

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

**A1.** Вспоминаем определение ускорения и основные единицы измерения системы СИ.  
**Ответ:** 5.

**A2.** Подставим в закон движения вместо параметра  $A$  его значение. Получим

$$x(t) = 5 \text{ (м)}$$

Проанализируем получившийся закон движения. Из закона движения следует, что какой бы момент времени мы не выбрали, координата тела всегда будет равна 5 м. Таким образом, делаем вывод, что тело покоится. Такому движению соответствует 3-й график.

Так как на данную тему задачи на ЦТ однозначно будут, я рекомендовал бы скачать с моего сайта первую главу курса физики «Кинематика» и внимательно разобраться с теорией по данной теме.

**Ответ:** 3.

**A3.** Часто в задачах удобно рассматривать два движения независимо друг от друга. Единственным параметром, объединяющим движения, будет время.

Время движения пули в вагоне равно

$$t_{\text{пули}} = \frac{L}{v_{\text{пули}}}$$

Время движения вагона (пока пуля двигается внутри него)

$$t_{\text{вагона}} = \frac{l}{v_{\text{вагона}}}$$

Эти времена равны. Следовательно

$$\frac{l}{v_{\text{вагона}}} = \frac{L}{v_{\text{пули}}} \Rightarrow L = l \frac{v_{\text{пули}}}{v_{\text{вагона}}} = 0,072 \text{ м} \frac{750 \text{ м/с}}{20 \text{ м/с}} = 2,7 \text{ (м)}$$

При расчетах не забываем перевести все единицы в систему СИ.

**Ответ:** 2.

**A4.** Энергетические характеристики движения вводятся на основе понятия **механической работы** или **работы силы**. Работой, совершаемой **постоянной силой  $F$**  называется скалярная физическая величина, равная произведению модулей силы и перемещения, умноженному на косинус угла  $\alpha$  между векторами силы  $F$  и перемещения  $S$

$$A = F S \cos \alpha$$

Работа является **скалярной** величиной. Она может быть как положительна ( $0^\circ \leq \alpha < 90^\circ$ ), так и отрицательна ( $90^\circ < \alpha \leq 180^\circ$ ). При  $\alpha = 90^\circ$  работа, совершаемая силой, равна нулю. В системе СИ работа измеряется в **дюоулях (Дж)**. Джоуль равен работе, совершаемой силой в 1 Н на перемещении 1 м в направлении действия силы.

Если сила меняется (увеличивается или уменьшается) в ходе движения, то работа силы находится немного по-другому.

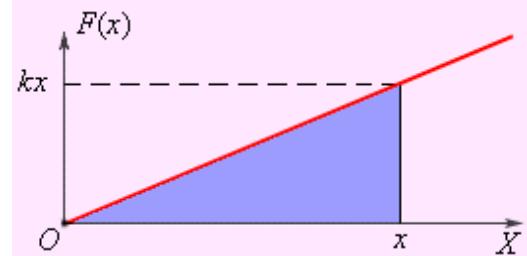
Примером силы, модуль которой зависит от координаты (перемещения), может служить сила упругости пружины, подчиняющаяся **закону Гука**. Для того чтобы растянуть пружину, к ней нужно приложить внешнюю силу  $F$ , модуль которой пропорционален удлинению пружины. Зависимость модуля внешней силы от координаты  $x$  (растяжения пружины) изображается на графике прямой линией.

**Площадь под графиком зависимости силы от перемещения равна совершенной силой работе.** То есть по площади треугольника на графике можно определить работу, совершенную внешней силой, при растяжении пружины

$$A = \frac{1}{2} \text{ основание} \times \text{высота} = \frac{1}{2} x \cdot F_{\text{упр}} = \frac{1}{2} x \cdot kx.$$

А теперь смотрим на график, данный в условии задачи, и находим участок, площадь под которым минимальна. Обращаю Ваше внимание на то, что саму площадь считать нет необходимости!

**Ответ:** 2.



**A5. Импульсом** (количеством движения) тела называют физическую **векторную** величину, являющуюся количественной характеристикой поступательного движения тел. Импульс обозначается  $p$ . 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.

Изменение **ИМПУЛЬСА ТЕЛА** находится как

$$\Delta\vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1,$$

где  $\vec{p}_1$  – импульс тела в начальный момент времени,  $\vec{p}_2$  – в конечный.

Например, найдем изменение импульса пули массой 10 грамм, которая до того, как пробила стенку, имела скорость 300 м/с, а после – 100 м/с. Изменение импульса пули будет равно

$$\Delta\vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1.$$

Так как и начальная скорость пули и конечная имеют одинаковые направления, а так же учитывая то, что скорость пули уменьшилась, изменение импульса будет отрицательной величиной и равно

$$\Delta p = p_2 - p_1 = 0,01 \cdot 100 - 0,01 \cdot 300 = -2 \text{ кг}\cdot\text{м/с}.$$

Не надо пугаться отрицательного значения. Просто импульс пули уменьшился при прохождении стены. Если же пуля не сможет пробить стенку, а застрянет в ней, то ее конечный импульс будет равен нулю. Следовательно, изменение импульса будет равно

$$\Delta p = p_2 - p_1 = 0 - 0,01 \cdot 300 = -3 \text{ кг}\cdot\text{м/с},$$

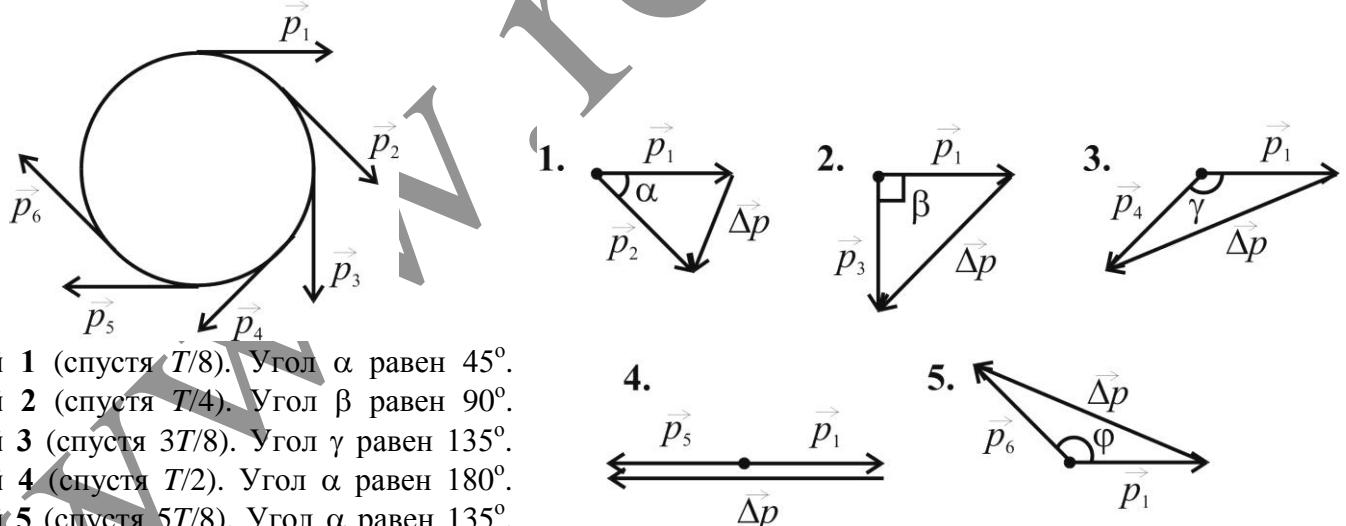
то есть импульс пули в обоих случаях уменьшается.

Если же после удара о стенку пуля **ОТСКАКИВАЕТ В ПРОТИВОПОЛОЖНОМ НАПРАВЛЕНИИ**, то ее конечный импульс станет отрицательным. Следовательно

$$\Delta p = p_2 - p_1 = -0,01 \cdot 100 - 0,01 \cdot 300 = -4 \text{ кг}\cdot\text{м/с}.$$

И опять не боимся отрицательного значения. Положительным у нас было начальное направление полета пули, поэтому изменение получилось отрицательным.

Так же часто в задачах просят найти изменение импульса тела при его движении по окружности.



**Случай 1** (спустя  $T/8$ ). Угол  $\alpha$  равен  $45^\circ$ .

**Случай 2** (спустя  $T/4$ ). Угол  $\beta$  равен  $90^\circ$ .

**Случай 3** (спустя  $3T/8$ ). Угол  $\gamma$  равен  $135^\circ$ .

**Случай 4** (спустя  $T/2$ ). Угол  $\alpha$  равен  $180^\circ$ .

**Случай 5** (спустя  $5T/8$ ). Угол  $\alpha$  равен  $135^\circ$ .

В случаях 1,3,5 используем теорему косинусов. Случай 4 есть не что иное, как аналогия упругого удара мяча о стенку.

Нас просят найти **модуль** изменение импульса за половину периода (случай 4). Получим

$$|\Delta p| = |p_2 - p_1| = |-0,5 \cdot 4 - 0,5 \cdot 4| = |-4| = 4 \text{ кг}\cdot\text{м/с}.$$

**Ответ:** 5.

**A6.** Давлением называется скалярная физическая величина, равна отношению модуля силы  $F$  действующей **перпендикулярно** поверхности, к площади  $S$  этой поверхности

$$p = \frac{F}{S}.$$

В системе СИ давление измеряется в **паскалях (Па)**: 1 Па = 1 Н/м<sup>2</sup>

При этом **сила давления** находится по формуле

$$F = pS.$$

Так как давление увеличилось в два раза и площадь поршня не изменялась, то согласно последней формулы сила давления газа на поршень так же увеличиться в два раза.

**Ответ:** 4.

**A7.** Для простоты решения представим, что в задаче идет речь про воду. Вода может находиться в трех агрегатных состояниях – жидким, твердом (лед) и газообразном (пар). В условии задачи сказано, что в точке *A* температура соответствует температуре пара. Для воды это больше 100 °С. При охлаждении пар отдает энергию окружающим телам и при температуре 100 °С пар начинает конденсироваться, то есть превращаться в воду. Процесс конденсации происходит при постоянной температуре и требует некоторого времени. А теперь смотрим на график.

На участке *AB* пар охлаждался. В точке *B* его температура стала равна 100 °С и начался процесс конденсации, о котором нас как раз спрашивали по условию задачи. Задача уже решена. Однако не будем лениться и разберем весь график до конца.

В точке *C* весь пар уже превратился в воду при 100 °С. На участке *CD* вода будет охлаждаться от 100 °С до 0 °С. В точке *D* начнется процесс кристаллизации – превращения воды в лед. В точке *E* вся вода замерзнет. Участок *EF* соответствует охлаждению льда.

**Очень важно понять, что процессы кристаллизации (процесс, обратный плавлению) и конденсации (процесс, обратный парообразованию) происходят при постоянной температуре и не могут происходить мгновенно (длятся некоторый промежуток времени).**

**Ответ:** 2.

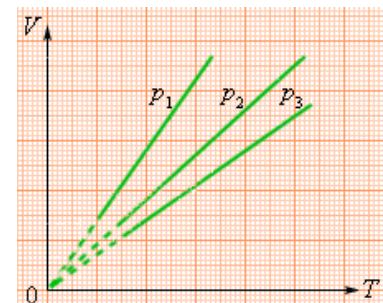
**A8. Изобарным процессом** называют процесс, протекающий при неизменном давлении *p*. Уравнение изобарного процесса для некоторого неизменного количества вещества *v* имеет вид:

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

где *V<sub>1</sub>* и *T<sub>1</sub>* – начальные объем и температура газа, *V<sub>2</sub>* и *T<sub>2</sub>* – конечные объем и температура газа. На плоскости (*V*, *T*) изобарные процессы при разных значениях давления *p* изображаются семейством прямых линий, которые называются **изобарами**. Большим значениям давления соответствуют изобары с меньшим углом наклона к оси температур (см. график, *p<sub>3</sub>* > *p<sub>2</sub>* > *p<sub>1</sub>*).

Важно знать, что изобара, изображенная в координатах (*V*, *T*) будет всегда смотреть в начало координат. Этому условию соответствует только участок 1–2 на нашем графике.

**Ответ:** 1.



**A9. Несмотря на то, что это всего лишь задача A9, у меня она вызвала куда больше вопросов, чем все задачи из Б части вместе взятые. Я не до конца понял идею, которые авторы задачи заложили в нее. Если у Вас есть мысли по этой задаче – буду рад, если поделитесь ими со мной.**

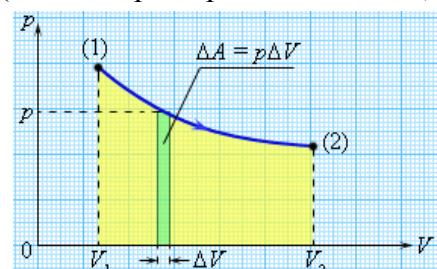
Первый закон термодинамики гласит: **Количество теплоты, полученное системой, идет на изменение ее внутренней энергии и на совершение работы системой над внешними телами (или просто на совершение системой работы)**

$$Q = \Delta U + A.$$

Так как для любого газа изменение внутренней энергии пропорционально изменению температуры, то во всех трех процессах изменение внутренней энергии будет одинаково (во всем трех процессах  $\Delta T = T_0$ ). Следовательно, нам надо сравнить совершенные в этих процессах работы. По определению

$$A = p \cdot \Delta V.$$

По этой формуле можно считать работу газа, если давление постоянно. Так же помним, что любой газ совершает работу только при расширении (увеличении объема). Если же давление газа меняется, то работу газа считают как **ПЛОЩАДЬ ФИГУРЫ ПОД ГРАФИКОМ** *p*–*V* (см. рисунок). То есть нам надо перерисовать данный нам график в координатах *p*–*V*. В процессе перевода графика из координат *p*–*T* в координаты *p*–*V* я понял, что сделать это не так и просто. Поэтому я Вам покажу альтернативный способ решения. Но для начала немного теории.

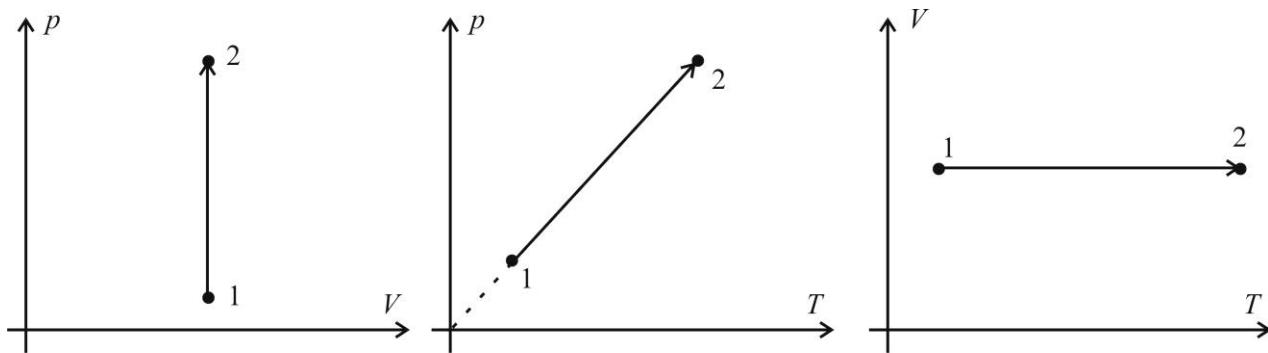


**Изохорный процесс** – это процесс нагревания или охлаждения газа при постоянном объеме  $V$  и при условии, что количество вещества  $v$  в сосуде остается неизменным.

Как следует из уравнения состояния идеального газа, при этих условиях давление газа  $p$  изменяется прямо пропорционально его абсолютной температуре:  $p \sim T$  или

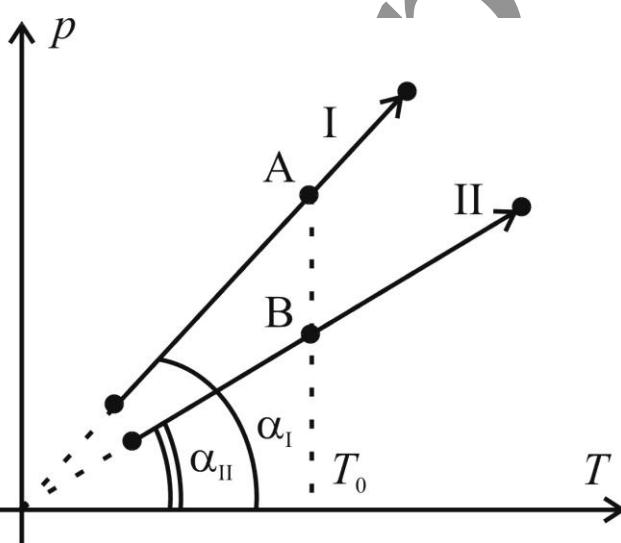
$$\frac{p}{T} = \text{const} \text{ или } \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2},$$

где  $p_1$  и  $T_1$  – начальные давление и температура газа,  $p_2$  и  $T_2$  – конечные давление и температура газа. Графики изохорного процесса в координатах  $p$ – $V$ ;  $p$ – $T$ ;  $V$ – $T$  имеют следующий вид:



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

Рассмотрим два изохорных процесса. В каком из них объем больше?



Выберем произвольную температуру  $T_0$  и соответствующие ей на графике точки А и В. Очевидно, что давление в точке А больше давления в точке В, а температуры одинаковы. Из уравнения

$$\frac{pV}{T} = \text{const}$$

следует, что объем в точке В будет больше, чем в точке А (если этот вывод для Вас не ясен уточните у меня). Чем **больше** угол наклона графика к оси, тем **меньше** будет объем газа. **И вот этот важный вывод мы и используем при решении задачи.**

Смотрим на график, а именно на процесс 1–2. В этом процессе объем будет увеличиваться. Докажем это. Проведем прямую через начало координат и точку 2. Мы видим, что угол, который образует эта прямая с осью температуры **меньше**, чем угол, между прямой, проведенной через начало координат и точку 1 и той же осью температуры. Следовательно, в этом процессе газ совершил **положительную** работу.

В процессе 2–3 объем газа уменьшался. Почему? Проведите рассуждения, которые будут аналогичны рассуждениям выше. Так как объем уменьшался, то работа газа будет **отрицательной**.

В процессе 3–4 работа газа равна нуля. А теперь делаем соответствующий вывод.

**Ответ:** 3.

**A10.** Внимательно смотрим на прибор и читаем, какая буква на нем написана. Далее вспоминаем размерность какой из физических величин обозначается большой буквой А. Очевидно, что на рисунке изображен амперметр, который изображается в цепях символом, под буквой А.

Вероятнее всего на ЦТ задача А10 будет связана с электроприборами. Так что я бы рекомендовал Вам прочитать соответствующий параграф в учебнике и попросить учителя показать все эти приборы, которых не так уж и много.

**Ответ:** 1.

**A11.** Опыт показывает, что заряженный конденсатор содержит запас энергии.

Энергия  $W_C$  конденсатора емкости  $C$ , заряженного зарядом  $q$ , может быть найдена по формуле

$$W = \frac{q^2}{2C}.$$

Формулу, выражающую энергию заряженного конденсатора, можно переписать в другой эквивалентной форме, если воспользоваться соотношением  $q = CU$ .

$$W = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2} = \frac{qU}{2}.$$

В нашем случае нас устраивает самая первая формула. Найдем точку на графике, координаты  $(q; C)$  которой можно будет точно узнать. Этому условию соответствует точка с  $q = 1 \text{ мКл}$  и  $W = 20 \text{ мДж}$ . Найдем емкость конденсатора

$$W = \frac{q^2}{2C} \Rightarrow C = \frac{q^2}{2W} = \frac{(10^{-6})^2}{2 \cdot 20 \cdot 10^{-3}} = \frac{10^{-12}}{4 \cdot 10^{-2}} = 0,25 \cdot 10^{-10} = 25 \cdot 10^{-12} = 25 \text{ (пФ)}.$$

**Ответ:** 5.

**A12.** Немецкий физик Г. Ом в 1826 году экспериментально установил, что сила тока  $I$ , текущего по однородному металлическому проводнику (то есть проводнику, в котором не действуют сторонние силы) сопротивлением  $R$ , пропорциональна напряжению  $U$  на концах проводника

$$I = \frac{U}{R}.$$

Величину  $R$  принято называть **электрическим сопротивлением**. Проводник, обладающий электрическим сопротивлением, называется **резистором**. Это соотношение выражает закон **Ома для однородного участка цепи: сила тока в проводнике прямо пропорциональна приложенному напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению проводника**.

Проводники, подчиняющиеся закону Ома, называются **линейными**. Графическая зависимость силы тока  $I$  от напряжения  $U$  (такие графики называются **вольт–амперными характеристиками**) изображается прямой линией, проходящей через начало координат. Как раз такая зависимость нам и дана по условию задачи.

Согласно закону Ома отношение сопротивлений будет равно

$$\frac{R_B}{R_A} = \frac{U_B / I_B}{U_A / I_A} = \frac{U_B}{I_B} \cdot \frac{I_A}{U_A} = \frac{U_B}{I_B} \cdot \frac{I_A}{U_A}.$$

Для резистора  $A$  удобно выбрать точку, в которой при напряжении 1 вольт в нем возникает сила тока 2 ампера. Для резистора  $B$  выбираем точку, в которой при напряжении 4 вольта возникает сила тока 2 ампера.

$$\frac{R_B}{R_A} = \frac{U_B}{I_B} \cdot \frac{I_A}{U_A} = \frac{4 \text{ В}}{2 \text{ А}} \cdot \frac{2 \text{ А}}{1 \text{ В}} = 4.$$

**Вы можете выбрать и другие точки для каждого из резисторов. Ответ от этого не изменится.**

Можно решить и немного по–другому. Для этого выберем точки, в которых напряжение, поданное на сопротивления, будет одинаковым (если конечно такие точки есть на графике). В этом случае отношение сопротивлений будет равно

$$\frac{R_B}{R_A} = \frac{U_B}{I_B} \cdot \frac{I_A}{U_A} = \frac{I_A}{I_B}$$

обратному отношению токов. Пусть на оба резистора подано напряжение 1 вольт. Получим

$$\frac{R_B}{R_A} = \frac{I_A}{I_B} = \frac{2 \text{ А}}{0,5 \text{ А}} = 4.$$

Какой способ выбрать – решать только Вам.

**Ответ:** 3.

**A13.** 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 *B*, единица измерения – 1 Тесла. 1 Тл – 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.

Однородным магнитным полем называется поле, в каждой точке которого  $\vec{B}$  одинаков. Почти однородное поле в соленоиде и между полями дугообразного магнита.

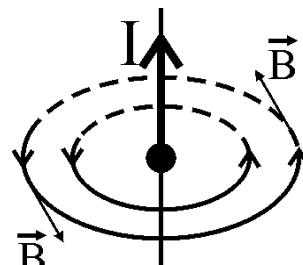
**СИЛОВАЯ ЛИНИЯ НАПРАВЛЕНА ОТ ЮЖНОГО ПОЛЮСА МАГНИТНОЙ СТРЕЛКИ К СЕВЕРНОМУ, ТО ЕСТЬ ОТ СЕВЕРНОГО ПОЛЮСА МАГНИТА К ЮЖНОМУ.**

В случае постоянных магнитов:



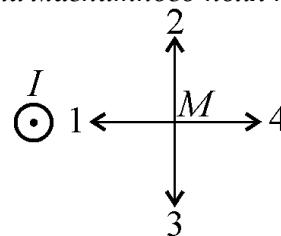
В случае магнитного поля электрического тока для определения направления силовых линий используют **ПРАВИЛО ПРАВОЙ РУКИ**: если взять проводник в правую руку так, чтобы большой палец был направлен по току, то четыре пальца, обхватывающие проводник, показывают направление силовых линий вокруг проводника.

В случае прямого тока линии магнитной индукции – окружности, плоскости которых перпендикулярны току.



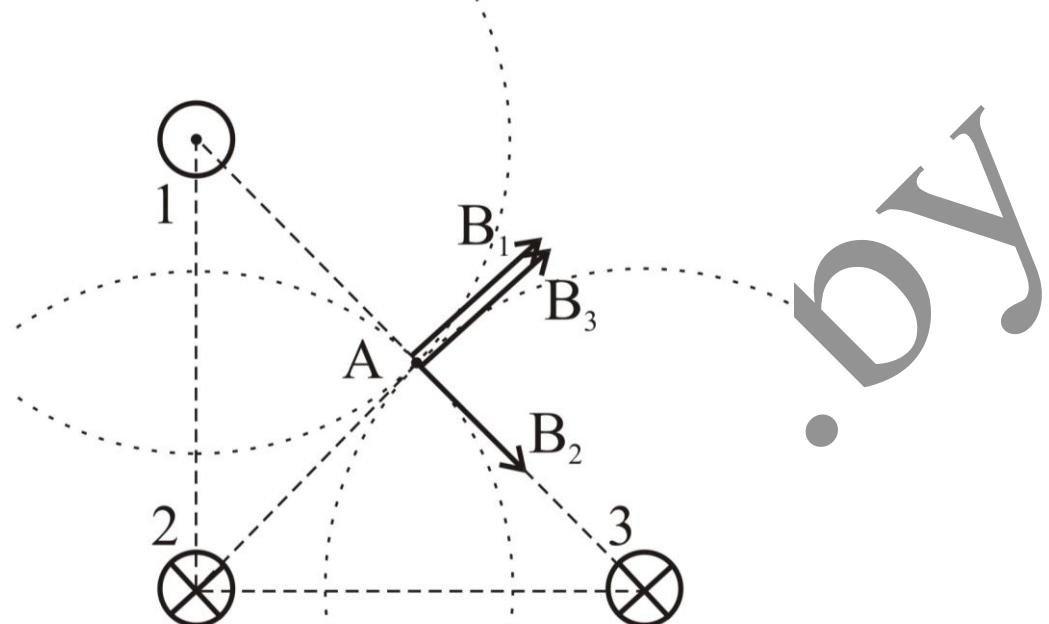
Вектора магнитной индукции направлены по касательной к окружности.

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



**Начертите окружность с центром находящимся на проводнике и проходящую через точку М.**  
 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 М от запястья к кончикам пальцев. Очевидно, что касательная направлена к точке 2. Кстати, так же будет направлен северный полюс магнитной стрелки, помещенный в точку М.

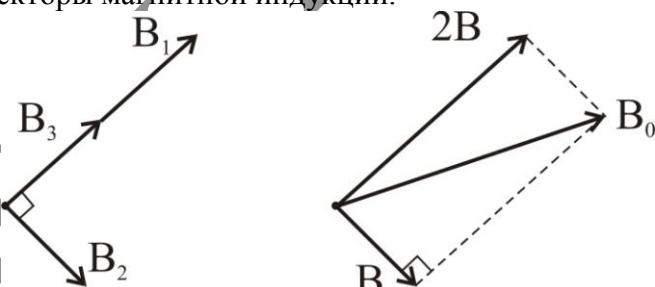
А теперь вернемся к нашей задаче. Делаем подробный рисунок. Для того, чтобы найти направление вектора магнитной индукции каждого из токов, применим рассуждения, приведенные выше в примере.



На рисунке я специально дал токам номера, чтобы Вы могли понять какому току соответствует каждый из векторов магнитной индукции. По условию задачи

$$B_1 = B_2 = B_3 = B$$

Теперь перерисуем только векторы магнитной индукции.



У нас получился прямоугольный треугольник. Результирующее поле будет численно равна гипотенузе

$$B_0 = \sqrt{(2B)^2 + B^2} = B\sqrt{5}$$

**Ответ: 4.**

**A14.** Магнитным потоком  $\Phi$  через площадь  $S$  контура называют величину

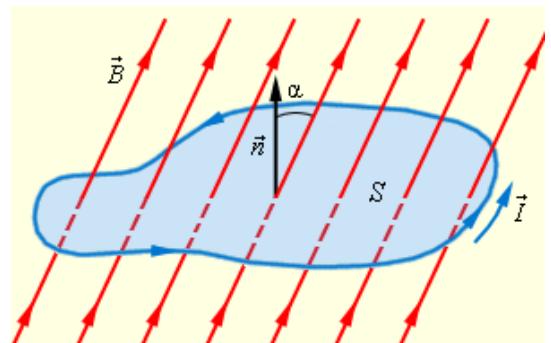
$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha,$$

где  $B$  – модуль вектора магнитной индукции,  $\alpha$  – угол **между вектором  $\vec{B}$  и нормалью (перпендикуляром)  $\vec{n}$  к плоскости контура** (см. рисунок).

Единица магнитного потока в системе СИ называется **вебером** (Вб). Магнитный поток, равный 1 Вб, создается магнитным полем с индукцией 1 Тл, пронизывающим по направлению нормали плоский контур площадью  $1 \text{ м}^2$ :

$$1 \text{ Вб} = 1 \text{ Тл} \cdot 1 \text{ м}^2.$$

Фарадей экспериментально установил, что при изменении маг-



нитного потока в проводящем контуре возникает ЭДС индукции  $\varepsilon_{\text{инд}}$ , равная скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром, взятой со знаком минус (на знак минус в большинстве задач мы не будем обращать внимание):

$$\varepsilon_{\text{инд}} = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}.$$

Опыт показывает, что индукционный ток, возбуждаемый в замкнутом контуре при изменении магнитного потока, всегда направлен так, что создаваемое им магнитное поле препятствует изменению магнитного потока, вызывающего индукционный ток. Это утверждение называется **правилом Ленца**.

**Самоиндукция** является важным частным случаем электромагнитной индукции, когда изменяющийся магнитный поток, вызывающий ЭДС индукции, создается током в самом контуре. Если ток в рассматриваемом контуре по каким-то причинам изменяется, то изменяется и магнитное поле этого тока. Следовательно, и собственный магнитный поток, пронизывающий контур будет меняться. В контуре возникает ЭДС **самоиндукции**, которая согласно правилу Ленца препятствует изменению тока в контуре. **Собственный магнитный поток**  $\Phi$ , пронизывающий контур или катушку с током, пропорционален силе тока  $I$ :

$$\Phi = LI.$$

Коэффициент пропорциональности  $L$  в этой формуле называется **коэффициентом самоиндукции** или **индуктивностью** катушки. Единица индуктивности в СИ называется **генри** (Гн). Индуктивность контура или катушки равна 1 Гн, если при силе постоянного тока 1 А собственный поток равен 1 Вб:

$$1 \text{ Гн} = 1 \text{ Вб} / 1 \text{ А}.$$

**ЭДС самоиндукции**, возникающая в катушке с постоянным значением индуктивности, согласно формуле Фарадея равна

$$\varepsilon_{\text{инд}} = \varepsilon_L = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} = L \left| \frac{\Delta I}{\Delta t} \right|.$$

**ЭДС самоиндукции прямо пропорциональна индуктивности катушки и скорости изменения силы тока в ней.**

Энергию магнитного поля катушки индуктивности можно найти по формуле

$$W_L = \frac{LI^2}{2},$$

где  $I$  – сила тока в некоторый момент времени.

Из формулы для определения ЭДС самоиндукции найдем индуктивность контура

$$\varepsilon_{\text{инд}} = L \left| \frac{\Delta I}{\Delta t} \right| \Rightarrow L = \frac{\varepsilon_{\text{инд}}}{\left| \frac{\Delta I}{\Delta t} \right|}.$$

Зная индуктивность найдем энергию магнитного поля

$$W_L = \frac{LI^2}{2} = \frac{\varepsilon_{\text{инд}} I^2}{2 \left| \frac{\Delta I}{\Delta t} \right|} = \frac{2 \cdot 3^2}{2 \cdot 4,5} = 2 \text{ (Дж)}.$$

**Ответ:** 2.

**A15.** Обычно эта тема является одной из самых сложных для понимания. Поэтому я постараюсь дать максимальное количество теории по ней.

В технике и окружающем нас мире часто приходится сталкиваться с **периодическими** (или **почти периодическими**) процессами, то есть процессами, которые повторяются через одинаковые промежутки времени. Такие процессы называют **колебательными**. Колебательные явления различной физической природы подчиняются общим закономерностям. Например, колебания тока в электрической цепи и колебания математического маятника могут описываться одинаковыми уравнениями. Общность колебательных закономерностей позволяет рассматривать колебательные процессы различной природы с единой точки зрения.

**Механическими колебаниями** называют движения тел, повторяющиеся точно (или приблизительно) через одинаковые промежутки времени. Закон движения тела, совершающего колебания, задается с помощью некоторой периодической функции времени  $x = f(t)$ . Графическое изображение этой функции дает наглядное представление о протекании колебательного процесса во времени.

Примерами простых колебательных систем могут служить груз на пружине или математический маятник (тяжелое тело, подвешенное на длинной нити).

Механические колебания, как и колебательные процессы любой другой физической природы, могут быть **свободными и вынужденными**. **Свободные колебания** совершаются под действием внутренних сил системы, после того, как система была выведена из состояния равновесия. Колебания груза на пружине или колебания маятника являются свободными колебаниями. Свободные колебания всегда затухают, то есть прекращаются. Колебания, происходящие под действием **внешних** периодически изменяющихся сил, называются **вынужденными**.

Минимальный интервал времени, через который происходит повторение движения тела, называется **периодом колебаний**  $T$ . Если же количество колебаний  $N$ , а их время  $t$ , то период находится как

$$T = \frac{t}{N}.$$

Физическая величина, обратная периоду колебаний, называется **частотой колебаний**

$$\nu = \frac{N}{t} = \frac{1}{T}.$$

Частота колебаний  $\nu$  показывает, сколько колебаний совершаются за 1 с. Единица частоты – **герц (Гц)**. Частота колебаний  $\nu$  связана с циклической частотой (круговой частотой, угловой скоростью)  $\omega$  и периодом колебаний  $T$  соотношениями:

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}.$$

При колебательном движении тела за время равное периоду проходит путь равный 4 амплитудам (см. рисунок). При этом тело возвращается в исходную точку, то есть перемещение тела будет равно нулю. Следовательно, **путь равный амплитуде тело пройдет за время равное четверть части периода**. Путь равный двум амплитудам тело проходит за время равное двум четвертям или половине периода.

**Но это не значит, что путь равный половине амплитуды тело пройдет за время разное половине от четверти периода, то есть за 1/8 периода!!! ТО ЕСТЬ ЭТО ПРАВИЛО РАБОТАЕТ ТОЛЬКО ДЛЯ ПУТИ, КОТОРЫЙ КРАТЕН АМПЛИТУДЕ ИЛИ ДЛЯ ВРЕМЕНИ, КРАТНОГО ЧЕТВЕРТИ ПЕРИОДА.**

На рисунке изображены положения тела через одинаковые промежутки времени при гармонических колебаниях (на рисунке  $x_m = A$ ). Такую картину можно получить экспериментально при освещении колеблющегося тела короткими периодическими вспышками света (стробоскопическое освещение, которое можно часто наблюдать на дискотеках). Стрелки изображают направление скорости тела в различные моменты времени.

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

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

или

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

Здесь  $x$  – смещение тела от положения равновесия в момент времени  $t$ ,  $A$  – амплитуда колебаний, то есть **максимальное смещение от положения равновесия**,  $\omega$  – 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. Если  $t = 0$ , то  $\phi = \phi_0$ . Поэтому  $\phi_0$  называют начальной фазой. **Начальная фаза определяет положение тела в начальный момент времени.**

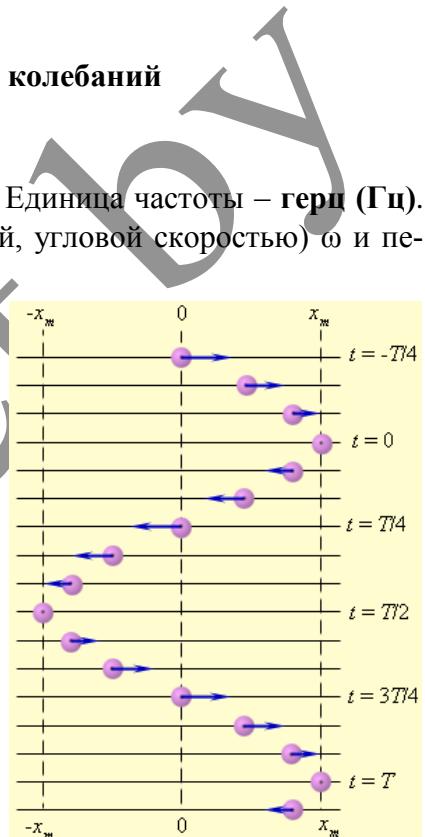
**ФАЗА КОЛЕБАНИЙ НИКОИМ ОБРАЗОМ НЕ СООТВЕТСТВУЕТ УГЛУ ОТКРОВЕНИЯ МАЯТНИКА ИЗ ПОЛОЖЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ.**

Если при решении задачи вам предстоит самостоятельно записать уравнение колебательного процесса, то надо выбирать его так, чтобы начальная фаза была равна нулю. 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  $t = 0$

$$x_0 = A \cos(0) = A \cdot 1 = A.$$

Однако в предложенной задаче не все просто. По условию задачи уравнение колебательного движения имеет вид

$$x(t) = A \cos(\omega t + \varphi_0)$$

В начальный момент времени смещение тела от положения равновесия равно нулю. Следовательно

$$x(t) = A \cos(\omega t + \varphi_0) \Rightarrow 0 = A \cos(0 + \varphi_0) \Rightarrow \cos(\varphi_0) = 0$$

И тут возможны два варианта ответа:  $\frac{\pi}{2}$  и  $-\frac{\pi}{2}$ . Какой выбрать? Смотрим на рисунок. Как только начнутся колебания тело будет смещаться в положительном направлении оси ОХ. А теперь вспоминаем тригонометрию. Если угол равен  $\frac{\pi}{2}$  и потом начинает расти, то он попадает во вторую четверть, в которой знак косинуса отрицательный. Следовательно, угол  $\frac{\pi}{2}$  нам не подходит. Убедимся в том, что  $-\frac{\pi}{2}$

нам подходит. Если начальный угол равен  $-\frac{\pi}{2}$  и начинает расти, то он оказывается в четвертой четверти, в которой косинус положителен. Следовательно, это наш угол.

**Ответ:** 1.

**A16.** Все вещества можно условно разделить на два типа – оптически прозрачные (в которых может распространяться свет) и оптически не прозрачные (в которых свет распространяться не может). Нам, естественно, будут интересны только первые.

Каждая оптически прозрачная среда характеризуется одним важным параметром – **показателем преломления среды –  $n$** . Эта величина показывает во сколько раз скорость света в данной среде, будет **МЕНЬШЕ**, чем в вакууме. То есть, если показатель преломления среды равен 2, то это значит, что скорость света в данной среде будет равна

$$v = \frac{c}{n} = \frac{300\ 000 \text{ км/с}}{2} = 150\ 000 \text{ км/с.}$$

Чем выше показатель преломления среды, тем более оптически плотная среда. И наоборот. Среду с меньшим показателем преломления называют оптически менее плотной.

На границе раздела двух прозрачных сред свет частично отражается и частично проходит через границу и распространяется во второй среде.

**ЗАКОН ПРЕЛОМЛЕНИЯ СВЕТА:** падающий и преломленный лучи, а также перпендикуляр к границе раздела двух сред, восстановленный в точке падения луча, лежат в одной плоскости. Отношение синуса угла падения  $\alpha$  к синусу угла преломления  $\beta$  есть величина, постоянная для двух данных сред:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = n.$$

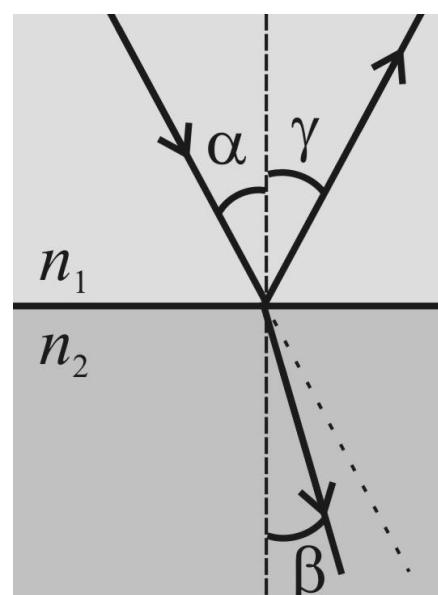
Закон преломления был экспериментально установлен голландским ученым В. Снеллиусом (1621 г.). Постоянную величину  $n$

$$n = \frac{n_2}{n_1}$$

называют **относительным показателем преломления второй среды относительно первой**, где  $n_1$  – абсолютный показатель преломления первой среды,  $n_2$  – абсолютный показатель преломления второй среды.

Показатель преломления среды относительно вакуума называют **абсолютным показателем преломления**.

**У ПРЕЛОМЛЕНИЯ СВЕТА ЕСТЬ ОДНА ВАЖНАЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ, КОТОРАЯ СЛЕДУЕТ ИЗ ЗАКОНА ПРЕЛОМЛЕНИЯ.** Если свет идет из оптически менее плотной среды в оптически



более плотную (например, из воздуха в воду), то преломленный луч отклоняется от направления первоначального распространения в сторону к перпендикуляру (см рисунок к закону преломления, угол падения луча  $\alpha$  больше угла преломления  $\beta$ ). Если наоборот – то луч отклоняется в другую сторону (угол падения луча  $\alpha$  будет меньше угла преломления  $\beta$ )

Закон преломления находит объяснение в волновой физике. Согласно волновым представлениям, преломление является следствием изменения скорости распространения волн при переходе из одной среды в другую. Физический смысл относительного показателя преломления – это отношение скорости распространения волн в первой среде  $v_1$  к скорости их распространения во второй среде  $v_2$ :

$$n = \frac{v_1}{v_2}.$$

При переходе волны из одной среды в другую длина волны и скорость ее распространения меняются. **НЕИЗМЕННЫМИ ОСТАЮТСЯ ТОЛЬКО ЧАСТОТА И ПЕРИОД ВОЛНЫ.** Поэтому при решении задач надо использовать следующее соотношение:

$$T_1 = T_2 \Rightarrow \frac{\lambda_1}{v_1} = \frac{\lambda_2}{v_2}.$$

Из этого соотношения с учетом закона преломления получаем

$$\frac{\lambda_1}{v_1} = \frac{\lambda_2}{v_2} \Rightarrow \lambda_2 = \frac{v_2}{v_1} \lambda_1 \Rightarrow \lambda_2 = \frac{1}{n} \lambda_1 \Rightarrow \lambda_2 = \frac{1}{\sin \alpha} \lambda_1 \Rightarrow \lambda_2 = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} \lambda_1$$

Осталось только найти синусы углов падения и преломления. Как будем искать? Немного достроим рисунок. У нас получилось два прямоугольных треугольника –  $MNO$  и  $OFE$ . Находим синусы углов по определению

$$\sin \alpha = \frac{MN}{ON} = \frac{MN}{\sqrt{MN^2 + MO^2}} = \frac{3}{\sqrt{3^2 + 5^2}} = \frac{3}{\sqrt{34}}$$

$$\sin \beta = \frac{FE}{OF} = \frac{FE}{\sqrt{OF^2 + FE^2}} = \frac{3}{\sqrt{3^2 + 4^2}} = \frac{3}{5}$$

Окончательно получаем

$$\lambda_2 = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} \lambda_1 = \frac{\frac{3}{5}}{\frac{3}{\sqrt{34}}} 0,48 \text{ мкм} = \frac{\sqrt{34}}{5} 0,48 \text{ мкм} \approx 0,56 \text{ мкм}$$

Обращаю Ваше внимание на то, что, так как ответ надо дать в микрометрах, то и начальное значение длины волны  $\lambda_1$  мы подставляем в микрометрах.

**Ответ:** 3.

**A17.** Простейший из атомов – атом водорода. Он содержит единственный электрон. Ядром атома является **протон** – положительно заряженная частица, заряд которой равен по модулю заряду электрона, а масса в 1836 раз превышает массу электрона.

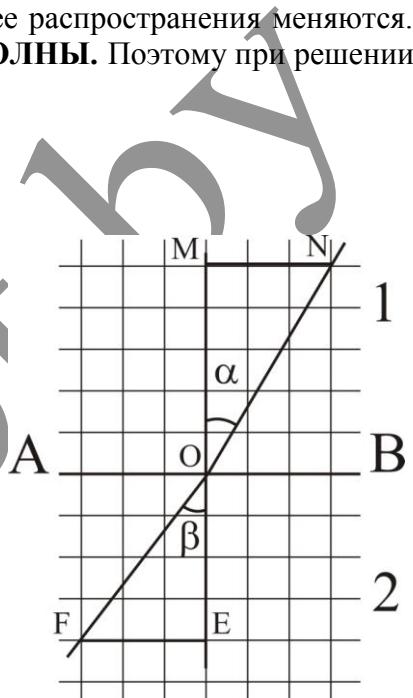
Обычно электрон находится на первом (основном, невозбужденном) энергетическом уровне (электрон, как и любая другая система, стремится к состоянию с минимумом потенциальной энергии). В этом состоянии его энергия равна  $E_1 = -13,6 \text{ эВ}$ . Отрицательное значение энергии говорит о том, что самостоятельно электрон из атома никогда не вырвется. Он сможет вырваться из ядра, только получив такую же энергию, то есть когда его энергия будет равна нулю, он сможет оторваться от ядра (равенство энергии нулю так же означает, что электрон уже не взаимодействует с ядром).

На любом другом уровне энергия электрона будет равна

$$E_n = \frac{E_1}{n^2} \quad (n – \text{номер орбиты}).$$

Проанализировав всю совокупность опытных фактов, Бор сформулировал постулаты, которым должна удовлетворять теория о строении атомов:

**ПЕРВЫЙ ПОСТУЛАТ БОРА (постулат стационарных состояний): атомная система может находится только в особых стационарных или квантовых состояниях, каждому из которых соответ-**



вует определенная энергия  $E_n$ . В стационарных состояниях атом не излучает.

Согласно первому постулату Бора, атом характеризуется системой энергетических уровней, каждый из которых соответствует определенному стационарному состоянию (см. рисунок). Механическая энергия электрона, движущегося по замкнутой траектории вокруг положительно заряженного ядра, отрицательна. Поэтому всем стационарным состояниям соответствуют значения энергии  $E_n < 0$ . При  $E_n \geq 0$  электрон удаляется от ядра (происходит ионизация). Величина  $|E_1|$  называется энергией ионизации. Состояние с энергией  $E_1$  называется основным состоянием атома.

**ВТОРОЙ ПОСТУЛАТ БОРА** (правило частот): при переходе атома из одного стационарного состояния с энергией  $E_n$  в другое стационарное состояние с энергией  $E_m$  излучается или поглощается квант, энергия которого равна разности энергий стационарных состояний:

$$h\nu_{nm} = E_n - E_m,$$

На основании постулатов Бора делаем вывод о том, что для перехода на второй энергетический уровень атом водорода должен поглотить фотон. Таким образом, его энергия увеличится на величину, равную разности энергий на первом и на втором энергетических уровнях. Получим

$$\Delta E = E_2 - E_1 = \frac{E_1}{n^2} - E_1 = \frac{-13,55}{4} - (-13,55) = 10,16 \text{ (эВ).}$$

**Ответ:** 3.

**A18.** 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**, 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. Вторая элементарная частица – **нейtron**.

**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  ${}_Z^A X$ , где  $X$  – химический символ элемента. Например,  ${}_1^1 H$  – водород,  ${}_{-1}^0 e$  – электрон,  ${}_{+1}^0 e$  – позитрон (электрон, имеющий положительный заряд),  ${}_2^4 He$  – 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  $N_n = A - Z = 238 - 92 = 146$ .

В нашем случае количество протонов  $Z = 86$ , количество нуклонов  $A = 223$ . Искомая величина равна

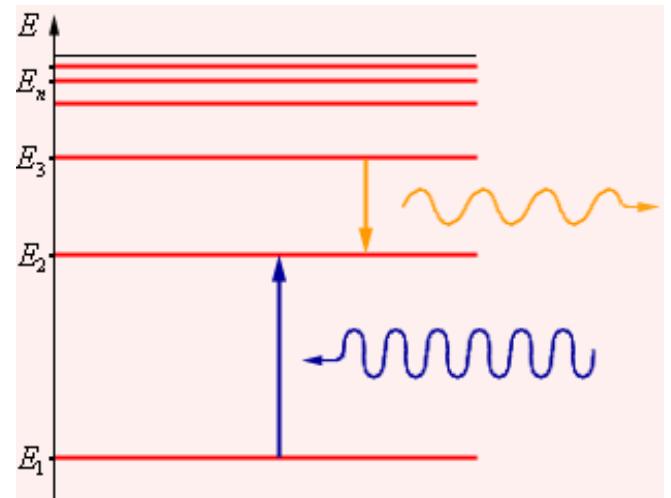
$$\left( \frac{Z}{A} \right) = \frac{86}{223}$$

**Ответ:** 1.

**B1.** При первом прочтении условия данной задачи может показаться, что она сложная. На самом деле это не так. Проанализируем условие.

По условию задачи нам даны начальная скорость тела и ускорение тела. Начальная скорость и ускорение положительны. Это означает, что скорость тела будет постоянно возрастать и ни о каких ловушках, связанных с разворотом тела, в данной задачи речи нет.

От нас требуется найти путь за шестую секунду. Для начала ответим на вопрос что такое первая секунда. Очевидно, что первая секунда движения, это промежуток времени между началом движения (мо-



мент времени равным нулю) и моментом времени одна секунда. Следовательно, шестая секунда, это промежуток времени между моментом времени 5 секунд и 6 секунд. Таким образом, делаем вывод о том, что нам надо найти разницу путей (можно не говорить о перемещении, так как направление движения не меняется) пройденных телом за 6 и 5 секунд движения.

$$S_{6-5} = S_6 - S_5$$

Из всего многообразия формул для пути при ускоренном движении, мы должны выбрать одну, которая лучше всего подходит нам для решения задачи

$$S = v_0 t + \frac{at^2}{2}, \quad S = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}, \quad S = v_{\text{cp}} t = \frac{v + v_0}{2} t.$$

Очевидно, что первая формула подойдет как нельзя лучше. Получим

$$S_{6-5} = S_6 - S_5 = v_0 t_6 + \frac{at_6^2}{2} - \left( v_0 t_5 + \frac{at_5^2}{2} \right) = v_0 (t_6 - t_5) + \frac{a(t_6^2 - t_5^2)}{2}$$

Осталось только подставить числа и подсчитать

$$S_{6-5} = 4(6-5) + \frac{4(36-25)}{2} = 4 + 22 = 26 \text{ (м).}$$

Есть еще один способ решения данной задачи. На мой взгляд, более простой.

В момент времени 5 секунд скорость тела будет равна

$$v_5 = v_0 + at_5 = 4 + 4 \cdot 5 = 24 \text{ (м/с)}$$

В момент времени 6 секунд скорость тела будет равна

$$v_6 = v_0 + at_6 = 4 + 4 \cdot 6 = 28 \text{ (м/с)}$$

Так как движение тела равноускоренное, то мы имеем право заменить это движение на равномерное, со средней скоростью равной

$$v_{6-5} = \frac{v_5 + v_6}{2} = \frac{24 + 28}{2} = 26 \text{ (м/с).}$$

Так как мы рассматриваем промежуток времени от 5-й по 6-ю секунды, то с такой скоростью тело двигалось 1 секунду и прошло путь равный

$$S = v_{6-5} \cdot t = 26 \cdot 1 = 26 \text{ (м).}$$

И как обычно право выбора способа решения данной задачи оставляю за Вами.

**Ответ:** 26.

**B2.** Зависимость координаты тела от времени при ускоренном движении имеет вид

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}.$$

Обычно необходимо подставить параметры движения (начальную координату, начальную скорость и ускорение) в эту формулу и получить закон движения. Однако часто встречаются и обратные задачи. В нашем случае необходимо подставить  $A$ ,  $B$  и  $C$  в закон движения. После чего он примет вид

$$x(t) = 4 + 2t + 3t^2.$$

Постараемся описать это движение. Перед этим немного изменим уравнение (при этом мы не внесем изменения, влияющие на условие задачи)

$$x(t) = 4 + 2t + \frac{6t^2}{2}.$$

А теперь сравним наше уравнение с эталонным (лучше записывать их друг под другом)

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}.$$

$$x(t) = 4 + 2t + \frac{6t^2}{2}.$$

Очевидно, что начальная координата тела 4 м, начальная скорость 2 м/с, ускорение тела 6 м/с<sup>2</sup>. Не сделайте типичную ошибку!!! На самом деле перед  $t^2$  стоит **половина ускорения** (именно поэтому мы и переписывали уравнение в измененном виде).

А теперь вспоминаем второй закон Ньютона. **Ускорение, приобретаемое телом при взаимодействии, прямо пропорционально равнодействующей всех сил, действующих на тело, и обратно пропорционально массе этого тела:**

$$a = \frac{F}{m}.$$

Следовательно, проекция равнодействующей всех сил, действующих на тело, будет равна

$$F = ma = 2 \cdot 6 = 12 \text{ (Н).}$$

Если бы ускорение, с которым движется тело, было бы отрицательным, то и проекция силы была бы отрицательной.

**Ответ:** 12.

**В3.** Сделаем схематический рисунок, на котором укажем все силы, действующие на льдину.

Согласно второму закону Ньютона

$$mg + Mg - F_{\text{Аpx}} = 0$$

По условию задачи льдина полностью погружена под воду. Это значит, что сила Архимеда, действующая на нее, будет максимальна и равна

$$F_{\text{Аpx}} = \rho_{\text{воды}} g V,$$

где  $V = Sh$  – объем льда. При этом масса льда  $m$  будет равна  $m = \rho_{\text{льда}} V = \rho_{\text{льда}} Sh$ . Получим

$$mg + Mg - F_{\text{Аpx}} = 0 \Rightarrow \rho_{\text{льда}} Shg + Mg - \rho_{\text{воды}} g Sh = 0$$

А теперь выразим толщину льда

$$\rho_{\text{льда}} Shg + Mg - \rho_{\text{воды}} g Sh = 0 \Rightarrow gSh(\rho_{\text{воды}} - \rho_{\text{льда}}) = Mg \Rightarrow h = \frac{M}{S(\rho_{\text{воды}} - \rho_{\text{льда}})}$$

Окончательно получим

$$h = \frac{90}{3(1000 - 900)} = \frac{90}{300} = 0,3 \text{ (м)} = 30 \text{ (см).}$$

**Важно замечание.** Вместо льда в этой задаче может быть кусок дерева. А может быть не просто кусок дерева, а связка из бревен (плот) и Вас попросят найти минимальное количество бревен, необходимых для перевозки груза. В этом случае масса бревен будет равна

$$m = \rho_{\text{дерева}} V_{\text{всех бревен}} = \rho_{\text{дерева}} NSh$$

где  $N$  – количество бревен. Если при решении такой задачи вы получите  $N \approx 12,05$ , то все равно нужно будет округлить в большую сторону. То есть минимальное количество бревен будет равно 13.

**Ответ:** 30.

**В4.** На мой взгляд, эту задачу можно отнести к разряду нерешаемых. Сейчас узнаете почему. Только сначала рассмотрим аналогичную задачу.

Пусть навстречу тяжелой плите, которая движется со скоростью  $v$ , движется легкий шарик массой  $m$  со скоростью  $U_1$ . Так как импульс шарика много меньше импульса плиты, то после удара скорость плиты не изменится, и она будет продолжать движение с той же скоростью и в том же направлении. В результате упругого удара, шарик отлетит от плиты.

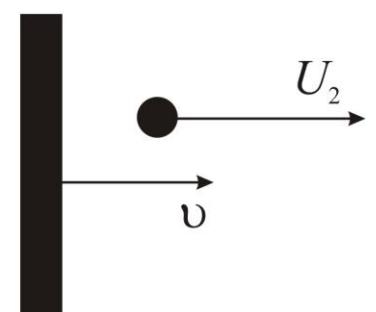
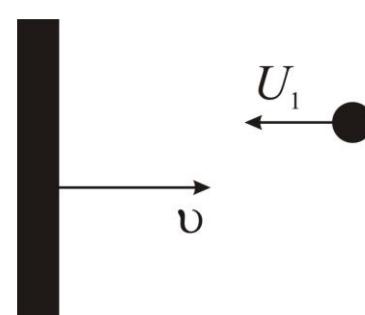
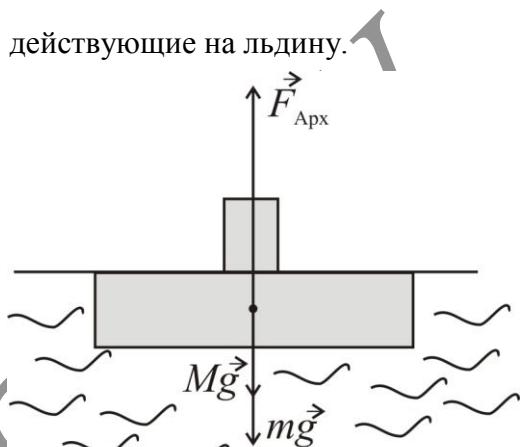
**ЗДЕСЬ ВАЖНО ПОНЯТЬ, ЧТО НЕ ПОМЕНЯЕТСЯ СКОРОСТЬ ШАРИКА ОТНОСИТЕЛЬНО ПЛИТЫ.**

До удара скорость шарика относительно плиты  $U_1 + v$  (движение навстречу), а после удара  $U_2 - v$  (движение в одном направлении).

Приравняем относительные скорости

$$U_1 + v = U_2 - v.$$

Получаем



$$U_2 = U_1 + 2v,$$

то есть скорость шарика после удара увеличивается на удвоенную скорость стены.

Например, в настольном теннисе, скорость шарика после удара увеличивается на удвоенную скорость ракетки. Аналогичное рассуждение используйте, если до удара шарик и плита двигались в одном направлении. Получится, что скорость шарика уменьшается на удвоенную скорость стены  $U_2 = U_1 - 2v$ .

Вернемся к нашей задаче. Начальная кинетическая энергия шарика равна

$$E_1 = \frac{mv_1^2}{2}.$$

Конечная

$$E_2 = \frac{mv_2^2}{2}$$

Разделим второе уравнение на первое, чтобы исключить массу шарика, которая не дана нам по условию задачи. Получим

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{\frac{mv_2^2}{2}}{\frac{mv_1^2}{2}} = \frac{v_2^2}{v_1^2} \Rightarrow E_2 = E_1 \left( \frac{v_2}{v_1} \right)^2$$

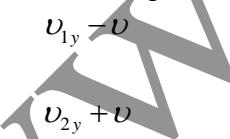
Таким образом, чтобы найти конечную кинетическую энергию нам надо будет найти отношение конечной и начальной скорости шарика. Кстати, исходя из примера выше, сразу делаем вывод о том, что конечная скорость шарика будет меньше начальной, так как шарик и плита двигались в одну сторону до удара.

Сделаем пояснительный рисунок. В нашем случае начальная и конечная скорости направлены под некоторым углом к вертикали. Раскладываем эти скорости на две составляющие – вертикальную и горизонтальную. Так как никакого взаимодействия в горизонтальной плоскости не происходит, то горизонтальные составляющие будут равны

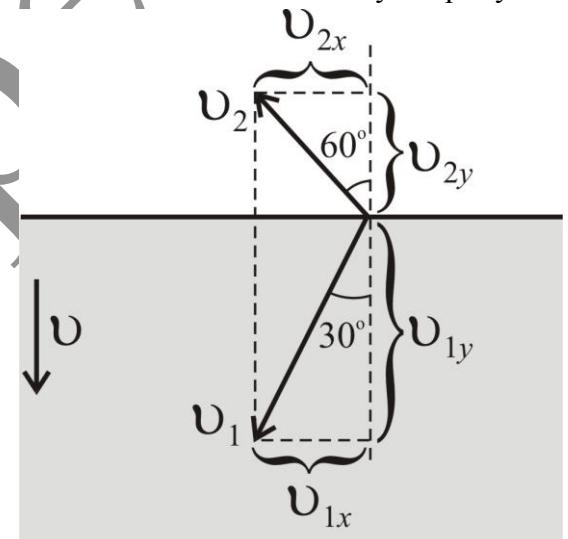
$$v_{2x} = v_{1x}.$$

Удар происходит в вертикальной плоскости. Применим рассуждения аналогичные рассуждениям выше.

Относительная скорость плиты и шарика до удара равна



После удара



Эти скорости равны. Так как  $v_{2y} = v_2 \cos 60^\circ$  и  $v_{1y} = v_1 \cos 30^\circ$ , то

$$v_{1y} - v = v_{2y} + v \Rightarrow v_1 \cos 30^\circ - v = v_2 \cos 60^\circ + v \Rightarrow v_2 = \frac{v_1 \cos 30^\circ - 2v}{\cos 60^\circ}$$

Все! Приплыли! Мы не знаем скорость плиты, поэтому и не сможем найти соотношение скоростей. Значит, мы пошли не в том направлении. С самого начала решения задачи мы работали только с вертикальной составляющей скорости. Какая еще составляющая есть? Горизонтальная! Мы даже записали

$$v_{2x} = v_{1x}.$$

Раскроем каждую из этих скоростей

$$v_2 \sin 60^\circ = v_1 \sin 30^\circ \Rightarrow \frac{v_2}{v_1} = \frac{\sin 30^\circ}{\sin 60^\circ} \Rightarrow \frac{v_2}{v_1} = \frac{\frac{1}{2}}{\frac{\sqrt{3}}{2}} \Rightarrow \frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

Подставляем это соотношение в формулу для конечной кинетической энергии

$$E_2 = E_1 \left( \frac{v_2}{v_1} \right)^2 = 36 \left( \frac{1}{\sqrt{3}} \right)^2 = \frac{36}{3} = 12 \text{ (Дж).}$$

Я специально не убрал рассуждения, касающиеся вертикальной составляющей скорости. Этим я хотел показать Вам, что не всегда стандартные методы решения приведут к правильному ответу. Иногда то, на что мы не обращаем внимания при решении задачи и считаем несущественным, и будет ключиком к правильному решению.

**Ответ:** 12.

**В5.** По условию задачи нам надо найти

$$\left| \frac{\Delta T}{T_1} \right| = \left| \frac{T_2 - T_1}{T_1} \right| = \left| \frac{T_2}{T_1} - 1 \right|.$$

То есть нам надо найти отношение конечной и начальной температуры. Для идеального газа зависимость скорости теплового движения от температуры выражается простой формулой

$$v_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} \Rightarrow v_{\text{кв}}^2 = \frac{3kT}{m_0} \Rightarrow T = \frac{m_0 v_{\text{кв}}^2}{3k}$$

Следовательно, отношение конечной и начальной температуры будет равно

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{\frac{m_0 v_{\text{кв}2}^2}{3k}}{\frac{m_0 v_{\text{кв}1}^2}{3k}} = \frac{v_{\text{кв}2}^2}{v_{\text{кв}1}^2} = \left( \frac{v_{\text{кв}2}}{v_{\text{кв}1}} \right)^2 = k^2$$

Окончательно получим

$$\left| \frac{T_2}{T_1} - 1 \right| = \left| k^2 - 1 \right| = \left| (1,1)^2 - 1 \right| = \left| 1,21 - 1 \right| = 0,21$$

Чтобы получить ответ в процентах умножим полученное значение на 100.

**Ответ:** 21.

**В6.** По условию задачи неизвестно в каком состоянии будет находиться снег после сообщения ему всей теплоты. Всего возможно три варианта.

1. Количество теплоты будет недостаточно для того, чтобы нагреть снег до температуры плавления т снег просто немного нагреется.

2. Количество теплоты хватит лишь на то, чтобы нагреть снег до температуры плавления и только частично расплавить его.

3. Количество теплоты будет достаточно для того, чтобы нагреть снег, полностью превратить его в воду и нагреть полученную воду до некоторой температуры.

Так как по условию задачи нам не дана удельная теплота парообразования воды, то мы даже не думаем о том, что полученную воду удастся вскипятить.

Найдем количество теплоты, которое сообщили снегу. Оно будет равно

$$Q = Q_0 \cdot \Delta t = 1000 \cdot 16 \cdot 60 = 960\,000 \text{ (Дж).}$$

Теперь найдем количество теплоты необходимое для нагрева снега от  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $0^{\circ}\text{C}$

$$Q_1 = c_1 m_1 (0 - (-20)) = 2100 \cdot 2 \cdot 20 = 84\,000 \text{ (Дж).}$$

Пока видим, что на нагрев хватает. Выясним, хватает ли на плавление снега

$$Q_2 = \lambda m_1 = 330000 \cdot 2 = 660\,000 \text{ (Дж).}$$

Пока хватает и на плавление. После нагрева снега и его плавления останется

$$Q_3 = Q - Q_1 - Q_2 = 960\,000 - 84\,000 - 660\,000 = 216\,000 \text{ (Дж).}$$

Именно это количество теплоты будет затрачено на нагрев воды до некоторой температуры

$$Q_3 = c_2 m_1 \Delta T \Rightarrow \Delta T = \frac{Q_3}{c_2 m_1} = \frac{216000}{4200 \cdot 2} = 26 \left( {}^{\circ}\text{C} \right)$$

**Ответ:** 26.

**В7.** Вспомним один из основных законов физики – первое начало термодинамики. **Количество теплоты, полученное системой, идет на изменение ее внутренней энергии и на совершение работы системой над внешними телами (или просто на совершение системой работы)**

$$Q = \Delta U + A.$$

В нашем случае мы имеем дело с двумя процессами: 1–2 – изобарным и 2–3 – изотермическим. Поэтому количество теплоты, полученное газом, будет равно

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (1)$$

В **изобарном процессе** ( $p = \text{const}$ ) теплота, переданная газу, идет как на совершение работы газом, так и на изменение его внутренней энергии. Если газ **одноатомный**, то

$$Q_1 = \Delta U_1 + A_1 = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{21} + \nu R \Delta T_{21} = \frac{5}{2} \nu R \Delta T_{21} \quad (2)$$

В **изотермическом процессе** температура газа не изменяется. Следовательно, не изменяется и внутренняя энергия газа, то есть  $\Delta U_2 = 0$ . Первый закон термодинамики для изотермического процесса выражается соотношением

$$Q_2 = A_{23}. \quad (3)$$

Подставим (2) и (3) в (1). Получим

$$Q = Q_1 + Q_2 = \frac{5}{2} \nu R \Delta T_{21} + A_{23} \Rightarrow \Delta T_{21} = \frac{Q - A_{23}}{\frac{5}{2} \nu R} = \frac{2600 - 600}{2,5 \cdot 3 \cdot 8,31} \approx 32 \text{ (К)}.$$

А ТЕПЕРЬ ОЧЕНЬ ВАЖНОЕ ЗАМЕЧАНИЕ. **При решении задач нет необходимости переводить ИЗМЕНЕНИЕ температуры!!!** То есть изменение температуры на 20 К НИКОГДА не будет равно изменению температуры на 293 °C!!! Например, была температура 290 К. Стала 310 К. Изменение составит 20 К. Если перевести в градусы Цельсия, то начальная температура была  $T_1 = 290 - 273 = 17$  °C, конечная стала  $T_2 = 310 - 273 = 37$  °C, то есть ИЗМЕНЕНИЕ равно 20 °C!!!

**Ответ:** 32.

**В8.** Никогда не жалейте бумагу при решении таких задач. Рисунок должен быть максимально большим и подробным. Если Вы сделаете хороший рисунок, то сможете решить задачу, даже если не успели пройти раздел «Геометрическая оптика».

Смотрим внимательно на рисунок. Очевидно, что мы имеем дело с двумя подобными прямоугольными треугольниками. Следовательно,

$$\frac{h}{l} = \frac{H}{L-l} \Rightarrow H = \frac{h}{l} (L-l) = \frac{2}{1,2} (6-1,2) = 8 \text{ (м).}$$

Как видим, знание физики при решении этой задачи нам было необходимо только на стадии рисунка. Мы применили закон, который знают даже ученики младших классов – угол падения равен углу отражения. И все!!! Дальше была простая геометрия. Так что не пропускайте ни одну задачу на ЦТ!!!

**Ответ:** 8.

**В9.** Закон Ома для полной (замкнутой) цепи гласит: сила тока в замкнутой цепи равна электродвижущей силе источника, деленной на общее (внутреннее + внешнее) сопротивление цепи.

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}.$$

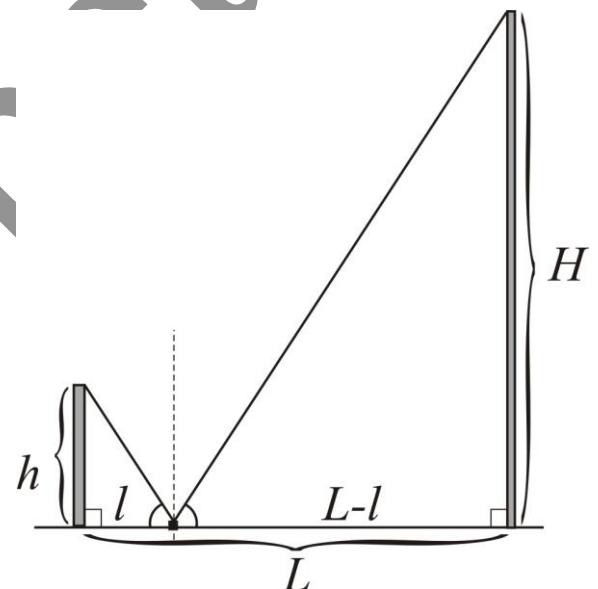
Сопротивление  $r$  – внутреннее (собственное) сопротивление источника тока (зависит от внутреннего строения источника). Сопротивление  $R$  – сопротивление нагрузки (внешнее сопротивление цепи). Если переписать формулу в несколько ином виде, то

$$\mathcal{E} = IR + Ir = U_R + U_r,$$

где  $U_R$  – падение напряжения во внешней цепи (напряжение на источнике),  $U_r$  – падение напряжения в источнике. Важно запомнить, что **эдс и внутренне сопротивление источника не меняются, при подключении разных нагрузок. Это надо учитывать при решении задач!!!**

Если сопротивление нагрузки равно нулю (источник замыкается сам на себя) или много меньше сопротивления источника ( $r \gg R$ ), то тогда в цепи потечет **ток короткого замыкания**

$$I_{\text{кз}} = \frac{\mathcal{E}}{r}.$$



Если ЭДС источника 12 В, а во внешнюю цепь он выдает 10 В, то 2 В он оставил себе. То есть

$$\varepsilon = U_R + U_r \Rightarrow U_r = \varepsilon - U_R = 12 - 10 = 2 \text{ (В).}$$

С другой стороны

$$U_r = Ir \Rightarrow r = \frac{U_r}{I} = \frac{2}{0,5} = 0,5 \text{ (Ом).}$$

Следовательно, ток короткого замыкания будет равен

$$I_{k3} = \frac{\varepsilon}{r} = \frac{12}{0,5} = 24 \text{ (А).}$$

**Ответ:** 24.

**B10.** Для описания магнитного поля необходимо ввести **силовую** характеристику поля, аналогичную вектору **напряженности**  $\vec{E}$  электрического поля. Такой характеристикой является вектор  $\vec{B}$  магнитной индукции. В системе единиц СИ за единицу магнитной индукции принята 1 **тесла** (Тл).

Если в магнитное поле с индукцией  $B$  поместить проводник длиной  $\Delta l$  с током  $I$ , то на него будет действовать сила

$$F = IB\Delta l \sin \alpha$$

Это соотношение принято называть **законом Ампера**.

Сила Ампера направлена перпендикулярно вектору магнитной индукции и направлению тока, текущего по проводнику.

Для определения направления силы Ампера обычно используют **правило ЛЕВОЙ РУКИ**: если расположить левую руку так, чтобы линии индукции входили в ладонь, а вытянутые пальцы были направлены вдоль тока, то отведенный большой палец укажет направление силы, действующей на проводник (см. рисунок).

Запишем закон Ампера для начального значения индукции поля

$$F_1 = IB_1 l \sin \alpha$$

и конечного значения

$$F_2 = IB_2 l \sin \alpha.$$

Разделим второе уравнение на первое. Получим

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{IB_2 l \sin \alpha}{IB_1 l \sin \alpha} \Rightarrow \frac{F_2}{F_1} = \frac{B_2}{B_1} \Rightarrow B_2 = B_1 \frac{F_2}{F_1} = 20 \cdot \frac{1}{0,2} = 100 \text{ (мТл).}$$

Обращаю Ваше внимание на то, что значение индукции магнитного поля я подставлял в мТл. Поэтому и ответ сразу получил в мТл. Однако нам надо найти не конечное значение индукции поля, а величину, на которую надо увеличить поле. То есть

$$\Delta B = B_2 - B_1 = 100 - 20 = 80 \text{ (мТл).}$$

Продвинутые ученики могли решить эту задачу устно. По условию задачи сила, действующая на проводник, увеличивается в 5 раз. Чтобы это произошло магнитное поле тоже должно увеличиться в 5 раз, так как зависимость силы Ампера от индукции магнитного поля линейная. Следовательно, поле станет в 5 раз больше и будет равно 100 мТл и увеличиться на 80 мТл. Но все же я бы не рекомендовал увлекаться устным счетом на ЦТ. Лучше потратить 1 минуту и прописать все действия, чем допустить ошибку, считая в уме.

**Ответ:** 80.

**B11.** Несмотря на то, что эта задача ее решение займет всего пару минут.

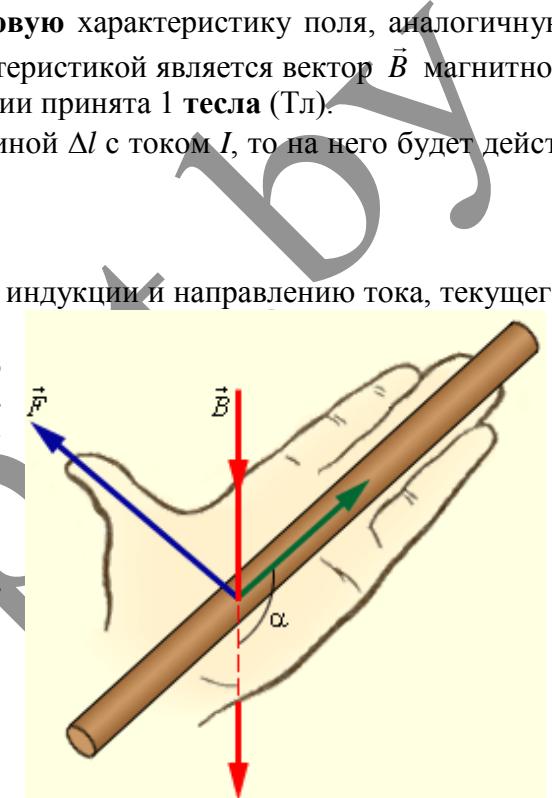
Но для начала освежим память. Простейшим видом колебательного процесса являются простые **гармонические колебания**, которые описываются уравнением

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

или

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

Здесь  $x$  – смещение тела от положения равновесия в момент времени  $t$ ,  $A$  – амплитуда колебаний, то есть **максимальное** смещение от положения равновесия,  $\omega$  – циклическая или круговая частота колебаний.



ний ( $\omega = 2\pi/T$ ),  $t$  – время. Величина, стоящая под знаком косинуса (синуса). Все это подходит и для напряжения в цепи переменного тока.

Подставим все данные в уравнения для напряжения. Получим

$$U(t) = U_0 \cos(At + B) \Rightarrow -36 = U_0 \cos\left(\frac{13\pi}{15}1,5 + \frac{\pi}{30}\right) \Rightarrow -36 = U_0 \cos\left(\frac{13\pi}{10} + \frac{\pi}{30}\right) \Rightarrow -36 = U_0 \cos\left(\frac{4\pi}{3}\right)$$

Подставляя значение косинуса полученного угла, получаем, что  $U_0 = 72$  В.

**Ответ:** 72.

**B12.** На шарик во время полета будет действовать две силы: сила тяжести вертикально вниз и сила Кулоновского взаимодействия вертикально вверх. Если первая сила всегда будет постоянна и равна

$$F_t = mg = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 10 = 5 \cdot 10^{-2} \text{ (Н)},$$

то сила Кулоновского взаимодействия будет меняться, так как она зависит от расстояния между заряженными телами. В начальный момент времени она будет равна

$$F_{K0} = k \frac{q_1 q_2}{h^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{0,5 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 10^{-6}}{1,8^2} = \frac{5}{9} \cdot 10^{-2} \text{ (Н)}.$$

По числам видно, что сила тяжести в начальный момент времени больше силы Кулоновского отталкивания. Следовательно, движение тела будет ускоренным до тех пор, пока силы не сравняются. Это произойдет на некотором расстоянии  $H$  от нижнего заряда, которое мы найдем из соотношения

$$F_K = mg \Rightarrow k \frac{q_1 q_2}{H^2} = mg \Rightarrow H = \sqrt{k \frac{q_1 q_2}{mg}} = \sqrt{9 \cdot 10^9 \frac{0,5 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot 10^{-2}}} = \sqrt{3,6 \cdot 10^{-1}} = \sqrt{0,36} = 0,6 \text{ (м)}.$$

Сразу после прохождения этой точки сила Кулона станет больше силы тяжести и движение тела перестанет быть ускоренным, став замедленным. Следовательно, именно на этой высоте скорость тела и, как следствие, кинетическая энергия тела, будут максимальны.

А теперь воспользуемся законом сохранения энергии. В начальный момент времени полная энергия системы состояла из потенциальной энергии шарика массой  $m$ , поднятого на высоту  $h$  над нулевым уровнем, и потенциальной энергии взаимодействия двух зарядов

$$W_1 = mgh + k \frac{q_1 q_2}{h}$$

На высоте  $H$  полная энергия системы будет состоять из потенциальной энергии шарика массой  $m$ , поднятого на высоту  $H$  над нулевым уровнем, кинетической энергии шарика и потенциальной энергии взаимодействия двух зарядов

$$W_1 = mgH + E_k + k \frac{q_1 q_2}{H}$$

Приравняем эти энергии. Получим

$$mgh + k \frac{q_1 q_2}{h} = mgH + E_k + k \frac{q_1 q_2}{H} \Rightarrow E_k = mgh + k \frac{q_1 q_2}{h} - \left( mgH + k \frac{q_1 q_2}{H} \right)$$

$$E_k = mg \left( h - H \right) + k q_1 q_2 \left( \frac{1}{h} - \frac{1}{H} \right)$$

Остается только подставить числа

$$E_k = mg \left( h - H \right) + k q_1 q_2 \left( \frac{H - h}{hH} \right) = 5 \cdot 10^{-2} \cdot 1,2 + 9 \cdot 10^9 \cdot 0,5 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 10^{-6} \left( \frac{1}{1,8} - \frac{1}{0,6} \right) = 4 \cdot 10^{-2} = 40 \cdot 10^{-3} \text{ (Дж)}$$

**Ответ:** 40.