

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

Вариант 3

ЧАСТЬ 1

A1. Тело брошено вертикально вверх. Через 0,5 с после броска его скорость 20 м/с. Какова начальная скорость тела? Сопротивлением воздуха пренебречь.

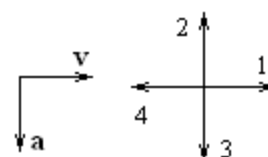
- 1) 15 м/с 2) 20,5 м/с 3) 25 м/с 4) 30 м/с



Брошенное вверх тело движется в поле силы тяжести. \Rightarrow Это движение с ускорением свободного падения $g \approx 10 \text{ м/с}^2$. Для нахождения начальной скорости используем выражение, определяющее скорость тела в равноускоренном движении: $v = v_0 + gt$. Используя эту формулу, следует учесть знаки векторов \mathbf{v} и \mathbf{g} . Это можно сделать, задав систему координат (например, ось y). Направив ось y вдоль вектора начальной скорости \mathbf{v}_0 (см. рис), обнаружим, что вектор $\mathbf{g} \downarrow \uparrow$ оси y , \Rightarrow в расчётную формулу его ускорение g следует подставлять со знаком «минус». Подставив числовые значения в расчётную формулу, получим: $20 = v_0 - 10 \cdot 0,5 \Rightarrow v_0 = 20 + 5 = 25 \text{ (м/с)}$.

A2. На левом рисунке представлены векторы скорости и ускорения тела в инерциальной системе отсчета. Какой из четырех векторов на правом рисунке указывает направление вектора равнодействующей всех сил, действующих на это тело?

- 1)1 2)2 3)3 4)4



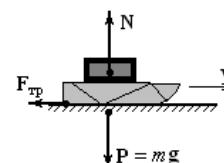
При ответе на вопрос, следует опираться на 2-й закон Ньютона, записав его в векторной форме: $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ или $\vec{F} = m\vec{a}$. Поскольку масса m – величина

положительная, направления векторов равнодействующей силы и ускорения тела будут совпадать: $\mathbf{F} \uparrow \uparrow \mathbf{a}$.
 Ответ № 3 (см. рис.).

A3. Санки массой 5 кг скользят по горизонтальной дороге. Сила трения скольжения их полозьев о дорогу 6 Н. Каков коэффициент трения скольжения саночных полозьев о дорогу?

- 1)0,012 2)0,83 3)0,12 4)0,083

См. рис. Сила трения $F_{\text{тр}}$ пропорциональна реакции опоры N (в данном случае дороги, на которую дают санки с силой, равной их весу). Поскольку в вертикальном направлении ускорения нет (санки скользят по горизонтальной



дороге, то вес санок $P = mg = N$). $F_{\text{тр}} = \mu N = \mu \cdot mg$. $\Rightarrow \mu = \frac{F_{\text{тр}}}{mg} = \frac{6}{5 \cdot 10} = 0,12$.

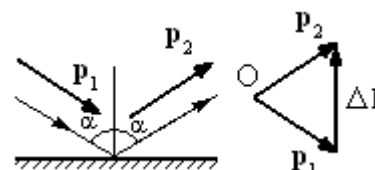
A4. Мяч абсолютно упруго ударяется о горизонтальную плиту. При ударе импульс мяча меняется на $\Delta \mathbf{p}$. Перед самым ударом импульс мяча направлен под углом 60° к вертикали. Как направлен вектор $\Delta \mathbf{p}$?

- 1) горизонтально 3) под углом 60° к вертикали
 2) вертикально 4) под углом 30° к вертикали

Начальный импульс мяча \mathbf{p}_1 изменился в момент удара о плиту на величину $\Delta \mathbf{p}$. Поэтому можно записать векторное равенство:

$\mathbf{p}_2 = \mathbf{p}_1 + \Delta \mathbf{p}$. Учитывая, что при упругом соударении мяч отскочит

под таким же углом к вертикали, что и при ударе о плиту (угол отражения равен углу падения), можно изобразить схему рассматриваемого процесса и, учитывая, что при упругом ударе абсолютная величина импульса не меняется ($p_1 = p_2$), нарисовать треугольник импульсов в соответствии с векторным равенством: $\Delta \mathbf{p} = \mathbf{p}_2 - \mathbf{p}_1$. Чтобы проделать эту операцию надо знать **правило вычитания векторов** (см. рис.): В произвольной точке O совмещают вектор начала векторов \mathbf{p}_1 и \mathbf{p}_2 .



Вектор $\Delta \mathbf{p}$ проводят из конца вектора \mathbf{p}_1 в конец вектора \mathbf{p}_2 . Нетрудно заметить два обстоятельства:

1. Выполняется правило сложения векторов: $\mathbf{p}_2 = \mathbf{p}_1 + \Delta \mathbf{p}$.
2. Найден ответ на вопрос: **вектор $\Delta \mathbf{p}$ направлен вертикально.**

A5. Хоккейная шайба массой 160 г летит со скоростью 10 м/с. Какова ее кинетическая энергия?

- 1)1,6 Дж 2)16 Дж 3)0,8 Дж 4)8 Дж

Кинетической энергией называют энергию движущегося тела. $W_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{0,16 \cdot 10^2}{2} = 8 \text{ Дж}$.

Полезно помнить, что **энергия** – это величина, характеризующая способность тела выполнять работу.

A6. На расстоянии 400 м от наблюдателя рабочие вбивают сваи с помощью копра. Каково время между видимым ударом молота о сваю и звуком удара, услышанным наблюдателем? Скорость звука в воздухе 330 м/с.

- 1) 1,4 с 2) 1,2 с 3) 0,9 с 4) 0,6 с.

Скорость света $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ много больше, чем скорость звука v . Поэтому можно считать, что начало отсчёта времени совпадает с моментом удара молота о сваю. Скорость распространения звука в воздухе постоянна. В таком случае наблюдатель услышит звук удара спустя время $t = \frac{s}{v} = \frac{400}{330} \approx 1,2 \text{ с}$.

A7. Закрепленный пружинный пистолет стреляет вертикально вверх. Какой была деформация пружины Δl перед выстрелом, если жесткость пружины k , а пуля массой m в результате выстрела поднялась на высоту h ? Трением пренебечь. Считать, что $\Delta l \ll h$.

- 1) $2 \sqrt{\frac{mgh}{k}}$ 2) $\sqrt{\frac{mgh}{2k}}$ 3) $\sqrt{\frac{mgh}{k}}$ 4) $\sqrt{\frac{2mgh}{k}}$

Задача на закон сохранения энергии: Потенциальная энергия, которой обладает пуля на высоте h , ($W_h = mgh$) равна потенциальной энергии сжатой пружины: $W_h = W_{\text{пр}}$. Последняя равна той работе, которую

должны совершить внешние силы, сжимая пружину: $W_{\text{пр}} = A = \frac{k \cdot (\Delta l)^2}{2}$. На

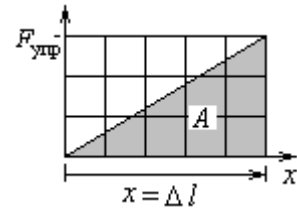
основании закона сохранения энергии $mgh = \frac{k \cdot (\Delta l)^2}{2}$. $\Rightarrow \Delta l = \sqrt{\frac{2mgh}{k}}$. Ответ

4.

Для сведения. 1) Потенциальная энергия – это энергия взаимодействия тел (в нашем случае «земли и пули» – mgh) или частей одного тела (энергия взаимодействия молекул, связанная с деформацией пружины).

2) Поскольку сила упругости пропорциональна деформации пружины $F_{\text{упр}} = -kx$ (см. график), величина работы, которую должны совершить внешние силы, преодолевая силу упругости, может быть найдена геометрически, как площадь покрытого серым тоном треугольника:

$$A = \frac{1}{2} F_{\text{упр}} \cdot x = \frac{k(\Delta l)^2}{2}, \text{ поскольку по условию задачи } x = \Delta l.$$



A8. Как изменится давление разреженного газа, если среднюю кинетическую энергию теплового движения молекул газа уменьшить в 2 раза и концентрацию молекул газа уменьшить в 2 раза?

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

Средняя кинетическая энергия молекул газа пропорциональна его абсолютной температуре T :

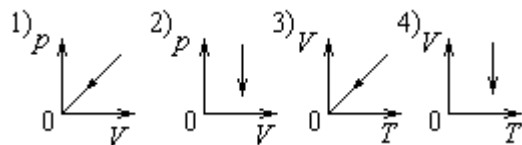
$\bar{\epsilon} = \frac{3}{2} kT$ (для одноатомного газа). Поэтому, если среднюю кинетическую энергию теплового движения

молекул газа уменьшить в 2 раза, в 2 раза уменьшится его абсолютная температура. Давление газа пропорционально не только его абсолютной температуре, но и концентрации n газа (числу молекул газа в

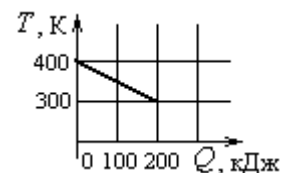
единице объёма) $p = nkT$, или (объединяя формулы) $p = \frac{2}{3} n\bar{\epsilon}$. Так что одновременно уменьшив и среднюю

кинетическую энергию и концентрацию молекул в 2 раза, мы уменьшим давление газа в 4 раза.

A9. Пробирку держат вертикально и открытым концом медленно погружают в стакан с водой. Высота столбика воздуха в пробирке уменьшается. Какой из графиков правильно описывает процесс, происходящий с воздухом в пробирке?



Погружая пробирку открытым концом в воду всё глубже и глубже, мы увеличиваем давление газа в пробирке (к атмосферному давлению добавляется гидростатическое давление жидкости, определенное разностью уровней свободной поверхности жидкости и жидкости внутри пробирки). Объём газа в пробирке при этом уменьшается. В координатах pV



этому процессу не соответствует ни один из графиков. Если теперь учесть, что по мере погружения пробирки, температура газа в ней практически не меняется, в качестве ответа подойдёт график 4 ($T = \text{const}; V \downarrow$)

A10. На рисунке приведен график зависимости температуры твердого тела от отданного им количества теплоты. Масса тела 4 кг. Какова удельная теплоемкость вещества этого тела?

- 1) 0,125 Дж/(кг·К) 3) 500 Дж/(кг·К)
2) 0,25 Дж/(кг·К) 4) 4000 Дж/(кг·К)

Удельная теплоёмкость определяется как количество теплоты, которое надо передать (или отнять)

единице массы тела (1 кг), чтобы нагреть (охладить) его на 1 К. $c = \frac{\Delta Q}{m \cdot \Delta T} = \frac{(200-0) \cdot 10^3}{4 \cdot (400-300)} = 500 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$.

Ответ № 3.

A11. Над газом внешние силы совершили работу 300 Дж, а его внутренняя энергия увеличилась на 100 Дж. В этом процессе газ

- 1) получил количество теплоты 400 Дж 2) получил количество теплоты 200 Дж
3) отдал количество теплоты 100 Дж 4) отдал количество теплоты 200 Дж

Увеличение внутренней энергии ΔQ газа может быть осуществлено двумя способами:

Совершением работы A' над газом; 2) путем передачи газу некоторого количества теплоты ΔQ .

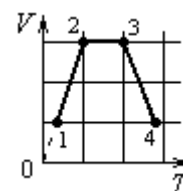
На основании закона сохранения энергии (1 начало термодинамики) $\Delta Q + A' = \Delta U \Rightarrow \Delta Q = \Delta U - A'$.

$\Delta Q = 100 - 300 = -200 \text{ Дж}$. Знак (-) означает, что газ отдал 200 Дж теплоты.

A12. Газ последовательно перешел из состояния 1 в состояние 2, а затем в состояния 3 и 4. Работа газа равна нулю

- 1) на участке 1—2 2) на участке 2—3
3) на участке 3—4 4) на участках 1—2 и 3—4

В соответствии с формулой $A = p \cdot \Delta V$ работа газа равна нулю на тех участках диаграммы, на которых изменение объёма $\Delta V = 0$. Это участок 2—3.



A13. Как изменится модуль силы взаимодействия двух небольших металлических шариков одинакового диаметра, имеющих заряды $q_1 = +6 \text{ нКл}$ и $q_2 = -2 \text{ нКл}$, если шары привести в соприкосновение и раздвинуть на прежнее расстояние?

- 1) увеличится в 9 раз 3) увеличится в 3 раза
2) увеличится в 8 раз 4) уменьшится в 3 раза

В рассматриваемом процессе нужно учесть закон сохранения заряда $q_1 + q_2 = q'_1 + q'_2 = (6 - 2) = 4 \text{ нКл}$ и тот факт, что шарики имеют одинаковый диаметр, а значит, и одинаковую электроёмкость. Это значит, что суммарный заряд в 4 нКл распределится между ними поровну: $q = q'_1 = q'_2 = 2 \text{ нКл}$.

Модуль силы взаимодействия до и после соприкосновения определяется законом Кулона $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$.

Отношение сил: $\frac{F_{\text{после}}}{F_{\text{до}}} = \frac{q^2}{q_1 \cdot |q_2|} = \frac{2^2}{6 \cdot 2} = \frac{1}{3}$. Модуль силы взаимодействия уменьшится в 3 раза. Ответ 4.

A14. Для исследования зависимости силы тока, протекающего через проволочный резистор, от напряжения на нем была собрана электрическая цепь, представленная на фотографии.

На какую величину необходимо увеличить напряжение для увеличения силы тока на 0,22 А?

- 1) 1,1 В 2) 2,2 В 3) 3,3 В 4) 4,4 В

Прежде всего, изобразим электрическую схему цепи.

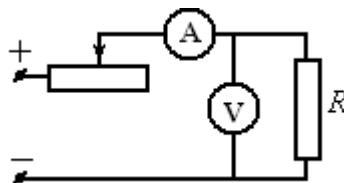
Исходные данные задачи:

$$U_1 = 3,7 \text{ В}$$

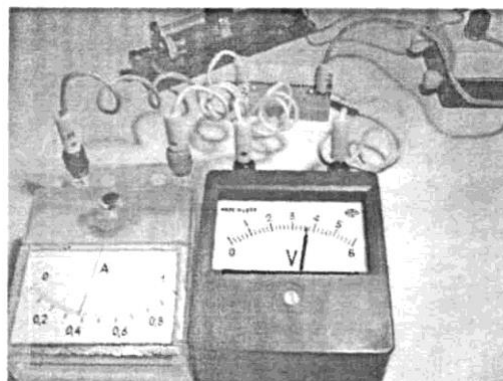
$$I_1 = 0,37 \text{ А}$$

$$\Delta I = 0,22 \text{ А}$$

$$\Delta U = ?$$



Рассмотрим участок цепи, содержащий резистор R . Амперметр и вольтметр считаем идеальными, т. е. $r_A = 0$; $r_V = \infty$. Из закона Ома



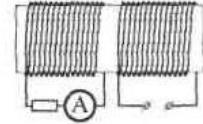
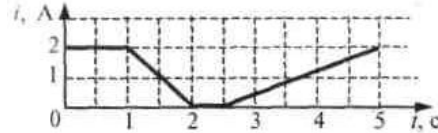
для участка цепи $I_1 = \frac{U_1}{R}$ находим сопротивление резистора: $R = \frac{U_1}{I_1} = \frac{3,7}{0,37} = 10$ Ом. Напряжение на

резисторе $U_1 = I_1 R$. (1)

Чтобы увеличить ток через резистор R подвижный контакт реостата надо сдвинуть влево. Напряжение на резисторе при этом станет равным: $U_2 = I_2 R$. (2) Вычитая из (2) равенства (1), найдем:

$\Delta U = U_2 - U_1 = (I_2 - I_1)R = \Delta I \cdot R$. Подставив числовые данные, получим: $\Delta U = 0,22 \cdot 10 = 2,2$ В. Ответ 2.

A15. На железный сердечник надеты две катушки, как показано на рисунке. По правой катушке пропускают ток, который меняется согласно приведенному графику. В какие промежутки времени амперметр покажет наличие тока в левой катушке?



- 1) от 1 с до 2 с и от 2,5 с до 5 с 2) только от 1 с до 2 с
3) от 0 с до 1 с и от 2 с до 2,5 с 4) только от 2,5 с до 5 с

Поскольку ток в правой катушке со временем меняется, меняется и магнитный поток в левой катушке.

Это означает, что в левой катушке возникает ЭДС индукции $\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ и индукционный ток $I = \mathcal{E}_i \cdot R$ (закон

Ома для замкнутой цепи), который и покажет амперметр. Судя по графику, ток в правой катушке менялся в промежутки времени от 1 с до 2 с и от 2,5 с до 5 с. Именно в эти промежутки времени амперметр в цепи левой катушки покажет наличие тока.

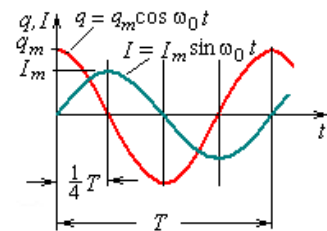
A16. В момент $t = 0$ энергия конденсатора в идеальном колебательном контуре максимальна и равна E_0 . Через **четверть периода колебаний** энергия катушки индуктивности в контуре равна

- 1) E_0 2) $0,5 E_0$ 3) $0,25 E_0$ 4) 0

В задаче описана ситуация, когда заряд на конденсаторе меняется по закону: $q = q_m \cos \omega_0 t$ (см. рис), где $\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$. В момент $t = 0$, $q = q_m$ и

энергия, запасённая в электрическом поле конденсатора $E_0 = \frac{q_m^2}{2C}$.

При разряде конденсатора протекание тока в цепи колебательного контура связано с уменьшением заряда на конденсаторе. Поэтому сила тока в катушке индуктивности может быть найдена как первая производная от заряда на конденсаторе со знаком «минус». То есть $I = -q' = q_m \omega_0 \sin \omega_0 t$, или $I = I_m \sin \omega_0 t$.



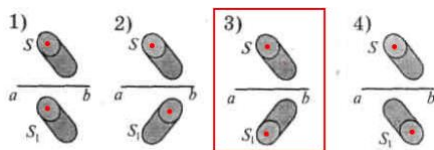
Полагая, $t = \frac{1}{4} T$, получим, $I = I_m \sin \omega_0 t = I_m \sin \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{T}{4} = I_m \sin \frac{\pi}{2} = I_m$ и энергия, запасённая в

магнитном поле катушки равна $\frac{LI_m^2}{2}$. Поскольку контур идеальный и потери энергии отсутствуют, из закона

сохранения энергии следует: $\frac{LI_m^2}{2} = \frac{q_m^2}{2C} = E_0$. Ответ № 1.

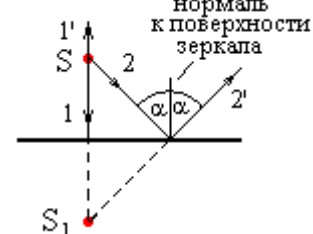
Гораздо проще получить ответ непосредственно из анализа приведенного графика. Через четверть периода после начала колебаний ток достигает максимума, а энергия $\frac{LI_m^2}{2} = \frac{q_m^2}{2C} = E_0$.

A17. Источник света S отражается в плоском зеркале ab. На каком рисунке верно показано изображение S1 этого источника в зеркале?



Как и в любом другом случае, для построения изображения достаточно два луча. Построение изображения в плоском зеркале осуществляется на основе **закона отражения света**. Удобно луч 1, исходящий из точки S направить перпендикулярно поверхности зеркала (угол падения этого луча равен 0°). После отражения этот луч сменит направление на противоположное (луч 1' на отдельном рисунке справа).

Луч 2 можно направить под произвольным углом α . Отразившись от



зеркала под таким же углом, он пойдет в направлении $2'$. Поскольку отраженные от зеркала лучи $1'$ и $2'$ расходятся, изображение S_1 следует искать на продолжении этих лучей (пунктирные линии).

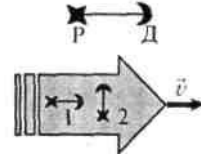
Нетрудно заметить, что точки S и S_1 по отношению к зеркалу расположены **симметрично**. Именно так должны быть расположены любые сопряженные точки предмета и его изображения в зеркале. Указанная симметрия наблюдается на рисунке под № 3 (правильный ответ)

A18. В установке искровой разряд создает вспышку света и звуковой импульс, регистрируемые датчиком, расположенным на расстоянии 1 м от разрядника. Схематически взаимное расположение разрядника Р и датчика Д изображено стрелкой. Время распространения света от разрядника к датчику равно T , а звука – τ . Проводя эксперименты с двумя установками 1 и 2, расположенными в космическом корабле, летящем со

скоростью $v = \frac{c}{2}$ относительно Земли, как показано на рисунке, космонавты

обнаружили, что

- 1) $T_1 = T_2$ 2) $T_1 = T_2$ 3) $T_1 > T_2$ 4) $T_1 < T_2$
 $\tau_1 < \tau_2$ $\tau_1 = \tau_2$ $\tau_1 < \tau_2$ $\tau_1 > \tau_2$



В соответствии с первым постулатом теории относительности Эйнштейна, утверждающим, что **все инерциальные системы отсчета, равноправны и никакими опытами** (в том числе и опытами с электромагнитным излучением), **произведенными внутри инерциальной системы, нельзя обнаружить, покоится ли данная система, или движется равномерно и прямолинейно**, правильным следует считать ответ 2.

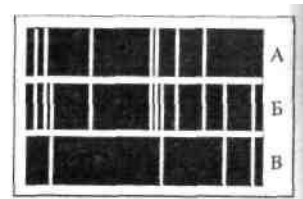
A19. Дифракционная решетка освещается монохроматическим светом. На экране, установленном за решеткой, параллельно ей, возникает дифракционная картина, состоящая из темных и светлых вертикальных полос. В первом опыте решетка освещается желтым светом, во втором – зеленым, а в третьем – фиолетовым. Меняя решетки, добиваются того, что расстояние между полосами во всех опытах остается одинаковым. Значения постоянной решетки d_1, d_2, d_3 в первом, во втором и в третьем опытах соответственно удовлетворяют условиям

- 1) $d_1 = d_2 = d_3$ 3) $d_2 > d_1 > d_3$
 2) $d_1 > d_2 > d_3$ 4) $d_1 < d_2 < d_3$

Значение постоянной решетки d входит в выражение, определяющее направления на главные максимумы, даваемые дифракционной решеткой $d \sin \varphi = k\lambda$. Чтобы расстояние между полосами во всех опытах осталось одинаковым, одинаковыми должны быть углы отклонения φ в направлениях соответствующих дифракционных максимумов. Иначе говоря, для определенного значения порядка спектра k должно выполняться условие: $\sin \varphi = k \frac{\lambda}{d} = \text{const}$. Это возможно, если $\frac{\lambda_1}{d_1} = \frac{\lambda_2}{d_2} = \frac{\lambda_3}{d_3}$. Соотношение между длинами волн, которыми освещалась решетка в первом, втором и третьем опытах: $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$. Соответственно, соотношение между периодами решеток в первом, втором и третьем опытах также должно быть $d_1 > d_2 > d_3$. Правильный ответ № 2.

A20. На рисунках А, Б, В приведены спектры излучения атомарных газов А и В и газовой смеси Б. На основании анализа этих участков спектров можно сказать, что смесь газов содержит

- 1) только газы А и В 2) газы А, В и другие
 3) газ А и другой неизвестный газ 4) газ В и другой неизвестный газ



Судя по тому, что линии спектра Б имеют своим продолжением (совпадают) линии либо спектра А, либо спектра В, смесь газов содержит только газы А и В. В противном случае в спектре Б присутствовали бы линии, которых нет в спектрах А и В.

A21. В результате столкновения ядра урана с частицей произошло деление ядра урана, сопровождающееся излучением γ -квантов в соответствии с уравнением: ${}^Y_Z X + {}^{235}_{92} \text{U} \rightarrow {}^{94}_{36} \text{Kr} + {}^{139}_{56} \text{Ba} + 3{}_0^1 \text{n} + 5\gamma$. Ядро урана столкнулось с

- 1) протоном 3) нейтроном
 2) электроном 4) α -частицей

Чтобы определить с какой частицей столкнулось ядро урана, достаточно воспользоваться законом сохранения зарядовых и массовых чисел. Учтем, что γ -квант ни заряда, ни массы не имеет, т. е. $\gamma = {}^0_0 \gamma$.

Сумма зарядовых чисел X частиц в правой части уравнения: $\sum X = 36 + 56 + 0 + 0 = 92$ совпадает с зарядовым числом 92 изотопа урана. \Rightarrow **Частица**, с которой столкнулось ядро урана, **заряда не имеет**.

Сумма массовых чисел Y правой части уравнения $\sum Y = 94 + 139 + 3 + 0 = 236$, что на 1 больше массового числа 235 изотопа урана. \Rightarrow **Массовое число частицы**, с которой столкнулось ядро урана, **равно +1**. Это нейтрон 1_0n . Правильный ответ № 3, что **не соответствует ответу (1), приведенному в сборнике ЕГЭ 2011**.

A22. Период полураспада ядер атомов радона ${}^{219}_{86}\text{Rn}$ составляет 3,9 с. Это означает, что

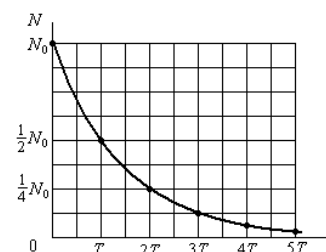
- 1) за 3,9 с атомный номер каждого ядра ${}^{219}_{86}\text{Rn}$ уменьшится вдвое
- 2) половина исходного большого количества ядер ${}^{219}_{86}\text{Rn}$ распадется за 3,9 с
- 3) одно ядро ${}^{219}_{86}\text{Rn}$ распадается каждые 3,9 с
- 4) все изначально имевшиеся ядра ${}^{219}_{86}\text{Rn}$ распадутся за 7,8 с.

Нужно просто помнить определение: **Период полураспада T – это время, в течение которого распадается половина имеющихся ядер.** (Ответ № 2).

Вторая половина ядер, которая не распалась, будет продолжать распадаться и за следующие 3,9 с, распадется половина этой половины ядер, то есть $1/4$ первоначального количества ядер. Так что к концу 7,8 с «нераспавшимися» окажется $1/4$ первоначально имевшихся ядер. Ответ №4 неверный. Распадутся не все ядра.

Это хорошо видно на графике, отражающем динамику процесса радиоактивного распада. Исходное количество ядер обозначено символом

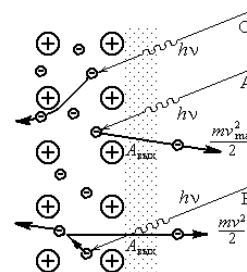
N_0 . Спустя время $t = 2T$ осталось $\frac{1}{4} N_0$ исходного количества ядер.



A23. Металлическую пластину освещают светом с энергией фотонов 6,2 эВ. Работа выхода для металла пластины равна 2,5 эВ. Какова максимальная кинетическая энергия образовавшихся фотоэлектронов?

- 1) 3,7 эВ
- 2) 2,5 эВ
- 3) 6,2 эВ
- 4) 8,7 эВ

В задаче описано явление фотоэффекта. Оно состоит в следующем: Фотон, обладающий энергией $h\nu$, взаимодействует с одним из свободных электронов металла. Электрон поглощает налетевший на него фотон, приобретая всю его энергию. Обладая энергией $h\nu$, электрон может вылететь за пределы металла, потеряв при этом часть энергии, определяемую работой выхода $A_{\text{вых}}$ электрона из металла. Оставшаяся часть энергии позволяет электрону, покинувшему металл, двигаться с некоторой скоростью, то есть представляет собой кинетическую энергию вылетевшего электрона. Описанный процесс можно иллюстрировать рисунком.



Законом сохранения энергии для фотоэффекта является уравнение Эйнштейна: $h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv_{\text{max}}^2}{2}$.

Поэтому максимальную кинетическую энергию вылетевшего фотоэлектрона можно найти как разность между энергией фотона $h\nu$, вызвавшего фотоэффект, и работой выхода электрона из металла $A_{\text{вых}}$.

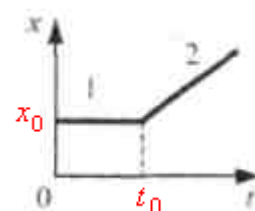
$$W_{\text{к}} = \frac{mv_{\text{max}}^2}{2} = h\nu - A_{\text{вых}} = 6,2 - 2,5 = 3,7 \text{ эВ. (Верный ответ № 1)}$$

A24. Толщина пачки из 200 листов бумаги равна (20 ± 1) мм. Толщина одного листа бумаги, вычисленная по этим данным, равна

- 1) $(0,100 \pm 0,005)$ мм
- 2) $(0,1 \pm 1)$ мм
- 3) $(0,1 \pm 0,5)$ мм
- 4) $(0,10 \pm 0,05)$ мм

Измеряя толщину пачки бумаги, а не одного листка, мы повышаем «чувствительность» нашей линейки, с погрешностью $\Delta h \approx \pm 1$ мм, примерно равную цене её деления, в 200 раз. При этом погрешность измерения одного листа $\Delta h_1 \approx \pm \frac{1}{200} = 0,005$ мм, а толщина листа $h_1 = \frac{20}{200} = 0,100$ может быть записана с точностью до третьего знака после запятой (как и погрешность). Верный ответ № 1.

A25. На рисунке изображен график зависимости координаты бусинки, свободно скользящей по горизонтальной спице, от времени. На основании



В.С.

графика можно утверждать, что

- 1) на участке 1 движение является равномерным, а на участке 2 – равноускоренным
- 2) проекция ускорения бусинки всюду увеличивается
- 3) на участке 2 проекция ускорения бусинки положительна
- 4) на участке 1 бусинка покоится, а на участке 2 — движется равномерно

На участке 1 графика зависимости $x(t)$ видно, что координата бусинки не меняется со временем \Rightarrow бусинка покоится. На участке 2 координата x бусинки меняется со временем по линейному закону ($x = vt$) \Rightarrow бусинка движется равномерно со скоростью v . Верный ответ № 4.

Учитывая изменения, сделанные на графике, можно записать уравнение движения бусинки. Её координата меняется по закону: $x = x_0 + v(t - t_0)$

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. Частица массой m , несущая заряд q , движется в однородном магнитном поле с индукцией B по окружности радиусом R со скоростью v . Что произойдет с радиусом орбиты, периодом обращения и кинетической энергией частицы при увеличении скорости движения?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

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

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

Радиус орбиты	Период обращения	Кинетическая энергия
1	3	1

На частицу, движущуюся в магнитном поле перпендикулярно к его силовым линиям ($\mathbf{v} \perp \mathbf{B}$), действует сила Лоренца $F_{\text{л}} = qvB$. Эта сила сообщает частице центростремительное ускорение

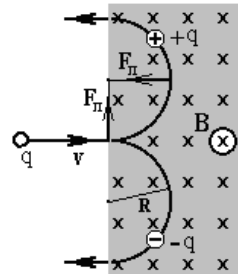
$a_{\text{цс}} = \frac{v^2}{R}$, заставляя её двигаться по окружности радиуса R . Величина радиуса

определяется из второго закона Ньютона $qvB = m \cdot \frac{v^2}{R} \Rightarrow R = \frac{m \cdot v}{q \cdot B}$ (см. рис.). Из

анализа формулы видно, что с увеличением скорости частицы *увеличивается радиус* её траектории (1 в первый столбец таблицы)

Равномерное движение по окружности – движение периодическое. Период, то есть время полного оборота частицы, можно определить из следующего соображения: двигаясь со скоростью v , частица, за время, равное периоду T , пройдет путь, равный длине окружности $2\pi R$. Следовательно, $T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi}{v} \cdot \frac{mv}{qB} = \frac{2\pi}{B} \cdot \frac{m}{q}$. Период обращения *не зависит* от скорости ее

движения (3 во второй столбец). Кинетическая энергия частицы $W_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2}$ увеличивается с ростом скорости её движения (1 в третий столбец). Ответ: набор цифр 131.



В2. Свет с длиной волны λ падает на поверхность фотокатода, вызывая фотоэффект. Как изменится энергия падающего фотона, работа выхода с поверхности фотокатода и максимальная скорость фотоэлектронов, если длина волны λ уменьшится?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

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

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

Энергия падающего фотона	Работа выхода с поверхности фотокатода	Максимальная скорость фотоэлектронов
1	3	1

- Энергия фотона пропорциональна его частоте ν и обратно пропорциональна длине λ

соответствующей световой волны. $\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$. (Мы учли, что $\nu = \frac{c}{\lambda}$. c – скорость света.) С уменьшением длины волны *энергия фотона возрастает* (1 в первый столбец).

• Работа выхода электрона из металла является характеристикой самого металла (глубиной потенциальной ямы для свободных электронов) и от характеристик падающих на металл фотонов *не зависит* (3 во второй столбец).

• Из уравнения Эйнштейна $h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv_{\text{max}}^2}{2}$ следует, что с уменьшением длины волны (с ростом частоты излучения) *увеличится максимальная скорость фотоэлектронов* (1 в третий столбец). Ответ – 131.

В3. При каких условиях наблюдается равновесие рычага с неподвижной осью и свободное падение тел вблизи поверхности Земли?

Установите соответствие между физическими явлениями и условиями, в которых они наблюдаются.

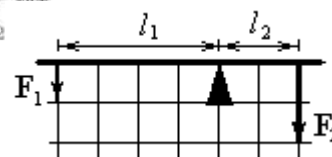
К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ФИЗИЧЕСКОЕ
ЯВЛЕНИЕ

- А) Равновесие рычага
Б) Свободное падение

УСЛОВИЯ
НАБЛЮДЕНИЯ

- 1) $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 0$
2) $F_1 \cdot l_2 = F_2 \cdot l_1$
3) $F_{\text{равнодействия}} = F_{\text{тяжести}}$
4) $F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$



Рычаг будет находиться в равновесии при условии равенства **моментов сил**, стремящихся повернуть его **по и против** часовой стрелки. ($F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$. См. рис). Соответствие: А – 4.

Момент силы определяется произведением силы на плечо. **Плечо** силы – кратчайшее расстояние от оси вращения до отрезка прямой, вдоль которой направлен вектор силы (до направления действия силы)

Свободное падение тел вблизи поверхности Земли происходит под действием силы тяжести.

Соответствие: Б – 3. Ответ: 43.

В4. Внутренняя энергия ν молей одноатомного идеального газа равна U . Газ занимает объем V . R – универсальная газовая постоянная. Чему равны давление и температура газа?

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) Давление газа
Б) Температура газа

- 1) $\frac{2U}{3V}$
2) $\frac{U}{\nu V}$
3) $\frac{2U}{3\nu R}$
4) $\frac{U}{\nu R}$

Опираясь на уравнение Клапейрона-Менделеева для произвольной массы газа $pV = \nu RT$ (1) и

выражение, определяющее внутреннюю энергию ν моль газа $U = \nu \cdot \frac{3}{2} RT$ (2), получим:

Давление газа (см. (1) и (2)) $p = \frac{\nu RT}{V} = \frac{\nu}{V} \cdot \frac{2U}{3\nu} = \frac{2U}{3V}$. Соответствие: А – 1

Температура газа (см. (2)) $T = \frac{2U}{3\nu R}$. Соответствие Б – 3. Ответ: 13.

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. Каким образом установка батарей отопления под окном помогает выравниванию температур в комнате в зимнее время? Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности вы

использовали.

Батарея центрального отопления под окном нагревает холодный воздух вблизи окна, заставляя его подниматься вверх. На смену нагретому воздуху поступает новая порция холодного воздуха (от пола и от окна) которая тоже нагревается и поднимается вверх. Так осуществляется циркуляция воздуха, способствующая выравниванию температуры в комнате в зимнее время. Физическое явление, которое при этом имеет место, называется «конвекция». Это один из способов передачи тепла в жидкой и газообразной средах. Другие способы теплопередачи – излучение и теплопроводность.

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. Тело, свободно падающее с некоторой высоты из состояния покоя, за время $\tau = 1$ с после начала движения проходит путь в $n = 5$ раз меньший, чем за такой же промежуток времени в конце движения. Найдите полное время движения.

Путь, пройденный телом в течение первой секунды, определяется выражением:

$$h_1 = \frac{g\tau^2}{2}. \quad (1) \quad \text{Расстояние } \Delta h, \text{ пройденное телом в последнюю секунду, можно}$$

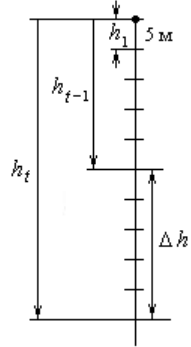
найти как разность расстояний, пройденных за t с и за $(t-1)$ с (см. рисунок).

$$\Delta h = h_t - h_{t-1} = \frac{gt^2}{2} - \frac{g(t-1)^2}{2} = \frac{g}{2} \cdot (t^2 - t^2 + 2t - 1) = \frac{g}{2} (2t - 1) \quad (2).$$

По условию $\Delta h = nh_1$. (3) Объединив выражения 1, 2 и 3, получим: $n \frac{g\tau^2}{2} = \frac{g}{2} (2t - 1)$. После

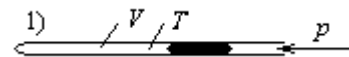
преобразований: $n\tau^2 = 2t - 1$. Откуда следует: $t = \frac{n\tau^2 + 1}{2} = \frac{5 \cdot 1^2 + 1}{2} = 3$ с.

Решение становится менее абстрактным, если на каждом его этапе подставлять числовые данные сначала в выражение (1), (3), а затем в формулу (2). При необходимости сделайте это сами.



С3. В горизонтальной трубке постоянного сечения, запаянной с одного конца, помещен столбик ртути длиной 15 см, который отделяет воздух в трубке от атмосферы. Трубку расположили вертикально запаянным концом вниз и нагрели на 60 К. При этом объем, занимаемый воздухом, не изменился. Давление атмосферы в лаборатории – 750 мм рт. ст. Какова температура воздуха в лаборатории?

Разница между начальным [1] и конечным [2] состояниями газа в том, что в начальном состоянии газ находится при атмосферном давлении $p = 750$ мм рт.ст. и температуре T (в лаборатории). В



конечном состоянии – при давлении $p_k = p + \Delta p$ и температуре $T + \Delta T$. Здесь $\Delta p = 150$ мм рт.ст. – дополнительное давление, которое оказывает на газ столбик ртути длиной 15 см при вертикальном положении трубки, а $\Delta T = 60$ К – величина, на которую увеличилась температура газа.

Поскольку объем газа не изменился, можно воспользоваться соотношением,

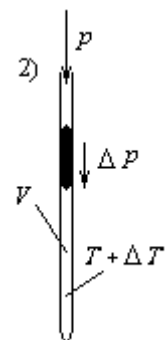
справедливым при изохорическом процессе. $\frac{p}{p + \Delta p} = \frac{T}{T + \Delta T}$. (1) Подставим

данные. Давление можно подставлять в мм рт. ст., поскольку в формуле фигурирует

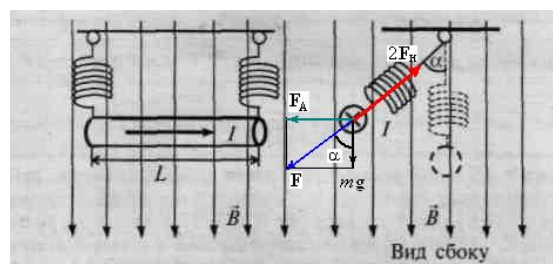
отношение давлений. $\frac{750}{750 + 150} = \frac{T}{T + 60}$. $\Rightarrow T = 300$ К.

Можно рассмотреть процесс более детально. Уравнение Клапейрона-Менделеева для исходного состояния трубки: $pV = \nu RT$. (2). После поворота трубки давление газа увеличилось и стало равным $p + \Delta p$, поскольку кроме атмосферы на газ дави ещё и столбик ртути высотой 15 см. Естественно, что объем газа уменьшился.

Чтобы довести объем газа до прежнего значения, газ пришлось нагреть на ΔT К. И его температура стала равной $T + \Delta T$. Уравнение Клапейрона: $(p + \Delta p) \cdot V = \nu R(T + \Delta T)$. (3) Почленно поделив уравнение (2) на уравнение (3), получим приведенное выше соотношение (1).



С4. По прямому горизонтальному проводнику длиной 1 м, подвешенному с помощью двух одинаковых невесомых пружинок жесткостью 100 Н/м, течет ток $I = 10$ А (см. рисунок). Какой угол α составляют оси пружинок с вертикалью после



а.в.с.

включения вертикального магнитного поля с индукцией $B = 0,1$ Тл, если абсолютное удлинение каждой из пружинок при этом составляет $7 \cdot 10^{-3}$ м?

Растяжение пружинок обеспечивают две силы: сила тяжести mg и сила Ампера F_A , действующая на проводник с током, помещенный в магнитное поле (см. рис.). Её величина $F = IBL \cdot \sin 90^\circ = IBL$, поскольку силовые линии поля составляют с проводником, по которому течет ток угол 90° . Равнодействующая этих сил

$F = \frac{F_A}{\sin \alpha}$ (см. рис.). Проводник находится в покое (1 закон Ньютона), поскольку равнодействующая F

уравновешивается силой натяжения двух пружинок $2F_H = 2k \cdot \Delta x$, где $\Delta x = 7 \cdot 10^{-3}$ м – удлинение каждой из пружин. Иначе говоря, имеет место равенство: $\frac{IBL}{\sin \alpha} = 2k \cdot \Delta x \Rightarrow \sin \alpha = \frac{IBL}{2k \cdot \Delta x} = \frac{10 \cdot 0,1 \cdot 1}{2 \cdot 100 \cdot 7 \cdot 10^{-3}} = 0,714 \Rightarrow$

$$\alpha = \arcsin 0,714 = 45^\circ$$

С5. В идеальном колебательном контуре амплитуда колебаний силы тока в катушке индуктивности $I_m = 5$ мА, а амплитуда напряжения на конденсаторе $U_m = 2,0$ В. В момент времени t напряжение на конденсаторе $U_m = 1,2$ В. Найдите силу тока в катушке в этот момент.

В соответствии с законом сохранения энергии, для идеального колебательного контура выполняются следующие равенства: $\frac{CU_m^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2}$ (1) и $\frac{LI_m^2}{2} = \frac{Li^2}{2} + \frac{CU^2}{2}$ (2) где i и U – значения тока в катушке индуктивности и напряжения на конденсаторе в произвольный момент времени t .

Опираясь на равенство (2) можно найти величину тока i , если найти связь между L и C . Из выражения (1) следует: $C = L \frac{I_m^2}{U_m^2}$. В таком случае равенство (2) можно записать в виде: $LI_m^2 = Li^2 + L \frac{I_m^2}{U_m^2} U^2$, откуда,

после деления обеих частей равенства на L , получим: $i = \sqrt{I_m^2 - \frac{I_m^2}{U_m^2} U^2} = \sqrt{5^2 - \frac{5^2}{2^2} (1,2)^2} = 4$ мА.

В силу особенности полученного выражения значения тока в СИ переводить не обязательно. Проверьте размерность всех подставляемых в последнюю формулу величин.

Сб. Образец, содержащий радий, за 1с испускает $3,7 \cdot 10^{10}$ α -частиц. За 1 ч выделяется энергия 100 Дж. Каков средний импульс α -частиц? Масса α -частицы равна $6,7 \cdot 10^{-27}$ кг. Энергией отдачи ядер, γ -излучением и релятивистскими эффектами пренебречь.

Кинетическую энергию W_k одной α -частицы можно найти, если определить общее количество N α -частиц, испускаемых за время $t = 1$ час = 3600 с. $N = 3 \cdot 10^{10} \cdot 3600 = 1,08 \cdot 10^{14}$ частиц. Средняя кинетическая энергия, приходящаяся на одну частицу $W_k = \frac{E}{N}$, где $E = 100$ Дж – полная энергия уносимая α -частицами в течение часа. Учитывая, что $W_k = \frac{mv^2}{2}$, можно определить среднюю скорость α -частицы $v = \sqrt{\frac{2W_k}{m}} = \sqrt{\frac{2E}{Nm}}$

и среднее значение её импульса $p = mv = m \sqrt{\frac{2E}{Nm}} = \sqrt{\frac{2mE}{N}}$.

Подставляя числовые данные, получим: $p = \sqrt{\frac{2 \cdot 6,7 \cdot 10^{-27} \cdot 100}{1,08 \cdot 10^{14}}} = 1,1 \cdot 10^{-19}$ кг·м/с.