

В некоторых задачах я буду предлагать Вам краткие выдержки из теории.  
Не игнорируйте их, если хотите вникнуть в решение задачи.

Если у вас есть более красивые решения отдельных задач – поделитесь! ☺

Я могу допускать неточности в решениях. А иногда даже ошибки.  
Нашли? Сообщите мне об этом, пожалуйста.

2019/2020, 3 этап, первый вариант

**A1.** Если вы не знаете ответ на этот вопрос, то не регистрируйте на ЦТ по физике. **Ответ:** \_.

**A2.** В разделе «Скачать» у меня на сайте вы можете найти раздел «Кинематика». Внимательно изучите параграфы 1.06-1.09. Если коротко, то зависимость скорости от времени при ускоренном движении имеет вид  $v = v_0 + at$ . В случае броска вверх начальная скорость тела и ускорение, с которым будет двигаться тело (ускорение свободного падения), будут иметь разные направления и движение тела будет сначала замедленным, а после достижения максимальной высоты подъема ускоренным. Поэтому зависимость скорости движения тела от времени примет вид  $v = v_0 - gt$ . **Ответ:** 5.

**A3.** И опять я направляю вас в раздел «Кинематика». Параграф 1.05, пример на странице 25 (в самом низу страницы). Самое главное сделать рисунок к этой задаче. Поезд, двигаясь со скоростью 12 м/с, создает ветер. Поэтому скорость капель относительно Земли (вертикальный катет) будет равна  $\tan \alpha = \frac{v_{ветр1}}{v_0} \Rightarrow v_0 = \frac{v_{ветр1}}{\tan \alpha} = \frac{12}{\sqrt{3}} = 6,9$  (м/с). Почему именно вертикальный катет, а не гипотенуза? Так как ветра нет, то капли падают строго вертикально вниз. **Ответ:** 2.

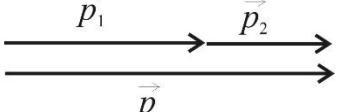
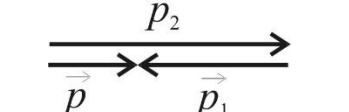
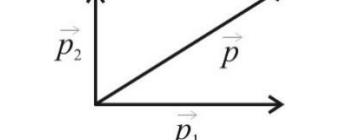
**A4.** Конечная скорость тела будет равна 3 м/с. Так как нам надо знать какой путь пройдет тело, то выберем формулу для ускорения через пройденный путь  $S = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$ . Так как тело двигается в поле силы тяжести и начальная скорость тела противоположна ускорению, с которым движется тело (ускорению свободного падения), то формула примет вид  $S = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} = \frac{v^2 - v_0^2}{-2g} = \frac{(3)^2 - (9)^2}{-2 \cdot 10} = 3,6$  (м). **Ответ:** 4.

**A5.** У меня на сайте в свободном доступе так же размещен раздел «Динамика». Внимательно читайте параграф 2.02. **Ответ:** 1.

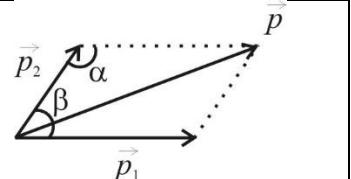
**A6. Импульсом** тела (количество движения) называют физическую векторную величину, являющуюся количественной характеристикой поступательного движения тела. Импульс обозначается  $\vec{p}$ . Импульс тела равен произведению массы тела на его скорость:  $\vec{p} = m\vec{v}$ .

Направление вектора импульса  $\vec{p}$  совпадает с направлением вектора скорости тела (направлен по касательной к траектории при криволинейном движении). Единица измерения импульса – кг•м/с.

Импульс СИСТЕМЫ ТЕЛ равен векторной сумме импульсов всех тел системы:  $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 + \dots$

<p>Если тела движутся в одном направлении, то суммарный импульс системы равен сумме импульсов: <math>p = p_1 + p_2</math>.</p>	
<p>Если в противоположных направлениях, то разности импульсов: <math>p =  p_1 - p_2 </math>.</p>	
<p>Если под прямым углом друг к другу, то суммарный импульс находим по теореме Пифагора: <math>p = \sqrt{p_1^2 + p_2^2}</math></p>	

Если под произвольным углом, то по теореме косинусов:  $p^2 = p_1^2 + p_2^2 - 2p_1p_2 \cos \alpha$ , где  $\alpha$  – угол между направлениями векторов скоростей.



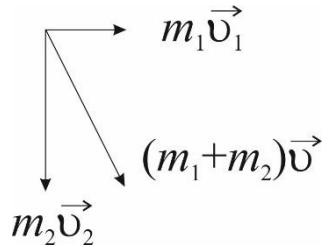
При взаимодействии тел **импульс** одного тела может частично или полностью передаваться другому телу. В замкнутой системе тел (на систему тел не действуют внешние силы со стороны других тел) векторная сумма импульсов всех тел, входящих в систему, остается постоянной при любых взаимодействиях тел этой системы между собой.

Этот фундаментальный закон природы называется **законом сохранения импульса**. Следствием его являются законы Ньютона. Второй закон Ньютона:  $\vec{F}\Delta t = \Delta\vec{p}$ . Если  $\vec{F} = 0$ , то

$$\vec{F}\Delta t = \vec{p} - \vec{p}_0 = 0 \Rightarrow \vec{p} = \text{const},$$

то есть если на тело или систему тел не действуют **внешние** силы или результирующая их сумма равна нулю, то **изменение импульса (а не сам импульс)** тоже равно нулю. То есть импульс тела (или суммарный импульс системы тел) не изменяется. Аналогично это можно применить для равенства нулю **проекции силы** на выбранную ось. Если  $F_x = 0 \Rightarrow p_x = \text{const}$  или  $p_{1x} = p_{2x}$ , где  $p_{1x}$  – проекция импульса на ось ОХ в начальный момент времени,  $p_{2x}$  – в конечный. **При этом сами импульсы могут меняться, а их сумма остается постоянной.**

Возвращаемся к нашей задаче. Так как согласно закону сохранения импульса суммарный импульс системы тел остается постоянным, то направление движения тел после удара будет совпадать с направлением суммы импульсов до удара. Поэтому складывая начальные импульсы тем мы легко находим направление движения после удара (см. рис.). Так как масса второго тела в два раза больше массы первого тела, а скорости тел одинаковы, то импульс второго тела тоже будет в два раза больше импульса первого тела. **Ответ: 2.**



**A7.** И опять я направляю вас в раздел «Динамика» тема «Сила трения». Страница 24, пример в самом низу страницы. Задачу решите самостоятельно. **Ответ: 3.**

**A8.** Учим теорию. Беспорядочное хаотическое движение молекул называется **тепловым движением**. Кинетическая энергия теплового движения растет с возрастанием **температуры**. При низких температурах молекулы конденсируются в жидкое или твердое вещество. При повышении температуры средняя кинетическая энергия молекулы становится больше, молекулы разлетаются, и образуется газообразное вещество. **Ответ: 3.**

**A9.** Как уже было отмечено в задании A8, скорость теплового движения молекул определяется температурой вещества. Для идеального газа эта зависимость выражается простой формулой  $v_{\text{кв}} = \sqrt{3kT/m_0}$ , где  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К – **постоянная Больцмана**,  $T$  – абсолютная температура.

Сразу же оговоримся, что во всех задачах Вы должны, не задумываясь, **переводить температуру из градусов Цельсия в Кельвины** (кроме задач на уравнение теплового баланса, где вы в основном будете иметь дело с изменением температуры, а не самой температурой). Запомните простое правило: **в градусах думают только алкоголики!!!** Это же правило можно, кстати, применять и в кинематике, переводя углы из градусов в радианы. Умножив числитель и знаменатель на постоянную Авогадро, получим еще

одну формулу для связи скорости молекул и температуры  $v_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3 \cdot kN_A \cdot T}{m_0 N_A}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$ . Тут мы учили,

что  $k \cdot N_A = R$  (закон трех постоянных), где  $R = 8,31$  Дж/(моль·К) – универсальная газовая постоянная, которая в некоторых формулах заменяет собой сразу две постоянных – постоянную Больцмана и постоянную Авогадро. Выразим температуру газа:  $v_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \Rightarrow v_{\text{кв}}^2 = \frac{3RT}{M} \Rightarrow T = \frac{v_{\text{кв}}^2 M}{3R}$ . И помните, что ответ мы получим в Кельвинах, а дать его необходимо в градусах Цельсия:  $T_K = T_C + 273!!!$  **Ответ: 2.**

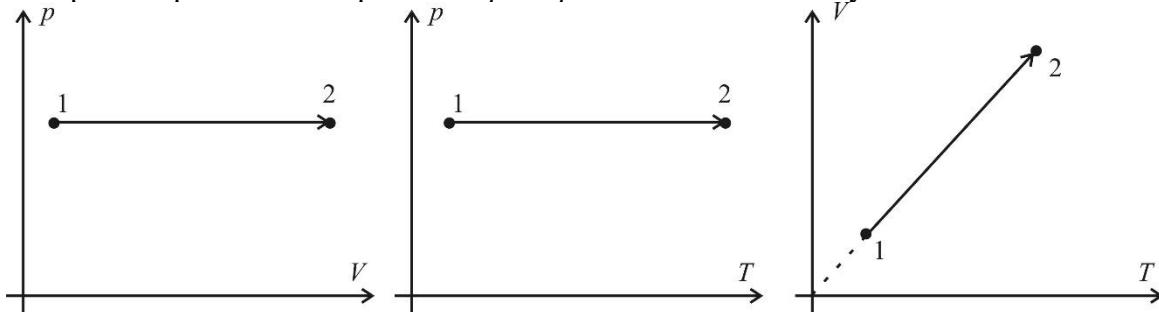
**A10. Изобарным процессом** называют процесс, протекающий при неизменном давлении. Уравнение

изобарного процесса для некоторого неизменного количества вещества  $v$  имеет вид:

$$\frac{V}{T} = \text{const} \quad \text{или} \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2},$$

где  $V_1$  и  $T_1$  – начальные объем и температура газа,  $V_2$  и  $T_2$  – конечные объем и температура газа.

Графики изобарного процесса в координатах  $p$ – $V$ ;  $p$ – $T$ ;  $V$ – $T$  имеют следующий вид:

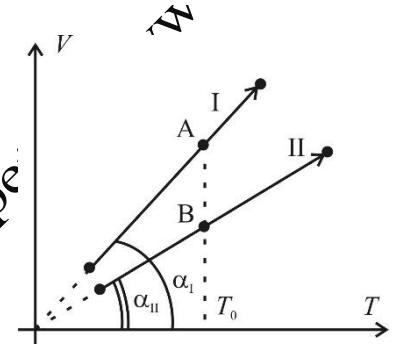


Обратите внимание на то, что продолжение графика в  $V$ – $T$  координатах (то есть в координатах, где нет давления) «смотрит» точно в начало координат. Однако он никогда не сможешь начаться из начала координат, так как при очень низких температурах газ превращается в жидкость.

Рассмотрим два изобарных процесса. В каком из них давление больше? Выберем произвольную температуру  $T_0$  и соответствующие ей на графиках точки А и В. Очевидно, что объем в точке А больше объема в точке В, а

температуры одинаковы. Из уравнения  $\frac{pV}{T} = \text{const}$  следует, что давление в

точке В будет больше, чем в точке А. Чем **больше** угол наклона графика к оси, тем **меньше** будет давление. **Ответ: 5.**



**A11.** ЭДС самоиндукции, возникающая в катушке с постоянным значением индуктивности, согласно формуле Фарадея равна  $\varepsilon_{\text{самоинд}} = \varepsilon_L = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$ . ЭДС самоиндукции прямо пропорциональна индуктивности катушки и скорости изменения силы тока в ней. Получим из этой формулы отношение, которое дано по условию задачи  $\left| \frac{\varepsilon_{\text{самоинд}}}{L} \right| = \left| -\frac{\Delta I}{\Delta t} \right|$ . Это отношение равно скорости изменения силы тока. **Ответ: 3.**

**A12.** Так как шарик находится в равновесии, то сила тяжести, действующая на него, компенсируется силой со стороны электростатического поля. При этом нам не обязательно делать рисунок и показывать, как направлено электростатическое поле. Главное, что мы знаем, что силы равны и шарик находится в покое. Следовательно,  $F_{\text{тяжести}} = F_{\text{элстат}} \Rightarrow mg = qE \Rightarrow m = \frac{qE}{g}$ . **Ответ: 5.**

**A13.** Для большинства абитуриентов это будет достаточно сложная задача, несмотря на то, что она всего лишь A13. Поэтому предлагаю вам **немноже** много теории и аналогичных примеров.

В пространстве, окружающем движущиеся электрические заряды, возникает магнитное поле. О наличии магнитного поля можно судить по его действию на движущиеся электрические заряды, электрические токи, магниты. Из трех проявлений тока магнитное поле возникает всегда и зависит только от силы тока и его направления.

Магнитным называется *взаимодействие* между движущимися электрическими зарядами.

**Силовыми линиями магнитного поля называют линии, по касательным к которым располагаются магнитные стрелки.**

Магнитной стрелкой называют длинный и тонкий магнит, его полюса точечны. Подвешенная на нити магнитная стрелка всегда поворачивается в одну сторону. При этом один ее конец направлен в сторону севера, второй – на юг. Отсюда – название полюсов: северный ( $N$ ) и южный ( $S$ ).

Вектор магнитной индукции – векторная физическая величина, являющаяся характеристикой магнитного поля, численно равная силе, действующей на элемент тока в 1 А и длиной 1 м, если направление силовой линии перпендикулярно проводнику.

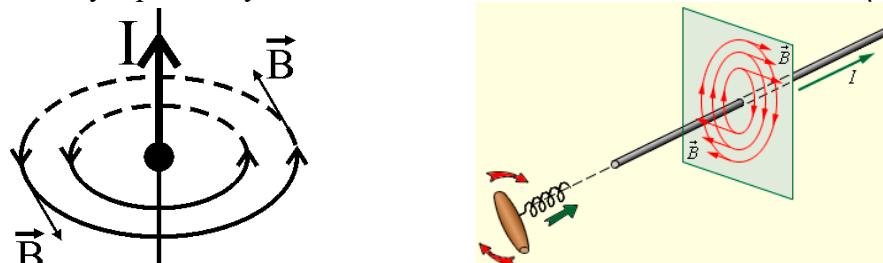
Обозначается  $\vec{B}$ , единица измерения – 1 Тесла. Одна Тесла очень большая величина. Поэтому в реальных магнитных полях магнитную индукцию измеряют в мТл.

**Вектор магнитной индукции направлен по касательной к силовым линиям, то есть совпадает с направлением северного полюса магнитной стрелки, помещенной в данное магнитное поле.**

Направление  $\vec{B}$  определяется правилом правой руки. Направление  $\vec{B}$  не совпадает с направлением силы, действующей на проводник, поэтому силовые линии магнитного поля, строго говоря, силовыми не являются. Силовая линия направлена от южного полюса магнитной стрелки к северному, то есть от северного полюса магнита к южному. В случае постоянных магнитов:



В случае магнитного поля электрического тока для определения направления силовых линий используют **ПРАВИЛО ПРАВОЙ РУКИ**: если взять проводник в правую руку так, чтобы большой палец был направлен по току, то четыре пальца, обхватывающие проводник, показывают направление силовых линий вокруг проводника. В случае прямого тока линии магнитной индукции – окружности, плоскости которых перпендикулярны току.



Величина магнитной индукции поля, созданного прямым током  $I$  на расстоянии  $R$  от него, равна

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2\pi R}$$

где  $\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ Гн/м}$  – магнитная постоянная,  $\mu$  – магнитная проницаемость среды (о ней чуть ниже).

В витке с током можно определить его магнитные полюса (ток направлен от плюса к минусу).



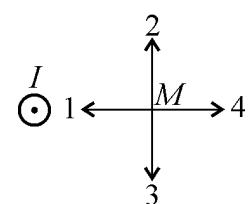
Индукция поля в центре витка радиусом  $R$  равна

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2R}.$$

Линии магнитного поля имеют вид замкнутых линий – это общее свойство всех магнитных линий. Такое поле называют вихревым. В случае постоянных магнитов линии не оканчиваются на поверхности, а проникают внутрь магнита и замыкаются внутри. Это различие электрического и магнитного полей объясняется тем, что, в отличие от электрических, магнитных зарядов не существует. Поэтому если разломать постоянный магнит на 2 части, то мы получим не отрицательный и положительной полюса магнита, а два новых магнита.

**ПРИМЕР.** Как направлен вектор индукции магнитного поля прямолинейного тока  $I$  в точке  $M$ ?

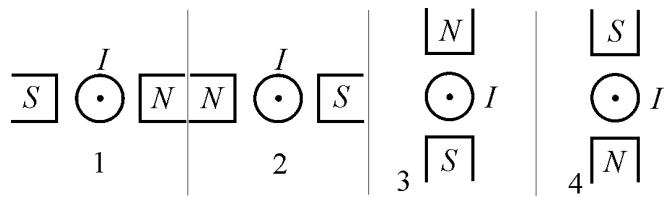
Начертите окружность с центром находящимся на проводнике и проходящую через точку  $M$ . Мысленно обхватите проводник с током правой рукой так, чтобы большой палец был направлен по току, то есть из плоскости чертежа к нам, а четыре обхватывающих пальца совпадали с окружностью. Мысленно проведем касательную к этой окружности в точке  $M$  от запястья к кончикам пальцев. Очевидно, что касательная направлена к точке 2. Кстати, так же будет направлен северный полюс магнитной стрелки, помещенный в точку  $M$ .



**ПРИМЕР.** На горизонтально расположенный проводник с током действует сила Ампера, направленная вверх вдоль плоскости чертежа. В каком случае показано правильное положение полюсов магнита?

Вектор индукции поля направлен от северного полюса магнита к южному. Именно так расположилась бы магнитная стрелка, помещенная между полюсами магнита.

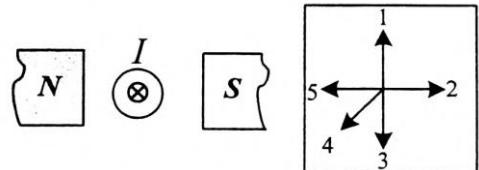
Своим северным полюсом стрелка была бы направлена к южному полюсу магнита. Расположим ладонь левой руки так, чтобы четыре вытянутых пальца были направлены по току, то есть «торчали» из чертежа к нам. При этом вектор индукции должен входить в ладонь, а отогнутый большой палец должен по условию быть направлен вверх вдоль плоскости чертежа. Очевидно, что только рисунок 2 соответствует всем указанным требованиям.



**ПРИМЕР.** Направлению силы Ампера, действующей на прямолинейный участок проводника с током  $I$ , помещенный между полюсами постоянного магнита, соответствует вектор, обозначенный цифрой ...

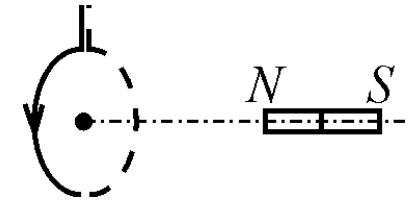
Вектор индукции поля направлен от северного полюса магнита к южному.

Расположим ладонь левой руки так, чтобы четыре вытянутых пальца были направлены по току, то есть от нас. При этом вектор индукции должен входить в ладонь, то есть ладонь смотрит налево. При таком положении руки отогнутый большой палец будет смотреть вниз, то есть ответ 3.



**ПРИМЕР.** Круглый проводящий виток с током, направленным против часовой стрелки, свободно висит на подводящих проводах. Перед витком помещают полосовой магнит, северный полюс которого обращен к витку. Что произойдет с витком?

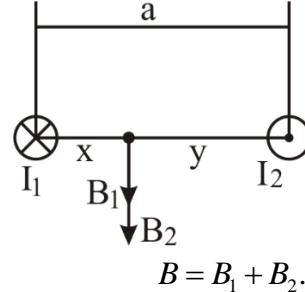
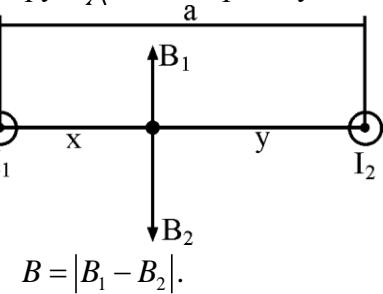
А тут мы немного по-другому применим правило правой руки. Четыре пальца руки согнем в дугу окружности так, чтобы пальцы смотрели по направлению тока. Относительно рисунка пальцы и ладонь должны смотреть на нас. При этом отогнутый большой палец будет смотреть направо. Значит, слева направо будет направлено магнитное поле, созданное этим витком. Следовательно, виток оттолкнется от магнита.



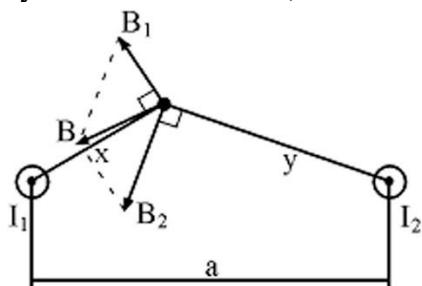
#### Принцип суперпозиции магнитных полей

Согласно принципу суперпозиции магнитных полей, индукция магнитного поля, порождаемого несколькими электрическими токами, будет равна векторной сумме индукций магнитных полей, порождаемых каждым током в отдельности. В принципе с индукцией магнитного поля мы поступаем так же, как с механическими силами, когда ищем результирующую силу.

Пусть магнитное поле создается двумя параллельными проводниками с токами  $I_1$  и  $I_2$ , находящимися на расстоянии  $a$  друг от друга. С помощью правила правой руки определим направление векторов магнитной индукции полей. Рассмотрим различные случаи направлений токов и расположения точки, в которой мы находим результирующий вектор индукции.



Найдем индукцию поля в точке, находящейся на расстоянии  $x$  от первого проводника и  $y$  от второго.

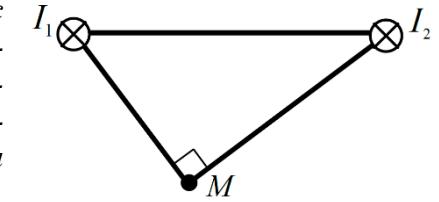


$$B_1 = \frac{\mu_0 \mu I_1}{2\pi x}; \quad B_2 = \frac{\mu_0 \mu I_2}{2\pi y}.$$

Для нахождения ответа складываем вектора  $B_1$  и  $B_2$  (теорема косинусов в помощь).

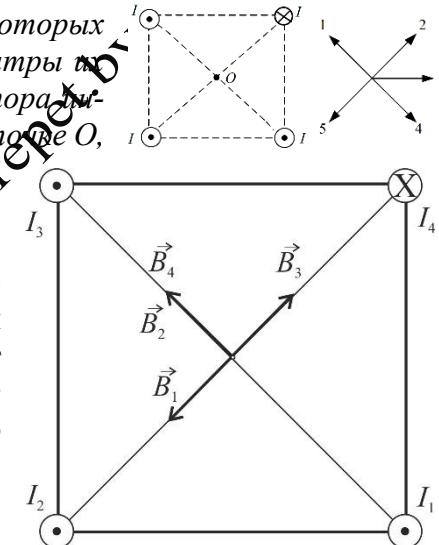
**ПРИМЕР.** Два бесконечно длинных прямолинейных проводника с токами и расположены в вакууме параллельно друг другу. Центры их поперечных сечений и точка  $M$  находятся в вершинах прямоугольного треугольника. Модули индукций магнитных полей, создаваемых этими токами в точке  $M$ , соответственно равны:  $0,6$  мТл и  $0,8$  мТл. Чему равен модуль индукции  $B$  результирующего магнитного поля в точке  $M$ ?

Проводим окружности, центрами которых являются токи  $1$  и  $2$ . Радиусы окружностей должны быть равны сторонам треугольника. Так как ток  $I_1$  направлен от нас, то согласно правилу буравчика индукция его магнитного поля  $B_1$  будет направлена по часовой стрелке. Ток  $I_2$  тоже направлен от нас и индукция его магнитного поля  $B_2$  так же будет направлена по часовой стрелке. При этом нам повезло и треугольник прямоугольный. Следовательно результирующее магнитное поле мы легко найдем по теореме Пифагора.



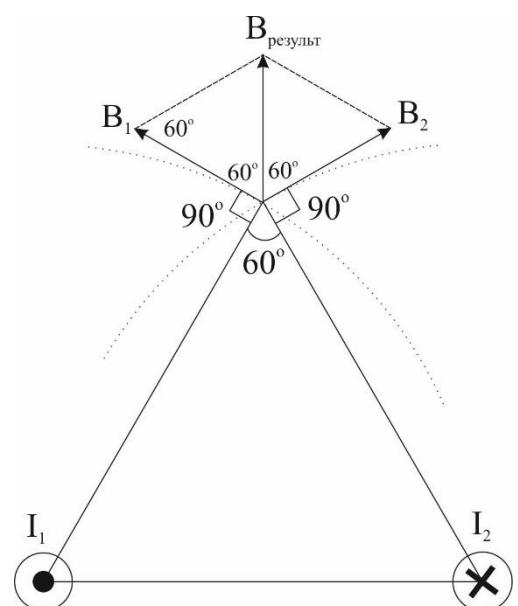
**ПРИМЕР.** Четыре длинных прямолинейных проводника, сила тока в которых одинакова, расположены в воздухе параллельно друг другу так, что центры их поперечных сечений находятся в вершинах квадрата. Направление вектора индукции результирующего магнитного поля, созданного этими токами в точке  $O$ , обозначено цифрой ...

Проводим окружности, центрами которых являются вершины квадрата. Радиусы окружностей должны быть равны расстояние от вершин квадрата до точки  $O$ . Токи  $I_1, I_2$  и  $I_3$  направлены к нам. Согласно правилу буравчика, индукция их магнитных полей будет направлена против часовой стрелки. Ток  $I_4$  направлен от нас и индукция его магнитного поля будет направлена по часовой стрелке. Так как все токи равны и расстояние от вершин квадрата до его центра для всех токов одинаково, то по модулю индукции всех полей равны. Следовательно, поля токов  $1$  и  $3$  компенсируют друг друга. Значит, индукция результирующего поля будет направлена так же, как и индукция полей  $2$  и  $4$ , то есть ответ  $1$ .



**ПРИМЕР.** Два длинных тонких прямолинейных проводника, сила тока в которых одинаковая, расположены в воздухе параллельно друг другу так, что центры их поперечных сечений находятся в вершинах равностороннего треугольника. Модули индукции магнитного поля, созданного каждым из токов, одинаковы и равны  $B_0$ . Чему равен модуль индукции результирующего магнитного поля в этой точке?

Проводим окружности, центрами которых являются токи  $1$  и  $2$ . Радиусы окружностей должны быть равны стороне треугольника. Так как ток  $I_1$  направлен к нам, то согласно правилу буравчика индукция его магнитного поля  $B_1$  будет направлена против часовой стрелки. Ток  $I_2$  направлен от нас и индукция его магнитного поля  $B_2$  будет направлена по часовой стрелке. Когда два вектора направлены под некоторым углом друг к другу их сумма находится по теореме косинусов



$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2 - 2B_1B_2 \cos(60^\circ)} = \sqrt{B_0^2 + B_0^2 - 2B_0B_0 \left(\frac{1}{2}\right)} = B_0.$$

Обратите внимание, какой угол должен быть использован в теореме косинусов!!!

А теперь решите задачу самостоятельно. Если не получается, что прочитайте теорию и разберите примеры еще раз. **Ответ: 5.**

**A14. При движении заряженной частицы в магнитном поле сила Лоренца работы не совершает, так как сила Лоренца направлена перпендикулярно направлению движения частицы. Поэтому модуль скорости частицы не изменяется, то есть не изменяется численное значение скорости. Однако направление скорости изменяется.**

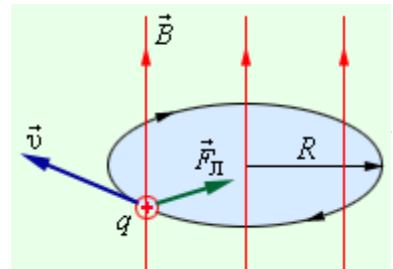
Если заряженная частица движется в однородном магнитном поле под действием силы Лоренца, а ее скорость лежит в плоскости, перпендикулярной вектору индукции магнитного поля, то частица будет **двигаться по окружности**. Второй закон Ньютона для этого случая примет вид

$$ma_{\text{н}} = F_{\text{Лоренца}} \Rightarrow ma_{\text{н}} = qvB.$$

Подставим значение центростремительного ускорения и выразим радиус окружности, по которой движется заряженная частица

$$m \frac{v^2}{R} = qvB \Rightarrow R = \frac{mv}{qB}.$$

Вам осталось выразить из формулы скорость частицы. **Ответ: 4.**



**A15.** Тема «Колебания» достаточно сложная. Поэтому не игнорируйте теорию.

Простейшим видом колебательного процесса являются простые гармонические колебания, которые описываются уравнением

$$x = A \cos(\omega t + \phi_0) \quad \text{или} \quad x = A \sin(\omega t + \phi_0).$$

где  $x$  – смещение тела от положения равновесия в момент времени  $t$ ,  $A$  – амплитуда колебаний,  $\omega$  – циклическая или круговая частота колебаний ( $\omega = 2\pi/T$ ),  $t$  – время. Величина, стоящая под знаком косинуса (синуса)  $\phi = \omega t + \phi_0$  называется **фазой** гармонического процесса. В начальный момент времени при  $t = 0$  фаза будет равна  $\phi = \phi_0$ . Поэтому  $\phi_0$  называют начальной фазой. **Начальная фаза определяет положение тела в начальный момент времени.** То есть не всегда мы начинаем наблюдение за колеблющимся телом, когда оно находится в крайнем положении или в положении равновесия. Хотя в большинстве задач будет именно так. **Фаза колебаний никоим образом не соответствует углу отклонения маятника от положения равновесия!!!**

Если при решении задачи вам предстоит самостоятельно записать уравнение колебательного процесса, то учтите следующее. Если тело начинает движение из **положения равновесия**, то будем пользоваться уравнением  $x = A \sin(\omega t)$  так как при  $t = 0$ :  $x_0 = A \sin(0) = A \cdot 0 = 0$ .

Если же в начальный момент времени тело **находится на максимальном удалении от положения равновесия**, то будем пользоваться уравнением  $x = A \cos(\omega t)$  так как при  $t = 0$ :  $x_0 = A \cos(0) = A \cdot 1 = A$ .

**Очень важно научиться сравнивать уравнение колебательного процесса с эталонным уравнением и находить величины, характеризующие колебательное движение!**

**ПРИМЕР.** Материальная точка совершает гармонические колебания по закону  $x = 2\sin(\pi t/3 + \pi/2)$ , в котором все величины заданы в единицах СИ. Определите период колебаний, частоту колебаний, амплитуду колебаний, начальную фазу.

Запишем друг под другом эталонное уравнение и уравнение гармонических колебаний нашей точки

$$x = A \sin(\omega t + \phi_0)$$

$$x = 2\sin(\pi t/3 + \pi/2)$$

Очевидно, что коэффициент перед синусом будет равен амплитуде колебаний, то есть  $A = 2$  (м). Так же легко увидеть, что начальная фаза колебаний равна  $\phi_0 = \pi/2$ . А дальше немного сложней

$$\omega t = \frac{\pi t}{3} \Rightarrow \omega = \frac{\pi}{3} \text{ (рад/с)}$$

Зная циклическую частоту мы легко найдем период и частоту колебаний

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\frac{\pi}{3}} = 6 \text{ (с)}, \quad \nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{6} \text{ (Гц)}.$$

При колебательном движении тела вдоль прямой линии (ось ОХ) вектор скорости направлен всегда вдоль этой прямой. Скорость  $v = v_x$  движения тела определяется выражением  $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$  при  $\Delta t \rightarrow 0$ , то есть за

очень малый промежуток времени. В математике процедура нахождения предела отношения  $\frac{\Delta x}{\Delta t}$  при

$\Delta t \rightarrow 0$  называется **вычислением производной функции**  $x(t)$  по времени  $t$  и обозначается как  $x'(t)$ . Для гармонического закона движения  $x = A \cos(\omega t + \phi_0)$  вычисление производной приводит к следующему результату:

$$v = x'(t) = -A\omega \sin(\omega t + \phi_0).$$

Следовательно, **максимальное по модулю значение скорости**

$$v_{\max} = \omega A$$

достигаются в те моменты времени, когда тело проходит через **положения равновесия** ( $x = 0$ ). Аналогичным образом определяется ускорение  $a = a_x$  тела при гармонических колебаниях:  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$

при  $\Delta t \rightarrow 0$ . Следовательно, ускорение  $a$  равно производной функции  $v(t)$  по времени  $t$ , или второй производной функции  $x(t)$ . Вычисления дают:

$$a = v'(t) = x''(t) = -A\omega^2 \cos(\omega t + \phi_0).$$

Знак минус в этом выражении означает, что ускорение  $a(t)$  всегда имеет знак, противоположный знаку смещения  $x(t)$ , и, следовательно, по второму закону Ньютона сила, заставляющая тело совершать гармонические колебания, направлена всегда в сторону положения равновесия ( $x = 0$ ). **Максимальное по модулю значение ускорения равно:**  $a_{\max} = A\omega^2$ . На рисунке приведены графики координаты, скорости и ускорения тела, совершающего гармонические колебания.

Если Вы не дружите с производными, то Вам необходимо будет выучить наизусть следующую таблицу

	Когда координата изменяется по <b>cos</b>	Когда координата изменяется по <b>sin</b>	Максимальное значение
Координата	$x = A \cos(\omega t + \phi_0)$	$x = A \sin(\omega t + \phi_0)$	$x_{\max} = A$
Скорость	$v = -A\omega \sin(\omega t + \phi_0)$	$v = A\omega \cos(\omega t + \phi_0)$	$v_{\max} = A\omega$
Ускорение	$a = -A\omega^2 \cos(\omega t + \phi_0)$	$a = -A\omega^2 \sin(\omega t + \phi_0)$	$a_{\max} = A\omega^2$

Вернемся к нашей задаче. Так как координата от времени зависит по закону **косинуса**, то скорость будет зависеть по закону **синуса** или  $v = -A\omega \sin(\omega t + \phi_0)$ . Подставить данные задачи и найдем скорость тела. И не забываем перевести сантиметры в метры.

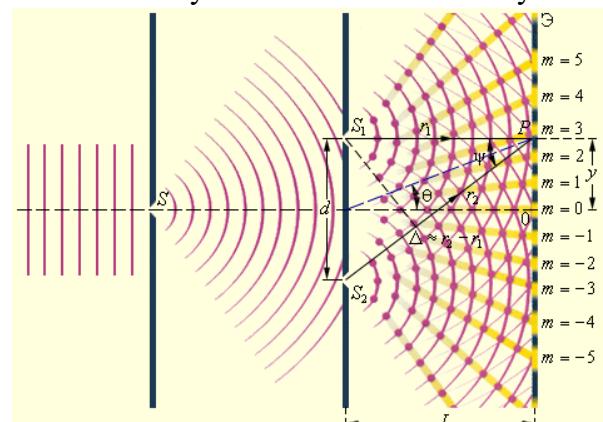
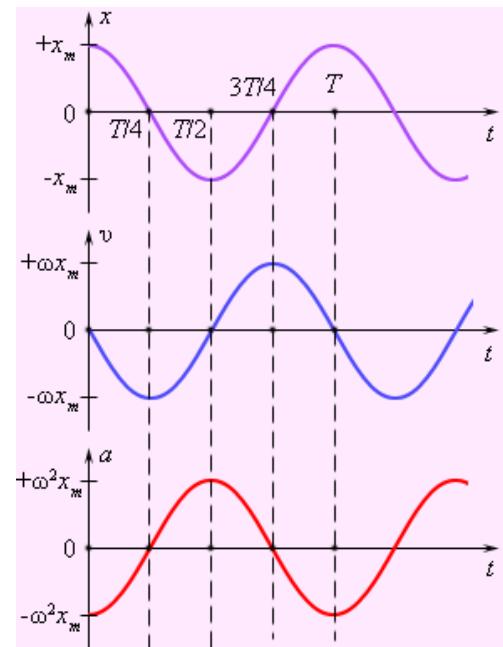
$$v = -A\omega \sin(\omega t + \phi_0) = -0,04 \cdot 5 \cdot \sin\left(5 \cdot 0 + \frac{\pi}{2}\right) = -0,2 \text{ (м/с)}.$$

А теперь легко найдем кинетическую энергию

$$E = \frac{mv^2}{2} = \frac{10 \cdot 10^{-3} \cdot (-0,2)^2}{2} = 0,0002 \text{ (Дж)} = 200 \text{ (мкДж). Ответ: 1.}$$

**A16. Интерференция** – одно из ярких проявлений волновой природы света. Это интересное и красивое явление наблюдается при определенных условиях при наложении двух или нескольких световых пучков. Интенсивность света в области перекрытия пучков имеет характер чередующихся светлых и темных полос, причем в максимумах интенсивность больше, а в минимумах меньше суммы интенсивностей пучков. При использовании белого света **интерференционные полосы** оказываются окрашенными в различные цвета спектра. С интерференционными явлениями мы сталкиваемся довольно часто: цвета масляных пятен на асфальте, окраска замерзающих оконных стекол, причудливые цветные рисунки на крыльях некоторых бабочек и жуков – все это проявление интерференции света.

Исторически первым интерференционным опытом, получившим объяснение на основе волновой теории света, явился **опыт Юнга** (1802 г.). В опыте Юнга свет от источника, в качестве которого служила узкая щель  $S$ , падал на экран с двумя близко расположенными щелями  $S_1$  и  $S_2$ . Пройдя через каждую из щелей, световой пучок уширялся, поэтому на белом экране  $\mathcal{E}$  световые пучки, про-



шедшие через щели  $S_1$  и  $S_2$ , перекрывались. В области перекрытия световых пучков наблюдалась интерференционная картина в виде чередующихся светлых и темных полос.

Юнг был первым, кто понял, что нельзя наблюдать интерференцию при сложении волн от двух независимых источников. Поэтому в его опыте щели  $S_1$  и  $S_2$ , которые можно рассматривать в соответствии с принципом Гюйгенса как источники вторичных волн, освещались светом одного источника  $S$ . При симметричном расположении щелей фаза вторичных волн, испускаемых источниками  $S_1$  и  $S_2$ , одинаковая, но эти волны проходят до точки наблюдения  $P$  разные расстояния  $r_1$  и  $r_2$ . Следовательно, фазы колебаний, создаваемых волнами от источников  $S_1$  и  $S_2$  в точке  $P$ , вообще говоря, различны.

Таким образом, задача об интерференции волн сводится к задаче о сложении колебаний одной и той же частоты, но с разными фазами. Утверждение о том, что волны от источников  $S_1$  и  $S_2$  распространяются независимо друг от друга, а в точке наблюдения они просто складываются, является опытным фактом и носит название **принципа суперпозиции**.

Опустив вывод формул, запомните следующее.

$\Delta = r_2 - r_1$  – **разность хода** (см. первый рисунок).

**Интерференционный максимум** (светлая полоса) достигается в

тех точках пространства, в которых

$$\Delta = 2m \frac{\lambda}{2} \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots).$$

То есть разность хода равна **четному числу полуволн**.

Если более просто, то в одну точку приходят либо два горба (как на рисунке) либо две впадины. То есть волны приходят в одинаковой фазе (состоянии). В таком случае происходит усиление.

**Интерференционный минимум** (темная полоса) достигается при

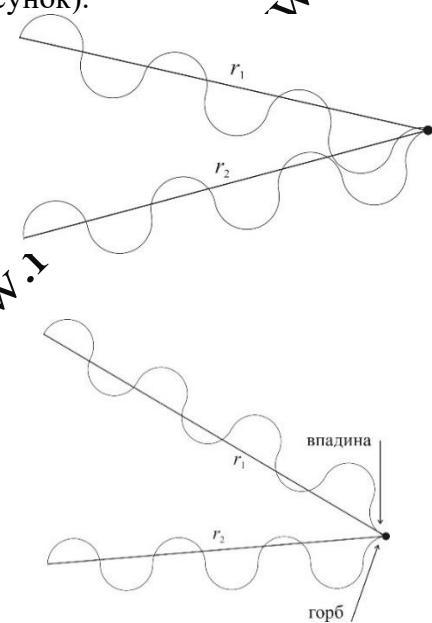
$$\Delta = (2m+1) \frac{\lambda}{2}.$$

То есть разность хода равна **нечетному числу полуволн**.

Если более просто, то в одну точку волны приходят **в противофазе**.

То есть у одной волны будет горб, а у другой впадина (как на рисунке). В таком случае происходит ослабление.

Ответ сформулируйте самостоятельно. **Ответ: 2.**



**A17. Специальная теория относительности (СТО)** базируется на двух постулатах:

1. **Принцип относительности:** в любых инерциальных системах отсчета все физические явления при одинаковых и тех же исходных условиях протекают одинаково, то есть никакими опытами, проведенными в замкнутой системе тел, нельзя обнаружить покояться ли система или движется равномерно и прямолинейно.

2. **Принцип постоянства скорости света:** во всех инерциальных системах отсчета скорость света в вакууме одинакова и не зависит от скорости движущегося источника света. **Ответ: 1.**

**A18. Фотон** – элементарная частица, переносчик электромагнитного взаимодействия, квант электромагнитного поля. Фотоны обозначаются буквой  $\gamma$ , поэтому их часто называют гамма-квантами (особенно фотоны высоких энергий). Эти термины практически синонимичны. Энергия фотона равна  $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ ,

где  $\nu$  – частота фотона,  $\lambda$  – длина волны фотона,  $c$  – скорость света,  $h$  – постоянная Планка ( $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$  Дж $\cdot$ с). Энергия фотона в джоулях очень мала. Поэтому для математического удобства ее часто измеряют внесистемной единице – электрон-вольтах: **1 эВ = 1,6  $\cdot$  10 $^{-19}$  Дж**. Фотон движется в вакууме со скоростью света, равной 300 000 км/с. Если источник света испускает большое количество фотонов, то мощность источника света можно найти из соотношения  $P = \frac{E}{t} = \frac{NE_0}{t}$ , где  $E_0$  – энергия одного фотона, а  $N$  – количество фотонов, испущенных источником за время  $t$ . Осталось только подставить данные задачи

$$P = \frac{E}{t} = \frac{N \frac{hc}{\lambda}}{t} = \frac{6,6 \cdot 10^{15} \cdot 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{650 \cdot 10^{-9} \cdot 1} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ (Вт).}$$

**Ответ: 3.**

**A19.** Ответ на эту задачу есть в решении задачи A18. **Ответ:** 4.

**A20.** В настоящее время твердо установлено, что **атомные ядра различных элементов состоят из двух частиц – протонов и нейтронов.** Первая из этих частиц представляет собой атом водорода, из которого удален единственный электрон. По современным измерениям, положительный заряд протона в точности равен **элементарному заряду**  $e = 1,60217733 \cdot 10^{-19}$  Кл, то есть равен по модулю отрицательному заряду электрона. Такое совпадение зарядов двух непохожих друг на друга частиц вызывает удивление и остается одной из фундаментальных загадок современной физики. **Масса протона**, по современным измерениям, равна

$$m_p = 1,67262 \cdot 10^{-27} \text{ кг.}$$

В ядерной физике массу частицы часто выражают в атомных единицах массы (а. е. м.), равной  $1/12$  массы атома углерода с массовым числом 12:

$$1 \text{ а. е. м.} = 1,66057 \cdot 10^{-27} \text{ кг.}$$

Следовательно,  $m_p = 1,007276 \cdot 1 \text{ а. е. м.}$  Во многих случаях массу частицы удобно выражать в эквивалентных значениях энергии в соответствии с формулой

$$E = mc^2.$$

Так как  $1 \text{ эВ} = 1,60218 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ , в энергетических единицах масса протона равна 938,272331 МэВ.

Вторая элементарная частица – **нейтрон**. По современным измерениям, **масса нейтрона**

$$m_n = 1,67493 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,008665 \text{ а. е. м.}$$

В энергетических единицах масса нейтрона равна 939,56563 МэВ. Масса нейтрона приблизительно на две электронные массы превосходит массу протона.

Сразу же после открытия нейтрона российский ученый Д. Д. Иваненко и немецкий физик В. Гейзенберг выдвинули гипотезу о протонно–нейтронном строении **атомных ядер**, которая полностью подтвердилась последующими исследованиями.



## ПРОТОНЫ И НЕЙТРОНЫ ПРИНЯТО НАЗЫВАТЬ НУКЛОНАМИ.

Для характеристики атомных ядер вводится ряд обозначений. Число протонов, входящих в состав атомного ядра, обозначают символом  $Z$  и называют **зарядовым числом** или атомным номером (это порядковый номер в периодической таблице Менделеева). Заряд ядра равен  $Ze$ , где  $e$  – элементарный заряд. Число нейтронов обозначают символом  $N$ .

Общее число нуклонов (то есть протонов и нейтронов) называют **массовым числом**  $A$ :  $A = Z + N$ .

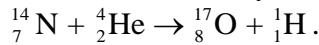
Ядра химических элементов обозначают символом  ${}_Z^AX$ , где  $X$  – химический символ элемента. Например,  ${}_1^1H$  – водород,  ${}_{-1}^0e$  – электрон,  ${}_{+1}^0e$  – позитрон (электрон, имеющий положительный заряд),  ${}_2^4He$  – гелий ( $\alpha$ -частица),  ${}_8^{16}O$  – кислород,  ${}_6^{12}C$  – углерод,  ${}_{92}^{238}U$  – уран.

Как определять число протонов и нейтронов. На примере урана  ${}_{92}^{238}U$  – число протонов  $N_p = Z = 92$ , число нейтронов  $N_n = A - Z = 238 - 92 = 146$ .

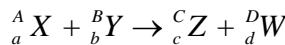
Ядра одного и того же химического элемента могут отличаться числом нейтронов. Такие ядра называются **изотопами**. У большинства химических элементов имеется несколько изотопов. Например, у водорода три изотопа:  ${}_1^1H$  – обычный водород,  ${}_1^2H$  – дейтерий и  ${}_1^3H$  – тритий. У углерода – 6 изотопов, у кислорода – 3.

**Ядерная реакция** – это процесс взаимодействия атомного ядра с другим ядром или элементарной частицей, сопровождающийся изменением состава и структуры ядра и выделением вторичных частиц или квантов. В результате ядерных реакций могут образовываться новые радиоактивные изотопы, которых нет на Земле в естественных условиях.

Первая ядерная реакция была осуществлена Э. Резерфордом в 1919 году в опытах по обнаружению протонов в продуктах распада ядер. Резерфорд бомбардировал атомы азота  $\alpha$ -частицами. При соударении частиц происходила ядерная реакция, протекавшая по следующей схеме:



При ядерных реакциях выполняется несколько **законов сохранения**: импульса, энергии, момента импульса, заряда. В дополнение к этим классическим законам сохранения при ядерных реакциях выполняется закон сохранения так называемого **барионного заряда** (то есть числа нуклонов – протонов и нейтронов). Например, имея реакцию вида



мы сразу же можем записать, что

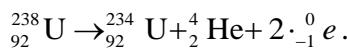
$$a + b = c + d \text{ и } A + B = C + D.$$

**Общее число нуклонов до и после реакции остается неизменным!!!**

В основном в задачах вы будете встречаться со следующими видами ядерных реакций.

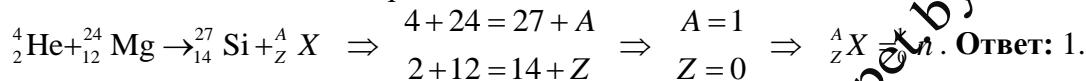
**АЛЬФА-РАСПАД.** Альфа-распадом называется самопроизвольное превращение атомного ядра с числом протонов  $Z$  и нейтронов  $N$  в другое (дочернее) ядро, содержащее число протонов  $Z = 2$  и нейтронов  $N = 2$ , нуклонов  $- A = 4$ . При этом испускается  $\alpha$ -частица – ядро атома гелия  ${}^4_2\text{He}$ . Примером такого процесса может служить  $\alpha$ -распад радия:  ${}^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn} + {}^4_2\text{He}$

**БЕТА-РАСПАД.** При бета-распаде из ядра вылетает электрон ( ${}^0_{-1}e$ ). Например



**ГАММА-РАСПАД.** В отличие от  $\alpha$ - и  $\beta$ -радиоактивности  $\gamma$ -радиоактивность ядер не связана с изменением внутренней структуры ядра и не сопровождается изменением зарядового или массового чисел. Как при  $\alpha$ -, так и при  $\beta$ -распаде дочернее ядро может оказаться в некотором возбужденном состоянии и иметь избыток энергии. Переход ядра из возбужденного состояния в основное сопровождается испусканием одного или нескольких  $\gamma$ -квантов, энергия которых может достигать нескольких МэВ.

Возвращаемся к нашей задаче. Запишем реакцию



**B1.** И опять я предлагаю вам скачать у меня с сайта [www.repet.by](http://www.repet.by) раздел «Кинематика» и внимательно изучить параграфы 1.06 и 1.10. Там есть вся необходимая теория. Эту задачу я рекомендую решать через среднюю скорость. Разобьем путь, пройденный поездом, на три участка.

**Участок 1. Разгон.** Начальная скорость при разгоне равна 0, конечная  $v$ , которую нам и надо найти.

Пусть время разгона равно  $t_1$ . Тогда путь, пройденный при разгоне, равен:  $S_1 = \frac{0+v}{2}t_1 = \frac{v}{2}t_1$

**Участок 2. Равномерное движение.** На этом участке поезд движется с постоянной скоростью  $v$ . Время равномерного движения равно разности между конечным временем движения  $t = \frac{s}{\langle v \rangle}$  и временем разгона и

торможения. Тогда путь, пройденный при равномерном движении, равен

$$S_2 = v(t - \Delta t) = v\left(\frac{s}{\langle v \rangle} - \Delta t\right)$$

**Участок 3. Торможение.** Начальная скорость при торможении равна  $v$ , конечная 0. Пусть время торможения равно  $t_3$ . Тогда путь, пройденный при торможении, равен:  $S_3 = \frac{v+0}{2}t_3 = \frac{v}{2}t_3$

Очевидно, что сумма длин трех участков равна пройденному поездом пути. Следовательно,

$$s = S_1 + S_2 + S_3 = S_1 = \frac{v}{2}t_1 + v\left(\frac{s}{\langle v \rangle} - \Delta t\right) + \frac{v}{2}t_3.$$

Мы не знаем ни время разгона ни время торможения. Однако очевидно, что  $t_1 + t_3 = \Delta t$ . Поэтому

$$s = \frac{v}{2}t_1 + \frac{v}{2}t_3 + v\left(\frac{s}{\langle v \rangle} - \Delta t\right) = \frac{v}{2}(t_1 + t_3) + v\left(\frac{s}{\langle v \rangle} - \Delta t\right) = \frac{v}{2}\Delta t + v\left(\frac{s}{\langle v \rangle} - \Delta t\right) = v\left(\frac{\Delta t}{2} + \frac{s}{\langle v \rangle} - \Delta t\right) = v\left(\frac{s}{\langle v \rangle} - \frac{\Delta t}{2}\right)$$

Окончательно получим

$$s = v\left(\frac{s}{\langle v \rangle} - \frac{\Delta t}{2}\right) \Rightarrow v = \frac{s}{\frac{s}{\langle v \rangle} - \frac{\Delta t}{2}} = \frac{20 \text{ км}}{\frac{20 \text{ км}}{50 \text{ км/ч}} - \frac{(6/60) \text{ ч}}{2}} = \frac{20}{0,4 - 0,05} \text{ км/ч} = \frac{400}{7} \text{ км/ч} = \frac{400}{7} : 3,6 \text{ м/с} = 16 \text{ м/с}$$

**Ответ: 16.**

**B2.** Настоятельно рекомендую скачать у меня с сайта главу «Динамика» и очень внимательно изучить параграфы 2.05 и 2.11. На тело  $m_1$  действуют сила тяжести  $m_1g$ , сила натяжения  $T_1$ , сила реакции опоры

$N$  и сила трения  $F_{\text{тр}}$ . На тело  $m_2$  действуют сила тяжести  $m_2g$  и сила натяжения нити  $T_2$ . Считая нить, связывающую тела, невесомой и нерастяжимой, можно записать:

$T_1 = T_2 = T$ . Тогда из второго закона Ньютона следует:

$$\text{Для первого тела: } T - F_{\text{трения}} = m_1 a$$

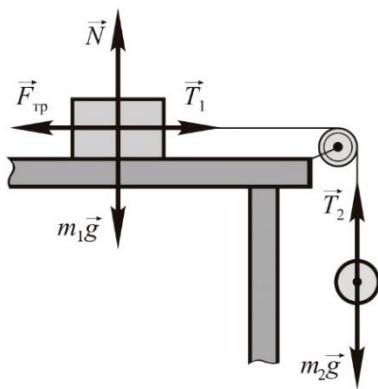
$$\text{Для второго тела: } m_2g - T = m_2 a$$

Кроме того, мы помним, что  $F_{\text{тр}} = \mu N = \mu m_1 g$ . Складываем первого уравнение с вторым, чтобы исключить силу натяжения нити

$$T - \mu m_1 g + m_2 g - T = m_1 a + m_2 a \Rightarrow m_2 g - m_2 a = \mu m_1 g + m_1 a \Rightarrow$$

$$m_2 = m_1 \frac{\mu g + a}{g - a} = 350 \cdot \frac{0,17 \cdot 10 + 3,5}{10 - 3,5} = 280 \text{ (грамм)}$$

Обращаю ваше внимание на то, что массу первого тела я подставил в граммах. Именно в этом случае не обязательно переводить массу в килограммы, так как величина  $\frac{\mu g + a}{g - a}$  будет безразмерной. Однако если вы не уверены в своих знаниях, то лучше всегда переводите в килограммы. **Ответ:** 280.



**В3. Обязательно делаем рисунок!!!** Очень важно не забыть все силы, которые действуют на поплавок и алюминиевое тело. Запишем второй закон Ньютона для обоих тел

$$F_{\text{Архимеда1}} - T - m_1 g = 0 \quad F_{\text{Архимеда2}} + T - m_2 g = 0$$

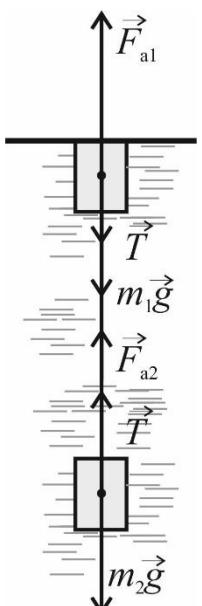
Сила натяжения нити  $T$  будет одинакова как для поплавка, так и для алюмининевого тела (только направление разное). Складываем уравнения (чтобы исключить силу натяжения) и расписываем значение силы Архимеда для каждого из тел

$$F_{\text{Архимеда1}} - T - m_1 g + F_{\text{Архимеда2}} + T - m_2 g = 0 \Rightarrow \rho g V_1 - m_1 g + \rho g V_2 - m_2 g = 0 \Rightarrow$$

$$\rho \frac{m_1}{\rho_1} - m_1 + \rho \frac{m_2}{\rho_2} - m_2 = 0 \Rightarrow \rho \frac{m_2}{\rho_2} - m_2 = m_1 - \rho \frac{m_1}{\rho_1} \Rightarrow$$

$$m_2 \left( \frac{\rho}{\rho_2} - 1 \right) = m_1 \left( 1 - \frac{\rho}{\rho_1} \right) \Rightarrow m_2 = m_1 \frac{\frac{\rho_1}{\rho_2} - 1}{\frac{\rho_1 - \rho}{\rho_1}} = m_1 \left( \frac{\rho_1 - \rho}{\rho_1} \cdot \frac{\rho - \rho_2}{\rho_2} \right) = m_1 \frac{\rho_2 (\rho_1 - \rho)}{\rho_1 (\rho - \rho_2)}$$

Осталось только подставить данные. **Ответ:** 181.

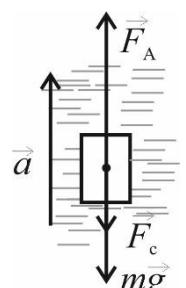


**В4.** На мячик действует сила сопротивления со стороны воды. При движении в воздухе (когда мячик выпрыгивает из воды) на него, так же действует сила сопротивления (только со стороны воздуха). Однако она настолько мала, что мы пренебрегаем ей. Работа силы сопротивления будет равна  $A_{\text{сопр}} = F_{\text{сопр}} \cdot h$ . Так как сила сопротивления направлена против направления движения мячика, то ее работа будет отрицательной. Именно поэтому авторы задачи просят нас указать в ответе модуль силы сопротивления.

Запишем второй закон Ньютона для движения мячика в воде. На мячик будет действовать сила тяжести, сила сопротивления со стороны воды и сила Архимеда. При этом движение мячика будет ускоренным

$$F_{\text{Архимеда}} - mg - F_{\text{сопр}} = ma \Rightarrow F_{\text{сопр}} = F_{\text{Архимеда}} - mg - ma = \rho g V - m(g + a)$$

В этом уравнении нам известно все, кроме ускорения, с которым мячик двигался в воде. Чтобы его найти надо знать какую скорость  $v$  мячик приобрел подойдя к границе раздела вода-воздух:  $a = \frac{v^2}{2h}$ . Эту скорость мы легко найдем, зная высоту  $H$ , на которую выпрыгивает мячик из воды:  $H = \frac{v^2}{2g} \Rightarrow v^2 = 2gH$ .



Да, мы использовали одну и ту же формулу 2 раза. Только обратите внимание, что при движении в воде ускорение мячика равно  $a$ , а при движении в воздухе ускорение будет равно ускорению свободного падения  $g$ . Окончательно получим

$$A_{comp} = F_{comp} \cdot h = (\rho g V - m(g + a)) \cdot h = \left( \rho g V - m \left( g + \frac{v^2}{2h} \right) \right) \cdot h =$$

$$\left( \rho g V - m \left( g + \frac{2gH}{2h} \right) \right) \cdot h = \left( \rho g V - mg \left( 1 + \frac{H}{h} \right) \right) \cdot h$$

Ответ: 135.

**B5.** Уравнение состояния идеального газа устанавливает связь между основными параметрами состояния идеального газа: давлением, объемом, количеством вещества и температурой

$$pV = \nu RT$$

Очень важно, что эти параметры взаимосвязаны – изменение любого из них неизбежно приведет к изменению еще хотя бы одного. Именно поэтому его и называют уравнением СОСТОЯНИЯ идеального газа. Оно было открыто сначала для одного моля газа Клапейроном, а впоследствии обобщено на случай большего количества молей Менделеевым. Запишем основные формы уравнения Клапейрона–Менделеева

$$pV = \nu RT, \quad pV = NkT, \quad p = nkT, \quad pV = \frac{m}{M} RT, \quad pV = \frac{N}{N_A} RT, \quad p = \frac{\rho}{M} RT.$$

Обратите внимание на последнюю формулу. Важно, что плотность газа зависит не только от того, какой это газ (от молярной массы), но и от его давления и температуры. Именно поэтому в таблицах в конце учебников Вы легко найдете плотности твердых тел и жидкостей, но никогда не найдете плотностей газов. Их проще рассчитать для данных конкретных условий, чем пытаться составить таблицу для всевозможных температур и давлений.

Понять, что авторы задачи добиваются того, чтобы Вы вспомнили и попытались верно записать уравнение Клапейрона–Менделеева, очень легко. В задаче, как правило, будет назван газ или дана его молярная масса, а определять Вам придется давление, плотность, температуру или объем газа. При решении задач всегда начальные параметры газа обозначайте с подиндексом 1. Например

$$p_1, V_1, T_1, m_1, M_1.$$

Конечные параметры обозначайте с подиндексом 2. Например

$$p_2, V_2, T_2, m_2, M_2.$$

Если в задаче описаны два разных состояния одного и того же газа, то мы можем использовать следую-

щих метод. Из формулы  $pV = \frac{m}{M} RT$  выразим  $R$  (универсальную газовую постоянную):  $\frac{pVM}{mT} = R$ .

Так как  $R$  – постоянная величина, то **два разных состояния газа** могут быть связаны соотношением

$$\frac{p_1 V_1 M_1}{m_1 T_1} = \frac{p_2 V_2 M_2}{m_2 T_2}.$$

При решении задач важно помнить:

- В большинстве задач химический состав газа меняться не будет, то есть  $M_1 = M_2$ .
- Если в задаче будет сказано, что газ находится в **закрытом** сосуде, то  $m_1 = m_2$  (газу просто некуда уйти ведь сосуд закрыт) и  $V_1 = V_2$ .
- Если газ находится под поршнем который имеет массу, то давление газа будет равно сумме давлений: атмосферного и давления, создаваемого поршнем (обычно это  $p = \frac{mg}{S}$ , где  $m$  – масса поршня,  $S$  – его площадь.)
- Если газ находится под **подвижным** поршнем или речь идет об открытом сосуде, то  $p_1 = p_2$ .

В большинстве задач, как и в предыдущих темах этого раздела, для успешного решения Вам просто надо аккуратно записать условие и подобрать нужную формулу.

В нашей задаче воспользуемся соотношением  $\frac{p_1 V_1 M_1}{m_1 T_1} = \frac{p_2 V_2 M_2}{m_2 T_2}$ . Так как сосуд открытый, то давление

газа не изменяется. Так же не изменяется и объем сосуда, в котором находится воздух. Следовательно,

$$\frac{p_1 V_1 M_1}{m_1 T_1} = \frac{p_2 V_2 M_2}{m_2 T_2} \Rightarrow m_1 T_1 = m_2 T_2 \Rightarrow T_2 = T_1 \frac{m_1}{m_2} = 273 \text{ K} \frac{373 \text{ гр}}{273 \text{ гр}} = 373 \text{ K} = 100^\circ \text{C}$$

Обращаю ваше внимание на два важных момента. Во-первых, температуру воздуха обязательно подставляем в Кельвинах. Даже несмотря на то, что ответ нас просят дать в градусах Цельсия. Во-вторых, массу можем подставить в граммах, так как в формуле у нас отношение масс. **Ответ: 100.**

**В6. Коэффициент полезного действия (КПД)** – характеристика эффективности системы (устройства, машины) в отношении преобразования или передачи энергии. Он определяется отношением полезно использованной энергии к суммарному количеству энергии, полученному системой.

$$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{затрач}}} \cdot 100\% \text{ или } \eta = \frac{P_{\text{пол}}}{P_{\text{затрач}}} \cdot 100\% .$$

Как видно из формул КПД можно рассчитывать как через работу, так и через мощность. Какая работа (мощность) полезная, а какая затраченная определяется из условия конкретной задачи путем логического рассуждения. К примеру, если подъемный кран совершает работу по подъему груза на некоторую высоту, то полезной будет работа по поднятию груза (так как именно ради нее создан кран), а затраченной – работа, совершенная электродвигателем крана.

В общем случае КПД показывает, как эффективно механизм преобразует один вид энергии в другой. По условию задачи нам дана мощность, потребляемая чайником, то есть затраченная мощность. При этом полезной будет работа по нагреву воды. Следовательно,

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{затрач}}} \cdot 100\% = \frac{c_{\text{воды}} m_{\text{воды}} (T_2 - T_1)}{P_{\text{затрач}} \cdot \Delta \tau} \cdot 100\% = \frac{c_{\text{воды}} \rho_{\text{воды}} V_{\text{воды}} (T_2 - T_1)}{P_{\text{затрач}} \cdot \Delta \tau} \cdot 100\% = \\ &= \frac{4200 \cdot 1000 \cdot 280 \cdot 10^{-6} (77 - 23)}{1400 \cdot 63} \cdot 100\% = 72\% \end{aligned}$$

Небольшое замечание. Чтобы найти массу воды надо знать объем воды и ее плотность, так как  $m_{\text{воды}} = \rho_{\text{воды}} V_{\text{воды}}$ . Однако у многих может возникнуть проблема с переводом миллилитров в метры кубические. Поэтому предлагаю вам небольшой лайфхак. Когда вы покупаете стакан сока в столовой вам обычно наливают 200 миллилитров. Сколько это грамм сока? Я думаю, все знают, что это 200 грамм. Почему так происходит? Все дело в том, что плотность воды равна  $1000 \text{ кг/м}^3$ . Поэтому 1 литр воды имеет массу 1 килограмм. Это не очень правильно с точки зрения физики сравнивать миллилитры и граммы, но многим это поможет быстро найти массу воды, зная ее объем в миллилитрах. **Ответ: 72.**

**В7.** Так как сначала воздух охлаждали изохорно, то работа сил давления в этом процессе будет равна нулю. Таким образом газ совершал работу только при изобарном нагревании. Следовательно,

$$A = v R \Delta T = \frac{m}{M} R \Delta T \Rightarrow \Delta T = \frac{A}{\frac{m}{M} R} = 300 \text{ (К).}$$

Так как в этом процессе  $400$  Кельвинов это конечная температура, то получается, что при изохорном охлаждении газ охладили до температуры  $100$  Кельвинов. То есть температура газа уменьшилась в 4 раза.

Так как первый процесс был изохорным, то  $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$  и при изохорном охлаждении давление газа тоже уменьшилось в 4 раза. **Ответ: 4.**

**В8.** Вспомним особенности формирования изображения в собирающей линзе.

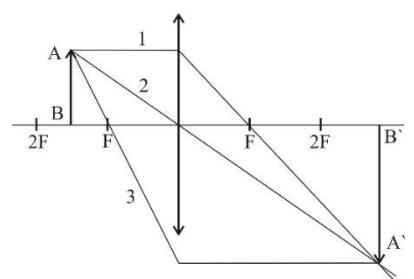
Построим изображение предмета АВ в **собирающей** линзе. Для этого будем использовать три луча (хотя можно обойтись и двумя).

**Луч 1.** Идет параллельно главной оптической оси линзы. После прохождения линзы луч проходит через фокус линзы.

**Луч 2.** Проходит через оптический центр линзы. Этот луч, как уже писалось выше, не испытывает преломления.

**Луч 3.** Идет через фокус. После прохождения линзы луч будет идти параллельно главной оптической оси линзы. Не важно, что луч не попадает на саму линзу. Он все равно будет испытывать преломление.

Все три луча пересекутся в одной точке, которая и будет являться изображением точки А. Изображение точки В будет находиться строго над изображением точки А. В итоге мы



получили действительное (потому, что: 1. изображение образовано самими лучами, а не их продолжением; 2. Предмет и изображение расположены по разные стороны от линзы), перевернутое и увеличенное изображение предмета. Аналогичным образом строятся изображения в собирающей линзе при другом положении предмета.

Положение изображения относительно линзы можно рассчитать с помощью **формулы тонкой линзы**. Если расстояние от предмета до линзы обозначить через  $d$ , а расстояние от линзы до изображения через  $f$ , то формулу тонкой линзы можно записать в виде:  $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$  или  $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = D$

Возвращаемся к задаче. Если источник света располагается на главной оптической оси, то и его изображение будет находиться на ней. Если же мы сместим источник перпендикулярно главной оптической оси, то его изображение тоже сместится. Однако расстояние между линзой и изображением  $f$  останется таким же. Так же важно понимать, что это расстояние после разрезания линзы будет таким же, как и до. Найдем это расстояние

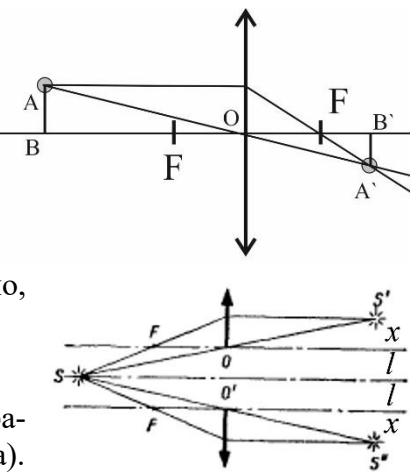
$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{1}{d} = \frac{1}{10} - \frac{1}{30} = \frac{1}{30} - \frac{1}{30} = \frac{2}{30} = \frac{1}{15} \Rightarrow f = 15 \text{ (см.)}$$

Обращаю ваше внимание на то, что в формулу тонкой линзы расстояние можно подставлять в сантиметрах только тогда, когда в ней (формуле) нет оптической силы линзы, а есть фокус линзы. В обратном случае подставлять надо только в метрах.

А теперь посмотрим еще раз на то, как формируется изображение в линзе в нашем случае. После разрезания линзы расстояние между источником света и главной оптической осью половинки линзы стало равно  $l$ . На рисунке это отрезок  $AB$ . Треугольники  $AOB$  и  $A'OB'$  подобны. Следовательно,

$$\frac{AB}{A'B'} = \frac{BO}{B'O} \Rightarrow \frac{l}{A'B'} = \frac{d}{f} \Rightarrow A'B' = \frac{f}{d}l = 5 \text{ (мм.)}.$$

Точно такое же расстояние будет между оптической осью и вторым изображением источника (линзы ведь стало две; значит изображений будет два). Следовательно, расстояние между изображениями будет равно сумме расстояний между каждым из изображений и оптической осью каждой из половинок линз (на рисунке обозначено как  $x$ ) и расстоянию между оптическими осями половинок линз (на рисунке обозначено как  $l$ ). Это расстояние будет равно 30 мм. **Ответ: 30.**



**B9.** Работа электростатических сил при перемещению заряда равна  $A_{12} = F_{\text{рз}} \cdot S = qE \cdot S$ , где  $E$  – результирующее электростатическое поле (векторная сумма полей  $E_1$  и  $E_2$ ),  $S$  – расстояние между точками 1 и 2. Так как электростатические поля взаимно перпендикулярны, то

$$E^2 = E_1^2 + E_2^2 \Rightarrow E_2 = \sqrt{E^2 - E_1^2}.$$

Осталось из уравнения для работы поля выразить результирующее электростатическое поле  $E$  и подставить в последнюю формулу. Расстояние  $S$  между точками 1 и 2 мы легко найдем по теореме Пифагора (вспоминайте тему «Расстояние между точками на координатной плоскости» считайте клеточки). Окончательно получим

$$E_2 = \sqrt{E^2 - E_1^2} = \sqrt{\left(\frac{A_{12}}{qS}\right)^2 - E_1^2}.$$

И мы получаем правильный ответ, при не верном решении. Почему решение не верное? Дело в том, что мы (ладно, я) сделали предположение, что результирующее поле направлено так же, как и направление перемещение заряда. А это может быть не так. Правильное решение следующее. Работа, совершенная результирующим полем, равна алгебраической сумме работ каждого из полей в отдельности

$$A = A_1 + A_2 = qE_1S_1 + qE_2S_2,$$

где  $S_1$  и  $S_2$  расстояния, пройденные зарядом вдоль силовых линий первого и второго поля соответственно. Эти расстояния мы легко найдем из рисунка. Окончательно получим

$$A = qE_1S_1 + qE_2S_2 \Rightarrow qE_2S_2 = A - qE_1S_1 \Rightarrow E_2 = \frac{A - qE_1S_1}{qS_2}. \quad \text{Ответ: 14.}$$

**B10.** Достаточно простая задача. Для ее решения надо знать особенности последовательного и параллельного соединения проводников, закон Ома для полной цепи и формулу для нахождения мощности электрического тока. Да, набор внушительный. Но задача без каких-либо нюансов и ловушек. Резисторы 1-3 соединены параллельно. Следовательно. Их общее сопротивление равно

$$\frac{1}{R_{123}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{8} + \frac{1}{16} + \frac{1}{16} = \frac{2}{16} + \frac{1}{16} + \frac{1}{16} = \frac{4}{16} = \frac{1}{4} \Rightarrow R_{123} = 4 \text{ (Ом)}$$

При этом эти три резистора соединены последовательно с 4-м сопротивлением. Следовательно общее сопротивление цепи будет равно  $R_0 = R_{123} + R_4 = 28$  (Ом). Тепловая мощность, выделяемая на 4-м резисторе, будет равна  $P_4 = I^2 R_4 = \left( \frac{\varepsilon}{R_0 + r} \right)^2 R_4$ . Осталось выразить ЭДС источника

$$P_4 = \frac{\varepsilon^2}{(R_0 + r)^2} R_4 \Rightarrow \varepsilon^2 = \frac{P_4 (R_0 + r)^2}{R_4} \Rightarrow \varepsilon = (R_0 + r) \sqrt{\frac{P_4}{R_4}} = 16 \text{ (В). Ответ: 16}$$

**B11.** Период электромагнитных колебаний в LC-контуре находится по формуле Томпсона:

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \Rightarrow \nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Так как частота колебаний после изменения емкости конденсатора уменьшилась в 2 раза, то

$$\frac{\nu_2}{\nu_1} = \frac{1}{2} \Rightarrow \frac{\frac{1}{2\pi\sqrt{LC_2}}}{\frac{1}{2\pi\sqrt{LC_1}}} = \frac{1}{2} \Rightarrow \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_2}} : \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_1}} = \frac{1}{2} \Rightarrow \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_2}} \cdot \frac{2\pi\sqrt{LC_1}}{1} = \frac{1}{2} \Rightarrow \sqrt{\frac{C_1}{C_2}} = \frac{1}{2} \Rightarrow \left( \sqrt{\frac{C_1}{C_2}} \right)^2 = \left( \frac{1}{2} \right)^2 \Rightarrow \frac{C_1}{C_2} = \frac{1}{4} \Rightarrow \frac{C_1}{C_1 + \Delta C} = \frac{1}{4} \Rightarrow 4C_1 = C_1 + \Delta C \Rightarrow C_1 = \frac{\Delta C}{3}$$

Но нас просят найти конечную емкость. Она будет равна  $C_2 = C_1 + \Delta C = 400$  нФ.

**Ответ:** 400.

**B12.** Вспоминаем самое первое определение силы электрического тока  $I = \frac{Q}{t} \Rightarrow Q = It$ . Мы не знаем ни силу тока ни время прохождения заряда. Для начала попытаемся найти силу тока. По закону Ома  $I = \frac{\varepsilon_{\text{инд}}}{R}$ . ЭДС найдем из закона Фарадея

$$\varepsilon_{\text{инд}} = -\frac{\Delta\Phi}{t} = -\frac{\Phi_2 - \Phi_1}{t} = -\frac{(S_2 - S_1)B}{t} = \frac{(S_1 - S_2)B}{t} = \frac{(a^2 - 0,25a^2)B}{t} = \frac{0,75a^2B}{t},$$

где  $t$  – время изменения магнитного потока от величины  $\Phi_1 = B_1 S_1$  до величины  $\Phi_2 = B_2 S_2$  (при расчетах мы учли, что в данном случае  $\cos \alpha = 1$ ). Следовательно,  $I = \frac{\varepsilon_{\text{инд}}}{R} = \frac{0,75a^2B}{Rt}$ . Сопротивление проводника найти просто. Главное помнить, что длина проводника равна периметру квадрата. Получим

$$R = \rho_0 \frac{l}{S_0} = \rho_0 \frac{4a}{S_0}$$

В результате для заряда, прошедшего через поперечное сечение проводника, из которого сделана рамка, получаем

$$Q = It = \frac{0,75a^2B}{\rho_0 \frac{4a}{S_0} t} t = \frac{0,75aB}{\rho_0 \frac{4}{S_0}} = \frac{3aBS_0}{4\rho_0 \cdot 4} = \frac{3aBS_0}{16\rho_0} = 0,75 \text{ (Кл)} = 750 \text{ мКл}$$

Как вы, наверное, заметили, величина заряда никак не зависит от времени изменения магнитного потока.  
**Ответ: 750.**