

Вариант 1

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18
3	2	5	4	5	4	2	1	2	1	3	2	4	5	1	5	4	3
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12						
2	75	105	16	301	82	12	100	4	104	30	115						

Вариант 2

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18
1	5	2	2	1	3	3	5	1	2	3	4	5	3	5	4	2	3
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12						
5	50	192	19	43	48	3	5	2	103	60	69						

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! ☺

2015/2016, 2 этап, первый вариант

A1. Именно для решения таких задач надо хорошо знать определения.

Ответ: 3.

A2. Скачиваем у меня с сайта тему «Кинематика» и внимательно читаем параграф 1.02.

$$\Delta x = x_2 - x_1 = 4 - (-2) = 6 \text{ (м)}, \Delta y = y_2 - y_1 = 3 - (-5) = 8 \text{ (м)}$$

$$\Delta r = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} = \sqrt{6^2 + 8^2} = 10 \text{ (м)}$$

Ответ: 2.

A3. У этой задачи есть два способа решения: простой и продвинутый (именно продвинутый, а не сложный). В любом случае вам надо прочитать тему 1.06 из главы «Кинематика».

Способ 1. Путь за пятую секунду равен разности между путем, пройденным телом за пять секунд, и путем, пройденным телом за 4 секунды

$$S_{5-4} = S_5 - S_4 = \frac{at_5^2}{2} - \frac{at_4^2}{2} = \frac{a \cdot 5^2}{2} - \frac{a \cdot 4^2}{2} = \frac{9a}{2} = 4,5a$$

Путь за вторую секунду равен разности между путем, пройденным телом за две секунды, и путем, пройденным телом за 1 секунду

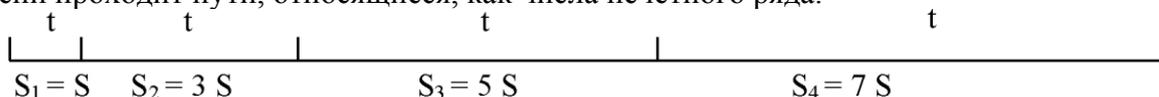
$$S_{2-1} = S_2 - S_1 = \frac{at_2^2}{2} - \frac{at_1^2}{2} = \frac{a \cdot 2^2}{2} - \frac{a \cdot 1^2}{2} = \frac{3a}{2} = 1,5a$$

А теперь находим отношение путей

$$\frac{S_{5-4}}{S_{2-1}} = \frac{4,5a}{1,5a} = 3$$

Способ 2. Назовем его «Ряд нечетных чисел»

При равноускоренном движении **ИЗ СОСТОЯНИЯ ПОКОЯ** тело за последовательные равные промежутки времени проходит пути, относящиеся, как числа нечетного ряда.



$$L_1 : L_2 : L_3 : L_4 : \dots = 1 : 3 : 5 : 7 : \dots$$

Действительно, например, за первую секунду разгона тело проходит путь

$$L_1 = \frac{a \cdot 1^2}{2} = \frac{a}{2}.$$

За вторую (напомним, путь за вторую секунду равен разности путей за ДВЕ секунды и пути за первую секунду)  $L_2 = \frac{a \cdot 2^2}{2} - \frac{a \cdot 1^2}{2} = \frac{3a}{2}$ . За третью секунду  $L_3 = \frac{a \cdot 3^2}{2} - \frac{a \cdot 2^2}{2} = \frac{5a}{2}$ . Продолжая рассуждения, за n-тую секунду движения путь тела равен

$$L_n = \frac{a \cdot n^2}{2} - \frac{a \cdot (n-1)^2}{2} = \frac{(2n-1)a}{2}.$$

Применим эту формулу к нашей задаче

$$\frac{L_5}{L_2} = \frac{(2 \cdot 5 - 1)a / 2}{(2 \cdot 2 - 1)a / 2} = 3$$

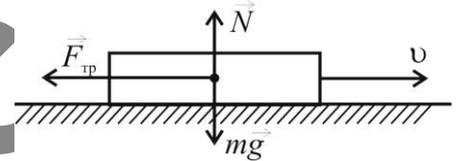
**Ответ: 5.**

**A4.** И опять рекомендую скачать у меня с сайта тему «Кинематика» и прочитать в ней темы 1.06 и 1.13. **Трение** – один из видов взаимодействия тел. Оно возникает в области соприкосновения двух тел при движении друг по другу. Силы трения, как и **упругие силы**, имеют **электромагнитную** природу. Они возникают вследствие взаимодействия между атомами и молекулами соприкасающихся тел.

Опыт показывает, что сила трения скольжения пропорциональна силе нормального давления тела на опору, а следовательно, и силе реакции опоры  $\vec{N}$ :

$$F_{\text{тр}} = \mu N.$$

Коэффициент пропорциональности  $\mu$  называют **коэффициентом трения скольжения**. Коэффициент трения  $\mu$  – величина безразмерная. Обычно коэффициент трения меньше единицы. Он зависит от материалов соприкасающихся тел и от качества обработки их поверхностей.



**ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ НА ДВИЖЕНИЕ ТЕЛА В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ С ТРЕНИЕМ ПОМНИТЕ О СЛЕДУЮЩИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ:**

1. Если сила тяги **РАВНА** силе трения, то движение тела будет **РАВНОМЕРНЫМ**.
2. Если сила тяги **БОЛЬШЕ** силы трения, то движение будет **УСКОРЕННЫМ**.
3. Если сила тяги **РАВНА НУЛЮ** или **МЕНЬШЕ СИЛЫ ТРЕНИЯ**, то движение тела будет **ЗАМЕДЛЕННЫМ**.

Для начала найдем ускорение, с которым тормозил автомобиль.

Так как автомобиль тормозил, то сила тяги будет равна нулю. Следовательно, в горизонтальном направлении на тело будет действовать только сила трения и она будет заставлять автомобиль тормозить. Следовательно, второй закон Ньютона в проекции на ось OX пример вид

$$F_{\text{тр}} = ma.$$

Так как сила трения  $F_{\text{тр}} = \mu N$ , а  $N = mg$  (так как дорога горизонтальна), то  $\mu mg = ma$ . Откуда получаем, что  $a = \mu g = 4 \text{ (м/с}^2\text{)}$ . Пройденный до остановки путь будет равен

$$S = \frac{v_x^2}{2a} = \frac{16^2}{2 \cdot 4} = 32 \text{ (м)}$$

Так как точку остановки автомобиля мы принимаем за начало координат, то в момент начала торможения автомобиль находился в точке с координатой  $x_0 = -32 \text{ (м)}$ . При этом начальная скорость тела была равна  $v_0 = 16 \text{ (м/с)}$ . Так как тормозил, то его ускорение будет отрицательно и равно  $a = -4 \text{ (м/с}^2\text{)}$ . Подставим все эти данные в уравнение движения. Получим  $x(t) = -32 + 16t - 2t^2$ .

**Ответ: 4.**

**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. При взаимодействии тел **импульс** одного тела может частично или полностью передаваться другому телу.

**В замкнутой системе векторная сумма импульсов всех тел, входящих в систему, остается постоянной при любых взаимодействиях тел этой системы между собой** (если на систему тел не действуют внешние силы со стороны других тел, такая система называется замкнутой).

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

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

то есть если на тело или систему тел не действуют **ВНЕШНИЕ** силы или результирующая этих сил равна нулю, то **изменение импульса (А НЕ САМ ИМПУЛЬС)** тоже равно нулю. То есть импульс тела (или суммарный импульс системы тел) не изменяется. Аналогично это можно применить для равенства нулю **проекции силы** на выбранную ось. Если

$$F_x = 0 \Rightarrow p_x = \text{const} \quad \text{или} \quad p_{1x} = p_{2x},$$

где  $p_{1x}$  – проекция импульса на ось OX в начальный момент времени,  $p_{2x}$  – в конечный.

**При этом сами импульсы могут меняться, а их сумма остается постоянной.**

Для случая взаимодействия двух тел закон сохранения импульса часто записывают в виде:

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2,$$

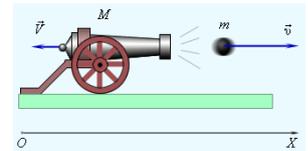
где  $m_1\vec{v}_1$  и  $m_1\vec{u}_1$  – импульс первого тела до и после взаимодействия,  $m_2\vec{v}_2$  и  $m_2\vec{u}_2$  – импульс второго тела до и после взаимодействия. Это равенство означает, что в результате взаимодействия двух тел их **СУММАРНЫЙ ИМПУЛЬС** не изменился.

При стрельбе из орудия возникает **отдача** – снаряд движется вперед, а орудие – откатывается назад. Снаряд и орудие – два взаимодействующих тела. Скорость, которую приобретает орудие при отдаче, зависит только от скорости снаряда и отношения масс (см. рисунок). Начальный суммарный импульс системы снаряд–орудие будет равен нулю (до выстрела и орудие и снаряд покоятся). Если скорости орудия и снаряда обозначить через  $V$  и  $v$ , а их массы через  $M$  и  $m$ , то на основании закона сохранения импульса можно записать в проекциях на ось OX:

$$0 = mv - MV.$$

Так как охотник стреляет под некоторым углом, то

$$mv \cos \alpha - MV = 0 \Rightarrow V = \frac{mv \cos \alpha}{M} = \frac{10 \cdot 10^{-3} \cdot 600 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}}{200} = 0,026 \text{ (м/с)} = 2,6 \text{ (см/с)}$$



**Ответ: 5.**

**А6.** Из-за разности давлений в жидкости на разных уровнях возникает **выталкивающая** или **архимедова** сила. Рисунок поясняет появление архимедовой силы. В жидкость погружено тело в виде прямоугольного параллелепипеда высотой  $h$  и площадью основания  $S$ . Разность давлений на нижнюю и верхнюю грани равна:

$$\Delta p = p_2 - p_1 = \rho gh_2 - \rho gh_1 = \rho g(h_2 - h_1) = \rho gh.$$

Поэтому выталкивающая сила  $F_A$  будет направлена вверх, и ее модуль равен

$$F_A = F_2 - F_1 = S\Delta p = \rho gSh = \rho gV,$$

$$F_A = \rho gV$$

где  $V$  – объем **ВЫТЕСНЕННОЙ (!!!)** телом жидкости или объем той части тела, которая погружена в жидкость. Есть и другая форма записи закона Архимеда

$$F_A = mg$$

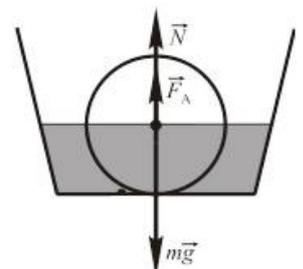
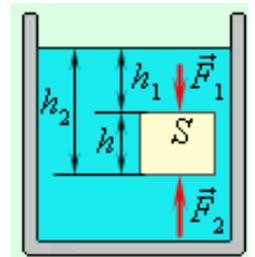
где  $m = \rho V$  – масса **ВЫТЕСНЕННОЙ** телом жидкости (не путайте с массой тела).

Архимедова сила, действующая на погруженное в жидкость (или газ) тело, равна весу жидкости (или газа), вытесненной телом. Это утверждение, называемое законом Архимеда, справедливо для тел любой формы.

Вернемся к нашей задаче. На шар действуют сила тяжести  $mg$ , сила Архимеда  $F_A$  и сила нормальной реакции опоры  $N$ . Так как шар находится в равновесии, то

$$F_A + N - mg = 0.$$

Так как объем тела можно найти через его массу и плотность и так как шар погружен наполовину, то



$$\frac{1}{2}\rho_B g V + N = mg \Rightarrow \frac{1}{2}\rho_B g \frac{m}{\rho_2} + F = mg \Rightarrow \rho_2 = \frac{\frac{1}{2}\rho_B g m}{mg - F} = 800 \text{ кг/м}^3 = 0,8 \text{ г/см}^3$$

Ответ: 4.

**A7.** Читаем теорию и решаем задачу самостоятельно.

Если система обменивается теплом с окружающими телами и совершает работу (положительную или отрицательную), то изменяется состояние системы, то есть изменяются ее макроскопические параметры (температура, давление, объем). Так как внутренняя энергия  $U$  однозначно определяется макроскопическими параметрами, характеризующими состояние системы, то отсюда следует, что процессы теплообмена и совершения работы сопровождаются изменением  $\Delta U$  внутренней энергии системы.

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

**Изменение  $\Delta U$  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, такая 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).**

Первый закон термодинамики является обобщением опытных фактов. Согласно этому закону, энергия не может быть создана или уничтожена. Она передается от одной системы к другой и превращается из одной формы в другую. Важным следствием первого закона термодинамики является утверждение о невозможности создания машины, способной совершать полезную работу без потребления энергии извне и без каких-либо изменений внутри самой машины. Такая гипотетическая машина получила название вечного двигателя (perpetuum mobile) первого рода. Многочисленные попытки создать такую машину неизменно заканчивались провалом. Любая машина может совершать положительную работу  $A$  над внешними телами только за счет получения некоторого количества теплоты  $Q$  от окружающих тел или уменьшения своей внутренней энергии  $\Delta U$ .

### ПРИМЕНИМ ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ К ИЗОПРОЦЕССАМ В ГАЗАХ.

**В ИЗОХОРНОМ ПРОЦЕССЕ** ( $V = \text{const}$ ) газ работы не совершает,  $A = 0$ . Следовательно,

$$Q = \Delta U = U(T_2) - U(T_1).$$

Здесь  $U(T_1)$  и  $U(T_2)$  – внутренние энергии газа в начальном и конечном состояниях при температурах  $T_1$  и  $T_2$ . Внутренняя энергия идеального газа зависит только от температуры. При изохорном нагревании тепло поглощается газом ( $Q > 0$ ), и его внутренняя энергия увеличивается. При охлаждении тепло отдается внешним телам ( $Q < 0$ ). Таким образом для **ОДНОАТОМНОГО** газа и изохорного процесса получаем

$$Q = \Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T \text{ или } Q = \Delta U = \frac{3}{2} V \Delta p$$

**В ИЗОБАРНОМ ПРОЦЕССЕ** ( $p = \text{const}$ ) работа, совершаемая газом, выражается соотношением

$$A = p(V_2 - V_1) = p \Delta V \text{ или } A = \nu R \Delta T$$

Первый закон термодинамики для изобарного процесса будет иметь вид

$$Q = U(T_2) - U(T_1) + p(V_2 - V_1) = \Delta U + p \Delta V.$$

Если газ **ОДНОАТОМНЫЙ**, то  $Q = \Delta U + A = \frac{3}{2} \nu R \Delta T + \nu R \Delta T = \frac{5}{2} \nu R \Delta T$  или

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

При изобарном расширении  $Q > 0$  – тепло поглощается газом. Газ совершает положительную работу и его внутренняя энергия возрастает. При изобарном сжатии  $Q < 0$  – тепло отдается внешним телам. В этом случае  $A < 0$ . Температура газа при изобарном сжатии уменьшается ( $T_2 < T_1$ ); внутренняя энергия убывает, то есть  $\Delta U < 0$ .

**В ИЗОТЕРМИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ** температура газа не изменяется. Следовательно, не изменяется и внутренняя энергия газа, то есть  $\Delta U = 0$ . Первый закон термодинамики для изотермического процесса

выражается соотношением  $Q = A$ .

Количество теплоты  $Q$ , полученной газом в процессе изотермического расширения, превращается в работу над внешними телами. При изотермическом сжатии работа внешних сил, произведенная над газом, превращается в тепло, которое передается окружающим телам.

Наряду с изохорным, изобарным и изотермическим процессами в термодинамике часто рассматриваются процессы, протекающие без теплообмена с окружающими телами – **адиабатические процессы**. Сосуды с теплонепроницаемыми стенками называются **адиабатическими оболочками**, а процессы расширения или сжатия газа в таких сосудах называются **адиабатическими**.

При **АДИАБАТИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ**  $Q = 0$ ; поэтому первый закон термодинамики принимает вид  $A = -\Delta U$ , то есть газ совершает работу за счет убыли его внутренней энергии. Вы сами не раз наблюдали такой процесс – расширение газа при открывании газированного напитка. Если напиток достаточно холодный, то при резком открывании из горлышка бутылки пойдет «туман». Почему так происходит? Дело в том, что при открывании бутылки мы даем газу возможность расшириться, то есть совершить работу. Но так как никакого источника энергии для совершения работы у газа нет, то он расширяется только за счет собственной внутренней энергии, вследствие чего его температура резко падает и мы видим туман. Возможна даже ситуация, когда при таком открывании в бутылке резко образуются кусочки льда. Для наблюдения такого явления необходимо охладить бутылку с газировкой практически до нуля градусов по Цельсию.

**Ответ: 2.**

**А8.** Для этой задачи будет **ОЧЕНЬ** много теории. Однако ее большое количество компенсируется невысокой сложностью.

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.

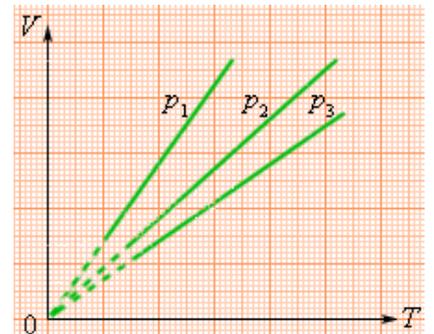
Интерес представляют процессы, в которых один из параметров ( $p$ ,  $V$  или  $T$ ) остается неизменным. Такие процессы называются **изопроцессами**.

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

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

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

где  $V_1$  и  $T_1$  – начальные объем и температура газа,  $V_2$  и  $T_2$  – конечные объем и температура газа. На плоскости ( $V$ ,  $T$ ) изобарные процессы при разных значениях давления  $p$  изображаются семейством прямых линий, которые называются **изобарами**. Большим значения давления соответствуют изобары с меньшим углом наклона к оси температур (см. график,  $p_3 > p_2 > p_1$ ). Зависимость объема газа от температуры при неизменном давлении была экспериментально исследована французским физиком Ж. Гей–Люссаком (1862 г.).



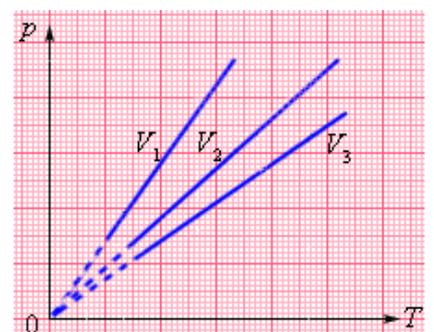
**ПРИМЕНЕНИЕ.** Закон Гей–Люссака применяют, если неизменным остается давление газа. Ищите в задачах слова «газ в сосуде, закрытом **ПОДВИЖНЫМ поршнем**» или «газ в **открытом сосуде**». Иногда про сосуд ничего не сказано, но по условию понятно, что он сообщается с атмосферой. Тогда считается, что атмосферное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

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



где  $p_1$  и  $T_1$  – начальные давление и температура газа,  $p_2$  и  $T_2$  – конечные давление и температура газа. На плоскости  $(p, T)$  изохорные процессы для заданного количества вещества  $\nu$  при различных значениях объема  $V$  изображаются семейством прямых линий, которые называются **изохорами**. Большим значениям объема соответствуют изохоры с меньшим наклоном по отношению к оси температур (см. график,  $V_3 > V_2 > V_1$ ).

Экспериментально зависимость давления газа от температуры исследовал французский физик Ж. Шарль (1787 г.). Поэтому уравнение изохорного процесса называется **законом Шарля**.

**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  $\nu$  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.

На плоскости  $(p, V)$  изотермические процессы изображаются при различных значениях температуры  $T$  семейством гипербол  $p \sim 1/V$ , которые называются **изотермами**. Так как коэффициент пропорциональности в этом соотношении увеличивается с ростом температуры, изотермы, соответствующие более высоким значениям температуры, располагаются на графике выше изотерм, соответствующих меньшим значениям температуры (см. график,  $T_3 > T_2 > T_1$ ). Уравнение изотермического процесса было получено из эксперимента английским физиком Р. Бойлем (1662 г.) и независимо французским физиком Э. Мариоттом (1676 г.). Поэтому это уравнение называют **законом Бойля–Мариотта**.

**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.

По условию нам дан изотермический процесс. Чтобы убедиться в этом, надо перенести объем из знаменателя правой части равенства, данного в условии задачи, в числитель левой части.

И немного о температуре. В системе СИ принято единицу измерения температуры по шкале Кельвина называть **кельвином** и обозначать буквой К. Например, комнатная температура  $T_C = 20^\circ\text{C}$  по шкале Кельвина равна  $T_K = 293,15\text{ K}$ .

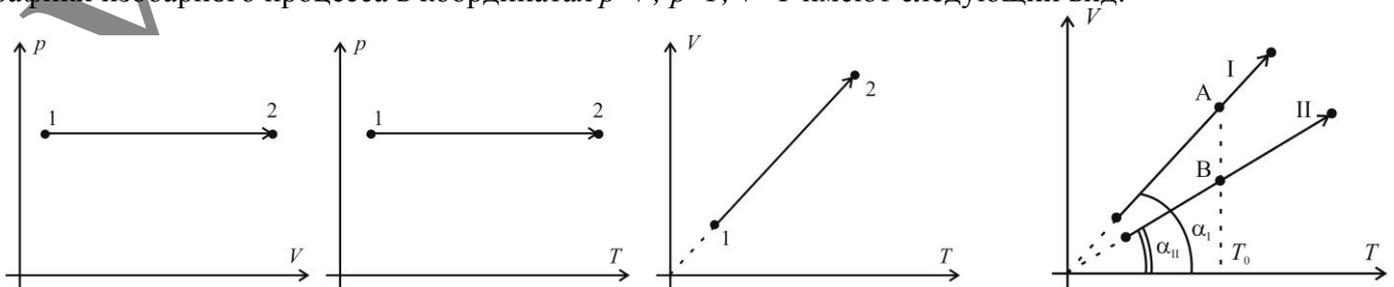
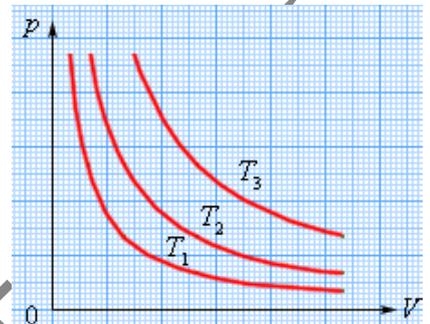
### Изобарный процесс ( $p = \text{const}$ )

**Изобарным процессом** называют процесс, протекающий при неизменном давлении  $p$ . Уравнение изобарного процесса для некоторого неизменного количества вещества  $\nu$  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.

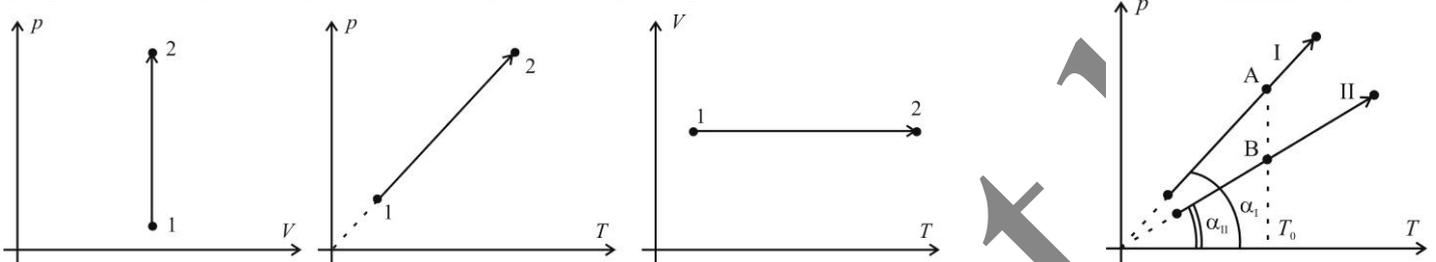
Рассмотрим два изобарных процесса. В каком из них давление больше? Выберем произвольную температуру  $T_0$  и соответствующие ей на графике точки А и В (см. самый правый график). Очевидно, что объем в точке А больше объема в точке В, а температуры одинаковы. Из уравнения  $pV/T = \text{const}$  следует, что давление 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 давление.

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

**Изохорный процесс** – это процесс нагревания или охлаждения газа при постоянном объеме  $V$  и при условии, что количество вещества  $\nu$  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:



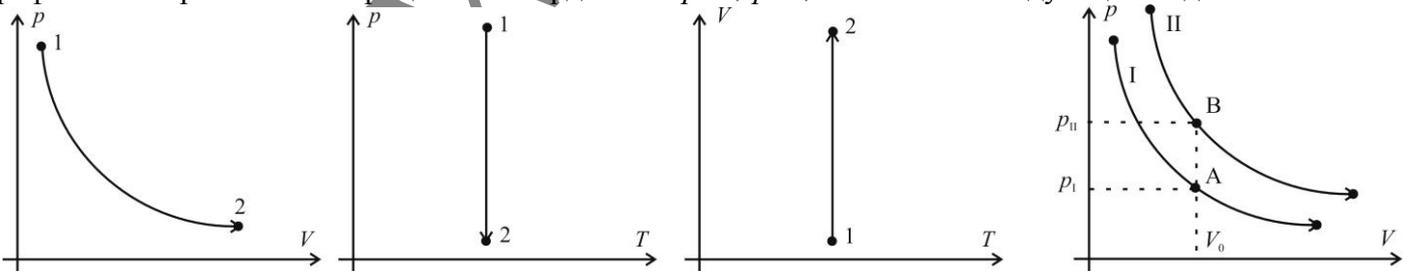
Обратите внимание на то, что продолжение графика в  $p-T$  координатах (то есть в координатах, где нет объема) «смотрит» точно в начало координат. Однако он никогда не сможет начаться из начала координат, так как при очень низких температурах превращается в жидкость.

Рассмотрим два изохорных процесса. В каком из них объем больше? Выберем произвольную температуру  $T_0$  и соответствующие ей на графике точки А и В (см. самый правый график). Очевидно, что давление в точке А больше давления в точке В, а температуры одинаковы. Из уравнения  $pV/T = \text{const}$  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.

### 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  $\nu$  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 А и В (см. самый правый график). Очевидно, что давление в точке А меньше давления в точке В, а объемы одинаковы. Из уравнения  $pV/T = \text{const}$  следует, что температура в точке В будет больше, чем в точке А (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.

**Ответ:** 1.

**А9.** Читаем теорию и сами решаем задачу.

При своем движении молекулы газа непрерывно сталкиваются друг с другом. Из-за этого характеристики их движения меняются, поэтому, говоря об импульсах, скоростях, кинетических энергиях молекул, всегда имеют в виду **средние значения этих величин**.

Задача молекулярно-кинетической теории состоит в том, чтобы установить связь между **микроскопическими** (масса, скорость, кинетическая энергия молекул) и **макроскопическими** (давление, температура) **параметрами, характеризующими газ**.

Число столкновений молекул газа при нормальных условиях с другими молекулами измеряется миллионами раз в секунду. Если пренебречь размерами и взаимодействием молекул (как в модели **идеального газа**), то можно считать, что между последовательными столкновениями молекулы движутся **равномерно и прямолинейно**. Естественно, подлетая к стенке сосуда, в котором расположен газ, молекула испытывает столкновение и со стенкой. **Все столкновения молекул друг с другом и со стенками сосуда считаются абсолютно упругими столкновениями шариков**. При столкновении со стенкой импульс молекулы изменяется, значит, **на молекулу со стороны стенки действует сила** (вспомните второй закон Ньютона). Но по третьему закону Ньютона с точно такой же силой, направленной в противоположную сторону, **молекула действует на стенку**, оказывая на нее **ДАВЛЕНИЕ**. Совокупность всех ударов всех молекул о стенку сосуда и приводит к возникновению давления газа.

**Давление газа – это результат столкновений молекул со стенками сосуда.**

Если нет стенки или любого другого препятствия для молекул, то само понятие давления теряет смысл. Например, совершенно антинаучно говорить о давлении в центре комнаты, ведь там молекулы не давят на стенку. Почему же тогда, поместив туда барометр, мы с удивлением обнаружим, что он показывает какое-то давление? Потому, что сам по себе барометр является той самой стенкой, на которую и давят молекулы.

Поскольку давление есть следствие ударов молекул о стенку сосуда, очевидно, что его величина должна зависеть от характеристик отдельно взятых молекул (от средних характеристик, конечно, Вы ведь помните про то, что скорости всех молекул различны). Эта зависимость выражается **ОСНОВНЫМ УРАВНЕНИЕМ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА**:

$$p = \frac{1}{3} n m_0 v_{\text{кв}}^2,$$

где  $p$  – давление газа,  $n$  – концентрация молекул газа,  $m_0$  – масса одной молекулы,  $v_{\text{кв}}$  – средняя квадратичная скорость (для простоты понимания считайте ее просто средней скоростью; обратите так же внимание, что в самом уравнении стоит квадрат средней квадратичной скорости). Физический смысл этого уравнения состоит в том, что оно устанавливает связь между характеристикой всего газа целиком (давлением) и параметрами движения отдельных молекул газа, то есть связь между макро- и микромиром.

### СЛЕДСТВИЯ ИЗ ОСНОВНОГО УРАВНЕНИЯ:

Если Вы думаете, что на последней формуле в данном разделе все закончится, то Вы сильно ошибаетесь. **ФОРМУЛ БУДЕТ ОЧЕНЬ МНОГО!!!** И это будут не все возможные формулы, а лишь их часть. Остальные вы должны научиться получать сами.

1. Начинаю играть в формулы (помножим и поделим уравнение на 2)

$$p = \frac{1}{3} n m_0 v_{\text{кв}}^2 = \frac{2}{3} n \frac{m_0 v_{\text{кв}}^2}{2} = \frac{2}{3} n E_K \quad \Rightarrow \quad p = \frac{2}{3} n E_K,$$

где  $E_K$  – средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы идеального газа.

2. Продолжим игры. Теперь раскроем концентрацию

$$p = \frac{1}{3} n m_0 v_{\text{кв}}^2 = \frac{1}{3} \frac{N}{V} m_0 v_{\text{кв}}^2 = \frac{1}{3} \frac{N m_0}{V} v_{\text{кв}}^2 = \frac{1}{3} \frac{m}{V} v_{\text{кв}}^2 = \frac{1}{3} \rho v_{\text{кв}}^2 \quad \Rightarrow \quad p = \frac{1}{3} \rho v_{\text{кв}}^2,$$

где  $\rho$  – плотность газа,  $m = N m_0$  – масса всего вещества.

3. Как уже было отмечено в предыдущем параграфе, скорость теплового движения молекул определяется температурой вещества. Для идеального газа эта зависимость выражается простой формулой

$$v_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}},$$

где  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К – **постоянная Больцмана**,  $T$  – абсолютная температура.

Сразу же оговоримся, что далее во всех задачах Вы должны, не задумываясь, **ПЕРЕВОДИТЬ ТЕМПЕРАТУРУ В КЕЛЬВИНЫ ИЗ ГРАДУСОВ ЦЕЛЬСИЯ** (кроме задач на уравнение теплового баланса (тема 7), где вы в основном будете иметь дело с изменением температуры, а не самой температурой),

пользуясь простым правилом: **В ГРАДУСАХ ДУМАЮТ ТОЛЬКО АЛКОГОЛИКИ!!!** Это же правило можно, кстати, применять и в кинематике, переводя углы из градусов в радианы.

Дальнейшие игры в формулы приведут нас к **ЗАКОНУ ТРЕХ ПОСТОЯННЫХ**

$$k \cdot N_A = R,$$

где  $R = 8,31$  Дж/(моль·К) – универсальная газовая постоянная. Значит,

$$v_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3kN_A T}{m_0 N_A}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}.$$

Запомнить эту формулу очень легко. На физическом сленге она называется формулой трех голодных животных:

$$v_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{\text{Три КоТа}}{\text{Мышка}}} - \text{Три кота на мышку.} \quad v_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{\text{Три РТа}}{\text{Миска}}} - \text{Три рта на миску.}$$

4. Итак, игры в формулы продолжаются. Подставим в формулу для **энергии одной молекулы** значение ее скорости

$$E_k = \frac{m_0 v_{\text{кв}}^2}{2} = \frac{3m_0 kT}{2m_0} = \frac{3}{2} kT \quad \Rightarrow \quad E_k = \frac{3}{2} kT.$$

Оказывается, что средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул зависит только от температуры и одинакова при данной температуре для всех молекул. Если в задаче Вас попросят найти энергию молекул, содержащихся некотором количестве вещества, то надо будет просто умножить энергию одной молекулы на их количество.

5. Далее  $p = \frac{1}{3} n m_0 v_{\text{кв}}^2 = \frac{1}{3} n m_0 \frac{3kT}{m_0} = nkT \quad \Rightarrow \quad p = nkT.$

6. Мы уже близки к финалу  $p = nkT = \frac{N}{V} kT.$

Следовательно,  $pV = NkT.$

**Внимательно читайте условие задачи и выбирайте наиболее подходящую под условие формулу.**

Ответ: 2.

**A10.** И опять «Мегазадача», решение которой будет легким для того, кто хорошо знает теорию!!!

Впервые закон взаимодействия неподвижных зарядов был установлен французским физиком Ш. Кулоном (1785 г.). В своих опытах Кулон измерял силы притяжения и отталкивания заряженных шариков с помощью сконструированного им прибора – крутильных весов, отличавшихся чрезвычайно высокой чувствительностью. Так, например, коромысло весов поворачивалось на  $1^\circ$  под действием силы порядка  $10^{-9}$  Н.

Идея измерений основывалась на блестящей догадке Кулона о том, что если заряженный шарик привести в контакт с точно таким же незаряженным, то заряд первого разделится между ними поровну. Таким образом, был указан способ, изменять заряд шарика в два, три и так далее раз. В опытах Кулона измерялось взаимодействие между шариками, размеры которых много меньше расстояния между ними. Такие заряженные тела принято называть **точечными зарядами**.

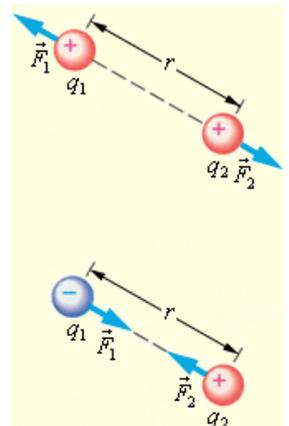
**Точечным зарядом называют заряженное тело, размерами которого в условиях данной задачи можно пренебречь.**

На основании многочисленных опытов Кулон установил следующий закон:

**Силы взаимодействия неподвижных зарядов прямо пропорциональны произведению модулей зарядов и обратно пропорциональны квадрату расстояния между ними**  $F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$ . Если же заряды находятся в каком-либо веществе,

то  $F = k \frac{|q_1||q_2|}{\epsilon r^2}$ , где  $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость среды – физическая величина, показывающая во сколько раз сила взаимодействия зарядов в данной среде **БУДЕТ МЕНЬШЕ**, чем в вакууме (то есть во сколько раз среда ослабляет взаимодействие зарядов).

Такая запись закона Кулона справедлива для материальных точек, шаров, сфер, для которых  $r$  измеряется между центрами. То есть если у нас имеется шар и материальная точка, то  $r$  – расстояние между



центром шара и материальной точкой.

Силы взаимодействия подчиняются третьему закону Ньютона:  $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$ . Они являются силами отталкивания при одинаковых знаках зарядов и силами притяжения при разных знаках (см. рисунок). Взаимодействие неподвижных электрических зарядов называют **электростатическим** или **кулоновским** взаимодействием. Раздел электродинамики, изучающий кулоновское взаимодействие, называют **электростатикой**.

Закон Кулона справедлив для точечных заряженных тел. Практически закон Кулона хорошо выполняется, если размеры заряженных тел много меньше расстояния между ними.

В Международной системе СИ за единицу заряда принят кулон (Кл).

**Кулон** – это заряд, проходящий за 1 с через поперечное сечение проводника при силе тока 1 А. Единица силы тока (**ампер**) в СИ является наряду с единицами длины, времени и массы **основной единицей измерения**. Коэффициент  $k$  обычно записывают в виде:  $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9$  м/Ф, где  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$  –

**электрическая постоянная.**

Ответ: 1.

**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  $C = \frac{q}{\varphi}$ .

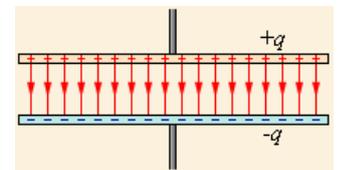
В системе СИ емкость измеряется в **Фарадах** (Ф). 1 Фарад – чрезвычайно большая емкость. Для сравнения, емкость всего земного шара значительно меньше одного фарада.

**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  $\Delta\varphi$  между ними:**

$$C = \frac{q}{\Delta\varphi} = \frac{q}{U}.$$



В системе СИ единица емкости называется **фарад** (1 Ф = 1 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**. Электрическое поле плоского конденсатора в основном локализовано между пластинами (см. рисунок).

Каждая из заряженных пластин плоского конденсатора создает вблизи поверхности электрическое поле, модуль напряженности которого выражается соотношением  $E_1 = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ , где  $\sigma = q/S$  – поверхностная плотность зарядов (то есть заряд, приходящийся на единицу поверхности,  $q$  – заряд, а  $S$  – площадь каж-

дой пластины). Согласно принципу суперпозиции, напряженность  $\vec{E}$  поля, создаваемого обеими пластинами, равна сумме напряженностей  $\vec{E}^+$  и  $\vec{E}^-$  полей каждой из пластин:  $\vec{E} = \vec{E}^+ + \vec{E}^-$ .

Внутри конденсатора вектора  $\vec{E}^+$  и  $\vec{E}^-$  параллельны; поэтому модуль напряженности **СУММАРНОГО ПОЛЯ** равен  $E = 2E_1 = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$ . Вне пластин вектора  $\vec{E}^+$  и  $\vec{E}^-$  направлены в разные стороны, и поэтому

$E = 0$ . Учитывая, что поверхностная плотность  $\sigma$  заряда пластин равна  $q/S$  и разность потенциалов  $\Delta\varphi$  между пластинами в однородном электрическом поле равна  $Ed$ , где  $d$  – расстояние между пластинами из этих соотношений можно получить формулу для емкости плоского конденсатора:

$$C = \frac{q}{\Delta\varphi} = \frac{\sigma \cdot S}{E \cdot d} = \frac{\epsilon_0 S}{d}.$$

Таким образом, емкость плоского конденсатора прямо пропорциональна площади пластин (обкладок) и обратно пропорциональна расстоянию между ними. Если пространство между обкладками заполнено диэлектриком, емкость конденсатора увеличивается в  $\epsilon$  раз:  $C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}$ .

### Основные характеристики плоского конденсатора

Перечислим основные величины, которые Вам придется рассчитывать.

**1. Емкость конденсатора.** Обратите внимание, что  $S$  в этой формуле есть площадь только одной обкладки конденсатора. Когда в задаче говорят о «площади обкладок», то имеют в виду именно эту величину. **На 2 умножать никогда не надо!**  $C = \frac{q}{\Delta\varphi} = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}$ .

**2. Заряд конденсатора.** Под зарядом конденсатора понимают только заряд его положительной обкладки  $q = CU$ .

**3. Напряженность поля** внутри конденсатора  $E = \frac{U}{d} = \frac{\sigma}{\epsilon\epsilon_0}$ .

**4. Сила притяжения пластин** конденсатора. Сила, действующая на каждую обкладку, определяется не полным полем конденсатора, а полем, созданным противоположной обкладкой (сама на себя обкладка не действует). Напряженность этого поля равна половине напряженности полного поля:  $E_1 = E/2$ , и сила взаимодействия пластин  $F = \frac{qE}{2}$ .

При решении задач помните, что **если конденсатор подключен к источнику напряжения, то при любых манипуляциях с конденсатором (раздвигание 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.

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

С учетом того, что напряжение на конденсаторе все время постоянно

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

С учетом того, что напряжение на конденсаторе все время постоянно

$$\frac{W_2}{W_1} = \frac{\frac{C_2 U^2}{2}}{\frac{C_1 U^2}{2}} = \frac{\frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d_2} U^2}{2} : \frac{\frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d_1} U^2}{2} = \frac{\epsilon\epsilon_0 S U^2}{2d_2} \cdot \frac{2d_1}{\epsilon\epsilon_0 S U^2} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{d_1}{3d_1} = \frac{1}{3}$$

то есть энергия уменьшилась в три раза.

**Ответ: 3.**

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

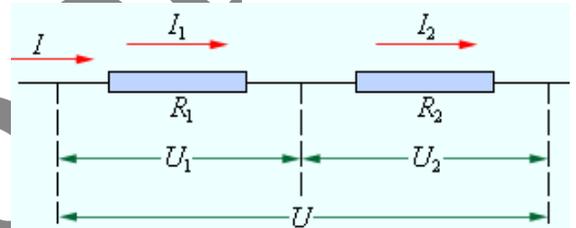
Проводники в электрических цепях можно соединять двумя способами: **последовательно и параллельно**. У каждого способа есть свои закономерности.

### 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  $\Delta t$  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

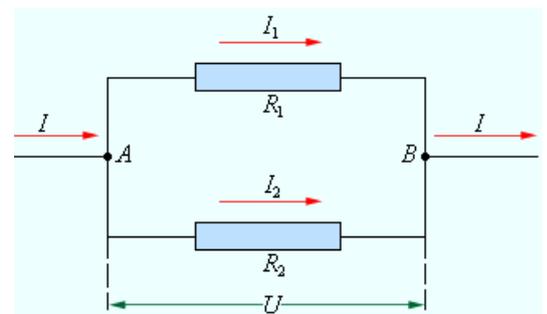
$$I_1 = \frac{U}{R_1}, I_2 = \frac{U}{R_2}, I = \frac{U}{R},$$

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. Ес-

ли же в цепь параллельно включено  $n$  **ОДИНАКОВЫХ** сопротивлений  $R$ , то общее сопротивление  $R_0$  находится по формуле  $R_0 = R/n$ .

**ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ УДОБНО ПОЛЬЗОВАТЬСЯ СЛЕДУЮЩИМИ СООТНОШЕНИЯМИ:**

для последовательного соединения  $I_1 = I_2 \Rightarrow \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2}$ ;

для параллельного соединения  $U_1 = U_2 \Rightarrow I_1 R_1 = I_2 R_2$ .

При протекании тока по однородному участку цепи электрическое поле совершает работу. За время  $\Delta t$  по цепи протекает заряд  $\Delta q = I \Delta t$ . Электрическое поле на выделенном участке совершает работу

$$A = (\varphi_1 - \varphi_2) \Delta q = \Delta \varphi_{12} I \Delta t = UI \Delta t,$$

где  $U = \Delta \varphi_{12}$  – напряжение на участке цепи. Эту работу называют **работой электрического тока**.

$$A = UI \Delta t.$$

Используя закон Ома для участка цепи, получаем:

$$A = IU \Delta t = \frac{U}{R} U \Delta t = \frac{U^2}{R} \Delta t \quad \text{или} \quad A = IU \Delta t = I \cdot IR \cdot \Delta t = I^2 R \Delta t.$$

Таким образом, мы получили три формулы для работы тока на участке цепи

$$A = IU \Delta t \quad A = \frac{U^2}{R} \Delta t \quad A = I^2 R \Delta t$$

**Работа  $A$  электрического тока  $I$ , протекающего по неподвижному проводнику с сопротивлением  $R$ , преобразуется в тепло  $Q$ , выделяющееся на проводнике.**

$$Q = A = I^2 R \Delta t.$$

Закон преобразования работы тока в тепло был экспериментально установлен независимо друг от друга Дж. Джоулем и Э. Ленцем и носит название **закона Джоуля–Ленца**.

**КАКУЮ ФОРМУЛУ ВЫБРАТЬ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ?** Если в задаче несколько потребителей подключены к одному источнику параллельно или к одному источнику по очереди подключают разные потребители (это может быть один и тот же потребитель с которым что-либо сделали, например, укоротили спираль), то выбираем формулу с напряжением и сопротивлением  $A = \frac{U^2}{R} \Delta t$ .

**ФОРМУЛА С НАПРЯЖЕНИЕМ ПРИМЕНЯЕТСЯ ГОРАЗДО ЧАЩЕ, ЧЕМ ОСТАЛЬНЫЕ!!!**

Если два потребителя соединены последовательно, то используем формулу с током и сопротивлением  $A = I^2 R \Delta t$ .

**Мощность** электрического тока равна отношению работы тока  $A$ , совершенной током, к интервалу времени  $\Delta t$ , за которое эта работа была совершена:

$$P = \frac{A}{\Delta t} = IU = \frac{U^2}{R} = I^2 R.$$

И опять у нас три формулы  $P = IU$   $P = \frac{U^2}{R}$   $P = I^2 R$ .

И опять формула с напряжением при решении задач будет применяться гораздо чаще, чем остальные!!!

Вернемся к задаче. Так как резисторы соединены параллельно, то  $U_1 = U_2 \Rightarrow I_1 R_1 = I_2 R_2$

Так же мы знаем что  $I_1 + I_2 = I$ . Подставим значения сопротивлений резисторов и найдем токи через

$$\text{них} \quad \begin{cases} I_1 \cdot 2 = I_2 \cdot 3 \\ I_1 + I_2 = 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_1 = 1,5 I_2 \\ 1,5 I_2 + I_2 = 1 \end{cases} \Rightarrow 2,5 I_2 = 1 \Rightarrow I_2 = \frac{1}{2,5} = 0,4 (A) \Rightarrow I_1 = 0,6 (A)$$

Искомая мощность будет равна  $P_2 = I_2^2 \cdot R_2 = (0,4)^2 \cdot 3 = 0,48$  (Вт)

Да, в этой задаче для нахождения мощности нам проще было выбрать формулу с током. Однако это не отменяет того, о чем я писал про формулу с напряжением в теории.

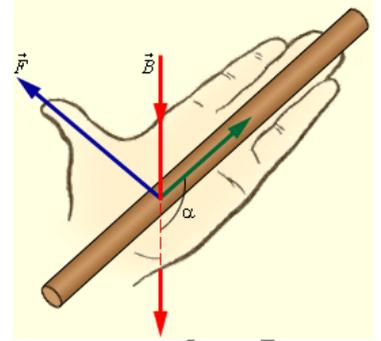
**Ответ: 2.**

**A13.** 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).

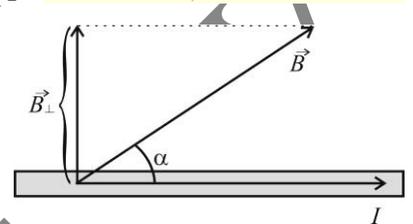
Если в магнитное поле с индукцией  $B$  поместить проводник длиной  $\Delta l$  с током  $I$ , то на него будет действовать сила  $F = IB\Delta l \sin \alpha$ . Это соотношение принято называть **законом Ампера**.

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).



Если угол  $\alpha$  между направлениями вектора  $\vec{B}$  и тока в проводнике отличен от  $90^\circ$  (то есть ток и магнитное поле не перпендикулярны друг другу), то для определения направления силы Ампера надо взять составляющую магнитного поля, которая **ПЕРПЕНДИКУЛЯРНА** направлению тока (см. рисунок).



При решении задач на данную тему придется делать **ТРЕХМЕРНЫЙ** чертеж. Для этого запомните два обозначения.

1.  $\otimes$  – вектор или ток направлен от нас (как бы летящая от нас стрела).
2.  $\odot$  – вектор или ток направлен к нам (стрела летит к нам).

При этом на чертеже удобнее всего будет изображать торец проводника, по которому идет ток.

Решать задачи этой темы надо как в динамике, то есть расписав силы по осям координат или складывая силы по правилам векторов. **При этом не напрягайтесь, если Вы не понимаете, что такое магнитная индукция. Пусть, пока, это будет основная характеристика магнитного поля, измеряемая в Теслах (Тл). Сила Ампера, действующая на отрезок проводника длиной  $\Delta l$  с силой тока  $I$ , находящийся в магнитном поле  $B$  равна**

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

Сила Ампера действует на большое количество заряженных частиц. Она может быть выражена через силы, действующие **НА ОТДЕЛЬНЫЕ НОСИТЕЛИ ЗАРЯДА**. Пусть концентрация носителей свободного заряда в проводнике есть  $n$ , а  $q$  – заряд носителя. Тогда произведение  $nqvS$ , где  $v$  – модуль скорости упорядоченного движения носителей по проводнику, а  $S$  – площадь поперечного сечения проводника, равно току, текущему по проводнику:  $I = qnvS$ . Выражение для силы Ампера можно записать в виде:  $F = qnS\Delta lvB \sin \alpha$ . Так как полное число  $N$  носителей свободного заряда в проводнике длиной  $\Delta l$  и сечением  $S$  равно  $nS\Delta l$ , то сила, действующая на одну заряженную частицу, равна

$$F_{\text{л}} = \frac{F_A}{N} = \frac{qnS\Delta lvB \sin \alpha}{nS\Delta l} = qvB \sin \alpha \quad \text{или} \quad F_{\text{л}} = qvB \sin \alpha.$$

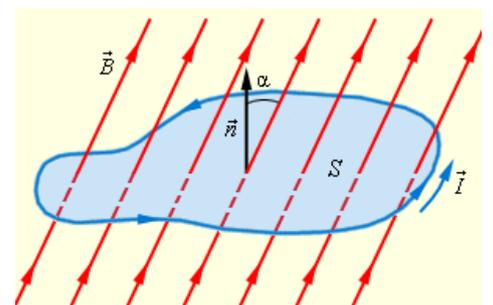
Эту силу называют **силой Лоренца**. Угол  $\alpha$  в этом выражении равен углу между скоростью движения заряженной и **вектором магнитной индукции**. Направление силы Лоренца, действующей на **ПОЛОЖИТЕЛЬНО** заряженную частицу, так же, как и направление силы Ампера, может быть найдено по **правилу левой руки**. Для отрицательно заряженной частицы направление силы будет строго противоположное. Сила Лоренца направлена перпендикулярно векторам скорости и индукции магнитного поля.

**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 магнитного потока в проводящем контуре возникает ЭДС индукции  $\epsilon_{\text{инд}}$ , равная скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром, взятой со знаком минус (на знак минус в большинстве задач мы не будем обращать внимание):  $\epsilon_{\text{инд}} = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ .



**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**  $\Phi$ , 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 Гн = 1 Вб / 1 А. ЭДС **самоиндукции**, возникающая в катушке с постоянным значением индуктивности, согласно формуле Фарадея равна

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

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

Магнитное поле обладает энергией. Подобно тому, как в заряженном конденсаторе имеется запас электрической энергии, в катушке, по виткам которой протекает ток, имеется запас магнитной энергии. Если включить электрическую лампу параллельно катушке с большой индуктивностью в электрическую цепь постоянного тока, то при размыкании ключа наблюдается кратковременная вспышка лампы (см. рисунок). Ток в цепи возникает под действием ЭДС самоиндукции. Источником энергии, выделяющейся при этом в электрической цепи, является магнитное поле катушки.

Из закона сохранения энергии следует, что вся энергия, запасенная в катушке, выделится в виде джоулева тепла. Если обозначить через  $R$  полное сопротивление цепи, то за время  $\Delta t$  выделится количество теплоты

$$\Delta Q = I^2 R \Delta t.$$

Ток в цепи равен

$$I = \frac{\varepsilon_L}{R} = -\frac{L \Delta I}{R \Delta t}.$$

Выражение для  $\Delta Q$  можно записать в виде

$$\Delta Q = -LI\Delta I = -\Phi(I)\Delta I.$$

В этом выражении  $\Delta I < 0$ ; ток в цепи постепенно **убывает** от первоначального значения  $I_0$  до нуля. Полное количество теплоты, выделившейся в цепи, можно получить, взяв среднее значение тока. Это

дает  $Q = \frac{LI^2}{2}$ . Эту формулу можно получить графическим методом, изобразив на графике зависимость магнитного потока  $\Phi(I)$  от тока  $I$  (см. рисунок). Полное количество выделившейся теплоты, равное первоначальному запасу энергии магнитного поля, определяется площадью изображенного на рисунке треугольника. Таким образом, энергия  $W_M$  магнитного поля катушки с индуктивностью  $L$ , создаваемого током  $I$ , равна  $W_M = \frac{\Phi I}{2}$  или  $W_M = \frac{LI^2}{2}$  или  $W_M = \frac{\Phi^2}{2L}$ . Изменение энергии катушки будет равно разности конечной и начальной энергии  $\Delta W = W_2 - W_1 = \frac{LI_2^2}{2} - \frac{LI_1^2}{2}$ . Выразим индуктивность катушки

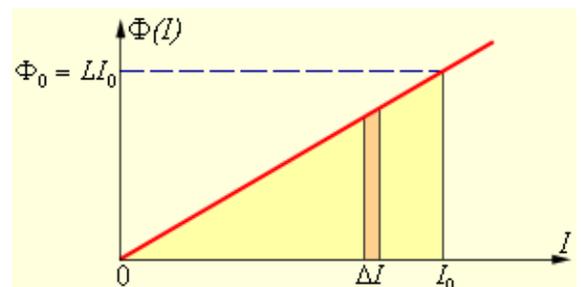
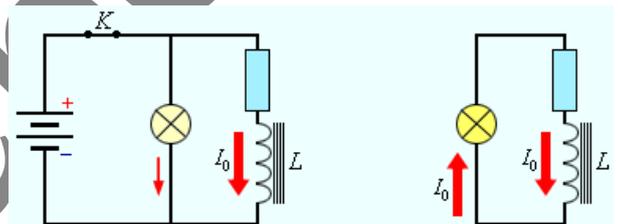
$L = \frac{2\Delta W}{I_2^2 - I_1^2} = \frac{2 \cdot (-5)}{169 - 289} = \frac{10}{120} = \frac{1}{12}$  (Гн). А теперь найдем начальную энергию катушки

$$W_1 = \frac{LI_1^2}{2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(17)^2}{12} = \frac{289}{24} = 12 \text{ (Дж)}$$

**Ответ: 5.**

**A15.** Открываем учебник по физике на теме «Электромагнитные волны» и читаем. Если нет учебника, то гуглим.

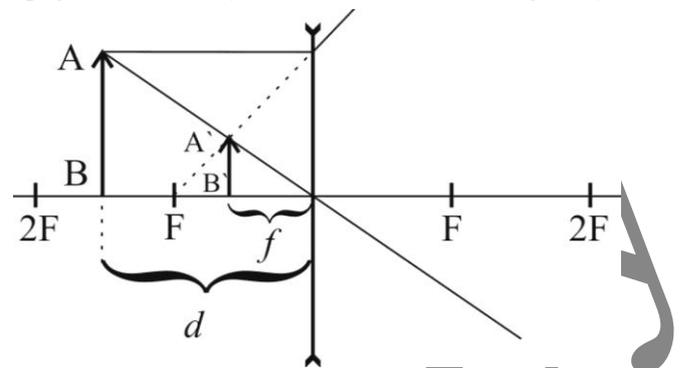
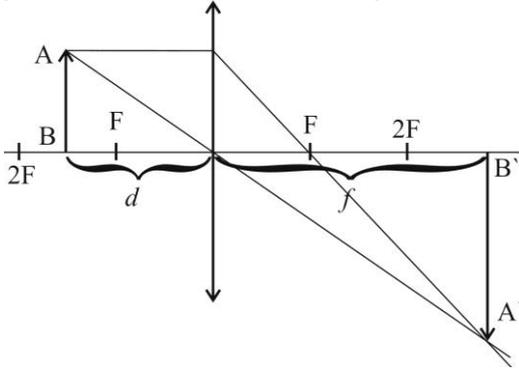
**Ответ: 1.**



**A16.** Положение изображения относительно линзы можно рассчитать с помощью **формулы тонкой линзы**. Если расстояние от предмета до линзы обозначить через  $d$ , а расстояние от линзы до изображения через  $f$ , то формулу тонкой линзы можно записать в виде:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} = D$$

Формулу тонкой линзы можно получить из подобия треугольников (но делать мы это не будем).



Величину  $D$ , обратную фокусному расстоянию, называют **оптической силой** линзы. Единица измерения оптической силы является 1 **диоптрия** (дптр). Диоптрия – оптическая сила линзы с фокусным расстоянием 1 м:  $1 \text{ дптр} = \text{м}^{-1}$ .

**ПРАВИЛА ЗНАКОВ.** Фокусным расстояниям линз принято приписывать определенные знаки:

для собирающей линзы  $F > 0$ , для рассеивающей  $F < 0$ .

Величины  $d$  и  $f$  также подчиняются определенному правилу знаков:

$d > 0$  для действительных предметов (то есть реальных источников света, а не продолжений лучей, сходящихся за линзой)

$f > 0$  – для действительных изображений;

$f < 0$  – для мнимых изображений.

Для случая, изображенного на первом рисунке, имеем:  $F > 0$  (линза собирающая),  $d > 0$  (действительный предмет). По формуле тонкой линзы получим, что  $f > 0$ , следовательно, изображение действительное.

В случае, изображенном на втором рисунке,  $F < 0$  (линза рассеивающая),  $d > 0$  (действительный предмет),  $f < 0$ , то есть изображение мнимое.

В зависимости от положения предмета по отношению к линзе изменяются линейные размеры изображения. **Линейным увеличением** линзы  $\Gamma$  называют отношение линейных размеров изображения  $h'$  и предмета  $h$ . Величине  $h'$ , удобно приписывать знаки плюс или минус в зависимости от того, является изображение прямым или перевернутым. Величина  $h$  всегда считается положительной. Поэтому для прямых изображений  $\Gamma > 0$ , для перевернутых  $\Gamma < 0$ . Из подобия треугольников легко получить формулу для линейного увеличения тонкой линзы:  $\Gamma = \frac{h'}{h} = \frac{f}{d}$ . Во многих оптических приборах свет последовательно проходит через две или несколько линз. Изображение предмета, даваемое первой линзой, служит предметом (действительным или мнимым) для второй линзы, которая строит второе изображение предмета. Это второе изображение также может быть действительным или мнимым. Расчет оптической системы из двух тонких линз сводится к двукратному применению формулы линзы, при этом расстояние  $d_2$  от первого изображения до второй линзы следует положить равным величине  $l - f_1$ , где  $l$  – расстояние между линзами. Рассчитанная по формуле линзы величина  $f_2$  определяет положение второго изображения и его характер ( $f_2 > 0$  – действительное изображение,  $f_2 < 0$  – мнимое изображение). Общее линейное увеличение  $\Gamma$  системы из двух линз равно произведению линейных увеличений обеих линз:  $\Gamma = \Gamma_1 \cdot \Gamma_2$ . Если предмет или его изображение находятся в бесконечности, то линейное увеличение утрачивает смысл.

При решении задач помните:

1. У линзы два фокуса – передний (обычно с этой же стороны расположен предмет, то есть справа) и задний.
2. Расстояние от предмета до линзы –  $d$ .
3. Расстояние от линзы до изображения (или до экрана) –  $f$ .
4. Если на место одной линзы поставили другую, не изменив при этом начального положения предмета, то  $d_1 = d_2 = d$ .

5. Если линза помещена между предметом и экраном и это расстояние равно  $L$ , то  $d + f = L$ .
6. Если линза собирающая, то  $\frac{1}{d} \pm \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$
7. Если линза рассеивающая, то  $\frac{1}{d} - \frac{1}{f} = -\frac{1}{F}$
8. Если при решении задачи вам не дана оптическая сила и ее не надо находить, то можете решать задачу считая все расстояния в см. Если же наоборот – обязательно переводите все расстояния в метры.

А дальше все просто. Через увеличение найдем расстояние между линзой и изображением, которое потом подставим в формулу тонкой линзы.

$$\Gamma = \frac{f}{d} \Rightarrow f = \Gamma d, \quad D = \frac{1}{f} + \frac{1}{d} = \frac{1}{\Gamma d} + \frac{1}{d} = \frac{1}{d} \left( \frac{\Gamma + 1}{\Gamma} \right) = 0,32 \text{ (Дптр)}$$

**Ответ:** 5.

**A17.** 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.

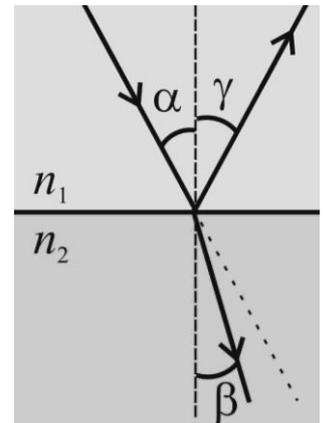
Каждая оптически прозрачная среда характеризуется одним важным параметром – **показателем преломления среды** –  $n$ . Эта величина показывает во сколько раз скорость света в данной среде, будет **МЕНЬШЕ**, чем в вакууме. То есть, если показатель преломления среды равен 2, то это значит, что скорость 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 распространяться 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  $n = \frac{n_2}{n_1}$  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 (именно эта закономерность пригодится нам при решении задачи). 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 света из оптически более плотной среды в оптически менее плотную  $n_2 < n_1$  (например, из стекла в воздух) можно наблюдать явление **полного внутреннего отражения**, то есть исчезновение преломленного луча. Это явление наблюдается при углах падения, превышающих некоторый критиче-

ский угол  $\alpha_{\text{пр}}$ , который называется **предельным углом полного внутреннего отражения** (см. рисунок на следующей странице). Для угла падения  $\alpha = \alpha_{\text{пр}}$ :

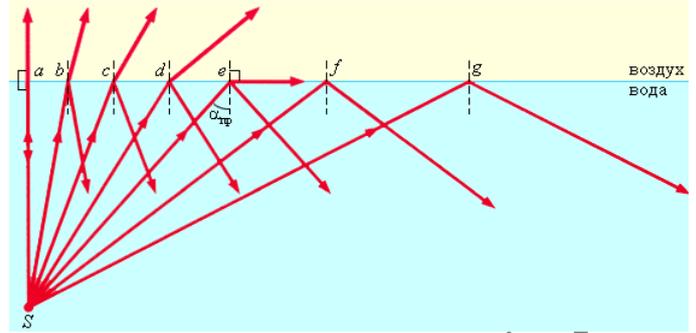
$$\sin \beta = 1 \text{ значение } \sin \alpha_{\text{пр}} = \frac{n_2}{n_1} < 1.$$

Если второй средой является воздух ( $n_2 \approx 1$ ), то формулу удобно переписать в виде  $\sin \alpha_{\text{пр}} = \frac{1}{n}$ ,

где  $n = n_1 > 1$  – абсолютный показатель преломления первой среды. Для границы раздела стекло–воздух ( $n = 1,5$ ) критический угол равен  $\alpha_{\text{пр}} = 42^\circ$ , для границы вода–воздух ( $n = 1,33$ ) –  $\alpha_{\text{пр}} = 48,7^\circ$ .

Это явление вы можете наблюдать, если купаясь в бассейне нырнете и попытаетесь посмотреть на границу раздела воздух-вода. При определенном угле зрения на водную гладь она вам будет казаться зеркальной, и вы не увидите предметов, находящихся в воздухе, а будете видеть на границе раздела отражение дна. Решите задачу самостоятельно.

**Ответ:** 4.



**A18.** 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  ${}^A_Z X$ , где  $X$  – химический символ элемента. Например,  ${}^1_1 H$  – водород,  ${}^0_{-1} e$  – электрон,  ${}^0_{+1} e$  – позитрон (электрон, имеющий положительный заряд),  ${}^4_2 He$  – гелий ( $\alpha$ -частица),  ${}^{16}_8 O$  – кислород,  ${}^{12}_6 C$  – углерод,  ${}^{238}_{92} U$  – уран. Как определять число протонов и нейтронов. На примере урана  ${}^{238}_{92} U$  – число протонов  $N_p = Z = 92$ , число нейтронов  $N_n = A - Z = 238 - 92 = 146$ .

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

Вернемся к нашей задаче 
$$\begin{aligned} 51 &= N + p \\ 23 &= p \end{aligned} \Rightarrow N = 51 - 23 = 28$$

**Ответ:** 3.

**B1. 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.

Импульс **СИСТЕМЫ ТЕЛ** равен векторной сумме импульсов всех тел системы:

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 + \dots$$

Если тела движутся в одном направлении, то суммарный импульс системы  $p = p_1 + p_2$ .

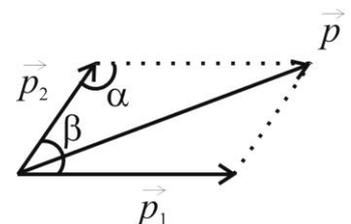
Если в противоположных направлениях, то  $p = |p_1 - p_2|$ .

Если под прямым углом друг к другу, то  $p = \sqrt{p_1^2 + p_2^2}$  (по теореме Пифагора).

Если под произвольным углом, то  $p^2 = p_1^2 + p_2^2 - 2p_1 p_2 \cos \alpha$  (теорема косинусов), где  $\alpha$  – угол между направлениями векторов скоростей.

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.

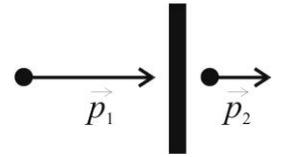
**НЕ ПУТАЙТЕ С СУММАРНЫМ ИМПУЛЬСОМ СИСТЕМЫ ТЕЛ!!!!!!!**



В первых примерах  $p_1$  и  $p_2$  – импульсы **РАЗНЫХ ТЕЛ** в один и тот же момент времени. Сейчас же  $p_1$  и  $p_2$  – импульс **ОДНОГО И ТОГО ЖЕ ТЕЛА** в начальный ( $p_1$ ) и конечный ( $p_2$ ) моменты времени. Например, найдем изменение импульса пули массой 10 грамм, которая до того, как пробита 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  $\Delta p = p_2 - p_1 = 0,01 \cdot 100 - 0,01 \cdot 300 = -2$  кг·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

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

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

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

И опять не боимся отрицательности. Положительным у нас было начальное направление полета пули, поэтому изменение получилось отрицательным. Вернемся к нашей задаче

$$\Delta p = p - p_0 = mv - mv_0 = m(gt) - 0 = 2 \text{ (кг·м/с)}$$

**Ответ: 2.**

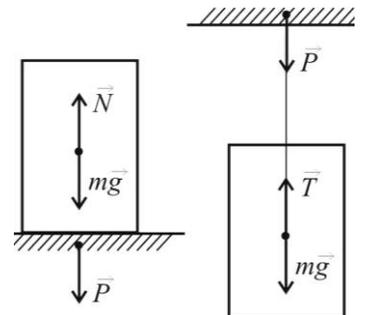
**В2. Силу тяжести  $m\vec{g}$** , с которой тела притягиваются к Земле, нужно отличать от **веса тела**. Понятие веса широко используется в повседневной жизни.

Весом тела называют **СИЛУ**, с которой тело вследствие притяжения его к земле действует на опору или подвес. **ВЕС – СИЛА, ИЗМЕРЯЕТСЯ В НЬЮТОНАХ, А НЕ В КИЛОГРАММАХ!!!**

При этом предполагается, что тело неподвижно **относительно опоры или подвеса (однако может двигаться вместе с опорой или подвесом, о чем чуть ниже)**.

Пусть тело лежит на неподвижном относительно Земли горизонтальном столе (см. рисунок). На тело действуют сила тяжести  $F_T = mg$ , направленная вертикально вниз, и сила упругости  $F_{\text{упругости}} = N$  с которой опора действует на тело. Силу  $N$  называют **силой нормального давления** или **силой реакции опоры**. Силы, действующие на тело, уравнивают друг друга:

$$mg = N.$$



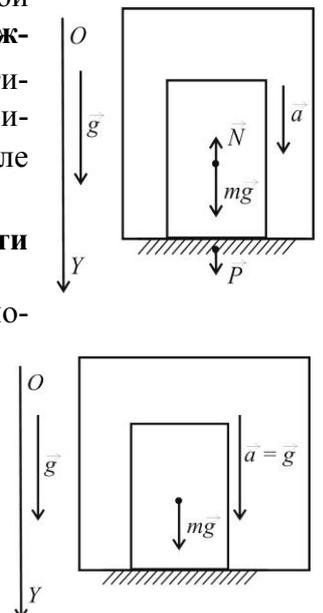
В соответствии с третьим законом Ньютона **тело действует на опору** с некоторой силой  $P$  равной по модулю силе реакции опоры и направленной **в противоположную сторону**:  $\vec{P} = -\vec{N}$  (знак минус говорит о том, что вектора направлены в противоположные стороны). По определению, сила  $P$  и называется **весом тела**. Из приведенных выше соотношений видно, что  $P = F_T = mg$ , то есть вес тела  $P$  равен силе тяжести  $mg$  (если тело находится в покое).

**Эти силы приложены к разным телам и имеют разную природу! Сила тяжести – гравитационную природу, вес, как и сила упругости, – электромагнитную.**

Если же тело подвешено на нити (см. рисунок выше) то вместо силы реакции опоры  $N$  появляется сила натяжения нити  $T$ . Остальные рассуждения остаются такими же. Если тело неподвижно висит на пружине, то роль силы реакции опоры (подвеса) играет упругая сила пружины. По растяжению пружины можно определить вес тела и равную ему силу притяжения тела Землей.

Рассмотрим теперь случай, когда тело лежит на опоре (или подвешено на пружине) в кабине лифта, движущейся с некоторым ускорением  $a$  относительно Земли. На тело по-прежнему действуют сила тяжести  $mg$ , и сила реакции опоры  $N$ , но теперь эти силы не уравнивают друг друга. По второму закону Ньютона  $m\vec{g} + \vec{N} = m\vec{a}$ . Пусть вектор ускорения  $\vec{a}$  направлен по вертикали вниз (см. рисунок). Тогда

$$mg - N = ma \Rightarrow N = mg - ma = m(g - a), \text{ откуда } P = m(g - a)$$



Из формулы видно, что вес тела  $P$  в ускоренно движущемся вертикально вниз лифте меньше нормального веса. Наконец, если  $a = g$ , то  $P = 0$  (тело свободно падает на Землю вместе с кабиной, см. рисунок). Такое состояние называется **невесомостью**. Оно возникает, например, в кабине космического корабля при его движении по орбите с выключенными реактивными двигателями.

Если вектор ускорения  $a$  направлен вертикально вверх (см. рисунок), то второй закон Ньютона запишется в виде  $N - mg = ma \Rightarrow N = mg + ma = m(g + a)$ . Следовательно, вес тела будет равен  $P = m(g + a)$ , то есть вес тела всегда будет превышать по модулю нормальный вес. Так как по условию задачи лифт движется вниз, то

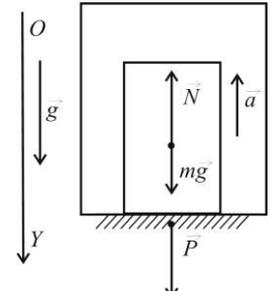
$$mg - N = ma \Rightarrow N = mg - ma = m(g - a)$$

Давление, которое оказывает тело на дно лифта, равно

$$p = \frac{F}{S} = \frac{N}{l^2} = \frac{m(g - a)}{l^2} = \frac{\rho V(g - a)}{l^2} = \frac{\rho l^3(g - a)}{l^2} = \rho l(g - a)$$

А теперь выразим длину стороны кубика  $l = \frac{p}{\rho(g - a)} = \frac{4200}{700 \cdot 8} = 0,75 \text{ (м)} = 75 \text{ (см)}$

**Ответ:** 75.



**В3.** Задачи на наклонную плоскость с одной стороны являются достаточно сложными. Однако если понять фишку таких задач, то решение не будет составлять особого труда. Задачи с наклонной плоскостью можно разделить на несколько типов:

1. Тело само (без участия внешней силы) соскальзывает с наклонной плоскости (при этом движение тела может быть как ускоренным, так и равномерным, в зависимости от угла и коэффициента трения).
2. Телу сообщают начальную скорость у основания наклонной плоскости, и оно движется вверх вдоль наклонной плоскости (очевидно, что такое движение будет замедленным, ведь нет силы, которая будет поддерживать движение).
3. Тело движется вверх (вниз) по наклонной плоскости. При этом на нее действует сила, вызывающая движение. Движение тела может быть как равномерным, так и равноускоренным, и даже равнозамедленным, в зависимости от величины силы.

**Разберем первый случай.**

Оси координат обычно выбираются таким образом, чтобы ось  $Ox$  была параллельна наклонной плоскости, а ось  $Oy$  перпендикулярна ей. При этом все силы, кроме силы тяжести, будут параллельны одной оси и перпендикулярны другой. Таким образом, только сила тяжести может доставить некоторые неудобства. Именно поэтому при построении рисунка угол наклонной плоскости удобнее всего делать **НЕБОЛЬШИМ**, чтобы потом не возникало проблем при проецировании силы тяжести на оси координат. Обращаю Ваше внимание на то, что угол между силой тяжести и осью  $Oy$  будет равен углу наклона плоскости к горизонту (это легко доказывается при помощи признаков подобия треугольников, но не будем тратить на это время).

Таким образом, второй закон Ньютона в проекциях на оси примет вид:

$$Ox: mgsin\alpha - F_{тр} = ma$$

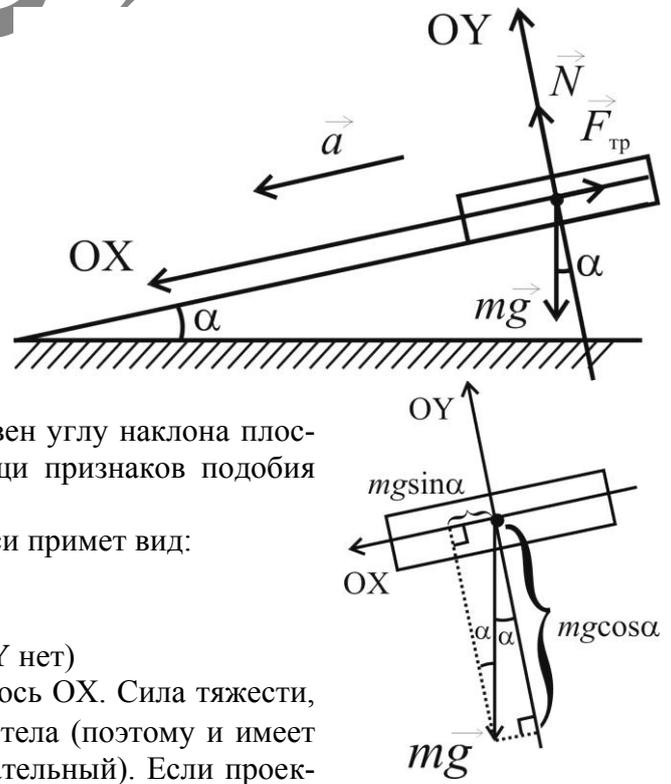
(или равно 0, если тело движется равномерно)

$$Oy: N - mgcos\alpha = 0 \text{ (0, так как движения вдоль оси } Oy \text{ нет)}$$

Проанализируем проекцию второго закона Ньютона на ось  $Ox$ . Сила тяжести, а точнее ее составляющая  $mgsin\alpha$ , помогает движению тела (поэтому и имеет положительный знак), сила трения мешает (знак отрицательный). Если проекция силы тяжести больше силы трения, то движение будет ускоренным, если они равны друг другу – равномерным, а если меньше, то замедленным.

Разберемся теперь подробнее с силой тяжести и ее проекциями на оси. Сила тяжести направлена под углом  $\alpha$  к оси  $Oy$ . Опустим перпендикуляр из конца силы тяжести на оси  $Ox$  и  $Oy$ . Получим два одинаковых прямоугольных треугольника. Найдем проекцию силы тяжести на ось  $Ox$ .

Из треугольника, составленного из силы тяжести, осью  $Ox$  и перпендикуляром, находим



$$(mg)_x = mg \sin \alpha.$$

Из треугольника, составленного из силы тяжести, осью OY и перпендикуляром, находим

$$(mg)_y = mg \cos \alpha.$$

**Обратите внимание, что если на одну ось в проекции участвует  $\cos \alpha$ , то на другую обязательно будет  $\sin \alpha$ . При этом определить где  $\sin$  и где  $\cos \alpha$  очень просто: если угол прилежит к проекции – будет  $\cos \alpha$ , если нет –  $\sin \alpha$ .** Далее задача решается вполне просто.

**ВАЖНО ЗНАТЬ!** Если тело движется равномерно по наклонной плоскости в отсутствии внешних сил, то коэффициент трения легко найти, зная угол наклонной плоскости

$$\mu = \operatorname{tg} \alpha.$$

Докажем это соотношение. При **равномерном** движении второй закон Ньютона примет вид

$$\text{OX: } mg \sin \alpha - F_{\text{тр}} = 0$$

$$\text{OY: } N - mg \cos \alpha = 0$$

Сила трения  $F_{\text{тр}} = \mu N = \mu mg \cos \alpha$ . Подставим это соотношение в первое уравнение

$$mg \sin \alpha = \mu mg \cos \alpha,$$

Откуда, после сокращения силы тяжести, получаем что  $\mu = \operatorname{tg} \alpha$ .

Если тело движется вверх вдоль наклонной плоскости без действия внешних сил (например, тело толкнули вверх вдоль наклонной плоскости, на чем действие внешней силы прекратилось), то такое движение всегда будет замедленным, ведь и сила трения и составляющая силы тяжести будут мешать движению тела (см. первый рисунок). Второй закон Ньютона в проекции на ось OX в этом случае примет вид (ось OX удобней направить против направления движения тела)

$$mg \sin \alpha + F_{\text{тр}} = ma$$

Если же на тело действует внешняя сила  $F$  (см. второй рисунок), которая тащит тело вверх, тогда

$$F - mg \sin \alpha - F_{\text{тр}} = ma,$$

то есть сила  $F$  помогает движению тела вверх по плоскости с ускорением  $a$  (хотя движение может быть и равномерным, просто тогда  $a=0$ ), а проекция силы тяжести и сила трения мешают этому движению (поэтому их проекции и отрицательны).

Зачастую в задачах на наклонную плоскость в условии может быть сказано про два движения – вверх по наклонной плоскости и вниз. У этих движений всегда будет один общий параметр – путь пройденный телом. Поэтому мы вправе записать  $S_1 = S_2$  и потом раскрывать этот путь при помощи кинематических формул, в которые будет обязательно входить ускорение тела. А ускорение будем искать из второго закона Ньютона для каждого случая в отдельности.

А теперь вернемся к нашей задаче. Запишем второй закон Ньютона в проекции на ось OX

$$F - mg \sin \alpha - F_{\text{тр}} = ma \Rightarrow F = mg \sin \alpha + \mu N + ma \Rightarrow F = mg \sin \alpha + \mu mg \cos \alpha + ma;$$

Учитывая, что средняя мощность равна произведению силы тяги на среднюю и скорость и что  $a = \frac{v^2}{2S}$

$$\begin{aligned} \langle P \rangle &= F \langle v_{\text{cp}} \rangle = m \left( g \sin \alpha + \mu g \cos \alpha + \frac{v^2}{2S} \right) \cdot \frac{v}{2} = 1700 \left( 10 \cdot \frac{1}{2} + 0,2 \cdot 10 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{15^2}{2 \cdot 75} \right) \cdot \frac{15}{2} = \\ &= 12750(5 + 1,73 + 1,5) = 104932,5 \text{ Вт} = 105 \text{ кВт} \end{aligned}$$

**Ответ:** 105.

**В4.** При взаимодействии тел **импульс** одного тела может частично или полностью передаваться другому телу. **В замкнутой системе векторная сумма импульсов всех тел, входящих в систему, остается постоянной при любых взаимодействиях тел этой системы между собой** (если на систему тел не действуют внешние силы со стороны других тел, такая система называется **замкнутой**).

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

$\vec{F}\Delta t = \vec{p} - \vec{p}_0 = 0 \Rightarrow \vec{p} = \text{const}$ , то есть если на тело или систему тел не действуют **ВНЕШНИЕ** силы или результирующая этих сил равна нулю, то **изменение импульса (А НЕ САМ ИМПУЛЬС)** тоже равно нулю. То есть импульс тела (или суммарный импульс системы тел) не изменяется.

Аналогично это можно применить для равенства нулю проекции силы на выбранную ось. Если  $F_x = 0 \Rightarrow p_x = \text{const}$  или  $p_{1x} = p_{2x}$ , где  $p_{1x}$  – проекция импульса на ось OX в начальный момент времени,  $p_{2x}$  – в конечный. При этом сами импульсы могут меняться, а их сумма остается постоянной.

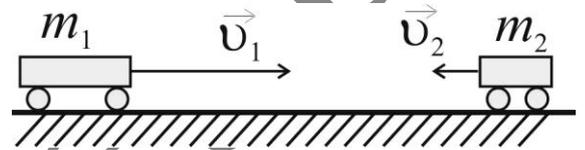
Для случая взаимодействия двух тел закон сохранения импульса часто записывают в виде:

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2,$$

где  $m_1\vec{v}_1$  и  $m_1\vec{u}_1$  – импульс первого тела до и после взаимодействия,  $m_2\vec{v}_2$  и  $m_2\vec{u}_2$  – импульс второго тела до и после взаимодействия. Это равенство означает, что в результате взаимодействия двух тел их **СУММАРНЫЙ ИМПУЛЬС** не изменился.

**ПРИМЕР.** Тележка массой  $m_1 = 6$  кг движется навстречу тележке массой  $m_2 = 10$  кг. Определить скорость тележек после неупругого соударения, если скорость первой тележки до удара 4 м/с, второй тележки 2 м/с.

Сделаем пояснительный рисунок. По условию задачи удар является неупругим. Это значит, что после удара тележки будут двигаться как одно целое. В каком направлении тележки продолжат движение? Есть два способа как это определить.

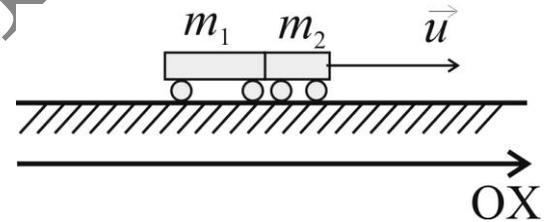


1. Решать задачу так, как будто обе тележки продолжают движение в направлении первоначального движения первой тележки. Если в ответе выскочит знак «-», значит, Вы ошиблись, и обе тележки будут двигаться в обратном направлении.
2. Импульс первой тележки до удара  $p_1 = m_1v_1 = 24$  кг•м/с. Импульс второй  $p_2 = m_2v_2 = 20$  кг•м/с. А теперь угадайте с трех раз какая тележка победит в столкновении. Именно этот способ я и рекомендую.

Делаем второй рисунок, на котором показываем дальнейшее движение тележек. Ось OX направляем по ходу движения тележек после удара

Запишем закон сохранения импульса в векторной форме

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = (m_1 + m_2)\vec{u}$$



Обращаю Ваше внимание на то, что скорость тележек после удара удобнее обозначить другой буквой, например  $u$ . Это избавит Вас от путаницы со штрихованными скоростями.

В проекции на ось OX уравнение примет вид  $m_1v_1 - m_2v_2 = (m_1 + m_2)u$ . У второго тела импульс до удара отрицательный, так как второе тело до удара двигалось **против** оси OX. Теперь найдем скорость тележек после удара  $u = \frac{m_1v_1 - m_2v_2}{m_1 + m_2}$ .

$$u = \frac{m_1v_1 - m_2v_2}{m_1 + m_2}$$

Таким образом, для того чтобы найти скорость тележек после неупругого удара нам совсем необязательно знать какие силы действовали на тележки во время удара, как он происходил и много других подробностей. Нам достаточно знать импульсы тележек до удара и все!!! В ЭТОМ И ЕСТЬ ЗАМЕЧАТЕЛЬНАЯ ОСОБЕННОСТЬ ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА.

Таким образом, мы легко найдем скорость, с которой будут двигаться пуля с бруском. А теперь запишем закон сохранения энергии. Начальная энергия пули будет равна энергии пули с бруском плюс модуль работы против сил сопротивления

$$\frac{m_1v_1^2}{2} = \frac{(m_1 + m_2)u^2}{2} + |A_{\text{сопр}}| \Rightarrow \frac{m_1v_1^2}{2} = \frac{(m_1 + m_2)u^2}{2} + |F_{\text{сопр}} \cdot s|$$

Дальше самостоятельно.

**Ответ:** 16.

**В5.** Выберем на графике точку, для которой мы точно сможем определить объем и давление газа (например, точка с объемом 0,5 метра кубического и давлением 100 000 Паскалей). А теперь просто выразим из уравнения состояния идеального газа температуру и подставим данные

$$pV = \frac{m}{M}RT \Rightarrow T = \frac{pVM}{mR}$$

Ответ: 301.

**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

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

**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). Произведение массы тела на его теплоемкость называется **ТЕПЛОЕМКОСТЬЮ ТЕЛА**.

$$C = cm; \quad [C] = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ }^\circ\text{C}}.$$

**Важно научиться различать теплоемкость тела и удельную теплоемкость.** Теплоемкость тела  $C$  характеризует теплоемкость тела целиком. Например, теплоемкость монеты.

**Удельная теплоемкость**  $c$  характеризует теплоемкость вещества, из которого сделано тело. Например, удельная теплоемкость меди, из которой сделана монета.

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:** она равна количеству теплоты, необходимому для превращения в пар 1 кг жидкости, находящейся при температуре кипения.

Например, удельная теплота парообразования воды – 2260 кДж/кг. Это означает, что для того, чтобы превратить 1 кг воды при 100  $^\circ$ С в 1 кг пара при той же температуре понадобится 2260 кДж.

Вообще 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, тогда как кипение идет по всему объему жидкости и гораздо интенсивнее.

Для решения задачи надо предположить, что полезная мощность нагревателя не меняется. То есть воде отдается в единицу времени одно и то же количество теплоты – как при ее нагревании, так и в процессе парообразования. Получаем уравнение

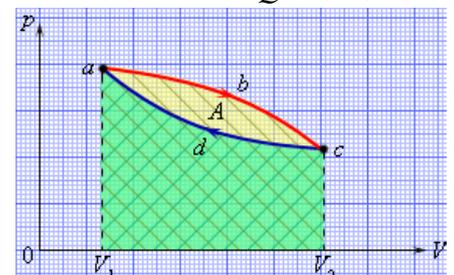
$$P_1 = P_2 \Rightarrow \frac{cm\Delta T}{t_1} = \frac{Lm}{t_2} \Rightarrow t_2 = t_1 \frac{L}{c\Delta T} = 12 \text{ (мин)} \frac{2,3 \cdot 10^6}{4,2 \cdot 10^3 \cdot 80} = 82 \text{ (мин)}$$

Обращаю ваше внимание, что время мы можем не переводить в единицы СИ и подставлять в минутах.

Ответ: 82.

**В7. Тепловым двигателем** называется устройство, способное превращать полученное количество теплоты в механическую работу. Механическая работа в тепловых двигателях производится в процессе расширения некоторого вещества, которое называется **рабочим телом**. В качестве рабочего тела обычно используются газообразные вещества (пары бензина, воздух, водяной пар).

Как следует из первого закона термодинамики, полученное газом **количество теплоты**  $Q$  полностью превращается в **работу**  $A$  при изотермическом процессе, при котором внутренняя энергия остается неизменной ( $\Delta U = 0$ ):  $A = Q$ . Но такой **однократный акт** преобразования теплоты в работу не представляет интереса для техники. Реально существующие тепловые двигатели (паровые машины, двигатели внутреннего сгорания и т. д.) работают **цик-**



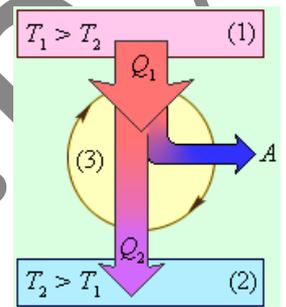
**лически.** Процесс теплопередачи и преобразования полученного количества теплоты в работу периодически повторяется. Для этого рабочее тело должно совершать **круговой процесс** или термодинамический цикл, при котором периодически восстанавливается **исходное** состояние. Круговые процессы изображаются на диаграмме  $(p, V)$  газообразного рабочего тела с помощью замкнутых кривых. При расширении газ совершает положительную работу  $A_1$ , равную площади под кривой  $abc$ . При сжатии газ совершает **ОТРИЦАТЕЛЬНУЮ** работу  $A_2$ , равную по модулю площади под кривой  $cda$ . Полная работа за цикл

$$A = A_1 + A_2 \text{ или } A = A_1 - |A_2|$$

на диаграмме  $(p, V)$  равна площади цикла. Работа  $A$  положительна, если цикл обходится по часовой стрелке (как раз такое направление указано на рисунке), и  $A$  отрицательна, если цикл обходится в противоположном направлении.

Общее свойство всех круговых процессов состоит в том, что их невозможно провести, приводя рабочее тело (на рисунке обозначено (3)) в тепловой контакт только с одним тепловым резервуаром. Их нужно, по крайней мере, два. Тепловой резервуар с более высокой температурой называют **нагревателем** (на рисунке обозначено (1)), а с более низкой – **холодильником** (на рисунке обозначено (2)). Совершая круговой процесс, рабочее тело получает от нагревателя некоторое количество теплоты  $Q_1$  и отдает холодильнику количество теплоты  $Q_2$ , которое двигатель не смог преобразовать в работу  $A$ . Таким образом работа газа за цикл будет равна  $A = Q_1 - Q_2$ . Отношение работы  $A$  к количеству теплоты  $Q_1$ , полученному рабочим телом за цикл от нагревателя, называется **коэффициентом полезного действия**  $\eta$  тепловой машины:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \text{ или } \eta = \frac{A}{A + Q_2}$$



Коэффициент полезного действия указывает, какая часть тепловой энергии, полученной рабочим телом от «горячего» теплового резервуара, превратилась в полезную работу. Остальная часть  $(1 - \eta)$  была «бесполезно» передана холодильнику. Если не отдать эту энергию холодильнику – тепловая машина может разрушиться. Именно поэтому у любого двигателя внутреннего сгорания есть система охлаждения и подключенный к ней радиатор. Коэффициент полезного действия тепловой машины всегда меньше единицы ( $\eta < 1$ ).

В 1824 году французский инженер С. Карно рассмотрел круговой процесс, состоящий из двух изотерм и двух адиабат. Этот круговой процесс сыграл важную роль в развитии учения о тепловых процессах. Он называется **циклом Карно** (см. рисунок). С. Карно выразил **коэффициент полезного действия цикла** через температуры нагревателя  $T_1$  и холодильника  $T_2$

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \text{ или } \eta = \frac{T_{\text{Нагр}} - T_{\text{Хол}}}{T_{\text{Нагр}}} = 1 - \frac{T_{\text{Хол}}}{T_{\text{Нагр}}}$$

А дальше все просто. Найдем отношение температуры холодильника к температуре нагревателя

$$\eta_1 = 1 - \frac{T_{x1}}{T_n} \Rightarrow \frac{T_{x1}}{T_n} = 1 - \eta_1 = 1 - 0,38 = 0,62$$

А теперь учтем, что температура холодильника уменьшилась на 19 %, то есть от нее остался 81 %

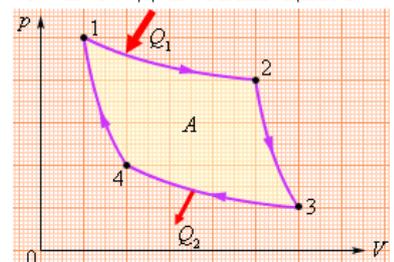
$$\eta_2 = 1 - \frac{T_{x2}}{T_n} = 1 - \frac{0,81T_{x1}}{T_n} = 1 - 0,81 \cdot 0,62 = 0,4978 \Rightarrow \eta_2 = 49,78 \% .$$

Казалось бы, что очевиден ответ, что КПД вырос на 12%. Однако это не так. Составители тестов хотят видеть в ответе, как в процентах изменилось КПД. Перевожу на русский. Например, скорость тела была равна 10 м/с. После действия внешней силы скорость тела увеличилась до 13 м/с. Следовательно, она увеличилась на 3 м/с или на 30 %. Поэтому те, кто записал в задаче Б12 в ответ 12% по мнению составителей тестов неправильно решили задачу. Поэтому делаем следующее. Начальный КПД берем за 100%, конечный за  $x$  и составляем пропорцию

$$\frac{\eta_1 - 100 \%}{\eta_2 - x \%} \Rightarrow x = \frac{\eta_2}{\eta_1} 100\% = \frac{49,78\%}{38\%} 100\% = \frac{24,89}{19} 100\%$$

Тогда изменение КПД будет равно

$$x - 100\% = \frac{24,89}{19} 100\% - 100\% = \left( \frac{24,89}{19} - 1 \right) 100\% = \left( \frac{24,89 - 19}{19} \right) 100\% = \frac{5,89}{19} 100\% = 31\%$$



Ответ: 31.

**В8. Фотон** — элементарная частица, переносчик электромагнитного взаимодействия, квант электромагнитного поля. Фотоны обозначаются буквой  $\gamma$ , поэтому их часто называют гамма-квантами (особенно фотоны высоких энергий). Эти термины практически синонимичны.

Фотон не имеет массы покоя и электрического заряда. Фотон участвует в электромагнитном и гравитационном взаимодействии. **Масса ПОКОЯ фотона равна нулю.** Энергия фотона равна  $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ , где

$\nu$  — частота фотона,  $\lambda$  — длина волны фотона,  $c$  — скорость света,  $h$  — постоянная Планка ( $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$  Дж·с). Фотон движется в вакууме со скоростью света, равной 300 000 км/с.

Фотону свойствен корпускулярно-волновой дуализм. С одной стороны, фотон демонстрирует свойства электромагнитной волны в явлениях дифракции и интерференции при масштабах, сравнимых с длиной волны фотона. С другой стороны фотон ведёт себя как частица, которая излучается или поглощается (фотоэффект) целиком объектами. Причём размеры объектов много меньше длины волны фотона (например, атом), или вообще могут считаться точечными (например, электрон).

Таким образом, учение о свете вновь возвратилось к представлениям о световых частицах — корпускулах. В начале XX века стало ясно, что свет обладает двойственной природой. При распространении света проявляются его волновые свойства (**интерференция, дифракция, поляризация**), а при взаимодействии с веществом — корпускулярные (**фотоэффект**). Эта двойственная природа света и получила название **корпускулярно-волнового дуализма**.

Мощность источника света можно найти из соотношения  $P = \frac{E}{t} = \frac{NE_0}{t}$ , где  $E_0$  — энергия одного фотона, а  $N$  — количество фотонов испустившихся источником за время  $t$ . КПД источника света равен

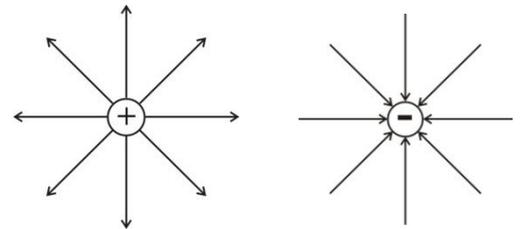
$$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{затр}}} = \frac{N \cdot h\nu}{P \cdot t} = \frac{N \frac{hc}{\lambda}}{Pt} \Rightarrow P = \frac{N \frac{hc}{\lambda}}{\eta \cdot t} = \frac{Nhc}{\lambda \eta t} = \frac{2,7 \cdot 10^{18} \cdot 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{536 \cdot 10^{-9} \cdot 0,01} = 10^3 \cdot 0,1 = 100 \text{ (Вт)}$$

Ответ: 100.

**В9.** В соответствии с законом Кулона, напряженность электростатического поля, создаваемого точечным зарядом  $Q$  на расстоянии  $r$  от него, равна по модулю:

$$E = \frac{F_{\text{Кулона}}}{q_0} = \frac{k \frac{Qq_0}{r^2}}{q_0} = k \frac{Q}{r^2}, \text{ то есть}$$

$$E = k \frac{Q}{r^2} \text{ или } E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}.$$



Точно такая же формула определяет напряженность поля равномерно заряженных шаров и сфер **снаружи от них (внутри напряженность поля равна нулю)**. При этом **расстояние  $r$  измеряется от центра шара или сферы**. Заряд, создающий поле, обозначен  $Q$  а пробный заряд —  $q_0$  (чтобы не спутать их).

Потенциал  $\varphi$  поля точечного заряда  $Q$  на расстоянии  $r$  от него относительно бесконечно удаленной точки вычисляется следующим образом:

$$\varphi = k \frac{Q}{r} \text{ или } \varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r}.$$

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

$$\varphi = k \frac{Q}{R}.$$

Из принципа суперпозиции напряженностей полей, создаваемых электрическими зарядами, следует **принцип суперпозиции для потенциалов** (при этом знак потенциала поля зависит от знака заряда, создавшего поле):

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \dots$$

То есть когда у нас стоит задача найти потенциал поля созданного системой зарядов в некоторой точке пространства, то мы находим потенциал поля каждого заряда (с учетом его знака естественно) и просто складываем эти потенциалы. НИКАКИХ ВЕКТОРОВ И НИКАКИХ МОДУЛЕЙ!!!

Найдем произведение постоянной  $k$  на заряд (который создает поле), через напряженность поля

$$E = \frac{kQ}{(AC)^2} \Rightarrow kQ = E \cdot (AC)^2$$

Из принципа суперпозиции потенциалов получаем

$$\begin{aligned} \varphi &= \varphi_1 + \varphi_2 = \frac{KQ}{(AC)} + \frac{KQ}{(BC)} = KQ \left( \frac{(BC) + (AC)}{(AC)(BC)} \right) = \frac{E(AC)^2(BC + AC)}{AC \cdot BC} = \\ &= \frac{E \cdot AC(BC + AC)}{BC} = \frac{76 \cdot 0,03(0,03 + 0,04)}{0,04} = 4 \text{ (В)} \end{aligned}$$

**Ответ:** 4.

**В10.** При перемещении электрических зарядов по цепи постоянного тока сторонние силы, действующие внутри источников тока, совершают работу.

**Физическая величина, равная отношению работы  $A_{ст}$  сторонних сил при перемещении заряда  $q$  от отрицательного полюса источника тока к положительному к величине этого заряда, называется**

**электродвижущей силой источника (ЭДС):**  $\varepsilon = \frac{A_{ст}}{q}$ . Таким образом, ЭДС определяется работой, со-

вершаемой сторонними силами при перемещении единичного положительного заряда. Электродвижущая сила, как и разность потенциалов, измеряется в **вольтах (В)**.

**Закон Ома для полной (замкнутой) цепи:** сила тока в замкнутой цепи равна электродвижущей силе

источника, деленной на общее (внутреннее + внешнее) сопротивление цепи  $I = \frac{\varepsilon}{R + r}$ . 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

$$\varepsilon = IR + Ir = U_R + U_r,$$

где  $U_R$  – падение напряжения во внешней цепи (напряжение на источнике),  $U_r$  – падение напряжения в источнике. Если сопротивление источника  $r \ll R$ , то  $\varepsilon \approx U_R$ .

**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 сопро-

тивления источника ( $r \gg R$ ), то тогда в цепи потечет **ток короткого замыкания**  $I_{кз} = \frac{\varepsilon}{r}$ .

Сила тока короткого замыкания – **максимальная** сила тока, которую можно получить от данного источника с электродвижущей силой  $\varepsilon$  и внутренним сопротивлением  $r$ .

При протекании тока по однородному участку цепи электрическое поле совершает работу. За время  $\Delta t$  по цепи протекает заряд  $\Delta q = I\Delta t$ . Электрическое поле на выделенном участке совершает работу

$$A = (\varphi_1 - \varphi_2)\Delta q = \Delta\varphi_{12}I\Delta t = UI\Delta t,$$

где  $U = \Delta\varphi_{12}$  – напряжение на участке цепи. Эту работу называют **работой электрического тока**.

$$A = UI\Delta t.$$

Используя закон Ома для участка цепи, получаем:

$$A = IU\Delta t = \frac{U}{R}U\Delta t = \frac{U^2}{R}\Delta t \text{ или } A = IU\Delta t = I \cdot IR \cdot \Delta t = I^2R\Delta t.$$

Таким образом, мы получили три формулы для работы тока на участке цепи

$$A = IU\Delta t \quad A = \frac{U^2}{R}\Delta t \quad A = I^2R\Delta t$$

**Работа  $A$  электрического тока  $I$ , протекающего по неподвижному проводнику с сопротивлением  $R$ , преобразуется в тепло  $Q$ , выделяющееся на проводнике.**

$$Q = A = I^2R\Delta t.$$

Закон преобразования работы тока в тепло был экспериментально установлен независимо друг от друга Дж. Джоулем и Э. Ленцем и носит название **закона Джоуля–Ленца**.

**КАКУЮ ФОРМУЛУ ВЫБРАТЬ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ?** Если в задаче несколько потребителей подключены к одному источнику параллельно или к одному источнику по очереди подключают разные потребители (это может быть один и тот же потребитель с которым что-либо сделали, например, укоротили спираль), то выбираем формулу с напряжением и сопротивлением

$$A = \frac{U^2}{R} \Delta t.$$

**ФОРМУЛА С НАПРЯЖЕНИЕМ ПРИМЕНЯЕТСЯ ГОРАЗДО ЧАЩЕ, ЧЕМ ОСТАЛЬНЫЕ!!!**

Если два потребителя соединены последовательно, то используем формулу с током и сопротивлением

$$A = I^2 R \Delta t.$$

**Мощность** электрического тока равна отношению работы тока  $A$ , совершенной током, к интервалу времени  $\Delta t$ , за которое эта работа была совершена:

$$P = \frac{A}{\Delta t} = IU = \frac{U^2}{R} = I^2 R.$$

И опять у нас три формулы

$$P = IU \quad P = \frac{U^2}{R} \quad P = I^2 R.$$

Полезная мощность, это мощность, которая выделяется на внешнем участке цепи. Она будет равна

$$P = I^2 \cdot R$$

Используем закон Ома для полной цепи для нахождения силы тока. Получим

$$P = I^2 \cdot R = \left( \frac{\varepsilon}{R+r} \right)^2 \cdot R \Rightarrow \varepsilon = \sqrt{\frac{P \cdot (R+r)^2}{R}} = (R+r) \sqrt{\frac{P}{R}} = (25+1) \sqrt{\frac{400}{25}} = 26 \cdot 4 = 104 \text{ (В)}$$

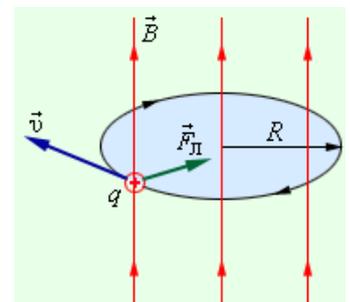
**Ответ:** 104.

**В11. При движении заряженной частицы в магнитном поле сила Лоренца работы не совершает** (сила Лоренца направлена перпендикулярно направлению движения). Поэтому модуль вектора скорости при движении частицы не изменяется, то есть не меняется **численное** значение скорости. Однако при этом направление скорости меняется. Если заряженная частица движется в однородном магнитном поле под действием силы Лоренца, а ее скорость лежит в плоскости, перпендикулярной вектору индукции магнитного поля, то частица будет двигаться по окружности. Второй закон Ньютона для этого случая примет вид  $ma_{\text{ц}} = qvB$ . При этом раскрыв  $a_{\text{ц}}$  получаем  $m \frac{v^2}{R} = qvB$ . Откуда радиус окружности, по

которой движется заряженная частица, равен  $R = \frac{mv}{qB}$ . Сила Лоренца в этом случае играет роль центростремительной силы.

Запишем второй закон Ньютона для движения электрона в электростатическом поле  $F = ma \Rightarrow qE = m \frac{v^2}{2S} \Rightarrow S = \frac{mv^2}{2qE}$ . Скорость движения электрона выразим через радиус окружности, по которой он двигался в магнитном поле. Получим

$$S = \frac{m}{2qE} \cdot v^2 = \frac{m}{2qE} \cdot \frac{R^2 q^2 B^2}{m^2} \Rightarrow S = \frac{R^2 q B^2}{2Em}$$



**Ответ:** 30.

**В12.** Рассмотрим, что происходит в цепи, когда ключ замкнут. Через конденсатор не может идти постоянный ток. Напряжение на конденсаторе будет равно ЭДС источника (напряжение на первом резисторе равно нулю, ведь тока нет). При этом через второй резистор идет тока равный  $I = \varepsilon / R_2$ .

После размыкания ключа у нас получается НЕ идеальный колебательный контур с двумя сопротивлениями  $R_1$  и  $R_2$ . Энергия такого колебательного контура равна

$$W = \frac{CU^2}{2} + \frac{LI^2}{2} = \frac{C\varepsilon^2}{2} + \frac{L(\varepsilon/R_2)^2}{2}$$

При разомкнутом ключе вся эта энергия выделится на резисторах. При помощи закона Джоуля-Ленца найдем количество теплоты, которое выделяется за некоторый промежуток времени, во всей цепи и в первого резисторе. Так как после размыкания ключа резисторы соединены последовательно, то через них идет одинаковый ток  $I$

$$Q = I^2(R_1 + R_2)\Delta t \text{ и } Q_1 = I^2R_1\Delta t$$

Разделим второе уравнение на первое. Получим

$$\frac{Q_1}{Q} = \frac{I^2R_1\Delta t}{I^2(R_1 + R_2)\Delta t} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Общее количество теплоты  $Q$ , которое выделится на резисторах, равно начальной энергии  $W$ . Окончательно получаем

$$Q_1 = Q \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \left( \frac{C\varepsilon^2}{2} + \frac{L(\varepsilon/R_2)^2}{2} \right) \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Ответ: 115.

## А ТЕПЕРЬ ПОДВЕДЕМ ИТОГИ!!!

Всего в тесте было 30 задач. Сложная только одна – Б12. Да, **ТОЛЬКО ОДНА ЗАДАЧА!!!** Все остальные решаются тупо в лоб. То есть для их решения достаточно хорошо знать только формулы и уметь мыслить логически (если не верите мне, то еще раз внимательно изучите решения). От вас не требуется глубокого понимания физических явлений и процессов. Поэтому если вы на втором этапе набрали меньше 60-70 баллов стоит пересмотреть свое отношение к подготовке к ЦТ по физике.