это будет пара В.

A25. На рисунке показаны результаты измерения давления постоянной массы разреженного газа при повышении его температуры. Погрешность измерения температуры  $\Delta T = \pm 10 \text{ K}$ , давления  $\Delta p = \pm 2 \cdot 10^4 \text{ Па}$ . Газ занимает сосуд объемом 5 л. Чему равно число молей газа?

- 1) 0,2      2) 0,4      3) 1,0      4) 2,0

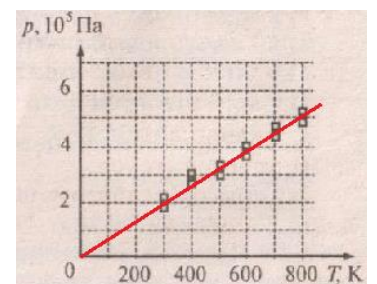
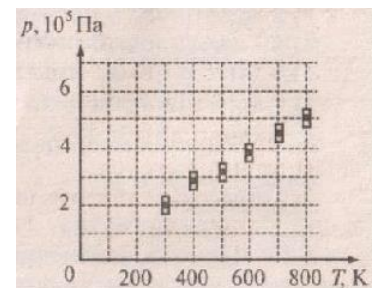
Как видно из графика, приводимого снизу, полученные данные хорошо ложатся на изохору в координатах  $(p, T)$ .

Опираясь на уравнение состояния газа  $pV = \nu RT$  и данные графика,

найдем: что  $\nu = \frac{pV}{RT} = \frac{5 \cdot 10^5 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{8,31 \cdot 800} = 0,38 \approx 0,4$  моль.

Относительную погрешность измерений рассчитываем по формуле:

$$\delta_\nu = \frac{\Delta \nu}{\nu} = \sqrt{\left(\frac{\Delta T}{T}\right)^2 + \left(\frac{\Delta p}{p}\right)^2}. \quad \text{Значения } R \text{ и } V \text{ полагаем точными.}$$



В таком случае:  $\delta_v = \frac{\Delta v}{0,4} = \sqrt{\left(\frac{10}{800}\right)^2 + \left(\frac{2 \cdot 10^4}{5 \cdot 10^5}\right)^2} \approx 0,042$ . Как видно, относительная погрешность

расчётов  $\delta_v = \frac{\Delta v}{v}$  не превышает 5%. Абсолютная погрешность составляет

$$\Delta v = \delta_v \cdot v = 0,042 \cdot 0,4 = 0,017 \approx 0,02.$$

Результат расчётов  $v_{\text{расч}} = v \pm \Delta v = 0,4 \pm 0,02 \approx 0,4$

### ЧАСТЬ 2

**Ответом к каждому из заданий В1—В4 будет некоторая последовательность цифр. Эту последовательность надо записать в бланк ответов № 1 справа от номера соответствующего задания без пробелов и каких-либо символов, начиная с первой клеточки. Каждую цифру пишите в отдельной клеточке в соответствии с приведенными в бланке образцами.**

В1. Брусok скользит по наклонной плоскости вниз без трения. Что происходит при этом с его скоростью, потенциальной энергией, силой реакции наклонной плоскости?

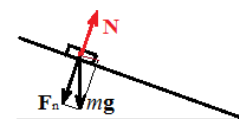
Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

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

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

Скорость бруска	Потенциальная энергия бруска	Сила реакции наклонной плоскости

Поскольку трение отсутствует, скорость бруска будет расти, так как по мере уменьшения высоты бруска по отношению к поверхности земли будет уменьшаться его потенциальная энергия и увеличиваться кинетическая. При этом реакция опоры  $N$  (наклонной плоскости) изменяться не будет, поскольку  $N = F_n$  – нормальная к наклонной плоскости составляющая силы тяжести  $mg$ . (См. рис.)



В2. Одноатомный идеальный газ неизменной массы в изотермическом процессе совершает работу  $A > 0$ . Как меняется в этом процессе объем, давление и внутренняя энергия газа?

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.

Объем газа	Давление газа	Внутренняя энергия газа

Поскольку процесс изотермический ( $T = \text{const}$  и  $\Delta T = 0$ ) – внутренняя энергия газа не меняется.

Следовательно, работа, которую совершает газ в процессе своего расширения (объем газа должен увеличиваться) будет сопровождаться уменьшением давления газа. Основания для выводов:

а) первое начало термодинамики:  $\Delta Q = \Delta U + A$ , где  $\Delta U = \nu \frac{3}{2} R \cdot \Delta T = 0$ , и

б) уравнение состояния газа  $pV = \nu RT$ .

В3. Как меняются массовое число и зарядовое число ядра при  $\beta^-$  – распаде?

Установите соответствие между физическими величинами и характером их изменения.

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

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ЕЕ ИЗМЕНЕНИЕ

А) Массовое число ядра

1) уменьшается на 1

Б) Зарядовое число ядра

2) уменьшается на 2

3) увеличивается на 1

4) не изменяется

А	Б

$\beta^-$  – излучение – это поток электронов  ${}^0_{-1}e$ . Схему  $\beta^-$  – распада можно представить следующим образом:  
 ${}^M_Z X \rightarrow {}^M_{Z+1} Y + {}^0_{-1}e$ . Нетрудно заметить, что в ядерной реакции распада выполняются законы сохранения зарядовых  $Z = (Z + 1) - 1$  и массовых чисел  $M = M + 0$ . **Выводы:** массовое число ядра не изменяется; зарядовое число увеличивается на 1.

Поскольку электроны в ядре отсутствуют, можно заметить, что вылетающий из ядра электрон возникает в результате превращения одного из нейтронов ядра в протон.

Схема внутриядерного превращения:  ${}^1_0n \rightarrow {}^1_1p + {}^0_{-1}e$

В4. Резистор с сопротивлением  $R$  подключен к источнику тока с внутренним сопротивлением  $r$ . Сила тока в цепи равна  $I$ . Чему равны ЭДС источника и напряжение на его выводах?

Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать.

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

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА	ФОРМУЛА
А) ЭДС источника	1) $Ir$
Б) Напряжение на выводах источника	2) $IR$
	3) $I(R + r)$
	4) $\frac{IR^2}{r}$

А	Б

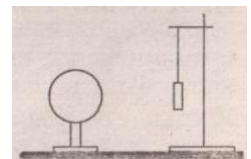
Из закона Ома для замкнутой цепи  $I = \frac{\varepsilon}{R + r}$  следует, что ЭДС  $\varepsilon = I(R + r)$ . Напряжение на выводах источника в точности равно падению напряжения на внешнем участке цепи. Его можно найти из закона Ома для (внешнего) участка цепи –  $U = IR$ .

*Не забудьте перенести все ответы в бланк ответов № 1.*

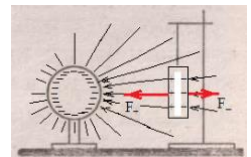
### ЧАСТЬ 3

Задания С1—С6 представляют собой задачи, полное решение которых необходимо записать в бланке ответов № 2. Рекомендуется провести предварительное решение на черновике. При оформлении решения в бланке ответов № 2 запишите сначала номер задания (С1 и т.д.), а затем решение соответствующей задачи.

С1. Легкая трубочка из тонкой алюминиевой фольги подвешена к штативу на тонкой шелковой нити. Что произойдет с трубочкой, когда вблизи нее окажется отрицательно заряженный шар? Трубочка не заряжена, длина нити не позволяет трубочке коснуться шара. Ответ обоснуйте, указав, какие физические явления и закономерности вы использовали.



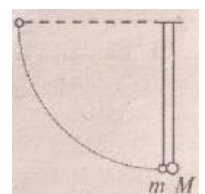
Отрицательно заряженный шар создаёт в окружающем пространстве электрическое поле. На трубочке, оказавшейся в этом поле, произойдёт перераспределение зарядов (явление электростатической индукции). Положительные заряды на трубке располагаются ближе к шару и притягиваются к нему с силой  $F_+ > F_-$  – силы, с которой отталкиваются от шара отрицательные заряды на трубочке. Эти заряды расположены от шара дальше.



Итоговый эффект – трубочка сместится по направлению к шару. А поскольку длина нити не позволит трубочке коснуться шара, установится равновесие, при котором нижний конец нити с трубкой будет смещен в сторону шара.

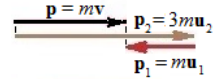
Полное правильное решение каждой из задач С2—С6 должно включать законы и формулы, применение которых необходимо и достаточно для решения задачи, а также математические преобразования, расчеты с численным ответом и, при необходимости, рисунок, поясняющий решение.

С2. Два шарика, массы которых отличаются в 3 раза, висят, соприкасаясь, на вертикальных нитях (см. рисунок). Легкий шарик отклоняют на угол  $90^\circ$  и отпускают без начальной скорости. Каким будет отношение кинетических энергий тяжелого и легкого шариков тотчас после их абсолютно упругого центрального удара?



В момент соударения импульс налетающего шарика  $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$ . Обозначив импульсы легкого шарика

$p_1 = m\mathbf{u}_1$ , а тяжелого шарика  $p_2 = 3m\mathbf{u}_2$ , можем записать закон сохранения импульса сначала в



векторной  $\mathbf{p} = \mathbf{p}_2 + \mathbf{p}_1$  (см. векторную диаграмму), а затем в скалярной форме  $m\mathbf{v} = 3m\mathbf{u}_2 - m\mathbf{u}_1$

. Последняя запись позволяет найти соотношение между скоростями.  $v = 3u_2 - u_1$  (1).

Другое соотношение мы можем получить на основе закона сохранения энергии:  $\frac{m\mathbf{v}^2}{2} = \frac{3m\mathbf{u}_2^2}{2} + \frac{m\mathbf{u}_1^2}{2}$ .

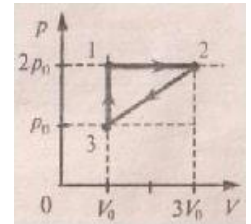
$$v^2 = 3u_2^2 + u_1^2. \quad (2)$$

Совместно решая систему уравнений (1) и (2), найдём:  $u_1 = 3u_2$ , что позволяет найти соотношение

кинетических энергий тяжелого  $W_2 = \frac{3mu_2^2}{2}$  и лёгкого  $W_1 = \frac{mu_1^2}{2} = \frac{m(3u_2)^2}{2}$  шариков после соударения:

$$\frac{W_2}{W_1} = \frac{3mu_2^2}{m(3u_2)^2} = \frac{1}{3}$$

С3. Одноатомный идеальный газ неизменной массы совершает циклический процесс, показанный на рисунке. За цикл от нагревателя газ получает количество теплоты  $Q_H = 8$  кДж. Чему равна работа газа за цикл?



Работа газа за цикл определяется площадью кривой, ограничивающей цикл.

$A = \frac{1}{2}(2p_0 - p_0)(3V_0 - V_0) = p_0V_0$ . Однако, чтобы найти её численное значение необходимо величину  $p_0V_0$  связать с количеством теплоты, полученной от нагревателя  $Q_H$ . Газ получал теплоту в процессах  $1 \Rightarrow 2$  и  $3 \Rightarrow 1$ , то есть  $Q_H = Q_{12} + Q_{31}$ . На участке  $2 \Rightarrow 3$  газ отдавал тепло холодильнику.

Пользуясь уравнением Менделеева-Клапейрона, найдём температуру газа в каждом из трёх состояний.

$$\text{Состояние 1.} \quad 2p_0V_0 = \nu RT_1 \quad \Rightarrow \quad T_1 = \frac{2p_0V_0}{\nu R} \quad (1)$$

$$\text{Состояние 2.} \quad 6p_0V_0 = \nu RT_2 \quad \Rightarrow \quad T_2 = \frac{6p_0V_0}{\nu R} \quad (2)$$

$$\text{Состояние 3.} \quad p_0V_0 = \nu RT_3 \quad \Rightarrow \quad T_3 = \frac{p_0V_0}{\nu R} \quad (3). \text{ Следовательно: } T_2 > T_1 > T_3.$$

Рассмотрим изобарный процесс  $1 \Rightarrow 2$ . Количество теплоты, которое получает газ в этом процессе, найдём, пользуясь 1-м началом термодинамики:  $Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12}$ .

$$\text{Работа в этом процессе} \quad A_{12} = 2p_0 \cdot 2(3V_0 - V_0) = 4p_0V_0.$$

$$\text{Изменение внутренней энергии} \quad \Delta U_{12} = \frac{3}{2}\nu R(T_2 - T_1) = [\text{см. (1) и (2)}] = \frac{3}{2}\nu R \frac{1}{\nu R}(6 - 2)p_0V_0 = 6p_0V_0$$

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} = 10p_0V_0.$$

Изохорный процесс  $3 \Rightarrow 1$ . В изохорном процессе газ работы не совершает, следовательно, вся подводимая теплота идёт на увеличение внутренней энергии газа.

$$Q_{31} = \Delta U_{31} = \frac{3}{2}\nu R(T_1 - T_3) = [\text{см (3) и (1)}] = 1,5p_0V_0.$$

$$\text{Таким образом, } Q_H = Q_{12} + Q_{31} = 10p_0V_0 + 1,5p_0V_0 = 11,5p_0V_0 \quad \Rightarrow \quad p_0V_0 = \frac{Q_H}{11,5}.$$

$$\text{В таком случае (см. начало решения),} \quad A = p_0V_0 = \frac{Q_H}{11,5} = \frac{8}{11,5} \approx 0,7 \text{ кДж} = 700 \text{ Дж}$$

С4. Электрическая цепь состоит из источника тока и реостата. ЭДС источника  $\varepsilon = 6$  В, его внутреннее сопротивление  $r = 2$  Ом. Сопротивление реостата можно изменять в пределах от 1 Ом до 5 Ом. Чему равна максимальная мощность тока, выделяемая на реостате?



Максимальную мощность источник тока отдаёт так называемой «согласованной» нагрузке, то есть нагрузке, сопротивление которой равно внутреннему сопротивлению источника тока:  $R = r = 2 \text{ Ом}$ . (Для информации: в этом случае КПД рассматриваемой цепи – 50%).

Ток в цепи определяется законом Ома для полной цепи:  $I = \frac{\varepsilon}{R + r} = \frac{6}{2 + 2} = 1,5 \text{ А}$ , а потребляемая реостатом мощность  $P_{\text{max}} = I^2 R = (1,5)^2 \cdot 2 = 4,5 \text{ Вт}$ .

С5. Медное кольцо, диаметр которого 20 см, а диаметр провода кольца 2 мм, расположено в однородном магнитном поле. Плоскость кольца перпендикулярна вектору магнитной индукции. Определите модуль скорости изменения магнитной индукции со временем, если при этом в кольце возникает индукционный ток 10 А. Удельное сопротивление меди  $\rho_{\text{Cu}} = 1,72 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .

Кольцо, по которому течет ток, представляет собой замкнутую электрическую цепь. Величина индукционного тока в кольце определяется законом Ома для замкнутой цепи:  $I = \frac{\varepsilon_i}{R}$ . Учитывая, что сопротивление кольца определяется формулой:  $R = \rho \frac{l}{\sigma}$ , где длина кольца  $l = \pi D$ , а площадь поперечного сечения провода, из которого оно изготовлено  $\sigma = \frac{\pi d^2}{4}$ . Сопротивление кольца:  $R = \rho \cdot \pi D \cdot \frac{4}{\pi d^2} = \frac{4\rho D}{d^2}$ .

Величина ЭДС индукции определяется скоростью изменения магнитного потока:  $|\varepsilon_i| = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ . Поскольку в нашем случае магнитный поток  $\Phi = B \cdot S = B \cdot \frac{\pi D^2}{4}$ , его изменение  $\Delta\Phi = \Delta B \cdot \frac{\pi D^2}{4}$ . В таком случае ЭДС индукции  $|\varepsilon_i| = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta B}{\Delta t} \cdot \frac{\pi D^2}{4}$  и сила тока в кольце определится выражением:  $I = \frac{\varepsilon_i}{R} = \frac{\Delta B}{\Delta t} \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{d^2}{4\rho D}$ , а скорость изменения индукции магнитного поля  $\frac{\Delta B}{\Delta t} = I \cdot \frac{16\rho}{\pi D d^2} = 10 \cdot \frac{16 \cdot 1,72 \cdot 10^{-8}}{3,14 \cdot 0,2 \cdot (2 \cdot 10^{-3})^2} = 1,1 \text{ Тл/с}$ .

С6. Уровни энергии электрона в атоме водорода задаются формулой  $E_n = -\frac{13,6}{n^2} \text{ эВ}$ , где  $n = 1, 2, 3, \dots$ .

При переходе атома из состояния  $E_2$  в состояние  $E_1$  атом испускает фотон. Попадая на поверхность фотокатода, фотон выбивает фотоэлектрон. Длина волны света, соответствующая красной границе фотоэффекта для материала поверхности фотокатода,  $\lambda_{\text{кр}} = 300 \text{ нм}$ . Чему равна максимальная возможная скорость фотоэлектрона?

Энергия фотона, испущенного атомом водорода при переходе между энергетическими уровнями 2 – 1, определяется выражением:  $h\nu = E_2 - E_1 = -\frac{13,6}{2^2} - \left(-\frac{13,6}{1^2}\right) = 10,2 \text{ эВ} = 1,63 \cdot 10^{-18} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ .

Пользуясь уравнением Эйнштейна для фотоэффекта  $h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{m\nu_{\text{max}}^2}{2}$  (1), можно найти максимальную кинетическую энергию, а значит и максимальную скорость фотоэлектрона  $\nu_{\text{max}}$ .

Работа выхода может быть также найдена из уравнения Эйнштейна, поскольку известна красная граница фотоэффекта. «Красная граница» представляет собой максимальную длину волны, при которой фотоэффект ещё имеет место, а кинетическая энергия вылетевшего фотоэлектрона равна «нулю». В этом случае уравнение

Эйнштейна может быть записано следующим образом:  $h \frac{c}{\lambda_{\text{кр}}} = A_{\text{вых}}$ . Подставив значение работы выхода в

уравнение (1), получим выражение  $h\nu = h \frac{c}{\lambda_{\text{кр}}} + \frac{m\nu_{\text{max}}^2}{2}$ , из которого найдём максимальную скорость

$$\text{фотоэлектрона: } \nu_{\text{max}} = \sqrt{\frac{2 \left( h\nu - h \frac{c}{\lambda_{\text{кр}}} \right)}{m}}.$$

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{2 \cdot \left( 1,63 \cdot 10^{-18} - 6,63 \cdot 10^{-34} \frac{3 \cdot 10^8}{0,3 \cdot 10^{-6}} \right)}{0,91 \cdot 10^{-30}}} = 1,46 \cdot 10^6 \text{ м/с} .$$