

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

**Вариант 6**

**ЧАСТЬ 1**

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

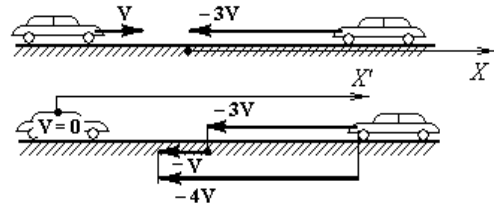
A1. Два автомобиля движутся по прямому шоссе: первый – со скоростью  $\vec{v}$ , второй – со скоростью  $(-3\vec{v})$ . Какова скорость второго автомобиля относительно первого?

- 1)  $\vec{v}$                       2)  $-4\vec{v}$                       3)  $-2\vec{v}$                       4)  $4\vec{v}$

Скорости движения автомобилей даны в системе отсчёта  $X$ , связанной с поверхностью земли (относительно земли).

В системе отсчёта  $X'$ , связанной с первым автомобилем, первый автомобиль покоится, поверхность земли перемещается со скоростью  $-\vec{v}$  (нижний рис.), а второй автомобиль движется по поверхности земли (т.е. относительно земли) со скоростью  $-3\vec{v}$ . В таком случае скорость второго автомобиля в системе  $X'$

(относительно первого) определится векторным равенством:  $\vec{v}_{X'} = -3\vec{v} + (-\vec{v}) = -4\vec{v}$ .



A2. В инерциальной системе отсчета сила  $F$  сообщает телу массой  $m$  ускорение  $a$ . Как надо изменить величину силы, чтобы при уменьшении массы тела вдвое его ускорение стало в 4 раза больше?

- 1) увеличить в 2 раза                      3) уменьшить в 2 раза  
2) увеличить в 4 раза                      4) оставить неизменной

В соответствии со вторым законом Ньютона, ускорение тела прямо пропорционально действующей на него силе и обратно пропорционально массе тела:  $a = \frac{F}{m}$ , или  $F = ma$ . После соответствующих изменений

закон Ньютона можно записать в виде:  $4a = \frac{F'}{m/2} \Rightarrow F' = 4a \cdot \frac{m}{2} = 2ma = 2F$ . Правильный ответ – 1.

A3. Два маленьких шарика массой  $m$  каждый находятся на расстоянии  $r$  друг от друга и притягиваются с силой  $F$ . Какова сила гравитационного притяжения двух других шариков, если масса каждого из них  $m/2$ , а расстояние между их центрами  $2r$

- 1)  $\frac{1}{2}F$                       2)  $\frac{1}{4}F$                       3)  $\frac{1}{8}F$                       4)  $\frac{1}{16}F$

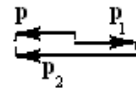
В соответствии с законом всемирного тяготения  $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ . Для шариков массы  $m$ :  $F = G \frac{m^2}{r^2}$ .

Во втором случае  $F' = G \frac{(m/2)^2}{(2r)^2} = G \frac{m^2}{16r^2} = \frac{1}{16}F$

A4. Две тележки движутся навстречу друг другу с одинаковыми по модулю скоростями  $v$ . Массы тележек  $m$  и  $2m$ . Какой будет скорость движения тележек после их абсолютно неупругого столкновения?

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

В результате неупругого соударения обе тележки сцепятся друг с другом и образуют единую систему с массой  $3m$ .



В соответствии с законом сохранения импульса, импульс сцепившихся тележек  $\mathbf{p} = \mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2$  (сложение векторное). Величины импульсов:  $p_1 = mv$ ,  $p_2 = 2mv$ . Величина суммарного импульса системы тележек (длина отрезка  $p$ ) определится равенством (работаем с отрезками; см. рис.):  $p = p_2 - p_1 = 2mv - mv = mv$ . Учитывая, что импульс системы из двух тележек  $p = 3mu$  (по определению импульса), получим  $3mu = mv$ .

Откуда следует, что  $u = \frac{1}{3}v$ .

A5. Парашютист спускается с неизменной скоростью, а энергия его взаимодействия с Землей постепенно уменьшается. При спуске парашютиста

- 1) его потенциальная энергия полностью преобразуется в кинетическую энергию  
2) его полная механическая энергия не меняется  
3) его потенциальная энергия полностью преобразуется во внутреннюю энергию парашютиста и воздуха  
4) его кинетическая энергия преобразуется в потенциальную

Раскрывшийся парашют сильно увеличивает сопротивление воздуха движению парашютиста (аналогично тому, как сила трения тормозит движение тела) Воздух, и парашютист при этом нагреваются, т.е. потенциальная энергия парашютиста преобразуется во внутреннюю энергию парашютиста и воздуха (3).

А6. Скорость тела, совершающего гармонические колебания, меняется с течением времени в соответствии с уравнением  $y = a \sin bt$ , где  $a = 3 \cdot 10^{-2}$  м/с,  $b = 2\pi \text{ с}^{-1}$ . Амплитуда колебаний скорости равна

- 1)  $3 \cdot 10^{-2}$  м/с    2)  $6 \cdot 10^{-2}$  м/с    3)  $2 \cdot 10^{-2}$  м/с    4)  $2\pi \cdot 10^{-2}$  м/с

В данной задаче  $v = y$  – мгновенная скорость движения тела.

Амплитудой колебаний любой величины, периодически изменяющейся по гармоническому закону, называется максимальное значение, которое может иметь эта величина. Поскольку максимальное значение функции  $\sin bt = \pm 1$ , амплитудное значение скорости  $v_{\max} = y_{\max} = a = 3 \cdot 10^{-2}$  м/с. Чисто формально, амплитудой называют величину, стоящую перед знаком "sin", или "cos". В данном случае она обозначена буквой  $a$ .

А7. Подвешенный на нити грузик совершает гармонические колебания. В таблице представлены координаты груза промежутки времени. максимальная

$t$ (с)	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
$x$ (см)	6	3	0	3	6	3	0	3

таблице представлены через одинаковые Какова, примерно, скорость груза?

- 1) 1,24 м/с    2) 0,47 м/с    3) 0,62 м/с    4) 0,16 м/с

Поскольку грузик совершает гармонические колебания в пределах от 0 до 6 см (вдоль оси  $X$ ), положению его равновесия соответствует координата 3 см.

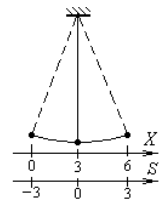
Амплитуда колебаний  $X_0 = 3 \text{ см} = 0,03 \text{ м}$ . Период колебаний  $T = 0,4 \text{ с}$ . Циклическая частота

$\omega = \frac{2\pi}{T} \approx 15,7 \text{ с}^{-1}$ . Перейдём в другую систему координат (ось  $S$ ). Обозначив смещение груза от положения

равновесия буквой  $s$  можно записать уравнение его колебаний  $s = X_0 \cos \omega t = 0,03 \cos 15,7t$ . Скорость колебательного движения груза можно найти как первую производную от его смещения:

$$v = s' = -\omega X_0 \sin \omega t.$$

Из последнего выражения нетрудно сделать вывод, что максимальная скорость груза (амплитудное значение скорости) определяется выражением:  $v_{\max} = \omega X_0 \approx 15,7 \cdot 0,03 = 0,47 \text{ м/с}$



А8. Из контейнера с твердым литием изъяли 4 моль этого вещества. При этом число атомов лития в контейнере уменьшилось на

- 1)  $4 \cdot 10^{23}$     2)  $12 \cdot 10^{23}$     3)  $24 \cdot 10^{23}$     4)  $36 \cdot 10^{23}$

1 моль – это количество вещества, содержащее строго определенное число атомов или молекул (структурных единиц вещества). Это число получило название – число Авогадро:  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ .

4 моль вещества (лития) содержат  $n = 4N_A = 4 \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \approx 24 \cdot 10^{23}$  атомов лития.

А9. Металлический стержень нагревают, поместив один его конец в пламя (см. рисунок). Через некоторое время температура металла в точке А повышается. Это можно объяснить передачей энергии от места нагревания в точку А

- 1) в основном путем теплопроводности
- 2) путем конвекции и теплопроводности
- 3) в основном путем излучения и конвекции
- 4) путем теплопроводности, конвекции и лучистого теплообмена примерно в равной мере.



Правильный ответ можно найти, если помнить, что

- теплопроводность – это направленный перенос внутренней энергии от более нагретой части тела к части тела, имеющей более низкую температуру. Такой перенос осуществляется за счёт передачи энергии между соседними молекулами тела при их взаимодействии;
- конвекция – это передача энергии в форме тепла между твёрдыми телами, или неравномерно нагретыми частями жидкости (газа), осуществляемая в результате перемещения значительных масс жидкости (газа) относительно друг друга или по отношению к твёрдым телам;
- излучение – это способ передачи тепловой энергии посредством обмена квантами электромагнитного излучения. Правильный ответ – 1.

А10. Внутренняя энергия идеального газа в герметично закрытом сосуде уменьшается при

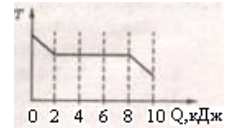
- 1) понижении его температуры    2) его изотермическом сжатии

3) уменьшении потенциальной энергии сосуда 4) уменьшении кинетической энергии сосуда.

Внутренней энергией тела называется энергия, обусловленная тепловым движением и взаимодействием молекул, составляющих это тело (без учёта энергии электронов в электронных оболочках и внутриядерной энергии).

Внутренняя энергия  $\nu$  моль одноатомного идеального газа зависит только от его абсолютной температуры  $T$ .  $U = \frac{3}{2} \nu RT$ .  $R$  – универсальная газовая постоянная. Правильный ответ – 1.

A11. Зависимость температуры первоначально жидкого серебра от количества выделенной им теплоты представлена на рисунке. Какое количество теплоты выделилось при кристаллизации серебра?



- 1) 2 кДж 2) 6 кДж 3) 8 кДж 4) 10 кДж

Кристаллизация (а также плавление) тела, с кристаллической структурой происходит при постоянной температуре (температура плавления тела). Этому процессу соответствует горизонтальный участок кривой на графике. Количество выделившейся при кристаллизации теплоты  $Q = 8 - 2 = 6$  кДж

A12. Воздух охлаждали в сосуде постоянного объема. При этом температура воздуха в сосуде снизилась в 4 раза, а его давление уменьшилось в 2 раза. Оказалось, что кран у сосуда был закрыт плохо, и через него просачивался воздух. Во сколько раз изменилась масса воздуха в сосуде?

- 1) увеличилась в 8 раз 3) уменьшилась в 2 раза  
2) уменьшилась в 8 раз 4) увеличилась в 2 раза

$V = const$ . Запишем уравнение Менделеева–Клапейрона до охлаждения газа:  $pV = \frac{m_1}{\mu} RT$  и после

охлаждения:  $\frac{p}{2} V = \frac{m_2}{\mu} R \frac{T}{4}$ . Поделив 1-е равенство на 2-е, получим:  $2 = \frac{m_1}{m_2} \cdot 4 \Rightarrow m_2 = 2m_1$ . В результате просачивания воздуха его масса в сосуде увеличилась в 2 раза.

A13. Какова разность потенциалов между точками поля, если при перемещении заряда 12 мкКл из одной точки в другую поле совершает работу 0,36 мДж?

- 1) 0,3 В 2) 3 В 3) 30 В 4) 300 В

Разность потенциалов между точками 1 и 2 электрического поля определяется как отношение работы  $A_{эл}$  электрического поля по перемещению заряда  $q$  между этими точками к величине перемещаемого заряда:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{эл}}{q} = \frac{0,36 \cdot 10^{-3}}{12 \cdot 10^{-6}} = 30 \text{ В}$$

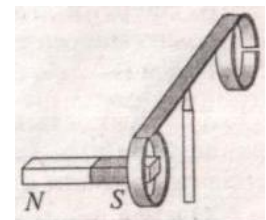
A14. Чему равно время прохождения тока силой 5 А по проводнику, если при напряжении на его концах 120 В в проводнике выделяется количество теплоты, равное 540 кДж?

- 1) 0,9 с 2) 187,5 с 3) 900 с 4) 22 500 с

Количество теплоты, выделяющейся в проводнике при протекании по нему электрического тока равно работе сил электрического поля, заставляющей заряды двигаться:  $Q = A_{эл} = IU \cdot t$ .

$$\Rightarrow t = \frac{Q}{IU} = \frac{540 \cdot 10^3}{5 \cdot 120} = 900 \text{ с}$$

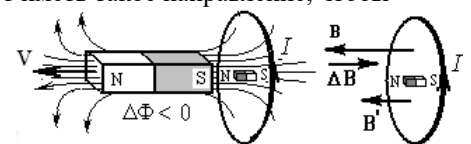
A15. На рисунке изображен момент демонстрационного эксперимента по проверке правила Ленца, когда все предметы неподвижны. Южный полюс магнита находится внутри сплошного металлического кольца, но не касается его. Коромысло с металлическими кольцами может свободно вращаться вокруг вертикальной опоры. При выдвигении магнита из кольца влево кольцо будет



- 1) оставаться неподвижным  
2) перемещаться вправо  
3) совершать колебания  
4) перемещаться вслед за магнитом

В соответствии с правилом Ленца, индукционный ток в кольце будет иметь такое направление, чтобы препятствовать причине, вызвавшей этот ток. Причина – расстояние между кольцом и магнитом увеличивается. Следствие – кольцо будет перемещаться вслед за магнитом.

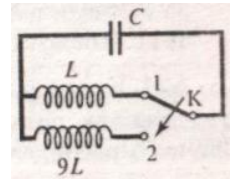
Механизм, заставляющий кольцо двигаться вслед за магнитом: При удалении магнита от кольца уменьшается магнитный поток через площадь кольца. А поскольку площадь кольца постоянна, уменьшение магнитного потока происходит за счёт уменьшения индукции  $\mathbf{B}$  магнитного поля в каждой точке площади кольца ( $\Delta \mathbf{B} \uparrow \downarrow \mathbf{B}$ , см. рис. справа). В



соответствии с правилом Ленца, в кольце возникает индукционный ток такого направления, что создаваемое им магнитное поле  $\mathbf{B}' \downarrow \uparrow \Delta \mathbf{B}$ . Соответственно кольцо с током становится подобным магниту, северный полюс которого находится слева, вблизи южного полюса движущегося магнита. Одноимённые полюса притягиваются, что и заставляет кольцо перемещаться вслед за магнитом.

A16. Как изменится период собственных колебаний в контуре (см. рисунок), если ключ К перевести из положения 1 в положение 2?

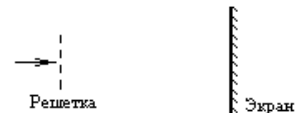
- 1) увеличится в 3 раза                      3) увеличится в 9 раз  
2) уменьшится в 3 раза                      4) уменьшится в 9 раз



Период электромагнитных колебаний, возникающих в колебательном контуре, определяется формулой Томсона:  $T_1 = 2\pi\sqrt{LC}$ . После того, как ключ перевели в положение 2, период колебаний  $T_2 = 2\pi\sqrt{9LC} = 3T_1$ , увеличится в 3 раза.

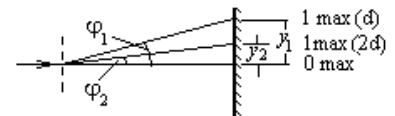
17. Луч от лазера направляется перпендикулярно плоскости дифракционной решетки (см. рисунок) в первом случае с периодом  $d$ , а во втором — с периодом  $2d$ . Расстояние между нулевым и первым дифракционным максимумами на удаленном экране

- 1) в обоих случаях одинаково                      3) во втором случае в 2 раза больше  
2) во втором случае в 2 раза меньше                      4) во втором случае в 4 раза больше



Направления на главные максимумы, даваемые дифракционной решеткой, определяются выражением:  $d \sin \varphi = \pm m\lambda$ , где  $m = 0, 1, 2, \dots$ . Поскольку в обоих случаях речь идёт только о первом максимуме углы, определяющие направления на 1-е максимумы малы и  $\sin \varphi \approx \varphi$  (в радианах). В таком случае, для первой решетки получим:  $d\varphi_1 = \lambda$ ; для второй:  $2d\varphi_2 = \lambda$ . Сравнивая найденные

выражения, получим:  $\varphi_2 = \frac{\varphi_1}{2}$ . Откуда следует:  $y_2 = \frac{y_1}{2}$ . Правильный



ответ – 2.

A18. Какие из следующих утверждений являются постулатами специальной теории относительности?

- А. Все инерциальные системы отсчета равноправны при описании любого физического процесса.  
Б. Скорость света в вакууме не зависит от скорости источника и приемника света.  
В. Энергия покоя любого тела равна произведению его массы на квадрат скорости света в вакууме.

- 1) А и Б                      2) А и В                      3) Б и В                      4) А, Б и В

Справедливы все три положения. Ответ 4.

A19. Емкость конденсатора в цепи переменного тока равна 50 мкФ. Зависимость напряжения на конденсаторе от времени имеет вид:  $U = U_0 \sin \omega t$ , где  $U_0 = 60$  В,  $\omega = 500$  с<sup>-1</sup>

Найдите амплитуду колебаний силы тока.

- 1)  $6,0 \cdot 10^{-6}$  А                      2)  $4,2 \cdot 10^{-4}$  А                      3) 1,5 А                      4)  $6,0 \cdot 10^{-8}$  А

Сила тока определяется законом Ома для переменного тока. Амплитуда тока  $I_0 = \frac{U_0}{X_C}$ , где  $X_C = \frac{1}{\omega C}$  –

ёмкостное сопротивление конденсатора. Таким образом,  $I_0 = \frac{U_0}{X_C} = U_0 \omega C = 60 \cdot 500 \cdot 50 \cdot 10^{-6} = 1,5$  А.

**Замечание.** Приведенные формулы остаются справедливыми и для эффективных значений переменного тока и напряжения:  $U = U_0 / \sqrt{2}$  и  $I = I_0 / \sqrt{2}$ .

A20. Явление интерференции электронов можно, объяснить, используя представление об электронах как о потоке частиц, обладающих

- 1) электрическим зарядом                      2) малой массой  
3) малыми размерами                      4) волновыми свойствами

В основе квантовой механики лежит идея Луи де-Бройля о том, что движение любой микрочастицы можно рассматривать как волновой процесс, длина которого  $\lambda = \frac{h}{p}$  определяется импульсом  $p$  частицы,  $h$  – постоянная Планка. Правильный ответ – 4.

A21. Какие заряд  $Z$  и массовое число  $A$  будет иметь ядро элемента, получившегося из ядра изотопа  ${}_{84}^{215}\text{Po}$  после одного  $\alpha$ -распада и одного электронного  $\beta$ -распада?

- 1)  $A = 213$   
 $Z = 82$       2)  $A = 211$   
 $Z = 83$       3)  $A = 219$   
 $Z = 86$       4)  $A = 212$   
 $Z = 83$

В процессе радиоактивного распада выполняются законы сохранения зарядовых и массовых чисел:

$$A' = 215 - 4 - 0 = 211 \quad Z' = 84 - 2 - (-1) = 83 \quad \left| \text{Реакция } {}_{84}^{215}\text{Po} \rightarrow {}_2^4\text{He} - {}_{-1}^0e = {}_{84-2+1=83}^{215-4=211}\text{Bi} \text{ . Висмут (ответ. 2)}$$

$$\downarrow {}^4\alpha \quad \downarrow {}^0\beta \quad \quad \quad \downarrow {}_2\alpha \quad \downarrow {}_{-1}\beta$$

A22. Какая из строчек таблицы правильно отражает структуру ядра  ${}_{50}^{132}\text{Sn}$  ?

	$p$ – число протонов	$n$ – число нейтронов
1)	132	182
2)	132	50
3)	60	132
4)	50	82

Число протонов в ядре олова  ${}_{50}^{132}\text{Sn}$  определяется зарядовым числом  $p = Z = 50$ . Это же число является порядковым номером элемента в периодической системе элементов Д.И. Менделеева.

Число нейтронов в ядре определяется разностью между массовым числом  $A$  (число нуклонов или суммарное число протонов и нейтронов в ядре) и зарядовым числом  $Z$  –  $n = A - Z = 132 - 50 = 82$ . Ответ – 4.

A23. Какое из трех видов радиоактивных излучений ( $\alpha$  – ,  $\beta$  – или  $\gamma$  – излучение) обладает наибольшей проникающей способностью?

- 1)  $\alpha$  – излучение    2)  $\beta$  – излучение    3)  $\gamma$  – излучение    4) все примерно в одинаковой степени

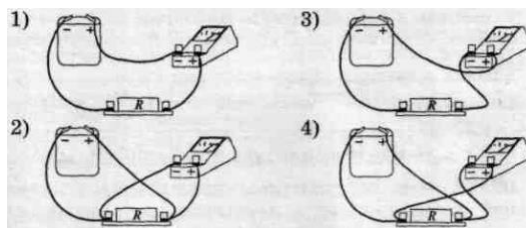
Механизм биологического действия излучения связан с ионизацией атомов и молекул живых клеток организма, что приводит к нарушениям его жизнедеятельности.

$\alpha$  – излучение представляет собой поток тяжелых ядер  ${}^4_2\text{He}$  и практически неспособно проникнуть через наружный слой кожи, образованный отмершими клетками. Сильно ионизируя встречающиеся на пути атомы и молекулы,  $\alpha$  – частицы быстро теряют энергию и останавливаются, превращаясь в нейтральные атомы гелия.

$\beta$  – излучение – поток электронов, несущих заряд, достаточно сильно взаимодействует с атомами и молекулами и проникает в ткани организма на глубину 1–2 см.

$\gamma$  – излучение – не несёт на себе заряда и слабо взаимодействует с молекулами, а потому **обладает наибольшей проникающей способностью**: его может задержать лишь толстая свинцовая или бетонная плита.

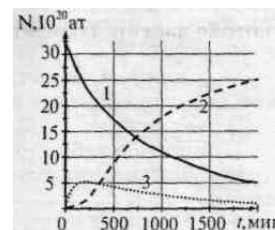
A24. При измерении силы тока в проволочной спирали  $R$  четыре ученика по-разному подсоединили амперметр. Результат изображен на рисунке. Укажите верное подсоединение амперметра.



Амперметр должен показывать силу тока, протекающего через спираль  $R$ , а потому должен быть подсоединен последовательно со спиралью (см. рис. 1 и 3). А поскольку на амперметре указана полярность подключения, ток через него должен протекать от (+) к (–). Правильная схема подсоединения представлена на рис. 3.

A25. Платина  ${}_{78}^{200}\text{Pt}$  в результате одного  $\beta$  – распада переходит в радиоактивный изотоп золота,  ${}_{79}^{200}\text{Au}$  который затем превращается в стабильный изотоп ртути  ${}_{80}^{200}\text{Hg}$ . На рисунках приведены графики изменения числа атомов с течением времени. Какой из графиков может относиться к изотопу  ${}_{79}^{200}\text{Au}$  ?

- 1) 1    2) 2    3) 3    4) ни один из графиков



Ни один из графиков. На графике 1 число атомов действительно уменьшается со временем, однако на нем невозможно найти два одинаковых отрезка времени, в течение которых число атомов уменьшается ровно в 2 раза (т.е. невозможно определить период полураспада  $T$ ).

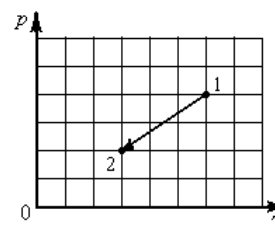
## ЧАСТЬ 2

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. Идеальный одноатомный газ переходит из состояния 1 в состояние 2 (см. диаграмму). Масса газа не меняется. Как ведут себя перечисленные ниже величины, описывающие этот газ в ходе указанного на диаграмме процесса?

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.

Давление газа	Объем газа	Внутренняя энергия газа

Чтобы найти решение, используем уравнение состояния идеального газа:  $pV = \frac{m}{\mu} RT$ . Непосредственно

из графика следует: давление газа **уменьшается** и становится равным  $p_2 = \frac{2}{4} p_1 = \frac{1}{2} p_1$ . Температура

$T_2 = \frac{3}{6} T = \frac{1}{2} T_1$  также **уменьшается**, а, следовательно, **уменьшается** и внутренняя энергия газа:  $U = \frac{3}{2} \cdot \frac{m}{\mu} RT$ ,

которая пропорциональна абсолютной температуре.

Что касается объёма,  $V_2 = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{RT_2}{p_2} = \frac{m}{\mu} \cdot R \frac{1 \cdot 2 \cdot T_1}{2 \cdot 1 \cdot p_1} = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{RT_1}{p_1} = V_1$ , то объём газа **остается неизменным**.

В2. На тело, поступательно движущееся в инерциальной системе отсчета, действует постоянная сила. Как изменится модуль импульса силы, модуль ускорения тела и модуль приращения импульса тела, если время действия силы увеличится?

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.

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

Модуль импульса силы	Модуль ускорения тела	Модуль приращения импульса тела

Основной закон динамики поступательного движения (2-й закон Ньютона) можно записать либо в виде:

$a = \frac{F}{m}$ , откуда следует, что под действием постоянной силы **модуль ускорения тела**  $a = \text{const}$ ; либо в виде

$\Delta(mv) = F \cdot \Delta t$  (*изменение импульса тела пропорционально импульсу действующей на тело силы*). Из последнего равенства следует: с течением времени **модуль импульса силы растёт, растёт и модуль приращения импульса тела**

Указание. Выражение  $\Delta(mv) = F \cdot \Delta t$  нетрудно получить, учитывая, что  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{F}{m}$ .

В3. Емкость плоского воздушного конденсатора равна  $C$ , напряжение между его обкладками  $U$ , расстояние между обкладками  $d$ . Чему равны заряд конденсатора и модуль напряженности электрического поля между его обкладками?

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) Заряд конденсатора        | 1) $\frac{U}{2d}$   |
|                              | 2) $\frac{CU^2}{2}$ |
| Б) Модуль напряженности поля | 3) $CU$             |
|                              | 4) $\frac{U}{d}$    |

А	Б

Заряд конденсатора можно найти, опираясь на определение его ёмкости:  $C = \frac{q}{U}$ . Напряженность

электрического поля – это величина, показывающая, как быстро меняется потенциал поля с расстоянием,

измеренным вдоль силовой линии  $E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\Delta r} = -\frac{\Delta \varphi}{\Delta r}$ . Вектор напряженности  $\vec{E}$  направлен в сторону

убывания потенциала. В нашем случае модуль напряженности однородного электрического поля  $E = \frac{U}{d}$ , где

$U = \varphi_1 - \varphi_2$  – разность потенциалов между обкладками конденсатора

В4. Атом водорода при переходе в основное состояние  $E_1$  из возбужденного состояния  $E_2$  излучает фотон. Чему равны длина волны и модуль импульса этого фотона?

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) Длина волны фотона	1) $\frac{E_2 - E_1}{c}$
	2) $\frac{E_2 - E_1}{h}$
Б) Модуль импульса фотона	3) $\frac{hc}{E_2 - E_1}$
	4) $\frac{h}{E_2 - E_1}$

А	Б

При переходе из возбужденного состояния  $E_2$  в основное состояние  $E_1$  атом излучает световой квант (фотон), энергия которого равна разности энергий уровней, между которыми произошел переход:

$$\varepsilon = h\nu = h \frac{c}{\lambda} = E_2 - E_1 \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{E_2 - E_1}. \quad \text{Импульс фотона связан с его энергией соотношением:}$$

$$p = \frac{\varepsilon}{c} = \frac{E_2 - E_1}{c}. \quad \text{Или можно воспользоваться формулой де-Бройля, связывающей импульс любой движущейся}$$

$$\text{микрочастицы (в данном случае – фотона) с соответствующей длиной волны: } \lambda = \frac{h}{p} \Rightarrow p = \frac{h}{\lambda} = \frac{E_2 - E_1}{c}$$

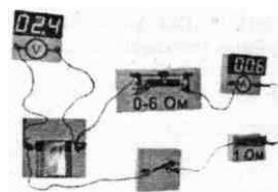
Не забудьте перенести все ответы в бланк ответов № 1.

### 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 № 2 запишите сначала номер задания (С1 и т.д.), а затем решение соответствующей задачи.

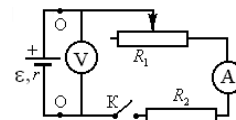
С1. На фотографии изображена электрическая цепь, состоящая из батареи, резистора, реостата, ключа, цифровых вольтметра, подключенного к батарее, и амперметра.

Составьте принципиальную электрическую схему этой цепи, и, используя законы постоянного тока, объясните, как изменится (увеличится или уменьшится) сила тока в цепи и напряжение на батарее при перемещении движка реостата в крайнее правое положение.



Полная электрическая схема цепи приведена на нижнем рисунке. Показания приборов: напряжение  $U = 2,4 \text{ В}$ , сила тока  $I = 0,6 \text{ А}$ . Сопротивление внешнего участка цепи (О-О) можно

найти, руководствуясь законом Ома для участка цепи:  $R_{\text{вн}} = \frac{U}{I} = \frac{2,4}{0,6} = 4 \text{ Ом}$ .



Рассмотрев полную (замкнутую) цепь, найдём, что указанное выше значение

силы тока определится законом Ома для замкнутой цепи  $I = \frac{\varepsilon}{R_{\text{вн}} + r}$  (1). Для  $R_{\text{вн}} = 4 \text{ Ом}$   $I = \frac{\varepsilon}{4 + r}$  ампер.

При перемещении движка реостата  $R_1$  в крайнее правое положение ( $R_1 = 0$ ) сопротивление внешней

цепи уменьшится до  $R' = 1 \text{ Ом}$ . Сила тока при этом увеличится до значения  $I' = \frac{\varepsilon}{R' + r} = \frac{\varepsilon}{1 + r} > I = \frac{\varepsilon}{4 + r}$ .

На показания вольтметра влияет внутреннее сопротивление  $r$  источника тока. Его также можно найти из закона Ома (1) для полной цепи.  $U = IR_{\text{вн}} = \varepsilon - Ir$  – напряжение, которое показывал вольтметр до смещения движка реостата. После смещения движка  $U' = \varepsilon - I'r$ . А поскольку  $I' > I$ , то  $U' < U$  – напряжение на зажимах батареи уменьшится.

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. Средняя плотность планеты Плюк равна средней плотности Земли, а первая космическая скорость для Плюка в 2 раза больше, чем для Земли. Чему равно отношение периода обращения спутника, движущегося вокруг Плюка по низкой круговой орбите, к периоду обращения аналогичного спутника Земли? Объем шара пропорционален кубу радиуса ( $V \sim R^3$ ).

Первая космическая скорость – это скорость, которую нужно сообщить телу, чтобы оно стало спутником планеты, т.е. двигалось бы по круговой орбите вблизи поверхности планеты, по орбите, радиус которой практически не отличается от радиуса  $R$  планеты  $v = \sqrt{G \frac{M}{R}}$ . Период обращения спутника – это время, затраченное спутником на один оборот вокруг планеты. Поскольку за один оборот спутник пролетает расстояние  $2\pi R$  со скоростью  $v$ , период обращения спутника определится равенством:  $T = \frac{2\pi R}{v}$ .

Теперь можно найти отношение периодов:  $\frac{T_{\text{П}}}{T_3} = \frac{2\pi R_{\text{П}} \cdot v_3}{v_{\text{П}} \cdot 2\pi R_3}$ . Учитывая, что  $v_{\text{П}} = 2v_3$ , найдём:

$\frac{T_{\text{П}}}{T_3} = \frac{R_{\text{П}} \cdot v_3}{2v_3 \cdot R_3} = \frac{R_{\text{П}}}{2R_3}$ . Отношение радиусов планет можно связать с отношением первых космических скоростей

для этих планет:  $\frac{v_{\text{П}}}{v_3} = \sqrt{\frac{GM_{\text{П}} \cdot R_3}{R_{\text{П}} \cdot GM_3}} = \sqrt{\frac{\rho V_{\text{П}} \cdot R_3}{R_{\text{П}} \cdot \rho V_3}} = \left( \text{используем условие: } V \sim R^3 \right) = \sqrt{\frac{R_{\text{П}}^3 \cdot R_3}{R_{\text{П}} \cdot R_3^3}} = \sqrt{\frac{R_{\text{П}}^2}{R_3^2}} = \frac{R_{\text{П}}}{R_3} = 2,$

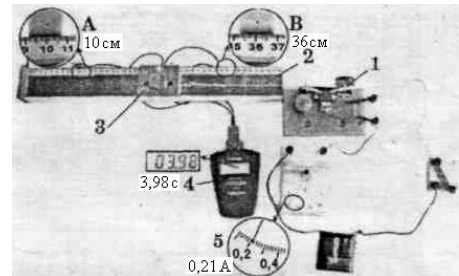
поскольку  $\frac{v_{\text{П}}}{v_3} = 2$ . В таком случае отношение:  $\frac{T_{\text{П}}}{T_3} = \frac{R_{\text{П}}}{2R_3} = \frac{2}{2} = 1$ . Периоды обращения спутников одинаковы.

С3. В сосуде с небольшой трещиной находится газ, который может просачиваться сквозь трещину. Во время опыта давление газа уменьшилось в 8 раз, а его абсолютная температура уменьшилась в 4 раза при неизменном объеме. Во сколько раз изменилась внутренняя энергия газа в сосуде? (Газ считать одноатомным идеальным.)

Запишем уравнения состояния газа до:  $pV = \frac{m_1}{\mu} RT$  и после опыта:  $\frac{p}{8}V = \frac{m_2}{\mu} R \frac{T}{4}$ . Поделив первое уравнение на второе, найдём, что  $m_2 = 0,5m_1$ . Масса газа уменьшилась в 2 раза.

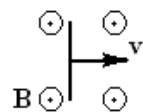
Внутренняя энергия газа до:  $U_1 = \frac{m_1}{\mu} RT$  и после опыта:  $U_2 = \frac{m_2}{\mu} R \frac{T}{4}$ . Отношение  $\frac{U_1}{U_2} = 8$ . Внутренняя энергия газа после эксперимента уменьшилась в 8 раз.

С4. На фотографии представлена установка, в которой электродвигатель (1) с помощью нити (2) равномерно перемещает каретку (3) вдоль направляющей горизонтальной линейки. При прохождении каретки мимо датчика А секундомер (4) включается, а после прохождения каретки мимо датчика В – выключается. Показания секундомера после прохождения датчика В показаны на дисплее рядом с секундомером. Сила трения скольжения каретки по направляющей была измерена с помощью динамометра. Она оказалась равной 0,4 Н. Чему равно напряжение на двигателе, если при силе тока, зафиксированной амперметром (5), работа силы упругости нити составляет 5% от работы источника тока во внешней цепи?



Поскольку движение каретки равномерное, сила упругости нити  $F_{\text{упр}} = F_{\text{тр}}$ . Работа силы упругости  $A_{\text{упр}} = F_{\text{упр}}(x_B - x_A) = F_{\text{тр}}(x_B - x_A)$ . Работа источника тока  $A_{\text{ист}} = IUt$ . Учитывая, что по условию задачи  $A_{\text{упр}} = 0,05A_{\text{ист}}$ , получим:  $F_{\text{тр}}(x_B - x_A) = 0,05IUt \Rightarrow U = \frac{F_{\text{тр}}(x_B - x_A)}{0,05It} = \frac{0,4 \cdot (0,36 - 0,10)}{0,05 \cdot 0,21 \cdot 3,98} \approx 2,5 \text{ В}$

С5. Горизонтальный проводник движется равноускоренно в вертикальном однородном магнитном поле, индукция которого равна 1 Тл. Скорость проводника направлена горизонтально, перпендикулярно проводнику (см. рисунок). При начальной скорости проводника, равной нулю, и ускорении 8 м/с<sup>2</sup> он через некоторое время переместился на 1 м. ЭДС индукции на концах проводника в конце перемещения равна 6 В. Какова длина проводника?



Скорость проводника в конце пути может быть найдена из выражения:  $v = \sqrt{2aS}$ . ЭДС индукции, возникающая в проводнике при скорости движения  $v$ , определяется выражением:  $\varepsilon_i = vBl$ . Откуда следует,

что длина проводника  $l = \frac{\varepsilon_i}{Bv} = \frac{\varepsilon_i}{B\sqrt{2aS}} = \frac{6}{1 \cdot \sqrt{2 \cdot 8 \cdot 1}} = 1,5 \text{ м}$ .

С6. В сосуде находится разреженный атомарный водород. Атом водорода, находясь в основном состоянии



( $E_1 = -13,6 \text{ эВ}$ ), поглощает фотон и ионизуется. Электрон, вылетевший из атома в результате ионизации, движется вдали от ядра со скоростью  $v = 1000 \text{ км/с}$ . Какова частота поглощенного фотона? Энергией теплового движения атомов водорода пренебречь.

В данной задаче описан фотоэффект на отдельном атоме (см. рис.). На основании закона сохранения энергии можно записать:  $h\nu = A_{\text{иониз}} + E_{\text{к}}$ . (Аналог уравнения Эйнштейна для фотоэффекта)

Ионизация атома означает, что электрон перешел на уровень с энергией  $E_{\infty} = 0$  (потерял связь с атомом). Работа ионизации  $A_{\text{иониз}} = E_{\infty} - E_1 = 13,6 \text{ эВ}$ . Учитывая, что  $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ , получим:

$$A_{\text{иониз}} = 13,6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 2,176 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}.$$

Кинетическая энергия электрона  $E_{\text{к}} = \frac{m_e v^2}{2} = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (10^6)^2}{2} = 4,55 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ .

В таком случае частота поглощенного фотона определится выражением:

$$\nu = \frac{A_{\text{иониз}} + E_{\text{к}}}{h} = \frac{(2,176 + 4,55) \cdot 10^{-19}}{6,63 \cdot 10^{-34}} \approx 4 \cdot 10^{15} \text{ Гц}.$$

