Окунева В.С.

Логика анализа содержания заданий ЕГЭ по физике

(на примере типовых заданий 2011 года)

Вариант 1

ЧАСТЬ 1

А1. На рисунке представлен график зависимости скорости *v* автомобиля от времени *t*. Найдите путь, пройденный автомобилем за 5 с.

1)0м 3)30м 2) 20 м 4) 35 м

На графике зависимости $v(t)$ пройденному пути в любом случае **соответствует площадь фигуры** (в нашем случае – трапеции) ограниченной графиком. $S = \frac{2+5}{2} \cdot 10 = 35$ м (произведение полусуммы оснований на высоту трапеции). Можно найти как сумму площадей 2-х треугольников и прямоугольника.

Если пользоваться формулами физики – расчет усложняется. $S = \frac{a_1 (t_{0-1})^2}{2} + vt_{1-3} + \frac{a_2 (t_{3-5})^2}{2}$, где

$a_1 = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{10-0}{1} 10$ м/с^2, (а $\Delta t = t_{0-1} = 1$ с); $a_2 = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \left|\frac{0-10}{5-3}\right| = 5$ м/с^2, а результат будет тем же.

А2. Мяч, неподвижно лежавший на полу вагона движущегося поезда, покатился влево, если смотреть по ходу поезда. Как изменилось движение поезда?

1. Скорость поезда увеличилась . 2. Скорость поезда уменьшилась.
3. Поезд повернул вправо. 4. Поезд повернул влево.

При повороте поезда связанная с вагоном система отсчета становится неинерциальной, поскольку вагон получил центростремительное ускорение, направленное вправо относительно вектора скорости поезда $\vec{a}_{цс} \perp \vec{v}$ (можно писать по-другому: $\mathbf{a}_{цс} \perp \mathbf{v}$ – жирным шрифтом). Мяч же по инерции продолжал двигаться прямолинейно. Отв. 3.

А3. Камень массой 100 г брошен вертикально вверх с начальной скоростью *v* = 20 м/с. Модуль силы тяжести, действующей на камень в момент броска, равен

1) 0 2) 0,5 Н 3) 1,0 Н 4) 2,0 Н

Модуль силы тяжести всегда определяется произведением: $mg = 0{,}1\,\text{кг} \cdot 10\,\text{м/с} = 1\,\text{Н}$

А4. Легковой автомобиль и грузовик движутся со скоростями v_1 = 108 км/ч и v_2 = 54 км/ч. Масса легкового автомобиля m_1 = 1000 кг. Какова масса грузовика (m_2), если отношение импульса грузовика к импульсу легкового автомобиля равно 1,5 ?

1)3000 кг 3)1500 кг 2) 4500 кг 4) 1000 кг

При решении обязательно следует тщательно указать индексы у всех величин (1 – легковой автомобиль, 2 – грузовик), вспомнить, что импульс тела определяется произведением массы тела на скорость его движения $(p = mv)$ и перевести данные в СИ (если необходимо для расчетов). В тексте задачи дано: $\left(\frac{p_2}{p_1} = \frac{m_2 v_2}{m_1 v_1} = 1{,}5\right)$. В данном случае *необходимости переводить значения скоростей в* СИ *нет*, поскольку в расчетной формуле $m_2 = \frac{1{,}5 \cdot m_1 v_1}{v_2}$ единицы измерения скоростей сократятся. $m_2 = \frac{1{,}5 \cdot 1000 \cdot 108}{54} = 3000$ кг .

А5. Какую мощность развивает двигатель подъемного механизма крана, если он равномерно поднимает плиту массой 600 кг на высоту 4 м за 3 с?

1) 72 000 Вт 3) 7200 Вт 8000 Вт 4) 800 Вт

Мощность определяется как отношение работы, совершенной механизмом, ко времени, в течение которого работа была совершена: $P = \frac{A}{t}$. В данном случае работа по подъёму груза совершается против силы тяжести mg, а потому равна $A = mgh$. Мощность $P = \frac{A}{t} = \frac{mgh}{t} = \frac{600 \cdot 10 \cdot 4}{3} = 8000$ Вт .

Замечание. В условии важны слова *«медленно и равномерно»*. А вот если бы кран поднимал плиту с

ускорением, и в конце подъема она двигалась бы со скоростью v, крану пришлось бы совершить дополнительную работу по увеличению скорости плиты от 0 до v. $A_{доп} = \frac{mv^2}{2}$. Но к этой задаче замечание не имеет отношения.

А6. Какова частота звуковых колебаний в среде, если скорость звука в этой среде c= 500 м/с, а длина волны $\lambda = 2$ м ?.

1) 1000 Гц 2) 250 Гц 3) 100 Гц 4) 25 Гц

При решении подобных задач следует руководствоваться таким **определением:** «Длина волны – это расстояние, которое волна проходит за время, равное периоду колебаний»: $\lambda = c \cdot T \quad \Rightarrow \quad T = \frac{\lambda}{c}$.

А поскольку частота – величина, обратная периоду колебаний, $\nu = \frac{1}{T} = \frac{c}{\lambda} = \frac{500}{2} = 250$ Гц.

А7. Брусок массой m прижат к вертикальной стене силой $\mathbf{F}$, направленной под углом α к вертикали (см. рисунок). Коэффициент трения между бруском и стеной – равен μ. При какой величине силы F брусок будет двигаться по стене вертикально вверх с постоянной скоростью?

1) $\frac{\mu mg}{\cos\alpha - \mu\sin\alpha}$ 3) $\frac{\mu mg}{\cos\alpha - \mu\sin\alpha}$

2) $\frac{mg}{\cos\alpha + \mu\sin\alpha}$ 4) $\frac{mg}{\cos\alpha - \mu\sin\alpha}$

Брусок будет двигаться с постоянной скоростью, если сила трения и сила тяжести бруска будут уравновешены вертикальной составляющей силы $\mathbf{F}$, то есть если $F_{верт} = F_{тр} + mg$. (1) Но, *по определению* $F_{тр} = \mu N$, где $N = F_{гор}$ (третий закон Ньютона), следовательно, $F_{тр} = \mu N = \mu F_{гор} = \mu F \cdot \sin\alpha$.

И, наконец, $F_{верт} = F \cdot \cos\alpha$. Подставив в (1), получим: $F \cdot \cos\alpha = \mu F \cdot \sin\alpha + mg$. Откуда следует: $F = \frac{mg}{\cos\alpha - \mu\sin\alpha}$.

А8. Значение температуры по шкале Цельсия, соответствующее абсолютной температуре T = 10 К, равно

1) –283°С 2) –263 °С 3) 263°С 4) 283 °С

Значение температуры по шкале Цельсия всегда больше чем по шкале Кельвина на 283 градуса и определяется формулой $t = (273 + T) = 283\ ^{o}\text{C}$

А9. При температуре 240 К и давлении 1,66 • 10^5 Па плотность газа равна 2 кг/м^3. Какова молярная масса этого газа?

1) $3{,}6 \cdot 10^{-3}$ кг/моль 2) 230 кг/моль 3) $24 \cdot 10^{-3}$ кг/моль 4) $0{,}24 \cdot 10^{5}$ кг/моль

По определению – плотность газа $\rho = \frac{m}{V}$. Из уравнения состояния газа (Ур-ние Клапейрона – Менделеева) $pV = \frac{m}{\mu}RT$ найдем молярную массу газа $\mu = \frac{m}{V} \cdot \frac{RT}{p} = \rho\frac{RT}{p} = 2\frac{8{,}31 \cdot 240}{1{,}66 \cdot 10^{-5}} = 24 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

А10. На фотографии представлены два термометра, используемые для определения относительной влажности воздуха с помощью психрометрической таблицы (рядом с фотографией), в которой влажность указана в процентах.

Сухой термом.	Разность показаний сухого и влажного термометров								
°с	0	1	2	3	4	5	6	7	8
15	100	90	80	71	61	52	44	36	27
16	100	90	81	71	62	54	45	37	30
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32
18	100	91	82	73	64	56	48	41	34
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43

Какой была относительная влажность воздуха в тот момент, когда проводилась съемка?

1)22% 2) 61% 3)17% 4)40%

Влажность воздуха с помощью психрометра определяется по двум параметрам:

1. Показания сухого термометра (примерно 23 °С)
2. Разность показаний сухого и влажного термометров (около 5 °С)

Разность показаний возникает потому, что с влажной тряпочки, намотанной на баллончик со спиртом, у влажного термометра испаряется вода. Это приводит к его охлаждению, поскольку энергию для испарения вода берет от термометра. Причем, чем меньше влажность окружающего воздуха, тем интенсивнее испаряется вода, тем ниже показания влажного термометра. Во влажном же воздухе (100% влажность) количество испаряющихся с тряпочки молекул за любой промежуток времени оказывается практически равным количеству молекул воды, конденсирующихся на тряпочку. А поскольку при конденсации молекулы возвращают термометру энергию, затраченную на испарение, разность показаний сухого и влажного термометра оказывается равной нулю.

А11. Каково изменение внутренней энергии газа, если ему передано количество теплоты $\Delta Q = 300$ Дж, а внешние силы совершили над ним работу $A = 500$ Дж?

1)200Дж 2)300Дж 3)500Дж 4)800Дж

Энергию можно передать телу, сообщив ему некоторое количество теплоты (нагрев тело) или совершив над телом работу (например, интенсивно натирая его поверхность). **На основании первого закона термодинамики** (закон сохранения энергии) изменение внутренней энергии тела, определится равенством:

$$\Delta U = \Delta Q + A = 300 + 500 = 800 \text{ Дж}.$$

А12. В сосуде находится некоторое количество идеального газа. Как изменится температура газа, если он перейдет из состояния 1 в состояние 2 (см. рисунок)?

1) $T_2 = 4T_1$ 2) $T_2 = \frac{1}{4}T_1$ 3) $T_2 = \frac{4}{3}T_1$ 4) $T_2 = \frac{3}{4}T_1$

Запишем уравнение Клапейрона-Менделеева для состояния (1) $p_1V_1 = \frac{m}{\mu}RT_1$ и для состояния (2) $p_2V_2 = \frac{m}{\mu}RT_2$. Найдем отношение: $\frac{p_2V_2}{p_1V_1} = \frac{T_2}{T_1}; \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \frac{3\cdot 4}{1\cdot 3} = 4$. При подстановке *были использованы координаты точек 1 и 2 из графика.* Таким образом, $T_2 = 4T_1$.

А13. Расстояние между двумя точечными электрическими зарядами уменьшили в 3 раза, а один из зарядов увеличили в 3 раза. Силы взаимодействия между ними

1) не изменились 2) уменьшились в 3 раза 3) увеличились в 3 раза 4) увеличились в 27 раз

Задача на закон Кулона. *Для успешного решения задачи нужно знать формулировку этого закона* (Обязательно прочитайте по учебнику и осмыслите прочитанное!). Сила взаимодействия зарядов до описанных в задаче изменений определяется выражением: $F_1 = k\frac{q\cdot Q}{r^2}$. После изменений: $F_2 = k\frac{3q\cdot Q}{(r/3)^2}$. Отношение сил $\frac{F_2}{F_1} = \frac{3q\cdot Q\cdot r^2}{(r^2/9)q\cdot Q} = 3\cdot 9 = 27$. Сила взаимодействия увеличилась в 27 раз

А14. На рисунке представлен участок электрической цепи. Каково отношение количеств теплоты $\frac{Q_2}{Q_3}$, выделившихся на резисторах R_2 и R_3 за одно и то же время?

1)0,44 2)0,67 3)0,9 4)1,5

Количество теплоты, которое выделяется на резисторе, определяется законом Джоуля – Ленца: $Q = I^2R\cdot t$. Ответ на вопрос задачи сводится к нахождению токов, которые текут через верхний I_{12} и нижний I_{34} участки цепи.

Участки 12 и 34 из последовательно соединенных резисторов между собой соединены параллельно. Следовательно, напряжение на них одинаково и равно U. Токи на участках 12 и 34 найдем, пользуясь законом Ома для участка цепи $I_{12} = \frac{U}{R_1 + R_2}$; $I_{34} = \frac{U}{R_3 + R_4}$. Количество теплоты, выделяющееся на резисторе R_2 определится равенством: $Q_2 = I_{12}^2R_2\cdot t$ На резисторе R_3 выделится $Q_3 = I_{34}^2R_3\cdot t$.

Отношение: $\frac{Q_2}{Q_3} = \frac{\left(\frac{U}{R_1+R_2}\right)^2 R_2 t}{\left(\frac{U}{R_3+R_4}\right)^2 R_3 t} = \frac{(R_3+R_4)^2 R_2}{(R_1+R_2)^2 R_3} = \frac{49\cdot 2}{36\cdot 3} \approx 0{,}9$. Не запутаться бы в индексах!

А15. По двум тонким прямым проводникам, параллельным друг другу, текут одинаковые токи I (см. рисунок а). Как направлен вектор индукции создаваемого ими магнитного поля в точке С?

1) к нам 2) от нас 3) вверх 4) вниз

Чтобы иметь возможность указать направление векторов магнитной индукции $\mathbf{B}_1$, $\mathbf{B}_2$ и результирующего вектора $\mathbf{B}_{рез}$, представьте, что вы смотрите вдоль проводов. Наблюдающаяся при этом картина представлена на рисунке (б).

Ток по проводу 1 течет от нас. В соответствии с **«правилом винта»** силовая линия поля, создаваемого 1-м проводником с током будет закручиваться по часовой стрелке (малая окружность). В точке С этому полю будет соответствовать вектор $\mathbf{B}_1$ (обозначен большим кругом с крестом (Х)). Аналогично, магнитному полю тока, текущего по проводнику 2 будет соответствовать силовая линия, закручивающаяся против часовой стрелки (большая окружность) и вектор магнитной индукции $\mathbf{B}_2$ (малая окружность с точкой в центре)., причем, $B_2 < B_1$, поскольку проводник 2 отстоит от точки С дальше, чем проводник 1. Векторная сумма этих векторов даст результирующий вектор $\mathbf{B}_{рез} = \mathbf{B}_1 + \mathbf{B}_2$, модуль (длина) которого $B_{рез} = B_1 - B_2$ (см. рис. в). Результирующий вектор направлен «**от нас**». На рисунке (а) он совпадает по направлению с вектором $\mathbf{B}_1$ (не показан).

К сведению, формула индукции магнитного поля, создаваемого бесконечным проводником, по которому течет ток I, приводится в вузовских учебниках: $B = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I}{r}$. Величина индукции B уменьшается по мере удаления от проводника с током. В школьном учебнике этой формулы нет.

А16. Чтобы увеличить период электромагнитных колебаний в идеальном колебательном контуре в 2 раза, достаточно емкость конденсатора в контуре

1) увеличить в 2 раза 2) уменьшить в 2 раза 3) увеличить в 4 раза 4) уменьшить в 4 раза.

Период электромагнитных колебаний в колебательном контуре определяется формулой Томсона: $T = 2\pi\sqrt{LC}$. Понятно, чтобы период увеличился в 2 раза ёмкость конденсатора C должна быть увеличена в 4 раза. $2T = 2\pi\sqrt{L \cdot 4C}$.

А17. Для видимого света угол преломления лучей на границе воздух-стекло падает с увеличением частоты излучения. Ход лучей трех основных цветов при падении белого света из воздуха на границу раздела показан на рисунке (в оригинале вопроса цвет не указан, обозначены только цифры).

Это к сведению, для расширения кругозора. Речь идет о дисперсии света. Дисперсия света – это разложение белого света на его составляющие (Красн. Оранж. Желт. Зел. Голуб. Син. Фиол)

Под дисперсией вещества понимают зависимость показателя преломления вещества от частоты $n = n(\nu)$ или длины $n = n(\lambda_0)$ светового излучения. (Здесь λ_0 – длина световой волны в вакууме). Частота излучения в любой среде неизменна. Длина световой волны в среде $\lambda = cT = \frac{c}{\nu}$ меняется, так как скорость света c в различных средах неодинакова)

При ответе нужно учесть, что **угол преломления отсчитывается от нормали,** восстановленной в точку падения к границе раздела сред (см. закон преломления). А поскольку частота излучения $\nu_{фиол} > \nu_{зел} > \nu_{кр}$ синий луч сильнее всего отклонится от первоначального направления, то есть угол преломления для синего света будет наименьшим; для красного – наибольшим. Правильный ответ изображен на рисунке. Цифрам соответствуют цвета: 1 – синий, 2 – зеленый, 3 – красный. Другие ответы, содержащиеся в сборнике тестов ЕГЭ, не приведены

А18. Два источника испускают электромагнитные волны частотой $5 \cdot 10^{14}$ Гц с одинаковыми начальными фазами. Максимум интерференции будет наблюдаться и точке пространства, для которой оптическая разность хода волн от источников равна

1) 0,9мкм 2) 1,0мкм 3) 0,3мкм 4) 0,6мкм

Прежде всего, нужно определить длину волны излучения:

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^{14}} = 6 \cdot 10^{-7}\ \text{м} = 0{,}6\ \text{мкм}. \quad \frac{\lambda}{2} = 0{,}3\ \text{мкм}.$$

Далее следует использовать **условие максимума интерференции.**

Максимум интерференции наблюдается, если оптическая разность хода волн равна **чётному** числу полуволн:

$\Delta r = 2m\frac{\lambda}{2}$., где $m = 0, 1, 2, 3, ...$ – порядковый номер максимума.

В нашем случае условие удовлетворяется, если $\Delta r = 2m\frac{\lambda}{2} = 2\cdot 1\cdot\frac{0{,}6}{2} = 0{,}6$ мкм (Это max первого порядка, m=1).

Если бы речь шла о минимуме интерференции, следует использовать другое условие:

Минимум интерференции наблюдается, если оптическая разность хода волн равна **нечётному** числу полуволн: $\Delta r = (2m-1)\frac{\lambda}{2}$., где $m = 1, 2, 3,...$ – порядковый номер максимума. Но это уже вопрос к другой задаче.

А19. Две частицы, отношение зарядов которых $\frac{q_2}{q_1} = 2$ влетели в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции. Найдите отношение масс $\frac{m_2}{m_1}$ частиц, если их кинетические энергии одинаковы, а отношение радиусов траекторий $\frac{R_2}{R_1} = \frac{1}{2}$.

1) 1 2) 2 3) 8 4) 4

На движущуюся в магнитном поле заряженную частицу действует **сила Лоренца** $F_л = qvB\cdot\sin\alpha$. Поскольку частицы движутся перпендикулярно магнитному полю (**v**⊥**B**, α = 90°), $\Rightarrow \sin\alpha = 0$. В таком случае $F_л = qvB$

Сила Лоренца обеспечивает частице центростремительное ускорение $a_{цс} = \frac{v^2}{R}$, т. е., не изменяя по величине её скорости, поворачивает частицу, заставляя её двигаться по окружности радиуса R. Используя **второй закон Ньютона** $(F = ma)$ можно записать: $qvB = m\cdot\frac{v^2}{R}$, откуда легко находится радиус траектории частицы: $R = \frac{m}{q}\cdot\frac{v}{B}$.

Если теперь учесть, что кинетическая энергия частицы определяется её массой и скоростью – $W_к = \frac{mv^2}{2}$, радиус траектории частицы нетрудно связать с её кинетической энергией, предварительно выразив скорость частицы через её энергию $v = \sqrt{\frac{2W_к}{m}}$. Радиус траектории частицы $R = \frac{m}{q}\cdot\frac{\sqrt{\frac{2W_к}{m}}}{B} = \frac{\sqrt{2mW_к}}{qB}$. Или после возведения в квадрат: $R^2 = \frac{2mW_к}{(qB)^2}$. Откуда следует: $m = \frac{1}{2}\cdot\frac{(RqB)^2}{W_к}$. Отношение масс частиц $\frac{m_2}{m_1} = \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2\left(\frac{q_2}{q_1}\right)^2 = \frac{1}{4}\cdot 4 = 1$.

Ответ под номером 1.

А20. Энергия фотона, поглощенного при фотоэффекте, равна *E*. Кинетическая энергия электрона, вылетевшего с поверхности металла под действием этого фотона,

1) больше *E* 2) равна *E* 3) меньше *E*
4) может быть больше или меньше *E* при разных условиях

Учитывая, что энергия фотона расходуется на совершение работы выхода электрона из металла и на сообщение электрону кинетической энергии $E = h\nu = A_{вых} + \frac{mv_{max}^2}{2}$ (уравнение Эйнштейна), кинетическая энергия вылетевшего электрона $\frac{mv_{max}^2}{2}$ всегда меньше E на величину, равную работе выхода $A_{вых}$.

А21. Гамма-излучение — это

1) поток ядер гелия 2) поток протонов 3) поток электронов 4) электромагнитные волны

Правильный ответ № 4. **Для расширения кругозора.** Возможен ответ: «поток фотонов». В квантовой физике принято говорить, что (γ)- излучение – это поток фотонов большой энергии с очень и короткой длиной волны.

А22. Ядро изотопа тория $^{232}_{90}Th$ претерпевает α -распад, затем два электронных β -распада и еще один α -распад. После этих превращений получится ядро

1) франция $^{223}_{87}Fr$ 2) радона $^{222}_{86}Rn$ 3) полония $^{209}_{84}Po$ 4) радия $^{224}_{88}Ra$

Отвечая на вопрос, нужно учесть, что **при выбросе** α – **частицы** $\left({}^{4}_{2}\mathrm{He}\right)$ зарядовое число распадающегося ядра уменьшается на 2 единицы, а массовое – на 4 единицы. Поэтому первый этап распада будет выглядеть так: ${}^{232}_{90}\mathrm{Th}\rightarrow{}^{4}_{2}\mathrm{He}+{}^{228}_{88}\mathrm{Ra}$. Получившееся при распаде дочернее ядро можно найти по таблице Менделеева. Это радий – ${}^{228}_{88}\mathrm{Ra}$. **При** β **-распаде** выбрасывается электрон $\left({}^{0}_{-1}e\right)$, в результате чего зарядовое число распадающегося ядра увеличивается на 1 единицу, а массовое –не изменяется. Второй этап распада: ${}^{228}_{88}\mathrm{Ra}\rightarrow{}^{0}_{-1}e+{}^{228}_{89}\mathrm{Ac}$. Получившееся при этом дочернее ядро – изотоп актиния ${}^{228}_{89}\mathrm{Ac}$. Третий этап распада: ${}^{228}_{89}\mathrm{Ac}\rightarrow{}^{0}_{-1}e+{}^{228}_{90}\mathrm{Fr}$. Дочернее ядро – изотоп ${}^{228}_{90}\mathrm{Fr}$. Четвертый этап распада: ${}^{228}_{90}\mathrm{Fr}\rightarrow{}^{4}_{2}\mathrm{He}+{}^{224}_{88}\mathrm{Ra}$. Дочернее ядро – изотоп ${}^{224}_{88}\mathrm{Ra}$ .. Таков последовательный процесс распада.

В целях экономии времени на ЕГЭ можно записать объединенную формулу с учетом законов сохранения зарядового и массового чисел: ${}^{232}_{90}\mathrm{Th}\rightarrow{}^{4}_{2}\mathrm{He}+{}^{0}_{-1}e+{}^{0}_{-1}e+{}^{4}_{2}\mathrm{He}+{}^{224}_{88}\mathrm{Ra}$. *Критерием её правильности служит равенство зарядовых и массовых чисел до и после распада.*

Можно отдельно подсчитать зарядовое число Z: $90-2+1+1-2=88$ и массовое число A: $232-4-0-0-4=224$ и сравнить эти числа с теми, которые приведены в вариантах ответа.

А23. Дан график зависимости числа N нераспавшихся (оставшихся) ядер эрбия ${}^{172}_{68}\mathrm{Er}$ от времени. Каков период полураспада этого изотопа эрбия?

1) 25 часов 2) 50 часов 3) 100 часов 4) 200 часов

Период полураспада – это время T **, в течение которого распадается половина имеющихся** $\left(N_0=160\right)$ **ядер**. Значит, спустя время T распадется 80 ядер. Следовательно, в момент времени $t=T$ нераспавшимися окажутся ещё $N=160-80=80$ ядер. Из графика найдем: $t=T=50$ ч .

А24. Чтобы оценить, с какой скоростью упадет на землю мяч с балкона 6-го этажа, используем для вычислений на калькуляторе формулу $v=\sqrt{2gh}$. По оценке «на глазок» балкон находится на высоте (15 ± 1) м над землей. Калькулятор показывает на экране число 17,320508. Чему равна, с учетом погрешности оценки высоты балкона, скорость мяча при падении на землю?

1)17,320508 м/с 2) (17,320508 ± 1,1547005) м/с 3) (17,320508 ±0,6) м/с 4) 17,3 ±0,6) м/с

Точность результатов вычислений не может быть выше точности каждого измерения. Точность измерения высоты составляет ± 1м . В формуле (1) абсолютная погрешность вообще не указана, в формулах (2 и 3) слишком завышена точность результатов расчетов (6 значащих цифр после запятой, а должно быть не более одной). Поэтому, приемлемым является результат 4) 17,3 ±0,6) м/с.

А25. В результате теоретических расчетов ученик пришел к следующему выводу: при смешивании двух одинаковых по массе порций воды, температура которых соответственно равна 20 °С и 60 °С, температура смеси составит 40 °С. Далее ученик провел эксперимент: налил в две пробирки по 5 г холодной и подогретой воды, убедился, что температура обеих порций воды имеет нужные значения, и слил обе порции в третью пробирку. Пробирку с водой он несколько раз встряхнул, чтобы вода перемешалась, и измерил температуру воды жидкостным термометром с ценой деления 1 °С. Она оказалась равной 34 °С. Какой вывод можно сделать из эксперимента?

1) Для измерения температуры был взят термометр: со слишком большой ценой деления, что не позволило проверить гипотезу.
2)Условия опыта не соответствуют теоретической модели, используемой при расчете.
3)Не надо было встряхивать пробирку.
4)С учетом погрешности измерения эксперимент подтвердил теоретические расчеты.

В расчетах не учитывались потери тепла при проведении эксперимента. Подобные эксперименты проводятся так, чтобы избежать потерь тепла. Для этого нужно использовать калориметр, а не третью пробирку. Хорошо, если теплоёмкость калориметра будет небольшой; не худо бы существенно увеличить массу холодной и подогретой воды хотя бы до 200 г. Вывод: 2) Условия опыта не соответствуют теоретической модели, используемой при расчете.

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. Электрический колебательный контур радиоприемника настроен на длину волны λ. Как изменятся период колебаний в контуре, их частота и соответствующая им длина волны, если площадь пластин конденсатора уменьшить?
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.

Период колебаний	Частота колебаний	Длина волны

Ёмкость плоского конденсатора определяется выражением: $C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$. Если площадь S пластин конденсатора уменьшить, не изменяя других параметров, уменьшится его ёмкость C. А поскольку период колебаний определяется формулой Томсона $T = 2\pi\sqrt{LC}$, период колебаний также уменьшится (в первый столбец таблицы заносим цифру 2).

Частота колебаний связана с периодом соотношением: $\nu = \frac{1}{T}$, следовательно, частота колебаний увеличится (цифра 1 во втором столбце). По определению: длина волны – это расстояние, которое волна проходит за время, равное периоду колебаний: $\lambda = cT$ (c – скорость распространения электромагнитных волн) $\Rightarrow$ длина волны уменьшится, так как уменьшился период колебаний (2 в третьем столбце).

В2. Как изменяется при α-распаде ядра его электрический заряд, число протонов и число нейтронов в ядре?
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.

Электрический заряд ядра	Число протонов в ядре	Число нейтронов в ядре

При α - распаде из распадающегося ядра вылетает ядро атома ^4_2He, которое имеет электрический заряд $q = 2e$. В первый столбец заносим цифру 2, так как заряд распадающегося ядра уменьшается при выбросе α - частицы.

В ядре атома гелия 2 протона $(Z = 2)$ и 2 нейтрона $(M - Z = 4 - 2 = 2)$, следовательно, число протонов и нейтронов в ядре при α - распаде также уменьшается (заносим цифру 2 во второй и третий столбцы).

В3. Шайба массой m съезжает без трения с горки высотой h из состояния покоя. Ускорение свободного падения равно g. Чему равны модуль импульса шайбы и ее кинетическая энергия у подножия горки?
Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать.
К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите <u>в таблицу</u> выбранные цифры под соответствующими буквами.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА	ФОРМУЛА	
А) Модуль импульса шайбы	1) $\sqrt{2gh}$.	2) $m\sqrt{2gh}$
Б) Кинетическая энергия шайбы	3) mgh	4) mg

А	Б

Кинетическая энергия, которую приобретает тело массой m, падая с высоты h под действием силы тяжести mg равна работе, которую совершает сила тяжести $W_к = A = mgh$. А поскольку гравитационное поле потенциально, то работа по перемещению тела не зависит от формы траектории движения. Поэтому скольжение тела по горке без трения дает тот же результат: $W_к = mgh$. Этот результат указан в подборке формул под номером 3. Этот номер заносим в правую часть таблицы (под буквой Б).

Скорость, которую приобретает тело при падении с высоты h (движение с ускорением равным g без начальной скорости) определяется выражением $v = \sqrt{2gh}$, а модуль импульса тела, по определению, равен произведению массы тела на скорость его движения $(p = mv)$, модуль импульса рассматриваемой шайбы определится выражением: $p = mv = m\sqrt{2gh}$, которое записано в подборке «формула» под цифрой 2. Эту цифру заносим в таблицу, в столбец под буквой А. Факт, что гравитационное поле потенциально, не накладывает никаких ограничений, касающихся направления вектора импульса $\mathbf{p}$: тело, падающее вертикально и тело, скользящее по горке без трения приобретут в конце движения одинаковые скорости и, следовательно, одинаковые импульсы.

В4. Укажите, какими формулами выражаются КПД цикла тепловой машины и работа за цикл через количество теплоты $Q_Н$, полученное рабочим телом за цикл от нагревателя, и количество теплоты $|Q_X|$, переданное за цикл рабочим телом холодильнику.
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) КПД цикла тепловой машины-	1) $Q_Н - \lvert Q_X \rvert$	2) $\dfrac{Q_Н + \lvert Q_X \rvert}{2}$
Б) Работа за цикл	3) $\dfrac{Q_Н - \lvert Q_X \rvert}{Q_Н}$.	4) $\dfrac{\lvert Q_X \rvert}{Q_Н}$

А	Б
3	1

Ответы на поставленные вопросы нетрудно найти, рассмотрев принципиальную схему работы теплового двигателя. Он состоит из нагревателя, рабочего тела и холодильника. Если нагреватель сообщает рабочему телу некоторое количество теплоты $Q_Н$, а рабочее тело (газ или пар), расширяясь при нагревании совершает полезную работу A, а в процессе сжатия передает некоторое количество Q_X теплоты холодильнику, то работу за цикл можно найти из закона сохранения энергии: $A = Q_Н - |Q_X|$. Цифру 1, под которой стоит эта формула, заносим в столбец Б.

По определению, КПД находится как отношение полезной работы A к величине затраченной на совершение работы энергии (в виде теплоты $Q_Н$). $\Rightarrow$ КПД цикла определится выражением: $\text{КПД} = \dfrac{A}{Q_Н} = \dfrac{Q_Н - |Q_X|}{Q_Н}$. Цифру 3, под которой значится эта формула, заносим в столбец А.

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. Замкнутое медное кольцо подвешено на длинных нитях вблизи катушки индуктивности, закрепленной на столе и подключенной к источнику постоянного тока (см. рисунок). Первоначально электрическая цепь катушки разомкнута. Как будет двигаться кольцо при замыкании цепи? Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности вы использовали.

При замыкании цепи по катушке индуктивности потечет **быстро нарастающий по величине** электрический ток I. В результате в окружающем катушку пространстве возникнет **быстро возрастающее магнитное поле**, часть силовых линий которого будет пронизывать медное кольцо. При этом площадь S ограниченную медным кольцом будет пронизывать магнитный поток, величина которого за время Δt будет изменяться от 0 до $\Phi = BS\cos\alpha \approx BS$, поскольку в начальный момент $(\mathbf{n} \parallel \mathbf{B})$ – вектор нормали **n** к плоскости кольца можно считать параллельным вектору магнитной индукции **B**.

Изменение магнитного потока на величину $\Delta\Phi = \Phi - 0 = BS$ за очень короткий промежуток времени Δt приводит появлению в кольце вихревого электрического поля, заставляющего двигаться свободные заряды в проводнике. В кольце возникает электрический ток, величину которого можно найти по закону Ома для замкнутой цепи (кольцо – замкнутый проводник) $I = \dfrac{\varepsilon_i}{R}$, где R – сопротивление кольца, а $\varepsilon_i = \left|\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right|$ – величина ЭДС индукции, определяемая скоростью изменения магнитного потока через площадь, ограниченную кольцом. (Напомним, что, по определению $\varepsilon = \dfrac{A_{\text{сторонних сил}}}{q}$ определяется отношением работы сторонних сил к величине перемещаемого заряда. В роли источника сторонних сил в рассматриваемом случае выступает вихревое электрическое поле)

В соответствии с правилом Ленца, индукционный ток в кольце имеет такое направление, что создаваемое им магнитное поле **B'** препятствует росту магнитного потока, вызвавшего этот ток. В итоге, замкнутое кольцо будет отброшено дальше от соленоида, в область, где создаваемое соленоидом магнитное

поле имеет меньшую величину и нити, на которых кольцо подвешено, составят с направлением силы тяжести некоторый угол.

За время этого процесса ток в соленоиде достигнет максимального значения и перестанет изменяться. Исчезнет и ток в кольце, поскольку изменение магнитного потока через поверхность, ограниченную кольцом $\Delta\Phi = 0$. А поскольку вектор силы тяжести $m\mathbf{g}$, действующий на кольцо, находящееся в отклоненном положении, уже не компенсирует силу натяжения подвеса кольца $\mathbf{F}_н$, возникнет равнодействующая сила (равная векторной сумме этих сил) $\mathbf{F} = \mathbf{F}_н + m\mathbf{g}$, стремящаяся вернуть кольцо в первоначальное положение (рис. б). Однако по мере возвращения кольца в первоначальное положение, магнитный поток через кольцо будет увеличиваться (кольцо движется в область постоянного магнитного поля с большим значением магнитной индукции **B**).В итоге, в кольце возникнет небольшой индукционный ток, препятствующий его возвращению в положение равновесия (правило Ленца). Поэтому кольцо в положение равновесия будет возвращаться медленнее, чем в момент, когда оно было отброшено.

Итог: При замыкании цепи соленоида кольцо сначала будет отброшено (действует правило Ленца для электромагнитной индукции), а затем медленно возвратится в положение равновесия (под действием силы тяжести).

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. Из пружинного пистолета выстрелили вертикально вниз в мишень, находящуюся на расстоянии $h = 2$ м от него. Совершив работу $A = 0{,}12$ Дж, пуля застряла в мишени. Какова масса пули, если пружина была сжата перед выстрелом на $x = 2$ см, а ее жесткость $k = 100$ Н/м?

Сжатая пружина обладает потенциальной энергией $\frac{kx^2}{2}$, которую при выстреле она передает пуле. Этой величине равна кинетическая энергия пули в момент выстрела. В этот момент пуля, находилась на высоте $h = 2$ м над землей и обладала потенциальной энергией mgh. Полная энергия пули $W = \frac{kx^2}{2} + mgh$ пошла на совершение работы A по торможению пули мишенью (в конечном итоге она пошла на нагревание пули и мишени, превратившись в тепло). По закону сохранения энергии: $\frac{kx^2}{2} + mgh = A$ Из этого равенства можно найти массу пули:

$$m = \frac{A - 0{,}5 \cdot kx^2}{gh} = \frac{0.12 - 0{,}5 \cdot 100 \cdot 0{,}02^2}{10 \cdot 2} = 0{,}005 \text{ кг} = 5 \text{ г}.$$

С3. Вертикально расположенный замкнутый цилиндрический сосуд высотой $h = 50$ см разделен подвижным поршнем весом $mg = 110$ Н на две части, в каждой из которых содержится одинаковое количество идеального газа $(\nu_1 = \nu_2 = \nu)$ при температуре $T =$ 361 К. Сколько молей газа $(\nu = ?)$ находится в каждой части цилиндра, если поршень находится на высоте $h_2 = 20$ см от дна сосуда? Толщиной поршня пренебречь.

Начнем с того, что введем необходимые обозначения для всех величин и укажем их на рисунке, после чего запишем уравнения состояния газа для верхней и нижней частей сосуда, из которого выразим давление газа.

$p_1V_1 = \nu RT \;\Rightarrow\; p_1 = \frac{\nu RT}{V_1} = \frac{\nu RT}{S \cdot (h - h_2)}$ (1), где S – площадь основания сосуда (см. рисунок).

$p_2V_2 = \nu RT \;\Rightarrow\; p_2 = \frac{\nu RT}{V_2} = \frac{\nu RT}{S \cdot h_2}$. (2)Но давление p_2 на газ, находящийся в нижней части сосуда, можно выразить как сумму давления, оказываемого газом, находящимся в верхней части и сосуда (p_1) и давления, обусловленного весом поршня $\left(\frac{mg}{S}\right)$

$$p_2 = p_1 + \frac{mg}{S}$$ (3) Подставив в последнее выражение значения p_1 и p_2, получим:

$\frac{\nu RT}{S \cdot h_2} = \frac{\nu RT}{S \cdot (h - h_2)} + \frac{mg}{S}$. Умножив обе части последнего равенства на S и перегруппировав его, получим:

$\nu \cdot RT\left[\frac{1}{h_2} - \frac{1}{h - h_2}\right] = mg$. Откуда следует: $\nu = \frac{mg \cdot h_2(h - h_2)}{RT[(h - h_2) - h_2]} = \frac{mg \cdot h_2(h - h_2)}{RT(h - 2h_2)} = \frac{110 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}3}{8{,}31 \cdot 361 \cdot 0{,}1} \approx 0{,}022$ моль.

В.С.

С4. Маленький шарик с зарядом $q = 4\cdot10^{-8}$ Кл и массой $m = 3$ г, подвешенный на невесомой нити с коэффициентом упругости $k = 100$ Н/м, находится между вертикальными пластинами плоского воздушного конденсатора. Расстояние между обкладками конденсатора $d = 5$ см. Какова разность потенциалов U между обкладками конденсатора, если удлинение нити $x = 0{,}5$ мм?

На шарик, находящийся в состоянии равновесия действуют три силы: сила тяжести mg, кулоновская сила $F_к = qE$ и сила упругости (натяжения) нити $|F_{упр}| = kx$.

Чтобы шарик покоился, результирующая сила $\mathbf{F} = \mathbf{F}_к + m\mathbf{g}$ должна уравновешивать силу упругости, то есть $F = F_{упр}$ (Первый закон Ньютона). Величину силы F нетрудно найти из треугольника сил по теореме Пифагора. $F = \sqrt{(qE)^2 + (mg^2)}$

Итак, имеем, $\sqrt{(qE)^2 + (mg^2)} = kx$ (1). Если теперь вспомнить, что напряженность электрического поля плоского конденсатора связана с разностью потенциалов между его обкладками соотношением: $E = \dfrac{U}{d}$, равенство (1) можно записать в виде: $\sqrt{\left(q\dfrac{U}{d}\right)^2 + (mg)^2} = kx$ откуда нетрудно найти

$$U = \frac{d}{q}\sqrt{(kx)^2 - (mg)^2} = \frac{5\cdot10^{-2}}{4\cdot10^{-8}}\sqrt{\left(100\cdot0{,}5\cdot10^{-3}\right)^2 - \left(3\cdot10^{-3}\cdot10\right)^2} = 50 \text{ кВ}$$

С5. Условимся считать изображение на пленке фотоаппарата резким, если вместо идеального изображения в виде точки на пленке получается изображение пятна диаметром не более некоторого предельного значения. Поэтому, если объектив находится на фокусном расстоянии от пленки, то резкими считаются не только бесконечно удаленные предметы, но и все предметы, находящиеся дальше некоторого расстояния d. Оцените предельный размер пятна, если при фокусном расстоянии объектива 50 мм и диаметре входного отверстия 5 мм резкими оказались все предметы, находившиеся на расстояниях более 5 м от объектива. Сделайте рисунок, поясняющий образование пятна.

Чтобы не запутаться с обозначениями величин, которые даны в тексте задачи, введём собственные обозначения и будем все расстояния измерять в миллиметрах:

$a = 5\cdot10^3$ мм – расстояние от линзы до предмета (до точки А);

b – расстояние от линзы до изображения (его надо найти)

$f = 50$ мм – фокусное расстояние линзы. Точку, в которой находится фокус, обозначим буквой F.

$D = 5$ мм – диаметр входного отверстия объектива.

$\delta = ?$ – предельный диаметр пятна изображения точки А, которое на фотографии ещё воспринимается глазом как точка. Это пятно будет зафиксировано на фотопленке, которая расположена в фокальной плоскости линзы в виде кружка, отмеченного темно-серым цветом на рисунке.

При таких обозначениях вместо формулы линзы $\dfrac{1}{d} + \dfrac{1}{f} = \dfrac{1}{F}$ из школьного учебника физики будем пользоваться формулой: $\dfrac{1}{a} + \dfrac{1}{b} = \dfrac{1}{f}$. Эта формула позволит нам найти расстояние b от линзы до точки А’, являющейся изображением точки А. (Рисунок сильно искажен. *По окончании решения задачи сопоставьте приведенные на рисунке размеры с числовыми данными, полученными при решении задачи).*

Найдем это расстояние: $\dfrac{1}{b} = \dfrac{1}{f} - \dfrac{1}{a}$, или $b = \dfrac{a\cdot f}{a - f}$.

В числах: $b = \dfrac{3\cdot10^3\cdot50}{5\cdot10^3 - 50} = \dfrac{5000\cdot50}{5000 - 50} = \dfrac{250000}{4950} \approx 50{,}5$ мм.

Расстояние FA’= $b - f = 50{,}5 - 50 = 0{,}5$ мм, в то время как $f = 50$ мм. Зная эти величины, предельный диаметр пятна δ можно оценить из пропорции $\dfrac{\delta}{D} = \dfrac{b - f}{b}$ (см. на рисунке подобные треугольники). Таким образом, $\delta = D\dfrac{b - f}{b} = 5\cdot\dfrac{0{,}5}{50{,}5} \approx 0{,}05$ мм. В самом деле, при таком размере отмеченного темно-серым цветом пятна, его действительно вполне можно воспринимать как точку.

С6. На рисунке изображены несколько энергетических уровней атома и указаны

.С.

длины волн фотонов, излучаемых и поглощаемых при переходах с одного уровня на другой. Экспериментально установлено, что минимальная длина волны для фотонов, излучаемых при переходах между этими уровнями, равна $\lambda_0 = 250$ нм, Какова величина λ_{13}, если $\lambda_{32} = 545$ нм, $\lambda_{24} = 400$ нм ?

Минимальной длине волны λ_0 соответствует фотон с частотой $\nu_{41} = \frac{c}{\lambda_0}$, энергия которого, в согласии с постулатами Бора определяется равенством:

$$E_{41} = E_4 - E_1 = h\nu_{41} = h\frac{c}{\lambda_0}.$$

Энергии этого излучения соответствует длина стрелки λ_0 на энергетической диаграмме.

Соответственно энергии излучений с длинами волн λ_{13}, λ_{32}, λ_{24} можно сопоставить длину соответствующих стрелок. В таком случае, опираясь на энергетическую диаграмму, можно найти энергию фотона (длину стрелки)

$E_{13} = E_{41} - E_{24} + E_{32}$, или $h\nu_{13} = h\nu_{41} - h\nu_{24} + h\nu_{32}$, или $h\frac{c}{\lambda_{13}} = h\frac{c}{\lambda_0} - h\frac{c}{\lambda_{24}} + h\frac{c}{\lambda_{32}}$, или,

после деления обеих частей равенства ch, получим: $\frac{1}{\lambda_{13}} = \frac{1}{\lambda_0} - \frac{1}{\lambda_{24}} + \frac{1}{\lambda_{32}}$.

Откуда следует: $\lambda_{13} = \frac{\lambda_0\lambda_{24}\lambda_{32}}{\lambda_{24}\lambda_{32} - \lambda_0\lambda_{32} + \lambda_0\lambda_{24}} = \frac{250 \cdot 400 \cdot 545}{400 \cdot 545 - 250 \cdot 545 + 250 \cdot 400} \approx 300$ нм