

Ответы

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18
5	5	4	2	1	2	1	4	1	3	1	2	1	2	2	5	2	2
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12						
4	83	50	15	400	45	420	64	26	12	600	172						

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

Очень большое количество задач в этом тесте можно решить просто хорошо зная теорию. То есть вам не надо обладать глубокими познаниями в физике. Достаточно записать дано, вспомнить формулу по теме задачи и просто подставили данные. Все, задача решена!

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

2016/2017, 3 этап, первый вариант

A1. Рекомендую скачать у меня с сайта www.repet.by раздел «Кинематика» (он находится в свободном доступе) и внимательно изучить параграф 1.13.

Ответ: 5.

A2. Расстояние от всех частиц до линии траектории частицы А одно и то же (начертите самостоятельно траекторию движения частицы А). Так как у частиц 1–5 равные скорости, для достижения этой траектории каждой частице понадобится одно и то же время. При этом частица А за этот же промежуток времени пересечет только точку линии траектории частицы 5.

Ответ: 5.

A3. И вновь рекомендую скачать у меня с сайта www.repet.by раздел «Кинематика» и внимательно изучить параграф 1.06. Зная время движения, ускорение и пройденный телом путь, мы легко найдем начальную скорость тела из формулы $S = v_0 t + \frac{at^2}{2}$. А зная начальную скорость мы легко найдем конечную скорость $v = v_0 + at$. Вычисления сделайте самостоятельно.

Ответ: 4.

A4. При вычислении пути, пройденного трактором, важно помнить формулы, которыми можно описывать вращательное движение тела. И поэтому, чтобы у вас не было вопросов как мы раскрыли скорость и частоту вращения колеса, я настоятельно рекомендую внимательно прочитать параграф 1.14 в главе «Кинематика»

$$S = v\Delta t_2 = 2\pi R \cdot \nu \cdot \Delta t_2 = 2\pi \frac{d}{2} \cdot \frac{N}{\Delta t_1} \cdot \Delta t_2$$

Ответ: 2.

A5. Из уравнения движения мы легко (если прочитали параграф 1.13) находим ускорение, с которым двигается тело (не забываем про половину). А потом по второму закону Ньютона $F = ma$ находим проекцию силы. И не забываем, что знак силы будет иметь значение!

Ответ: 1.

A6. При решении этой задачи важно понимать, что шар будет состоять из двух частей – меди и воздуха, сумма объемов которых равна объему шара V . Если шар находится в равновесии, то сила тяжести уравновешивается силой Архимеда $mg = F_A$. Так как $F_A = \rho_{\text{глицерина}} gV$, то

$$mg = F_A \Rightarrow mg = \rho_{\text{глицерина}} gV \Rightarrow m = \rho_{\text{глицерина}} V.$$

Мы нашли массу меди и теперь можем найти объем меди

$$\rho_{\text{меди}} = \frac{m}{V_{\text{меди}}} \Rightarrow V_{\text{меди}} = \frac{\rho_{\text{глицерина}} V}{\rho_{\text{меди}}}$$

А теперь найдем объем воздуха, как разность объемов шара и меди

$$V_{\text{воздуха}} = V - V_{\text{меди}} = V - \frac{\rho_{\text{глицерина}}}{\rho_{\text{меди}}} V = V \left(\frac{\rho_{\text{меди}} - \rho_{\text{глицерина}}}{\rho_{\text{меди}}} \right)$$

Объем шара равен $V = \frac{4}{3} \pi R^3$. Следовательно,

$$\frac{4}{3} \pi R_{\text{воздуха}}^3 = \frac{4}{3} \pi R^3 \left(\frac{\rho_{\text{меди}} - \rho_{\text{глицерина}}}{\rho_{\text{меди}}} \right) \Rightarrow R_{\text{воздуха}}^3 = R^3 \left(\frac{\rho_{\text{меди}} - \rho_{\text{глицерина}}}{\rho_{\text{меди}}} \right) \Rightarrow R_{\text{воздуха}} = R \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{\rho_{\text{меди}} - \rho_{\text{глицерина}}}{\rho_{\text{меди}}} \right)}$$

А толщину стенки легко найдем как разность между радиусом шара и радиусом шарика воздуха

$$d = R - R_{\text{воздуха}} = R - R \sqrt[3]{\left(\frac{\rho_{\text{меди}} - \rho_{\text{глицерина}}}{\rho_{\text{меди}}} \right)}$$

При вычислениях надо извлечь корень третьей степени. Как вы это сделаете я не знаю.

Ответ: 2.

A7. Читаем теорию и самостоятельно решаем задачу.

Газ может участвовать в различных тепловых процессах, при которых могут изменяться все параметры, описывающие его состояние (p , V и T). В общем случае, если масса газа m и его состав (молярная масса)

M не меняются $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$ – объединенный газовый закон. Интерес представляют процессы, в которых один из параметров (p , V или T) остается неизменным. Такие процессы называются **изопроцессами**.

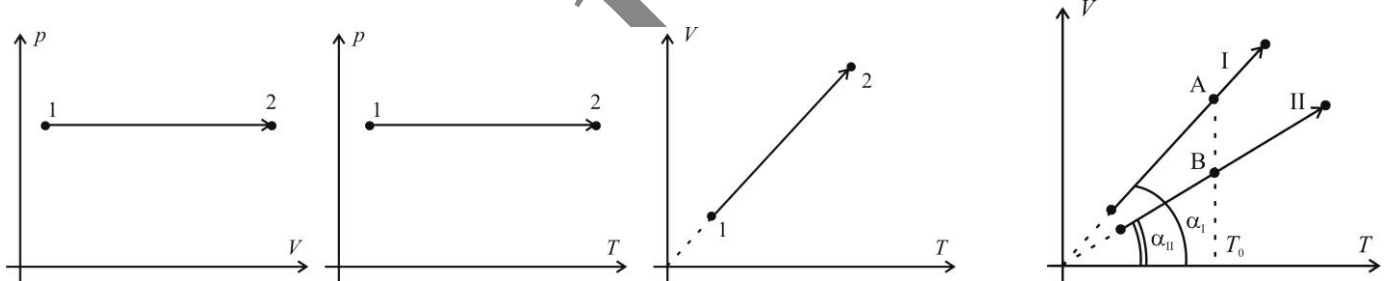
Изобарный процесс ($p = \text{const}$)

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

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

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 сможет 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 графике точки A и B (см. самый правый график). Очевидно, что объем в точке A больше объема в точке B, а температуры одинаковы. Из уравнения $pV/T = \text{const}$ следует, что давление в точке B будет больше, чем в точке A (если этот вывод для Вас не ясен уточните у меня). Чем **больше** угол наклона графика к оси, тем **меньше** будет давление.

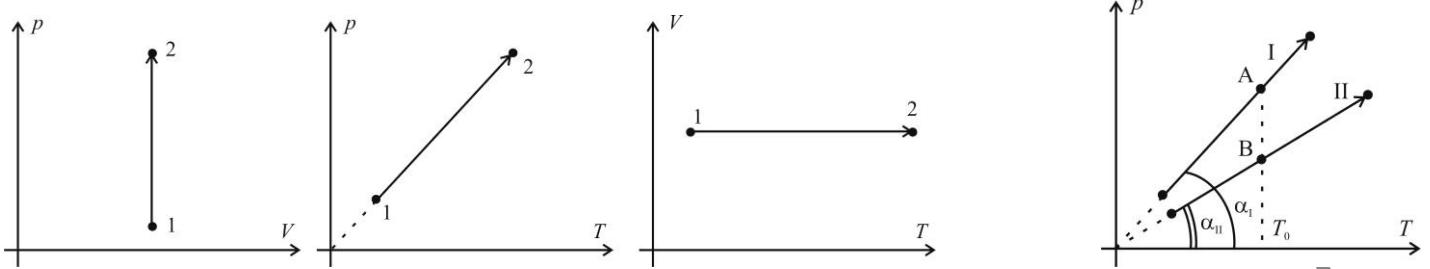
ПРИМЕНЕНИЕ. Закон Гей–Люссака применяют, если неизменным остается давление газа. Ищите в задачах слова «газ в сосуде, закрытом **ПОДВИЖНЫМ** поршнем» или «газ в **открытом** сосуде». Иногда про сосуд ничего не сказано, но по условию понятно, что он сообщается с атмосферой. Тогда считается, что атмосферное давление всегда остается неизменным (если в условии не сказано иного).

Не забывайте про перевод температуры из градусов Цельсия в кельвины!!!

Изохорный процесс ($V = \text{const}$)

Изохорный процесс – это процесс нагревания или охлаждения газа при постоянном объеме V и при условии, что количество вещества ν 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 $p/T = \text{const}$ или $p_1/T_1 = p_2/T_2$, 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 сможет начаться из начала координат, так как при очень низких температурах превращается в жидкость.

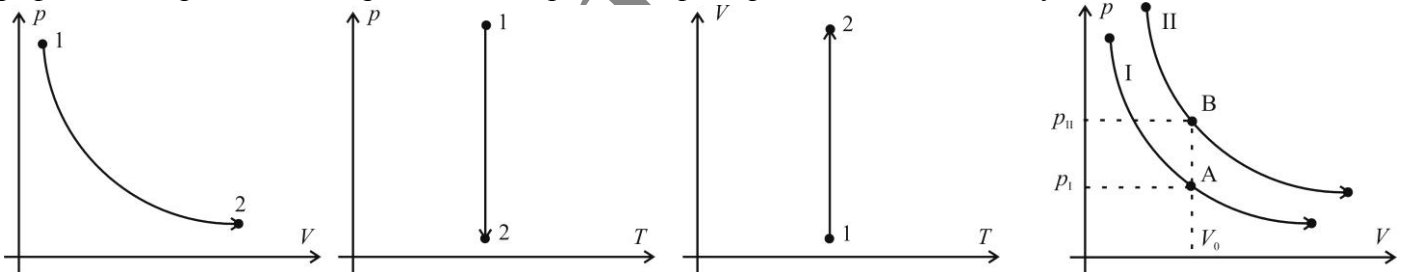
Рассмотрим два изохорных процесса. В каком из них объем больше? Выберем произвольную температуру T_0 и соответствующие ей на графике точки A и B (см. самый правый график). Очевидно, что давление в точке A больше давления в точке B, а температуры одинаковы. Из уравнения $pV/T = \text{const}$ следует, что объем в точке B будет больше, чем в точке A (если этот вывод для Вас не ясен уточните у меня). Чем **больше** угол наклона графика к оси, тем **меньше** будет объем газа.

ПРИМЕНЕНИЕ. Закон Шарля применяют в задачах, когда объем газа остается неизменным. Обычно это или сказано явно, или в задаче присутствуют слова «газ в ЗАКРЫТОМ сосуде без поршня». **Не забывайте про перевод температуры из градусов Цельсия в кельвины!!!**

Изотермический процесс ($T = \text{const}$)

Изотермическим процессом называют процесс, протекающий при постоянной температуре T . Из уравнения состояния идеального газа следует, что при постоянной температуре T и неизменном количестве вещества ν в сосуде произведение давления p газа на его объем V должно оставаться постоянным: $pV = \text{const}$ или $p_1V_1 = p_2V_2$, где p_1 и V_1 – начальные давление и объем газа, p_2 и V_2 – конечные давление и объем газа.

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



Обратите внимание на график в координатах p – V . При переходе из состояния 1 в состояние 2 давление газа падает, а объем растет. Эту закономерность процесса мы используем при построении графиков в координатах p – T и V – T .

Рассмотрим два изотермических процесса. В каком из них температура больше? Выберем произвольный объем V_0 и соответствующие ему на графике точки A и B (см. самый правый график). Очевидно, что давление в точке A меньше давления в точке B, а объемы одинаковы. Из уравнения $pV/T = \text{const}$ следует, что температура в точке B будет больше, чем в точке A (если этот вывод для Вас не ясен уточните у меня). Чем **дальше** график находится от начала координат, тем **больше** будет температура газа.

Задачу решите самостоятельно. **ПРИМЕНЕНИЕ.** Закон Бойля–Мариотта. Тут сложнее всего. Хорошо, если в задаче написано, что температура газа неизменна. Чуть хуже, если в условии присутствует слово «медленно». Например, газ медленно сжимают или медленно расширяют. Еще хуже, если сказано, что газ закрыт теплопроводящим поршнем. Наконец, совсем плохо, если про температуру не сказано ничего, но из условия можно предположить, что она не изменяется. Обычно в этом случае ученики применяют закон Бойля–Мариотта от безысходности.

КАК ЗАПОМНИТЬ НАЗВАНИЯ ПРОЦЕССОВ? Изотермический. Термический – температура. Изобарный. Есть единица измерения давления – бар. Изохорный. Вычисляем его методом исключения.

Ответ: 1.

A8. Это не простая задача, а очень простая. Самое сложное в ней это перевести температуру в Кельвины ($T(K) = T(^{\circ}C) + 273,15$), давление в Паскали и связать между собой начальный и конечный объем газа. А

так все просто: $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$ – объединенный газовый закон.

Ответ: 4.

A9. Одним из важнейших понятий термодинамики является внутренняя энергия тела. Все тела обладают энергией, заключенной внутри самих тел. С точки зрения молекулярно–кинетической теории **внутренняя энергия** вещества складывается из кинетической энергии (энергии движения) всех атомов и молекул тела и потенциальной энергии их взаимодействия друг с другом.

Внутренняя энергия **идеального газа** равна сумме только кинетических энергий всех частиц газа, находящихся в непрерывном и беспорядочном тепловом движении (по определению идеального газа, частицы идеального газа не взаимодействуют друг с другом).

ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА ЗАВИСИТ ТОЛЬКО ОТ ЕГО ТЕМПЕРАТУРЫ И НЕ ЗАВИСИТ ОТ ОБЪЕМА.

Энергия **одной** частицы находится по формуле $E = \frac{3}{2} kT$. Таким образом, внутренняя энергия идеаль-

ного газа (обозначается U) состоящего из N частиц равна $U = NE = \frac{3}{2} NkT$. Используя соотношения

$N = N_A \frac{m}{M}$ и $N_A k = R$ получим

$$U = \frac{3}{2} NkT = \frac{3}{2} N_A \frac{m}{M} kT = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT = \frac{3}{2} \nu RT \Rightarrow U = \frac{3}{2} \nu RT$$

Используя уравнение Менделеева–Клайперона $pV = \nu RT$ получим $U = \frac{3}{2} pV$.

Таким образом, мы получили две формулы для внутренней энергии идеального **одноатомного** газа

$$U = \frac{3}{2} \nu RT \text{ или } U = \frac{3}{2} pV.$$

Используя последнюю формулу, решите задачу самостоятельно.

Ответ: 1.

A10. Открываем учебник по физике и читаем теорию.

Ответ: 3.

A11. При сообщении проводнику заряда всегда существует некоторый предел, более которого зарядить тело не удастся, так как любой диэлектрик в сильном электрическом поле становится проводником и через него накопивший заряд проводник разряжается. Точно так же в литровую банку больше одного литра жидкости нельзя налить – жидкость начнет переливаться через край.

Для характеристики способности тела накапливать электрический заряд вводят понятие **электрической емкости**. **Емкостью уединенного проводника** называют отношение его заряда к потенциалу $C = \frac{q}{\varphi}$.

В системе СИ емкость измеряется в **Фарадах (Ф)**. 1 Фарад – чрезвычайно большая емкость. Для сравнения, емкость всего земного шара значительно меньше одного фарада.

ЕМКОСТЬ ПРОВОДНИКА НЕ ЗАВИСИТ НИ ОТ ЕГО ЗАРЯДА, НИ ОТ ПОТЕНЦИАЛА ТЕЛА (самая типичная ошибка!!!). Аналогично плотность не зависит ни от массы, ни от объема тела. Емкость зависит лишь от формы тела, его размеров и свойств окружающей его среды.

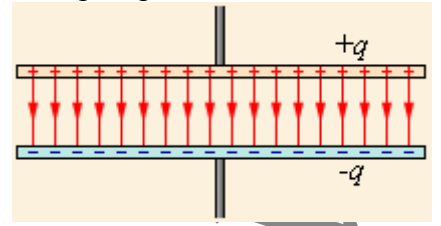
Если двум изолированным друг от друга проводникам сообщить заряды q_1 и q_2 , то между ними возникает некоторая **разность потенциалов** $\Delta\varphi$, зависящая от величин зарядов и геометрии проводников. Разность потенциалов $\Delta\varphi$ между двумя точками в электрическом поле часто называют **напряжением** и обозначают буквой U . Наибольший практический интерес представляет случай, когда заряды проводников одинаковы по модулю и противоположны по знаку: $q_1 = -q_2 = q$. В этом случае можно ввести понятие **электрической емкости**.

Емкостью системы из двух проводников называется физическая величина, определяемая как отношение заряда q одного из проводников к разности потенциалов $\Delta\phi$ между ними: $C = \frac{q}{U}$.

В системе СИ единица емкости называется **фарад** ($1 \text{ Ф} = 1 \text{ Кл/1 В}$).

Величина емкости зависит от формы и размеров проводников и от свойств диэлектрика, разделяющего проводники. Существуют такие конфигурации проводников, при которых электрическое поле оказывается сосредоточенным (локализованным) лишь в некоторой области пространства. Такие системы называются **конденсаторами**, а проводники, составляющие конденсатор, называются **обкладками**.

Простейший конденсатор – система из двух плоских проводящих пластин, расположенных параллельно друг другу на малом по сравнению с размерами пластин расстоянии и разделенных слоем диэлектрика. Такой конденсатор называется **плоским**.



Емкость плоского конденсатора прямо пропорциональна площади пластин (обкладок) S и обратно пропорциональна расстоянию между ними d : $C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$.

Опыт показывает, что заряженный конденсатор содержит запас энергии. Энергия заряженного конденсатора равна работе внешних сил, которую необходимо затратить, чтобы зарядить конденсатор.

Энергия конденсатора емкости C , заряженного зарядом q , может быть найдена по формуле $W_C = \frac{q^2}{2C}$.

Формулу, выражающую энергию заряженного конденсатора, можно переписать в другой эквивалентной форме, если воспользоваться соотношением $q = CU$: $W_C = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2} = \frac{qU}{2}$.

При решении задач такого плана помните, что если конденсатор подключен к источнику напряжения, то при любых манипуляциях с конденсатором (раздвижение пластин, внесение диэлектрика) напряжение на нем не изменится (меняться будет только его емкость и заряд на обкладках). Если же конденсатор отключен от источника, то постоянным будет заряд на его обкладках (электронам попросту некуда убежать с обкладок), а меняться будет напряжение на конденсаторе и его емкость.

Работа, совершенная внешними силами, будет равна разности конечной и начальной энергии конденсатора. Так как по условию задачи конденсатор отключен от источника, то заряд на конденсаторе остается постоянным. Поэтому энергию конденсатора до и после раздвижения обкладок удобнее посчитать по

формуле без напряжения, то есть $A = W_2 - W_1 = \frac{q_0^2}{2C_2} - \frac{q_0^2}{2C_1}$, где $q_0 = CU$ – начальный заряд конденсатора,

$C_1 = C$ – начальная емкость конденсатора, $C_2 = C/3$ – конечная емкость конденсатора (после того, как раздвинули обкладки). Получаем

$$A = \frac{q_0^2}{2} \left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_1} \right) = \frac{(CU)^2}{2} \left(\frac{1}{C/3} - \frac{1}{C} \right) = \frac{(CU)^2}{2} \left(\frac{3}{C} - \frac{1}{C} \right) = \frac{(CU)^2}{2} \frac{2}{C} = CU^2$$

Ответ: 2.

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 приня-

то 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**, сокращенно ВАХ) изображается прямой линией, проходящей через начало координат. Следует отметить, что существует много материалов и устройств, не подчиняющихся закону Ома. Например, полупроводниковый диод или газоразрядная лампа. Даже у металлических проводников при достаточно больших токах на-

блюдается отклонение от линейного закона Ома, так как **электрическое сопротивление металлических проводников растет с ростом температуры.**

Проводники в электрических цепях можно соединять двумя способами: **последовательно и параллельно.** У каждого способа есть свои закономерности.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ

При последовательном соединении (когда конец одного проводника соединен с началом другого) проводников сила тока во всех проводниках одинакова: $I_1 = I_2 = I$.

По закону Ома, напряжения U_1 и U_2 на проводниках равны: $U_1 = IR_1$, $U_2 = IR_2$.

Общее напряжение U на обоих проводниках равно сумме напряжений U_1 и U_2 : $U = U_1 + U_2 = I(R_1 + R_2) = IR$,

где R – электрическое сопротивление всей цепи. Отсюда следует: $R = R_1 + R_2$.

При последовательном соединении полное сопротивление цепи равно сумме сопротивлений отдельных проводников. Этот результат справедлив для любого числа последовательно соединенных проводников

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 \dots$$

Если же в цепь последовательно включено n **ОДИНАКОВЫХ** сопротивлений R , то общее сопротивление R_0 находится по формуле: $R_0 = n \cdot R$.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ

При параллельном соединении (когда у резисторов общее начало и общий конец) напряжения U_1 и U_2 на обоих проводниках одинаковы (каждый из потребителей напрямую подключен к источнику): $U_1 = U_2 = U$. Сумма токов I_1 и I_2 , протекающих по обоим проводникам, равна току в неразветвленной цепи: $I = I_1 + I_2$. Этот результат следует из того, что в точках разветвления токов (узлы А и В) в цепи постоянного тока не могут накапливаться заряды. Например, к узлу А за время Δt подтекает заряд $I\Delta t$, а утекает от узла за то же время заряд $I_1\Delta t + I_2\Delta t$. Следовательно, $I = I_1 + I_2$.

Записывая на основании закона Ома: $I_1 = \frac{U}{R_1}$, $I_2 = \frac{U}{R_2}$, $I = \frac{U}{R}$,

где R – электрическое сопротивление всей цепи, получим

$$I = I_1 + I_2 \Rightarrow \frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} \Rightarrow \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

или (после приведения к общему знаменателю): $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$.

При параллельном соединении проводников величина, обратная общему сопротивлению цепи, равна сумме величин, обратных сопротивлениям параллельно включенных проводников: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} \dots$

То есть при параллельном соединении общее сопротивление ВСЕГДА будет меньше минимального сопротивления участка цепи. То есть если у нас сопротивления резисторов 3 и 5 Ом, то общее будет меньше 3 Ом. Этот результат справедлив для любого числа параллельно включенных проводников. Если же в цепь параллельно включено n **ОДИНАКОВЫХ** сопротивлений R , то общее сопротивление R_0 находится по формуле: $R_0 = \frac{R}{n}$.

ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ УДОБНО ПОЛЬЗОВАТЬСЯ СЛЕДУЮЩИМИ СООТНОШЕНИЯМИ:

$$\text{для последовательного: } I_1 = I_2 \Rightarrow \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2}; \quad \text{для параллельного: } U_1 = U_2 \Rightarrow I_1 R_1 = I_2 R_2.$$

именно последнее соотношение мы будем использовать для решения задачи. В нашем случае

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 \Rightarrow I_1 0,5R = I_0 R \Rightarrow I_1 = 2I_0$$

То есть общий ток будет равен $3I_0$. А теперь надо определиться с направлением тока. В физике за направление электрического тока принято направление движения положительно заряженных частиц, то есть ток будет идти от плюса к минусу.

Ответ: 2.

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.

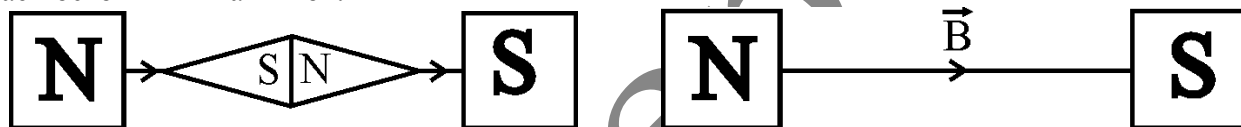
Вектор магнитной индукции направлен по касательной к силовым линиям, то есть совпадает с направлением северного полюса магнитной стрелки, помещенной в данное магнитное поле.

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 полюсами дугообразного магнита.

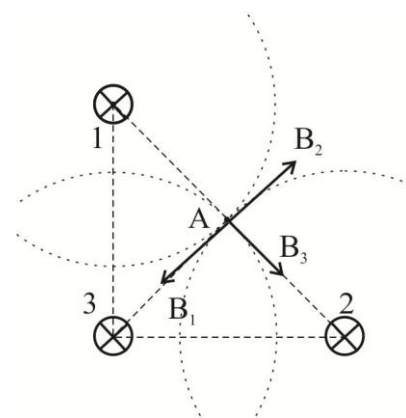
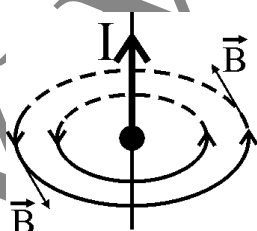
СИЛОВАЯ ЛИНИЯ НАПРАВЛЕНА ОТ ЮЖНОГО ПОЛЮСА МАГНИТНОЙ СТРЕЛКИ К СЕВЕРНОМУ, ТО ЕСТЬ ОТ СЕВЕРНОГО ПОЛЮСА МАГНИТА К ЮЖНОМУ.

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.

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. На рисунке указываем направление индукции магнитного поля каждого из токов. Магнитные поля первого и второго токов компенсируют друг друга. Куда будет направлено результирующее поле решите сами.

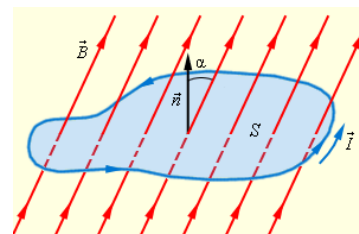
Ответ: 1.

A14. Магнитным потоком Φ через площадь S контура называют величину

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

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

Единица магнитного потока в системе СИ называется **вебером** (Вб). Маг-



нитный поток, равный 1 Вб, создается магнитным полем с индукцией 1 Тл, пронизывающим по направлению нормали плоский контур площадью 1 м²:

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

Фарадей экспериментально установил, что при изменении магнитного 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): $\varepsilon_{\text{инд}} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$.

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** Φ , 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 $\varepsilon_{\text{инд}} = \varepsilon_L = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$. Осталось только показать чему равно изменение силы тока $\Delta I = I_2 - I_1$ и подставить числа.

Ответ: 2.

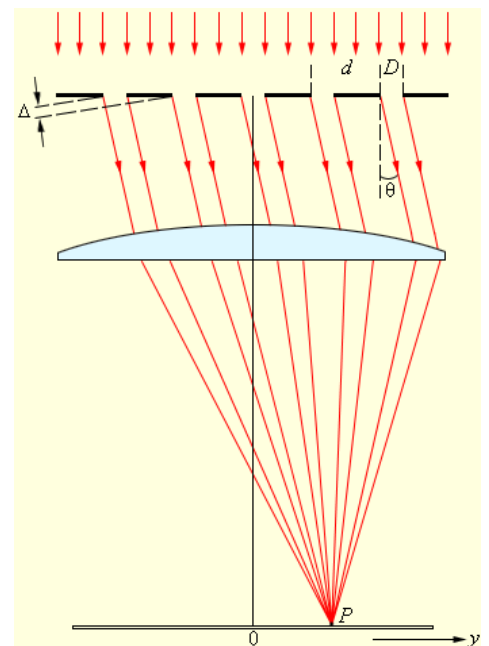
A15. Максимальная кинетическая энергия шарика равна $W = \frac{mv^2}{2}$. Очевидно, что энергия будет максимальной в тот момент времени, когда максимальна скорость шарика. Максимальная скорость шарика равна $v = \omega A$. При этом циклическую частоту колебаний можно выразить через частоту колебаний $\omega = 2\pi\nu$. А теперь объединим все эти формулы

$$W = \frac{m(\omega A)^2}{2} \Rightarrow W = \frac{m(2\pi\nu A)^2}{2} \Rightarrow W = \frac{\nu^2 m (2\pi A)^2}{2} \Rightarrow \nu^2 = \frac{2W}{m(2\pi A)^2} \Rightarrow \nu = \frac{1}{2\pi A} \sqrt{\frac{2W}{m}}$$

Ответ: 2.

A16. Дифракцией света называется явление отклонения света от прямолинейного направления распространения при прохождении вблизи препятствий (отгибание светом препятствий). Как показывает опыт, свет при определенных условиях может заходить в область геометрической тени (то есть быть там, где его быть не должно). Если на пути параллельного светового пучка расположено круглое препятствие (круглый диск, шарик или круглое отверстие в непрозрачном экране), то на экране, расположенном на достаточно большом расстоянии от препятствия, появляется **дифракционная картина** – система чередующихся светлых и темных колец. Если препятствие имеет линейный характер (щель, нить, край экрана), то на экране возникает система параллельных дифракционных полос.

Задачи на дифракцию будут связаны в основном с дифракционными решетками. **Дифракционные решетки** представляют собой периодические структуры, выгравированные специальной делительной машиной на поверхности стеклянной или металлической пластинки (см. рисунок). У хороших решеток параллельные друг другу штрихи имеют длину порядка 10 см, а на каждый миллиметр приходится до 2000 штрихов. В качестве дифракционной решетки может быть использован кусочек компакт-диска или даже осколок грампластинки.



В каждой точке P на экране в фокальной плоскости линзы соберутся лучи, которые до линзы были параллельны между собой и распространялись под определенным углом θ к направлению падающей волны. Колебание в точке P является результатом интерференции вторичных волн, приходящих в эту точку от разных щелей. Для того, чтобы в точке P наблюдался интерференционный максимум, разность хода Δ между вторичными волнами, испущенными соседними щелями, должна быть равна целому числу длин волн:

$$\Delta = d \sin \theta_m = m\lambda.$$

Здесь d – период решетки (ширина щели плюс ширина промежутка между щелями см. рисунок, или 1 метр деленный на количество штрихов; иногда эту величину называют еще и постоянной решетки), m – целое число, которое называется **порядком дифракционного максимума** ($m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$). В тех точках экрана, для которых это условие выполнено, располагаются так называемые **главные максимумы** дифракционной картины.

Если в задаче требуется найти максимально возможный порядок (m) наблюдаемого максимума, то вместо угла θ ставим угол 90° . При этом получившийся порядок максимума (например, $m=8,75$) округляем в **МЕНЬШУЮ** сторону (до 8).

Если в задаче требуется найти **ПОЛНОЕ КОЛИЧЕСТВО МАКСИМУМОВ**, то сначала находим максимальный порядок (например, он равен 6). Затем вспоминаем, что максимумы будут и с другой стороны. Следовательно, умножаем количество максимумов на 2 (получаем 12). Это **НЕПРАВИЛЬНЫЙ ОТВЕТ!** Надо к 12 прибавить еще 1, так как будет еще и центральный максимум. Значит, полное число максимумов будет 13. Задачу решите самостоятельно.

Ответ: 5.

A17. Проанализировав всю совокупность опытных фактов, Бор сформулировал постулаты, которым должна удовлетворять теория о строении атомов:

Первый постулат Бора (постулат стационарных состояний): атомная система может находиться только в особых стационарных или квантовых состояниях, каждому из которых соответствует 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: $h\nu_{nm} = E_n - E_m$, где h – постоянная Планка. Отсюда можно выразить частоту излучения: $\nu_{nm} = \frac{E_n - E_m}{h}$.

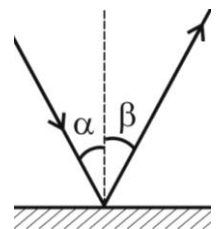
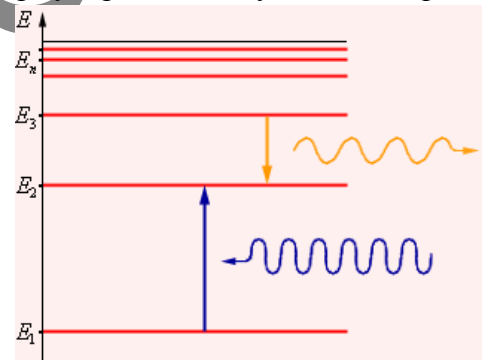
Не лишним будет помнить, что на первом уровне энергия электрона равна $-13,6$ эВ, а энергия на более высоких уровнях равна $E_n = -\frac{E_1}{n^2}$, где n – порядковый номер уровня. Задачу решите самостоятельно.

Ответ: 2.

A18. В геометрической оптике свет рассматривают как совокупность лучей, которые в отсутствии препятствий (зеркал, линз, границы раздела двух оптически прозрачных сред) распространяются прямолинейно. Основные законы геометрической оптики были известны задолго до установления физической природы света.

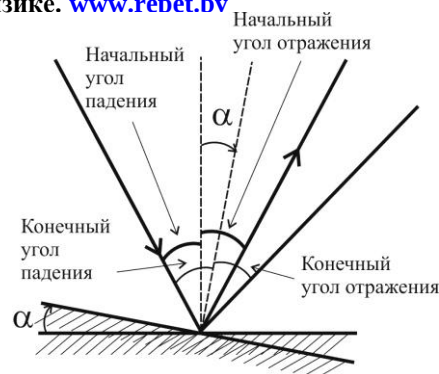
ЗАКОН ПРЯМОЛИНЕЙНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВЕТА: в оптически однородной среде свет распространяется прямолинейно.

ЗАКОН ОТРАЖЕНИЯ СВЕТА: падающий и отраженный лучи, а также перпендикуляр к границе раздела двух сред, восстановленный в точке падения луча, лежат в одной плоскости (плоскость падения). Угол отражения β равен углу падения α .



А теперь вернемся к нашей задаче. Если повернуть зеркало на угол α , то угол между падающим лучом и нормалью к зеркалу (угол падения) изменится на α . Угол отражения, равный углу падения, также изменится на α . Угол между падающим и отраженным лучами, равный сумме угла падения и угла отражения, изменится на 2α . Так как падающий луч не меняет направления, то при повороте зеркала на α отраженный луч повернется на 2α . В данном случае отраженный луч повернулся на 30° , значит, зеркало было повернуто на 15° .

Ответ: 2.



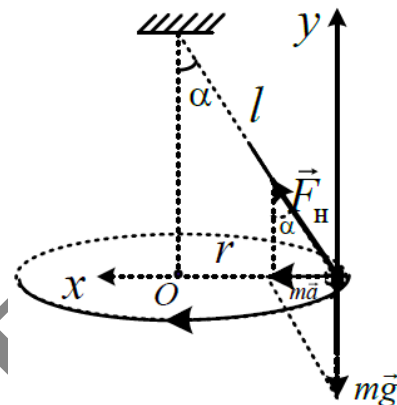
В1. Внимательно изучив параграф 1.11 из темы «Кинематика», вы без проблем решите данную задачу. **Ответ: 4.**

В2. Запишем второй закон Ньютона в проекциях на ось OX и OY и разделим первое уравнение на второе. Получим

$$\begin{aligned} OX : F \sin \alpha &= ma \\ OY : F \cos \alpha - mg &= 0 \end{aligned} \Rightarrow \begin{aligned} F \sin \alpha &= ma \\ F \cos \alpha &= mg \end{aligned} \Rightarrow \frac{F \sin \alpha}{F \cos \alpha} = \frac{ma}{mg} \Rightarrow \operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{g}$$

Ускорение, с которым движется шарик, центростремительное (параграф 1.14 в главе «Кинематика»; обязательно повторите его, так как сейчас мы будем использовать формулу для скорости через период обращения и радиус окружности именно из этой темы). Следовательно,

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{g} \Rightarrow \operatorname{tg} \alpha = \frac{\frac{v^2}{R}}{g} \Rightarrow \operatorname{tg} \alpha = \frac{v^2}{Rg} = \frac{\left(\frac{2\pi R}{T}\right)^2}{Rg} = \frac{4\pi^2 R^2}{RgT^2} = \frac{4\pi^2 R}{gT^2} \Rightarrow R = \frac{gT^2 \operatorname{tg} \alpha}{4\pi^2}. \text{ Ответ: 83.}$$



В3. При броске вверх скорость тела будет уменьшаться и через 2 секунды будет равна $v = v_0 - gt$. Ну а кинетическую энергию вычислим по формуле $E = \frac{mv^2}{2}$. **Ответ: 50.**

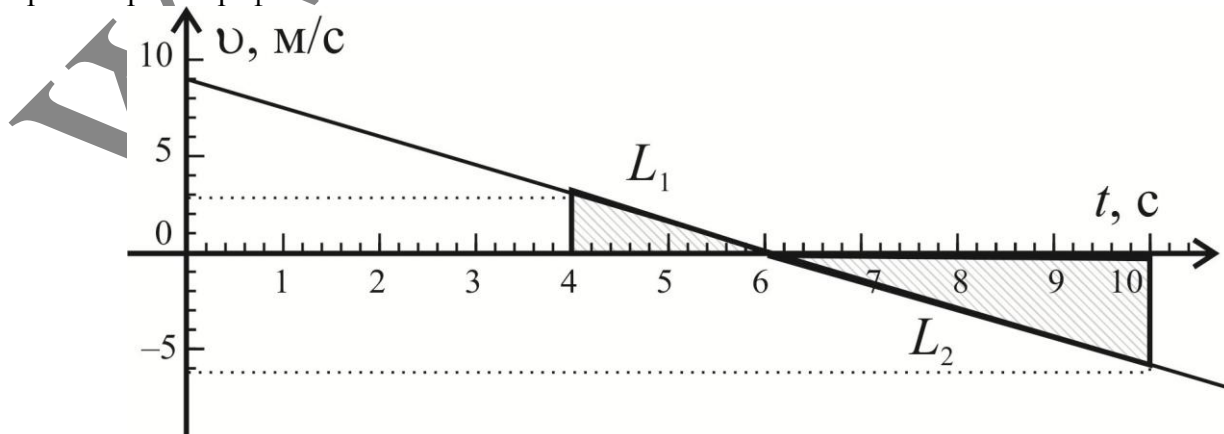
В4. И опять рекомендую внимательно изучить темы 1.06 (о развороте тела) и 1.13. Если не хотите сделать ошибку при решении таких задач, то все задачи на расчет пути при **развороте** решайте ТОЛЬКО графически! Исходя из данных задачи начальная скорость равна 9 м/с, ускорение $-1,5 \text{ м/с}^2$. Запишем зависимость скорости от времени

$$v = 9 - 1,5t$$

Для построения графика зависимости скорости от времени нам понадобится всего два момента времени (ведь зависимость линейная). Однако для удобства расчетов лучше взять чуть больше: начальный момент времени, момент остановки, а так же моменты времени 4 и 10 секунд.

$$v(0) = 9 \text{ м/с}, \quad v(4) = 3 \text{ м/с}, \quad v(10) = -6 \text{ м/с}, \quad v(6) = 0 \text{ м/с}$$

Теперь построим график.



Для нахождения пути, пройденного телом, нам надо найти площади двух треугольников и сложить их.

Ответ: 15.

В5. Скорость теплового движения молекул определяется температурой вещества. Для идеального газа эта зависимость выражается простой формулой c , где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура, m_0 – масса молекулы. Запишем эту формулу для двух молекул

$$\begin{aligned} v_{\text{кв1}} &= \sqrt{\frac{3kT}{m_{01}}} \\ v_{\text{кв2}} &= \sqrt{\frac{3kT}{m_{02}}} \end{aligned} \Rightarrow \frac{v_{\text{кв1}}}{v_{\text{кв2}}} = \frac{\sqrt{\frac{3kT}{m_{01}}}}{\sqrt{\frac{3kT}{m_{02}}}} = \sqrt{\frac{m_{02}}{m_{01}}} \Rightarrow v_{\text{кв1}} = v_{\text{кв2}} \sqrt{\frac{m_{02}}{m_{01}}}$$

Ответ: 400.

В6. Если в результате теплообмена телу передается некоторое количество теплоты, то внутренняя энергия тела и, естественно, его температура изменяются. Количество теплоты Q , необходимое для нагревания 1 кг вещества на 1 К называют **удельной теплоемкостью вещества** c .

$$Q = cm(t_2 - t_1) = cm\Delta t.$$

При этом в этой формуле абсолютно не важно в каких единицах подставлена температура, так как нам важно не ее абсолютное значение, а **ИЗМЕНЕНИЕ! Поэтому НЕ ВАЖНО в каких единицах мы будем подставлять температуру!!!** Единица измерения удельной теплоемкости вещества

$$c = \frac{Q}{m\Delta t}; \quad [c] = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ кг} \cdot 1^\circ \text{C}}.$$

Физический смысл УДЕЛЬНОЙ теплоёмкости вещества: она показывает, какое количество теплоты надо сообщить телу массой 1 кг, чтобы нагреть его на один градус.

Например, теплоемкость воды 4200 Дж/кг $^\circ$ С, следовательно для того чтобы нагреть 1 кг воды на 1 градус надо затратить 4200 Дж энергии. Чем больше теплоемкость тела, тем медленней оно нагревается, и, естественно, тем медленней тело остывает.

Если $t_2 > t_1$, то $Q > 0$ – тело нагревается (получает тепло). Если $t_2 < t_1$, то $Q < 0$ – тело охлаждается (отдает тепло).

Процесс перехода из жидкого состояния в газообразное (**парообразование**) или из твердого в жидкое (**плавление**) может происходить только при сообщении веществу некоторого количества теплоты.

Простой пример. Вы ставите на плиту чайник с водой и доводите воду до кипения. Вода в чайнике кипит. Что будет, если выключить конфорку? Правильно, кипение прекратится. То есть для того, чтобы вода полностью превратилась в пар, конфорка должна продолжать работать и постоянно передавать воде тепло, необходимое для превращения воды в пар.

Обратные фазовые переходы (**конденсация и кристаллизация [отвердевание]**) сопровождаются **ВЫДЕЛЕНИЕМ ТАКОГО ЖЕ КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОТЫ**. То есть если на плавление некоторого количества металла мы затратили 1000 Дж, то те же 1000 Дж выделятся при затвердевании такого же количества металла.

Количество теплоты, поступающее в систему или выделяющееся из нее, изменяет ее внутреннюю энергию. Это означает, что внутренняя энергия пара при 100 $^\circ$ С больше, чем, чем внутренняя энергия жидкости при той же температуре. Указанные фазовые переходы идут при постоянных температурах, которые называются соответственно **температурой кипения и температурой плавления**.

ИСПАРЕНИЕ. Количество теплоты, необходимое для превращения жидкости в пар при постоянной температуре или **выделяемое** паром при конденсации, называется **теплотой парообразования** $Q = Lm$, где L (в некоторых учебных пособиях обозначают r) – **удельная теплота парообразования**. Единица измерения $[L] = 1 \text{ Дж/кг}$. Эта энергия тратится на увеличение потенциальной энергии молекул.

Физический смысл удельной теплоты парообразования: теплота, необходимая для перевода 1 килограмма вещества находящегося при температуре кипения из жидкого агрегатного состояния в газообразное. Например, удельная теплота парообразования воды – 2260 кДж/кг. Это означает, что для того, чтобы превратить 1 кг воды, находящийся при температуре кипения (100 $^\circ$ С) в 1 кг пара при той же температуре понадобится 2260 кДж. В общем случае превращение жидкости в пар не требует доведение жидкости до кипения. Вода может превратиться в пар и при комнатной температуре. Такой процесс называется испарением. Отличие испарения от кипения в том, что испарение происходит медленнее и только с поверхности жидкости, а кипение идет по всему объему жидкости и гораздо интенсивнее.

ПЛАВЛЕНИЕ. Количество теплоты, необходимое для **плавления** тела или **выделяемое** при кристаллизации (отвердевании), называется **теплотой плавления** $Q = \lambda m$, где λ – **удельная теплота плавления**.

ния. Единица измерения $[\lambda] = 1 \text{ Дж/кг}$.

Физический смысл удельной теплоты плавления: теплота, необходимая для перевода 1 килограмма вещества находящегося при температуре плавления из твердого агрегатного состояния в жидкое. Например, удельная теплота плавления льда 330 кДж/кг . Это означает, что для того, чтобы превратить 1 кг льда при 0°C в 1 кг воды при той же температуре понадобится 330 кДж .

Удельные теплоты парообразования и плавления называются **скрытыми теплотами**, поскольку при фазовых переходах температура системы не меняется, несмотря на то, что теплота к ней подводится.

Рассмотрим один простой пример. Нам необходимо превратить 1 кг льда при температуре -50°C в пар при 100°C . Для начала лед нужно нагреть до температуры плавления, то есть до 0°C

$$Q_1 = c_{\text{льда}} m (0^\circ\text{C} - (-50^\circ\text{C})) = c_{\text{льда}} m \cdot 50.$$

Потом лед при 0°C необходимо расплавить

$$Q_2 = \lambda_{\text{льда}} m.$$

Потом нагреваем получившуюся воду до температуры кипения.

Очевидно, что масса получившейся воды будет равна массе льда: $Q_3 = c_{\text{воды}} m (100^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}) = c_{\text{воды}} m \cdot 100.$

И, наконец, превращаем воду в пар: $Q_4 = L m_{\text{пара}}.$

Таким образом, на преобразование льда в пар мы затратили количество теплоты равное: $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4.$

Графически данный процесс представлен на рисунке.

Удельная теплота парообразования вещества всегда больше удельной теплоты плавления. Почему? При парообразовании сильно меняется потенциальная энергия взаимодействия молекул. В газообразном состоянии расстояние между молекулами всегда намного больше расстояний в твердом и в жидком состояниях.

В нашей задаче вода, которую влили в калориметр, отдавала тепло: $Q_{\text{отд}} = c_{\text{воды}} m_{\text{воды}} (70^\circ\text{C} - T).$ При этом лед получал теплоту: $Q_{\text{получ}} = \lambda m_{\text{льда}} + c_{\text{воды}} m_{\text{льда}} (T - 0^\circ\text{C}).$ В соответствии с законом сохранения энергии для **замкнутой системы тел**, в которой не происходит никаких превращений энергии, кроме теплообмена, **количество теплоты, отдаваемое более нагретыми телами, будет равно количеству теплоты, получаемому более холодными.** Теплообмен прекращается в состоянии термодинамического равновесия, то есть когда температура всех тел системы становится одинаковой. То есть, количество отданной водой теплоты равно количеству теплоты, полученной льдом

$$Q_{\text{отд}} = Q_{\text{получ}} \Rightarrow c_{\text{воды}} m_{\text{воды}} (70^\circ\text{C} - T) = \lambda m_{\text{льда}} + c_{\text{воды}} m_{\text{льда}} (T - 0^\circ\text{C})$$

При решении таких задач проще всего сразу подставлять числа.

Ответ: 45.

В7. Пусть газ находится в сосуде, закрытом подвижным поршнем. Давление газа равно внешнему давлению p , так как поршень подвижен. Это давление будет постоянно. Пусть газ расширяется. Например, его нагрели. По определению, работа силы равна

$$A = F \cdot \Delta l.$$

где $F = pS$ — сила давления газа на поршень, Δl — расстояние, пройденное поршнем при расширении. Получаем

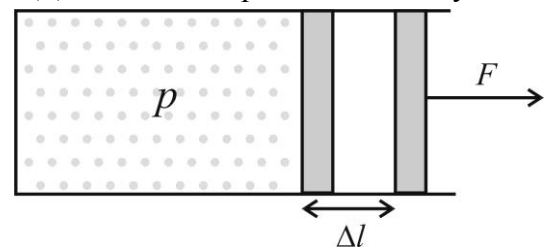
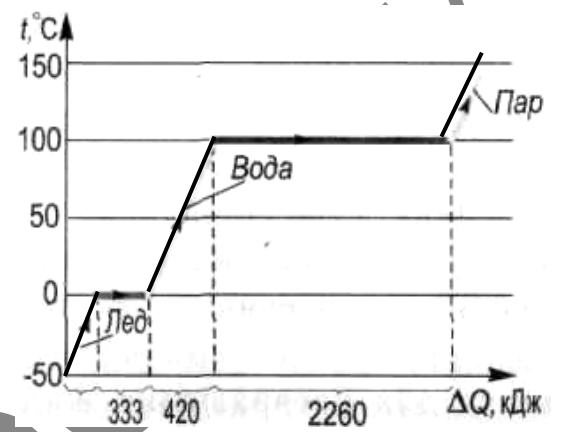
$$A = F \cdot \Delta l = pS \cdot \Delta l = p \Delta V.$$

Первый закон термодинамики является обобщением закона сохранения и превращения энергии для термодинамической системы. Он формулируется следующим образом:

Изменение ΔU внутренней энергии неизолированной термодинамической системы равно разности между количеством теплоты Q , переданной системе, и работой A , совершенной системой над внешними телами: $\Delta U = Q - A.$

Соотношение, выражающее первый закон термодинамики, часто записывают в другой форме. На мой взгляд, следующая запись более понятна: $Q = \Delta U + A.$ Сформулируем первый закон термодинамики по этой записи.

Количество теплоты, полученное системой, идет на изменение ее внутренней энергии и на совершение



работы системой над внешними телами (или просто на совершение системой работы).
Так как процесс изобарный, то первый закон термодинамики будет иметь вид

$$Q = \Delta U + A = \frac{3}{2} p \Delta V + p \Delta V = \frac{5}{2} p \Delta V = \frac{5}{2} p S \Delta h$$

И не забывайте перевести все единицы в систему СИ!

Ответ: 420.

В8. Почти 90 % из известных 2500 атомных ядер нестабильны. Нестабильное ядро самопроизвольно превращается в другие ядра с испусканием частиц. Это свойство ядер называется **радиоактивностью**.

Закон радиоактивного распада. В любом образце радиоактивного вещества содержится огромное число радиоактивных атомов. Так как радиоактивный распад имеет случайный характер и не зависит от внешних условий, то закон убывания количества $N(t)$ **НЕ-РАСПАВШИХСЯ** к данному моменту времени t ядер может служить важной статистической характеристикой процесса радиоактивного распада. Закон радиоактивного

распада имеет вид: $N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}$, где N – число **НЕ-РАСПАВШИХСЯ** ядер через промежуток времени t , N_0 – начальное число ядер. Величина T называется **периодом полураспада**.

Через время равное периоду полураспада распадается половина исходного количества радиоактивного вещества. Например, было 50 грамм радиоактивного вещества. Через период полураспада останется 25 грамм. Еще через период полураспада останется 12,5 грамм и так далее. То есть происходит постоянное деление пополам оставшегося количества нераспавшегося вещества. Рисунок графически иллюстрирует закон радиоактивного распада. Возвращаемся к задаче.

У нас прошло 2 периода полураспада. Следовательно, распалось 50% (первый период) + 25% (второй период) = 75% начального количества вещества. А теперь составим пропорцию

$$\frac{75\% - 48 \text{ грамм}}{100\% - m} \Rightarrow m = \frac{100\%}{75\%} \cdot 48 (\text{грамм}) = 64 (\text{грамма})$$

Ответ: 64.

В9. При перемещении заряда q в электрическом поле из точки А в точку В электрические силы совершают работу. Эта работа при перемещении на $\Delta l = AB$ равна:

$$A = F \cdot \Delta l \cdot \cos \alpha = qE \cdot \Delta l \cdot \cos \alpha.$$

Учитывая, что $AB \cos \alpha = d$: $A = qEd$.

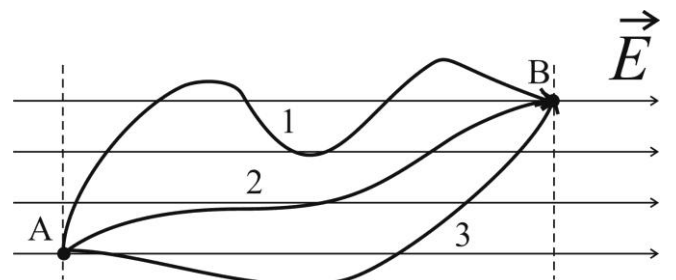
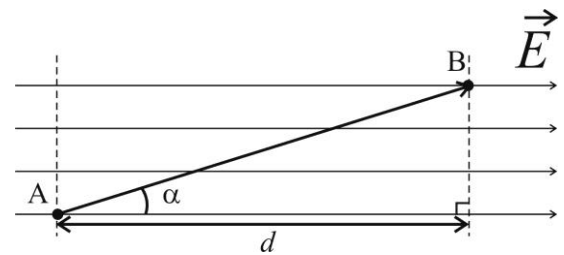
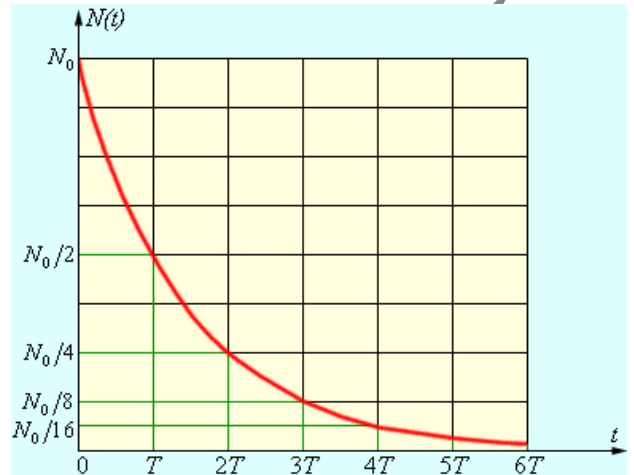
То есть нам важно насколько заряд переместился **ВДОЛЬ** линий поля!!! Если заряд перемещается **перпендикулярно линиям поля**, то работа электростатических сил при таком движении будет равна нулю. Электростатическое поле обладает важным свойством:

Работа сил электростатического поля при перемещении заряда из одной точки поля в другую НЕ ЗАВИСИТ ОТ ФОРМЫ ТРАЕКТОРИИ, а определяется только положением начальной и конечной точек и величиной заряда.

Аналогичным свойством обладает и гравитационное поле, и в этом нет ничего удивительного, так как гравитационные и кулоновские силы описываются похожими соотношениями.

Следствием независимости работы от формы траектории является следующее утверждение: Работа сил электростатического поля при перемещении заряда по любой **ЗАМКНУТОЙ** траектории равна нулю.

На рисунке изображены силовые линии кулоновского поля и три различные траектории перемещения заряда q из начальной точки А в конечную точку В. На



всех траекториях изображенных на рисунке, работы кулоновских сил одинаковы!!! Если на одной из траекторий изменить направление перемещения заряда q на противоположное, то и работа изменит знак. Отсюда следует, что на замкнутой траектории работа кулоновских сил равна нулю.

Свойство потенциальности (независимости работы от формы траектории) электростатического поля позволяет ввести понятие **потенциальной энергии** заряда в электрическом поле. Для этого в пространстве выбирается некоторая точка (0), и потенциальная энергия заряда q , помещенного в эту точку, принимается равной нулю (см. рисунок).

Потенциальная энергия заряда q , помещенного в любую точку (1) пространства, относительно фиксированной точки (0) равна работе A_{10} , которую совершит электростатическое поле при перемещении заряда q из точки (1) в точку (0): $W_{p1} = A_{10}$.

В электростатике энергию принято обозначать буквой W , так как буквой E обозначают напряженность поля.

Так же, как и в механике (вспоминайте про выбор нулевого уровня при отсчете потенциальной энергии тела), потенциальная энергия зависит от выбора опорной точки (0). Такая неоднозначность в определении потенциальной энергии не приводит к каким-либо недоразумениям, так как физический смысл имеет не сама потенциальная энергия, а разность ее значений в двух точках пространства. Работа, совершаемая электрическим полем при перемещении точечного заряда q из точки (1) в точку (2) (см. рисунок), равна разности значений потенциальной энергии в этих точках и не зависит от пути перемещения заряда и от выбора точки (0).

Потенциальная энергия заряда q , помещенного в электрическое поле, пропорциональна величине этого заряда. Физическую величину, равную отношению потенциальной энергии электрического заряда в электростатическом поле к величине этого заряда, называют **потенциалом** φ электрического поля

$$\varphi = \frac{W_p}{q}.$$

Потенциал φ является **ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ** электростатического поля.

Работа A_{12} по перемещению электрического заряда q из начальной точки (1) в конечную точку (2) равна произведению заряда на **РАЗНОСТЬ ПОТЕНЦИАЛОВ** ($\varphi_1 - \varphi_2$) начальной и конечной точек:

$$A_{12} = W_{p1} - W_{p2} = q\varphi_1 - q\varphi_2 = q(\varphi_1 - \varphi_2).$$

В Международной системе единиц (СИ) единицей потенциала является вольт (В).

$$1 \text{ В} = 1 \text{ Дж} / 1 \text{ Кл}.$$

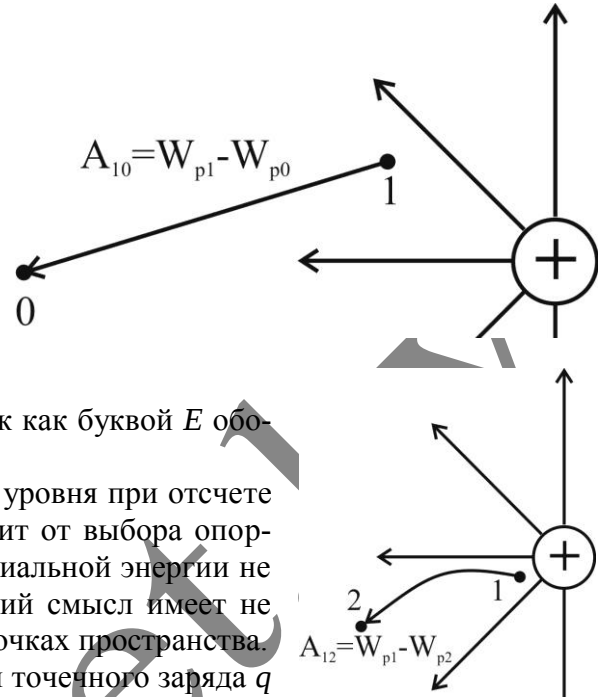
Во многих задачах электростатики при вычислении потенциалов за опорную точку (0) удобно принять **БЕСКОНЕЧНО УДАЛЕННУЮ ТОЧКУ**. В этом случае понятие потенциала может быть определено следующим образом:

Потенциал поля в данной точке пространства равен работе, которую совершают электрические силы при удалении единичного положительного заряда из данной точки в бесконечность: $\varphi_\infty = \frac{A_\infty}{q}$.

Потенциал φ поля точечного заряда Q на расстоянии r от него относительно бесконечно удаленной точки вычисляется следующим образом: $\varphi = k \frac{Q}{r}$ или $\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r}$.

Эта же формула выражает потенциал поля **однородно заряженного шара** (или сферы) при $r \geq R$, где R – радиус шара. Внутри сферы потенциал будет равен потенциалу на поверхности. Если же в задаче просят найти потенциал на поверхности шара, то считайте его по формуле: $\varphi = k \frac{Q}{R}$.

При решении этой задачи важно понять, что шариков перераспределяться таким образом, чтобы их потенциалы стали равны. Иначе заряд с шарика с большим потенциалом будет переходить на шарик с меньшим потенциалом. Так же важно понимать, что суммарный заряд шариков до и после соединения будет одинаковым. Поэтому получим систему из двух уравнений



$$\begin{cases} \varphi_1 = \varphi_2 \\ q_1 + q_2 = q'_1 + q'_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} k \frac{q_1}{r_1} = k \frac{q_2}{r_2} \\ q_1 + q_2 = q'_1 + q'_2 \end{cases}$$

Систему решите самостоятельно. **Ответ:** 26.

B10. Для решения этой задачи необходимо хорошо знать закон Ома (как для участка цепи, так и для полной цепи), особенности последовательного и параллельного соединения проводников, тему работа и мощность тока. Так как список тем внушительный, я не буду давать теорию к этой задаче.

В первом случае мощность тока во внешней цепи будет равна $P_1 = I_1^2 R_1 = \left(\frac{\varepsilon}{R_1 + r} \right)^2 R_1$

$$\text{Во втором случае } P_2 = I_2^2 R_0 = \left(\frac{\varepsilon}{R_0 + r} \right)^2 R_0 = \left(\frac{\varepsilon}{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + r} \right)^2 \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\text{По условию задачи } P_1 = P_2 \Rightarrow \left(\frac{\varepsilon}{R_1 + r} \right)^2 R_1 = \left(\frac{\varepsilon}{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + r} \right)^2 \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Проще всего сразу же подставить числа в эту формулу и найти внутреннее сопротивление источника.

Зная внутреннее сопротивление, мы легко найдем ток короткого замыкания $I_{кз} = \frac{\varepsilon}{r}$. **Ответ:** 12.

B11. Скорость распространения радиоволны равна скорости света $v = \frac{l}{t} \Rightarrow c = \frac{\lambda}{T}$, где c – скорость света, T – период волны. Так как по условию задачи нам дана частота волны, то $c = \frac{\lambda}{T} = \lambda \nu \Rightarrow \lambda = \frac{v}{\nu}$

Ответ: 600.

B12. В этой задаче очень важно при расчетах не округлять и корень из двух не извлекать на калькуляторе, а писать его значение исходя из данных в самом начале теста!

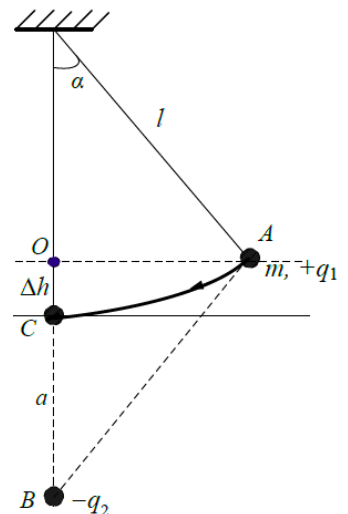
Запишем для шарика закон сохранения энергии для точек А и С. За нулевой уровень примем уровень, проходящей через точку С. В начальный момент времени (точка А) шарик обладает потенциальной энергией взаимодействия с землей (ведь он находится на некоторой высоте Δh над нулевым уровнем) и энергией взаимодействия со вторым точечным зарядом. В точке С у шарика будет кинетическая энергия и опять же энергия взаимодействия со вторым точечным зарядом:

$$E_A = E_C \Rightarrow mg\Delta h + k \frac{q_1 q_2}{AB} = E_K + k \frac{q_1 q_2}{CB} \Rightarrow E_K = mg\Delta h + k \frac{q_1 q_2}{AB} - k \frac{q_1 q_2}{CB}$$

С точки зрения физики, задача решена и мы можем себя похвалить. Однако сейчас нам предстоит не очень приятная работа – нам надо найти неизвестные расстояния $\Delta h = CO$ и AB .

$$CO = l - l \cos \alpha = l(1 - \cos \alpha) = l \left(1 - \frac{\sqrt{2}}{2} \right)$$

$$AB = \sqrt{AO^2 + OB^2} = \sqrt{(l \sin \alpha)^2 + \left(l \left(1 - \frac{\sqrt{2}}{2} \right) + a \right)^2} = \sqrt{\left(l \frac{\sqrt{2}}{2} \right)^2 + \left(l \left(1 - \frac{\sqrt{2}}{2} \right) + a \right)^2}$$



Все расчеты оставляю вам.

Ответ: 172.