

Вариант 1

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18
5	1	2	5	1	2	5	5	3	3	4	3	5	3	1	2	5	2
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12						
75	40	40	25	25	60	314	30	12	43	16	160						

Вариант 2

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18
5	1	4	2	4	3	3	4	4	1	4	4	2	4	5	3	5	3
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12						
55	80	30	70	254	34	60	21	16	86	80	150						

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 подставить данные. Все, задача решена!
Если у вас есть более красивые решения отдельных задач – поделитесь! ☺

2018/2019, 1 этап, первый вариант

A1. Рекомендую скачать у меня с сайта www.repet.by раздел «Кинематика» (он находится в свободном доступе) и внимательно изучить параграфы 1.02 и 1.03. **Ответ: 5.**

A2. Средняя скорость перемещения равна отношению перемещения, совершенного телом за некоторый промежуток времени, к этому промежутку. В начальный момент времени тело находилось в точке с координатой 1 метр. Через 8 секунд тело было в точке с координатой -1 метр. Средняя скорость перемещения будет равна $v = \left| \frac{S}{t} \right| = \left| \frac{x - x_0}{t} \right| = \left| \frac{-1 - 1}{8} \right| = |-0,25| = 0,25 \text{ (м/с)}$. **Ответ: 1.**

A3. Если вы скачали раздел «Кинематика», то в теме 1.05 вы найдете разбор нескольких аналогичных задач. Эта задача аналогична задаче о **переправе лодки через реку по кратчайшему пути**. Представим, что лодка должна переплыть реку по кратчайшему пути (см. рисунок ниже). Следовательно, лодка должна плыть **перпендикулярно берегу (лодочник хочет попасть в точку, которая расположена ровно на противоположной стороне берега)**. В нашей задаче мы просто заменяем лодку на голубя, а скорость течения реки на скорость ветра.

Скорость, с которой голубь будет лететь обратно, мы найдем по теореме Пифагора

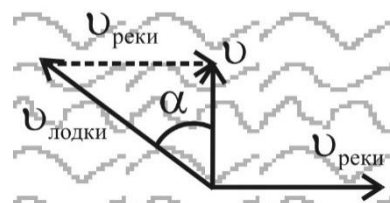
$$v_{\text{голубя 2}} = \sqrt{v_{\text{голубя без ветра}}^2 - v_{\text{ветра}}^2}.$$

Скорость голубя в безветренную погоду равна

$$v_{\text{голубя без ветра}} = \frac{s}{\Delta t_1} = \frac{2400 \text{ м}}{240 \text{ с}} = 10 \text{ (м/с)}.$$

Время, которое понадобится голубю на обратный путь, будет равно

$$t = \frac{s}{v_{\text{голубя 2}}} = \frac{s}{\sqrt{v_{\text{голубя без ветра}}^2 - v_{\text{ветра}}^2}} = \frac{2400}{\sqrt{10^2 - 6^2}} = \frac{2400}{8} = 300 \text{ (секунд)} = 5 \text{ (минут)}. \text{ **Ответ: 2.**}$$



A4. Как найти ускорение в момент времени 3 секунда вы можете прочитать в параграфах 1.12 и 1.13 раздела «Кинематика», который вы уже скачали у меня с сайта. **Ответ: 5.**

A5. Раздел «Динамика» так же находится в свободном доступе у меня на сайте. Обязательно прочитайте тему 2.07 «Закон всемирного тяготения». Так как силы гравитационного притяжения материальной точки к шарам одинаковы, то

$$F_1 = F_2 \Rightarrow G \frac{mm_1}{l_1^2} = G \frac{mm_2}{l_2^2} \Rightarrow \frac{m_1}{l_1^2} = \frac{m_2}{(l-l_1)^2} \Rightarrow m_2 = \frac{m_1(l-l_1)^2}{l_1^2} = m_1 \left(\frac{l-l_1}{l_1} \right)^2 = 10 \left(\frac{120-30}{30} \right)^2 = 90 \text{ (кг)}$$

Обращаю ваше внимание на то, что нам не надо переводить расстояние из сантиметров в метры, так как мы получили формулу, в которой отношение расстояний. **Ответ: 1.**

А6. Энергетические характеристики движения вводятся на основе понятия механической работы или работы силы.

Работой, совершаемой постоянной силой F , называется **скалярная** физическая величина, равная произведению модулей силы и перемещения, умноженному на косинус угла α между векторами силы F и перемещения S : $A = FScos\alpha$

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

Пусть тело движется по горизонтальной поверхности под действием некоторой силы $F_{тяги}$. На тело действуют 4 силы. Найдем работу каждой из сил.

Работа силы тяги $F_{тяги}$ положительна (сила помогает движению, хоть и направлена под углом α к горизонту) и равна $A = F_{тяги}Scos\alpha$.

Работа силы трения отрицательна (сила мешает движению тела). Угол между силой трения и направлением движения тела равен 180° (смотрят в разные стороны), поэтому работа силы будет равна

$$A_{трения} = F_{тр}Scos(180^\circ) = -F_{тр}S.$$

Работы силы тяжести и силы реакции опоры равны нулю (силы не помогают и не мешают движению)

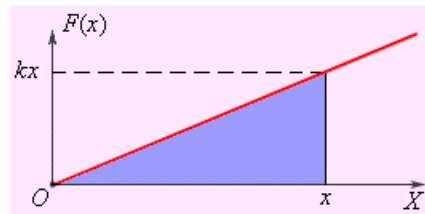
$$A_{тяжести} = mgScos(90^\circ) = 0, \quad A_{реакции\ опоры} = NScos(90^\circ) = 0.$$

В любой задаче знак работы силы можно определить путем простых логических рассуждений. Сила помогает движению – работа такой силы положительна. Сила мешает движению – работа такой силы отрицательна. Если сила никак не влияет на движение – работа такой силы равна 0.

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

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

Площадь под графиком зависимости силы от перемещения равна совершенной силой работе, то есть по площади треугольника на графике можно определить работу, совершенную внешней силой, при растяжении пружины: $A = S_{треуг} = \frac{1}{2} \text{основание} \times \text{высота} = \frac{1}{2} x \cdot F_{упр} = \frac{1}{2} x \cdot kx$,



то есть $A = \frac{kx^2}{2}$. Этой же формулой выражается работа, совершенная

внешней силой при сжатии пружины. В обоих случаях работа силы упругости равна по модулю работе внешней силы и противоположна ей по знаку (так как сила упругости мешает растяжению (сжатию) и всегда направлена против него). Решите задачу самостоятельно. **Ответ: 2.**

А7. Эту задачу можно решить путем простых логических рассуждений. Знания физики тут совсем не нужны. Смотрим внимательно на таблицу. Чтобы найти влажность надо выбрать строку по горизонтали и по вертикали. На пересечении этих строк и будет ответ.

Температура сухого термометра обозначена в условии как t_0 . В таблице это первый столбец. Так как температура сухого термометра 20°C , то этой температуре соответствует последняя строка.

$t_0, ^\circ\text{C}$	$t_0 - t, ^\circ\text{C}$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\varphi, \%$										
10	88	76	65	54	44	34	24	14	5	—
16	90	81	71	62	54	45	37	30	22	15
20	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24

Смотрим на второй большой столбец. В самой верхней ячейке этого столбца написано $t_0 - t$, то есть там указана разность температур между сухим и влажным термометром. В нашем случае эта разность равна 3°C .

$t_0, ^\circ\text{C}$	$t_0 - t, ^\circ\text{C}$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\varphi, \%$										
10	88	76	65	54	44	34	24	14	5	—
16	90	81	71	62	54	45	37	30	22	15
20	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24

Следовательно, влажность равна 74 %. Конечно не лишним будет повторить всю тему «Влажность воздуха», так как задачи по этой теме могут быть достаточно сложными. **Ответ: 5.**

А8. При своем движении молекулы газа непрерывно сталкиваются друг с другом. Из-за этого характеристики их движения непрерывно 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 движется **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 приводит к возникновению **давления газа**. Важный вывод: **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? Все просто. Сам по себе барометр является той самой стенкой, на с которой сталкиваются молекулы. В результате столкновений оказывается давление на барометр.

Поскольку давление является следствием 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

В этой теме будет очень много формул. Нет, не так. **Формул будет ОЧЕНЬ МНОГО!!!** И это будут не все возможные формулы, а лишь их часть. Остальные вы должны научиться получать самостоятельно.

1. Начинаю играть в формулы. Умножим и разделим правую часть уравнения на 2. Получим

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

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

2. Продолжим игры. Теперь опять вернемся к исходному уравнению и раскроем концентрацию

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

где ρ – 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

$$v_{\text{кв}} = \sqrt{3kT / m_0},$$

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 из градусов Цельсия в Кельвины** (кроме задач на уравнение теплового баланса (тема 7), где вы в основном будете иметь дело с изменением температуры, а не самой температурой). Запомните простое правило: **в градусах думают только алкоголики!!!** Это же правило можно, кстати, применять и в кинематике, переводя углы из градусов в радианы.

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**, которая в некоторых формулах заменяет

собой сразу две постоянных – постоянную Больцмана и постоянную Авогадро.

Умножив числитель и знаменатель на постоянную Авогадро, получим еще одну формулу для связи ско-

рости молекул и температуры:
$$v_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3 \cdot kN_A \cdot T}{m_0 N_A}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}.$$

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

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 количество молекул

$$E_K = N \cdot \frac{3}{2} kT = \frac{m}{M} N_A \cdot \frac{3}{2} kT = \frac{3}{2} \frac{m}{M} (N_A \cdot k) T = \frac{3}{2} \nu RT \Rightarrow E_K = \frac{3}{2} \nu RT$$

5. Подставим значение скорости в основное уравнение МКТ

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

6. Раскроем концентрацию в последнем полученном уравнении $p = nkT = \frac{N}{V} kT$. Следовательно,

$$pV = NkT.$$

НЕМНОГО ТЕОРИИ О ТЕМПЕРАТУРЕ

Понятие температуры тесно связано с понятием **теплового равновесия**. Тела, находящиеся в контакте друг с другом, могут обмениваться энергией. Энергия, передаваемая одним телом другому при тепловом контакте, называется **количеством теплоты**.

Тепловое равновесие – это такое состояние системы тел, находящихся в тепловом контакте, при котором не происходит теплопередачи от одного тела к другому, и все макроскопические параметры тел остаются неизменными. Температура – это физический параметр, одинаковый для всех тел, находящихся в тепловом равновесии. Для измерения температуры используются физические приборы – **термометры (не градусники, а именно термометры!!!)**, в которых о величине температуры судят по изменению какого-либо физического параметра. Для создания термометра необходимо выбрать **термометрическое вещество** (например, ртуть или спирт) и **термометрическую величину**, характеризующую свойство вещества (например, длина ртутного или спиртового столбика). В различных конструкциях термометров используются разнообразные физические свойства вещества (например, изменение линейных размеров твердых тел или изменение электрического сопротивления проводников при нагревании). Термометры должны быть откалиброваны. Для этого их приводят в тепловой контакт с телами, температуры которых считаются заданными. Чаще всего используют простые природные системы, в которых температура остается неизменной, несмотря на теплообмен с окружающей средой. Например, смесь льда и воды и смесь воды и пара при кипении при нормальном атмосферном давлении. По температурной **шкале Цельсия** точке плавления льда приписывается температура 0 °С, а точке кипения воды 100 °С. Изменение длины столба жидкости в капиллярах термометра на одну сотую длины между отметками 0 °С и 100 °С принимается равным 1 °С.

Английский физик У. Кельвин (Томсон) в 1848 г. предложил использовать точку нулевого давления газа для построения новой температурной шкалы (**шкала Кельвина**). В этой шкале единица измерения температуры такая же, как и в шкале Цельсия, но нулевая точка сдвинута: $T(K) = T(^{\circ}\text{C}) + 273,15$. То есть ноль по Кельвину соответствует –273,15 °С. Температуры ниже, чем ноль по Кельвину, не существует! 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 $T_K = 293,15\text{ K}$. Температурная шкала Кельвина называется **абсолютной шкалой температур**. Она оказывается наиболее удобной при построении физических теорий. **При решении задач считайте, что $T_K = T_C + 273$.**

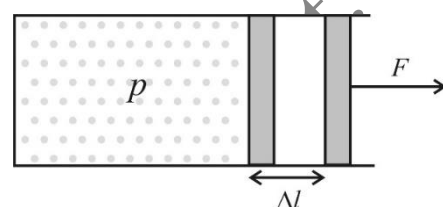
При решении задач нет необходимости переводить **ИЗМЕНЕНИЕ** температуры!!! То есть изменение температуры на 20 К НИКОГДА не будет равно изменению температуры на 293 °С!!! Например, была температура 290 К. Стала 310 К. Изменение составит 20 К. Если перевести в градусы Цельсия, то начальная температура была $T_1 = 290 - 273 = 17^\circ\text{C}$, конечная стала $T_2 = 310 - 273 = 37^\circ\text{C}$, то есть **ИЗМЕНЕНИЕ** равно 20 °С!!! **Изменения температуры по шкале Цельсия и Кельвина равны!!!**

Эта задача решается в одно действие. Главное подобрать формулу $p = \frac{N}{V} kT$, правильно найти из графика концентрацию молекул газа при 25 °С и перевести температуру в Кельвины. **Ответ: 5.**

A9. Пусть газ находится в сосуде, закрытом подвижным поршнем. Давление газа будет равно внешнему давлению p , так как поршень подвижен. Это давление будет постоянно. Пусть газ расширяется. Например, его нагрели. По определению (вспоминаем параграф 4.01), работа силы равна $A = F \cdot \Delta l$, где $F = pS$ – сила давления газа на поршень, Δl – расстояние, пройденное поршнем при расширении. Получаем

$$A = F \cdot \Delta l = pS \cdot \Delta l = p\Delta V \text{ или } A = p\Delta V.$$

По этой формуле можно считать работу газа, если давление **постоянно**. Любой газ совершает работу только при **изменении объема**. При этом важно понимать, что при расширении газ будет совершать положительную работу, а при сжатии – отрицательную. Очевидно, что **при изохорном процессе работа газа будет равна нулю (объем газа остается постоянным)**.

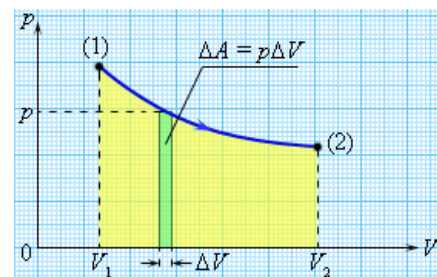


Используя уравнение Менделеева – Клайперона $pV = \frac{m}{M} RT$ можно получить еще одну формулу для

работы газа: $A = p\Delta V = \frac{m}{M} R\Delta T$ или $A = \nu R\Delta T$.

Хотя в последней формуле нет давления, но она также справедлива только в случае, если давление газа постоянно.

Если же давление газа меняется, то работу газа находят как **площадь фигуры под графиком $p-V$** (см. рисунок справа). В некоторых задачах вам придется нарисовать график и найти работу газа через площадь. Наша задача найти на графике участок, где объем газа увеличивается.



Ответ: 3.

A10. Обычно в названии предмета скрыта единица измерения физической величины, которую он измеряет. Если не помните размерности величин – ищите ответ методом исключения. **Ответ: 3.**

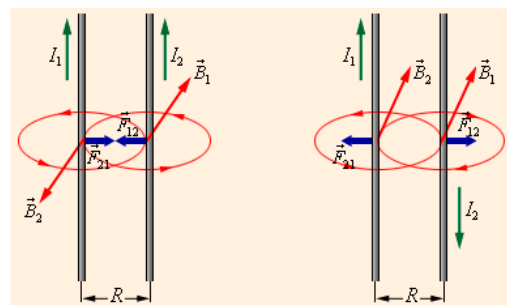
A11. В этой задаче очень много лишних данных. При решении этой задачи важно помнить, что при последовательном соединении проводников через них будет протекать одинаковый по силе электрический ток. **Ответ: 4.**

A12. Мощность электрического тока равна произведению силы тока на напряжение. **Ответ: 3.**

A13. Если по двум параллельным проводам идет ток в одном направлении, то они притягиваются. Если в противоположных направлениях, то они отталкиваются. **Взаимодействие токов вызывается их магнитными полями: магнитное поле одного тока действует силой Ампера на другой ток и наоборот.**

Если же рядом с проводом находится магнитная стрелка, то она устанавливается перпендикулярно проводу. Причем при изменении направления тока стрелка разворачивается на 180°. При взаимодействии с дугообразным магнитом проводник может втягиваться в него или выталкиваться в зависимости от направления тока.

При взаимодействии прямого тока с рамкой, по которой течет ток, рамка поворачивается таким образом, чтобы в ближней ее части ток был сонаправлен, а в дальней – противоположен прямому току. При изменении направления тока рамка разворачивается на 180°. Взаимодействие магнита и рамки приводит



к установлению плоскости рамки перпендикулярно линии, соединяющей полюса. Взаимодействие рамок с током приводит к тому, что они устанавливаются параллельно, а токи в них – сонаправленно.

ВЫВОД: магнитное действие токов тождественно магнитному действию магнитов при соответствующем подборе токов и магнитов.

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ТОКА

В пространстве, окружающем движущиеся электрические заряды, возникает магнитное поле.

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

Магнитным называется взаимодействие между движущимися электрическими зарядами.

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

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

ВЕКТОР МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

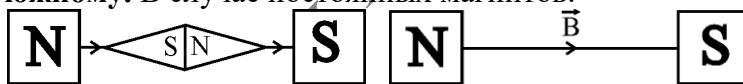
Вектор магнитной индукции – векторная физическая величина, являющаяся характеристикой магнитного поля, численно равная силе, действующей на элемент тока в 1 А и длиной 1 м, если направление силовой линии перпендикулярно проводнику.

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

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

Направление $\vec{B}$ определяется правилом правой руки. Направление $\vec{B}$ не совпадает с направлением силы, действующей на проводник, поэтому силовые линии магнитного поля, строго говоря, силовыми не являются.

Силовая линия направлена от южного полюса магнитной стрелки к северному, то есть от северного полюса магнита к южному. В случае постоянных магнитов:



Ответ: 5.

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

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

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

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

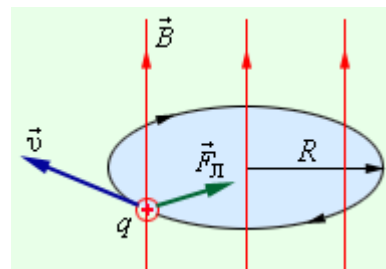
$$m \frac{v^2}{R} = qvB \Rightarrow R = \frac{mv}{qB}.$$

Сила Лоренца в этом случае играет роль центростремительной силы.

Зная радиус окружности, по которой движется заряженная частица, мы можем найти период обращения частицы

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi \frac{mv}{qB}}{v} = \frac{2\pi m}{qB}.$$

Это выражение показывает, что для заряженных частиц заданной массы m период обращения не зависит от скорости v и радиуса траектории R . Зная радиус окружности, по которой движется заряженная частица, мы можем найти и угловую скорость движения заряженной частицы



$$\omega = \frac{v}{R} = \frac{v}{\frac{mv}{qB}} = v \cdot \frac{qB}{mv} = \frac{qB}{m} \Rightarrow B = \frac{\omega m}{q}$$

Масса и заряд электрона есть в справочных данных в самом начале теста. **Ответ: 3.**

A15. Простейшим видом колебательного процесса являются простые **гармонические колебания**, которые описываются уравнением

$$x = A \cos(\omega t + \varphi_0) \quad \text{или} \quad x = A \sin(\omega t + \varphi_0),$$

где x – смещение тела от положения равновесия в момент времени t , A – амплитуда колебаний, ω – циклическая или круговая частота колебаний ($\omega = 2\pi/T$), t – время. Величина, стоящая под знаком косинуса (синуса) $\varphi = \omega t + \varphi_0$ называется **фазой** гармонического процесса. В начальный момент времени при $t = 0$ фаза будет равна $\varphi = \varphi_0$. Поэтому φ_0 называют начальной фазой. **Начальная фаза определяет положение тела в начальный момент времени.** То есть не всегда мы начинаем наблюдение за колеблющимся телом, когда оно находится в крайнем положении или в положении равновесия. Хотя в большинстве задач будет именно так. **Фаза колебаний никоим образом не соответствует углу отклонения маятника от положения равновесия!!!**

Если при решении задачи вам предстоит самостоятельно записать уравнение колебательного процесса, то учтите следующее. Если тело начинает движение **из положения равновесия**, то будем пользоваться уравнением

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

так как при $t = 0$

$$x_0 = A \sin(0) = A \cdot 0 = 0.$$

Если же в начальный момент времени тело находится **на максимальном удалении от положения равновесия**, то будем пользоваться уравнением

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

так как при $t = 0$

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

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

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

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

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

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

Очевидно, что коэффициент перед синусом будет равен амплитуде колебаний, то есть $A = 2$ (м). Так же легко увидеть, что начальная фаза колебаний равна $\varphi_0 = \pi/2$. А дальше немного сложнее

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

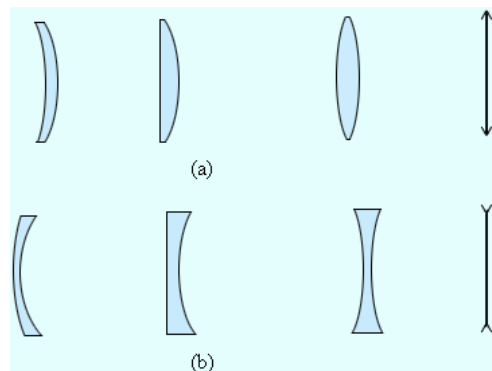
Зная циклическую частоту мы легко найдем период и частоту колебаний

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

Задачу решите самостоятельно. **Ответ: 1.**

A16. Линзой называется прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими поверхностями. Если толщина самой линзы мала по сравнению с радиусами кривизны сферических поверхностей, то линзу называют **тонкой**.

Линзы бывают **собирающими** и **рассеивающими**. Собирающая линза в середине толще, чем у краев, рассеивающая линза, наоборот, в средней части тоньше. На рисунке изображены собирающие (a) и рассеивающие (b) линзы и их условные обозначения.



Прямая, проходящая через центры кривизны O_1 и O_2 сферических поверхностей, называется **главной оптической осью** линзы (см. рисунок ниже). В случае тонких линз можно приближенно считать, что главная оптическая ось пересекается с линзой в одной точке, которую принято называть **оптическим центром линзы** O . Луч света проходит через оптический центр линзы, **не отклоняясь от первоначального направления**. Все прямые, проходящие через оптический центр, называются **побочными оптическими осями**.

Если на линзу направить пучок лучей, параллельных главной оптической оси, то после прохождения через линзу лучи (или их продолжения) соберутся в одной точке F , которая называется **главным фокусом** линзы. У тонкой линзы имеются два главных фокуса, симметрично расположенных относительно линзы на главной оптической оси.

У собирающих линз фокусы действительные, у рассеивающих – мнимые.

Пучки лучей, параллельных одной из побочных оптических осей, также фокусируются после прохождения через линзу в точку F' , которая расположена на пересечении побочной оси с **фокальной плоскостью** Φ , то

есть плоскостью перпендикулярной главной оптической оси и проходящей через главный фокус.

НА РИСУНКЕ: (а) – преломление параллельного пучка лучей в собирающей линзе; (б) – рассеивающей. Точки O_1 и O_2 – центры сферических поверхностей, из которых сделаны линзы. O_1O_2 – главная оптическая ось, O – оптический центр, F – главный фокус, F' – побочный фокус, OF' – побочная оптическая ось, Φ – фокальная плоскость.

Расстояние между оптическим центром линзы O и главным фокусом F называется **фокусным расстоянием**. Оно обозначается той же буквой F .

Основное свойство линз – способность давать **изображения предметов**. Изображения бывают:

1. **прямыми и перевернутыми**
2. **действительными и мнимыми**
3. **увеличенными и уменьшенными.**

Положение изображения и его характер можно определить с помощью геометрических построений. Для этого используют свойства некоторых стандартных лучей, ход которых известен. Это лучи, проходящие **через оптический центр** или **один из фокусов линзы**, а также лучи, **параллельные главной или одной из побочных оптических осей**.

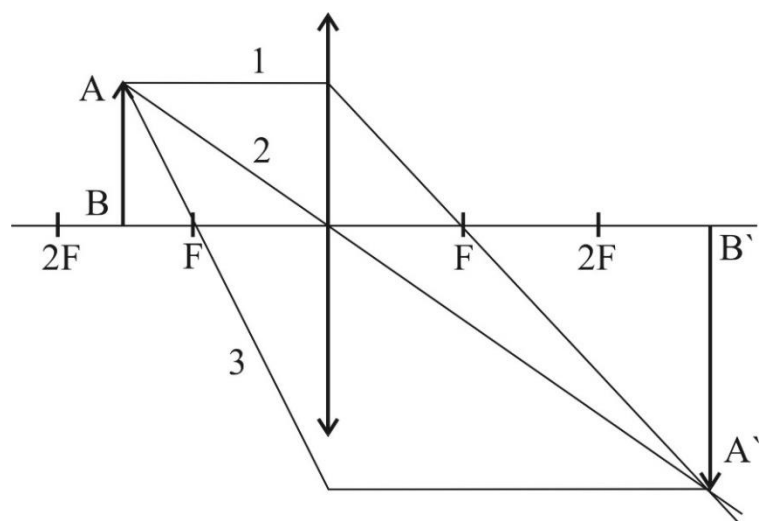
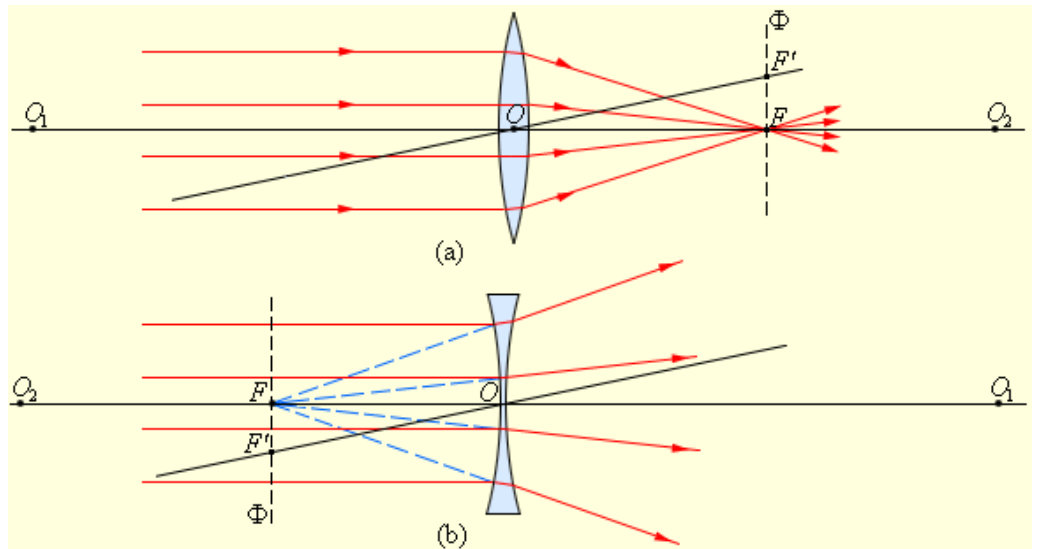
Следует обратить внимание на то, что некоторые из стандартных лучей, использованных для построения изображений, не проходят через линзу. Эти лучи реально не участвуют в образовании изображения, но они могут быть использованы для построений.

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

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

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

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



Все три луча пересекутся в одной точке, которая и будет являться изображением точки А. Изображение точки В будет находиться строго над изображением точки А. В итоге мы получили действительное (потому, что: **1. изображение образовано самими лучами, а не их продолжением; 2. Предмет и изображение расположены по разные стороны от линзы**), перевернутое и увеличенное изображение предмета.

Аналогичным образом строятся изображения в собирающей линзе при другом положении предмета. Собирающая линза может давать все виды изображения предмета: прямое и перевернутое, действительное и мнимое, увеличенное и уменьшенное (в этом вы убедитесь сами при решении задач).

Построим изображение предмета АВ в **рассеивающей** линзе. Для этого будем использовать два луча.

Луч 1. Идет параллельно главной оптической оси линзы. После прохождения линзы **продолжение** преломленного луча (указано пунктирной линией) должно пройти через главный фокус линзы.

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

Эти два луча пересекутся в одной точке, которая и будет являться изображением точки А. Изображение точки В будет находиться строго под изображением точки А. В итоге мы получили мнимое (потому, что: **1. изображение**

сформировано не самими лучами, а их продолжениями; 2. Предмет и изображение расположены по одну сторону от линзы), прямое и уменьшенное изображение предмета.

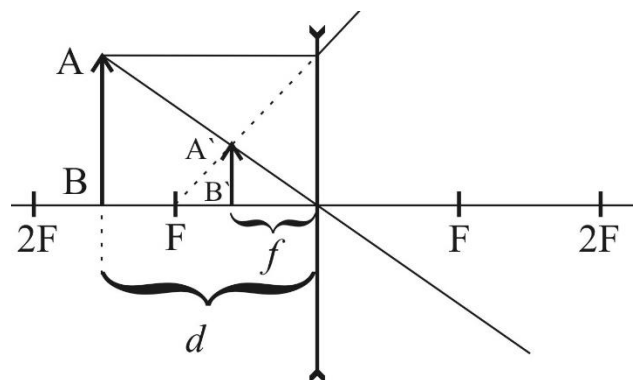
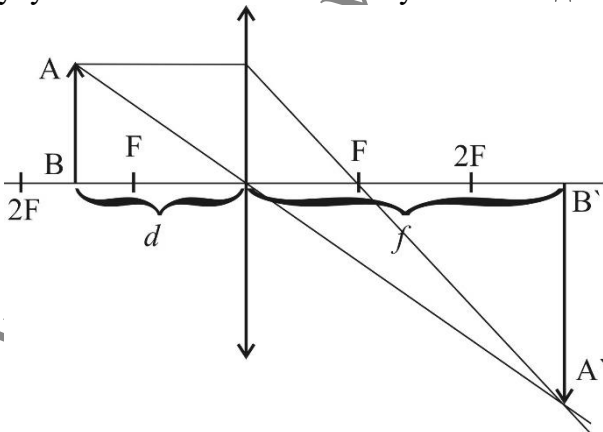
Аналогичным образом строятся изображения в собирающей линзе при другом положении предмета. Рассеивающая линза может давать только прямое, мнимое и уменьшенное изображение предмета (в этом вы убедитесь сами при решении задач).

Запомните, что изображение точки будет точкой. Изображение точки, лежащей на главной оптической оси, лежит на главной оптической оси. Изображение отрезка – отрезок. Если отрезок перпендикулярен главной оптической оси, то его изображение перпендикулярно главной оптической оси.

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:

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

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: $1 \text{ дптр} = \text{м}^{-1}$.

Оптическая сила D линзы зависит как от радиусов кривизны R_1 и R_2 ее сферических поверхностей, так и от показателя преломления n материала, из которого изготовлена линза:

$$D = \frac{1}{F} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right).$$

Радиус кривизны выпуклой поверхности считается положительным, вогнутой – отрицательным. Эта формула используется при изготовлении линз с заданной оптической силой.

*** 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, получаем: $F > 0$ (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 Γ 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: $\Gamma = \frac{h'}{h} = \frac{f}{d}$.

Возвращаемся к задаче. Запишем формулу тонкой линзы и найдем где будет находится изображение

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

Обращаю ваше внимание на то, что в формулу тонкой линзы мы имеем право подставлять все величины в сантиметрах (если в формуле нет оптической силы линзы). А теперь найдем высоту изображения

$$\Gamma = \frac{h'}{h} = \frac{f}{d} \Rightarrow \frac{h'}{h} = \frac{f}{d} \Rightarrow h' = h \frac{f}{d} = 2 \cdot \frac{30}{15} = 4 \text{ (см)}. \text{ Ответ: 2.}$$

A17. Фотоэлектрический эффект (или точнее – внешний фотоэффект) заключается в вырывании электронов из вещества под действием падающего на него света (фотонов). Для того чтобы вырвать электрон из металла фотон должен обладать некоторой минимальной энергией, равной так называемой **работе выхода** электрона из металла. Эта энергия разная для разных веществ и указывается в соответствующих таблицах. Работа выхода находится по формуле $A = h\nu_{\min} = \frac{hc}{\lambda_{\text{кр}}}$, где c – скорость света, $\lambda_{\text{кр}}$ –

длина волны, соответствующая красной границе фотоэффекта (то есть максимальная длина волны, при которой происходит вырывание электрона), $\nu_{\min}$ – минимальная частота фотона (обратите внимание, что частота минимальна, а длина волны – максимальна), h – постоянная Планка.

У большинства металлов работа выхода A составляет несколько электрон-вольт ($1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$). В квантовой физике часто используется электрон-вольт в качестве энергетической единицы измерения. Многочисленными экспериментаторами были установлены следующие **основные закономерности фотоэффекта**:

1. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с увеличением частоты света ν и не зависит от его интенсивности.
2. Для каждого вещества существует так называемая **красная граница фотоэффекта**, то есть наименьшая частота $\nu_{\min}$, при которой еще возможен внешний фотоэффект.
3. Число фотоэлектронов, вырываемых светом из катода за 1 с, прямо пропорционально интенсивности света (количеству фотонов, падающих на вещество, в единицу времени).
4. Фотоэффект практически безинерционен, фототок возникает мгновенно после начала освещения катода при условии, что частота света $\nu > \nu_{\min}$.

Решение задач на фотоэффект сводится к решению уравнения Эйнштейна для фотоэффекта

$$h\nu = A + \left(\frac{mv^2}{2} \right)_{\text{max}}.$$

То есть энергия падающего фотона расходуется на работу выхода электрона из металла и на сообщение

вырванному электрону кинетической энергии. Законы фотоэффекта свидетельствуют, что свет при испускании и поглощении ведет себя подобно потоку частиц, получивших название **фотонов** или **световых квантов**. Возвращаемся к нашей задаче. Так как на пластину падало излучение, «длина волны которого в пять раз меньше длины волны, соответствующей красной границе фотоэффекта», то

$$h\nu = A_{\text{вых}} + E_{\text{кин1}} \Rightarrow \frac{hc}{\lambda_{\text{кр}}/5} = \frac{hc}{\lambda_{\text{кр}}} + E_{\text{кин1}} \Rightarrow \frac{5hc}{\lambda_{\text{кр}}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{кр}}} + E_{\text{кин1}} \Rightarrow \frac{4hc}{\lambda_{\text{кр}}} = E_{\text{кин1}} \Rightarrow 4A_{\text{вых}} = E_{\text{кин1}}$$

После этого фотоэлектрон попадает в электростатическое поле и его скорость увеличилась в два раза

$$E_{\text{кин2}} = \frac{mv_2^2}{2} = \frac{m(2v_1)^2}{2} = 4 \frac{mv_1^2}{2} = 4E_{\text{кин1}} = 16A_{\text{вых}}$$

Работа сил электростатического поля равна изменению кинетической энергии электрона

$$qU = \Delta E_{\text{кин}} \Rightarrow eU = E_{\text{кин2}} - E_{\text{кин1}} \Rightarrow eU = 16A_{\text{вых}} - 4A_{\text{вых}} \Rightarrow U = \frac{12A_{\text{вых}}}{e}. \text{ Ответ: 5.}$$

A18. В настоящее время твердо установлено, что **атомные ядра различных элементов состоят из двух частиц – протонов и нейтронов**. Первая из этих частиц представляет собой атом водорода, из которого удален единственный электрон. По современным измерениям, положительный заряд протона в точности равен **элементарному заряду** $e = 1,60217733 \cdot 10^{-19}$ Кл, то есть равен по модулю отрицательному заряду электрона. Такое совпадение зарядов двух непохожих друг на друга частиц вызывает удивление и остается одной из фундаментальных загадок современной физики. **Масса протона**, по современным измерениям, равна

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

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

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

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

$$E = mc^2.$$

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

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

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

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

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

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

Общее число нуклонов (то есть протонов и нейтронов) называют **массовым числом** A :

$$A = Z + N.$$

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

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

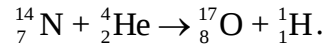
Ядра одного и того же химического элемента могут отличаться числом нейтронов. Такие ядра называются **изотопами**. У большинства химических элементов имеется несколько изотопов. Например, у водорода три изотопа: ${}_1^1H$ – обычный водород, ${}_1^2H$ – дейтерий и ${}_1^3H$ – тритий. У углерода – 6 изотопов,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

Ядерная реакция – это процесс взаимодействия атомного ядра с другим ядром или элементарной частицей, сопровождающийся изменением состава и структуры ядра и выделением вторичных

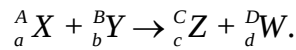
частиц или γ -квантов.

В результате ядерных реакций могут образовываться новые радиоактивные изотопы, которых нет на Земле в естественных условиях.

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



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



Сразу можем записать, что

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

Это значит, что **общее число нуклонов до и после реакции остается неизменным**. Возвращаемся к нашей задаче. По условию задачи произошло два последовательных α -распада. Следовательно,

$$\begin{aligned} {}^{228}_{88}\text{Ra} \rightarrow 2 {}^4_2\text{He} + {}^A_Z\text{X} &\Rightarrow 228 = 8 + A \Rightarrow A = 220 \\ 88 = 4 + Z &\Rightarrow Z = 84 \end{aligned} \quad \text{. Ответ: 2.}$$

В1. И опять я предлагаю вам скачать у меня с сайта www.repet.by раздел «Кинематика» и внимательно изучить параграфы 1.12 и 1.13. Там есть вся необходимая теория. Подсказка – площадь под графиком зависимости скорости от времени численно равна пройденному телом пути. **Ответ: 75.**

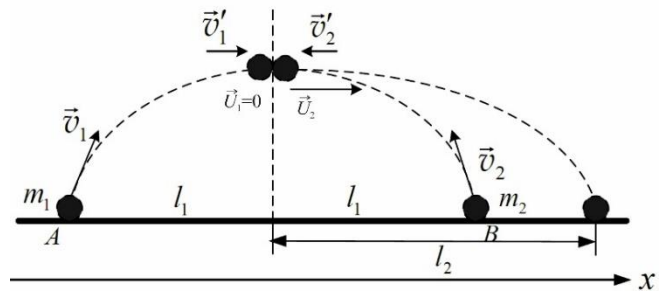
В2. Настоятельно рекомендую скачать у меня с сайта главу «Динамика» и очень внимательно изучить параграфы 2.02, 2.03 и 2.06. Так как брусок движется равномерно, то сила упругости равна силе трения

$$F_{\text{упр}} = F_{\text{трения}} \Rightarrow k\Delta l = \mu mg \Rightarrow \Delta l = \frac{\mu mg}{k}.$$

И не забудь перевести ответ в миллиметры!!! **Ответ: 21.**

В3. Движение тел в поле силы тяжести не зависит от их массы. Поэтому траектории движения мячей до соударения будут одинаковыми (их бросили с одинаковой скоростью и под одинаковым углом к горизонту). Там как траектории одинаковы, то место их столкновения будет расположено посередине отрезка, соединяющего начальные положения мячей. Так как по условию задачи «*время движения мячей от момента броска до момента столкновения равно времени движения мячей от момента столкновения до момента падения*», то до и после столкновения скорости мячей будут направлены горизонтально. Запишем закон сохранения импульса

$$m_1 v'_1 - m_2 v'_2 = m_2 U_2$$



Опять вспомним, что «*время движения мячей от момента броска до момента столкновения равно времени движения мячей от момента столкновения до момента падения* ($\tau_{\text{ор}} = \tau_n$)». Следовательно,

$$m_1 v'_1 - m_2 v'_2 = m_2 U_2 \Rightarrow m_1 \frac{l_1}{\tau_{\text{ор}}} - m_2 \frac{l_1}{\tau_{\text{ор}}} = m_2 \frac{l_2}{\tau_n} \Rightarrow m_1 l_1 - m_2 l_1 = m_2 l_2 \Rightarrow m_2 = \frac{m_1 l_1}{l_1 + l_2}. \quad \text{. Ответ: 40.}$$

В4. Разберем все возможные варианты таяния льда в сосуде. Сначала выясним, как изменится уровень воды в сосуде, если растает плавающий в нем лед, внутри которого нет «посторонних» тел.

Если тело плавает в жидкости, то сила тяжести, действующая на тело, уравновешивается силой Архимеда $mg = F_A$. Тогда $\rho_m Vg = \rho_{\text{ж}} V'g$. Получаем $\frac{\rho_m}{\rho_{\text{ж}}} = \frac{V'}{V}$, то есть отношение плотности тела к плотности

жидкости равно отношению объема погруженной части тела ко всему объему. Равенство $mg = F_A$ можно преобразовать немного по-другому: $mg = \rho_{\text{ж}} V'g$, поэтому $m = \rho_{\text{ж}} V'$.

С другой стороны $\rho_{\text{ж}} V' = m_{\text{ж}}$ – произведение плотности жидкости на объем погруженной части тела равно массе жидкости, которая вытесняется телом. Поэтому $m = m_{\text{ж}}$, то есть масса плавающего тела равна массе вытесненной жидкости – это очень важный вывод, и если вы сразу его «не догнали», то перечитайте предыдущие рассуждения еще раз.

Пусть в сосуде с водой плавает кусок льда. Как изменится уровень воды в сосуде, если лед растает? Масса плавающего льда равна массе вытесненной воды. С другой стороны, масса воды, образовавшейся из льда, равна массе нерастаявшего льда. Вывод: масса воды, образовавшейся из льда, равна массе вытесненной льдом воды ($m_{\text{л}} = m_{\text{в}}$). Значит, вода, образовавшаяся из льда, полностью заместит вытесненную льдом воду.

Математически это выглядит так. Из формулы $\frac{\rho_{\text{л}}}{\rho_{\text{в}}} = \frac{V'}{V}$ следует, что $V' = \frac{\rho_{\text{л}} V}{\rho_{\text{в}}} = \frac{m_{\text{л}}}{\rho_{\text{в}}} = \frac{m_{\text{в}}}{\rho_{\text{в}}} = V_{\text{в}}$, то есть

объем воды, образовавшейся при таянии льда, равен объему воды, вытесненной плавающим льдом $V_{\text{в}} = V'$. Если эти рассуждения оказались для Вас слишком сложны, то запомните вывод: **если плавающий в воде лед растает, то уровень воды не изменится.**

Этот вывод справедлив для льда, который превращается в такую же воду, в которой он плавает. Если же лед будет плавать в другой жидкости, например в морской воде, то после таяния льда уровень жидкости поменяется, так как плотность морской воды больше плотности пресной воды, в которую превратится тающий лед.

Повторим еще раз все рассуждения: сила тяжести, действующая на лед, уравнивается силой Архимеда $mg = F_{\text{А}}$. Тогда $\rho_{\text{л}} Vg = \rho_{\text{мв}} V'g$, где $\rho_{\text{мв}}$ – плотность морской воды.

Отсюда следует, что $V' = \frac{\rho_{\text{л}} V}{\rho_{\text{мв}}} = \frac{m_{\text{л}}}{\rho_{\text{мв}}} = \frac{m_{\text{в}}}{\rho_{\text{мв}}} < V_{\text{в}}$ (знаменатель дроби увеличился – дробь уменьшилась),

то есть объем вытесняемой плавающим льдом морской воды меньше объема воды, полученной при таянии льда. Это означает, что уровень воды после таяния льда повысится.

Теперь легко сообразить, что произойдет с уровнем жидкости, в которой плавает лед, если плотность жидкости меньше плотности воды, но больше плотности льда.

Используем отработанную схему $V' = \frac{\rho_{\text{л}} V}{\rho_{\text{ж}}} = \frac{m_{\text{л}}}{\rho_{\text{ж}}} = \frac{m_{\text{в}}}{\rho_{\text{ж}}} > V_{\text{в}}$ (знаменатель дроби уменьшился – дробь

увеличилась), то есть объем вытесняемой плавающим льдом жидкости больше объема воды, полученной при таянии льда. Это означает, что уровень воды после таяния льда понизится.

Теперь обсудим, что произойдет с уровнем жидкости, если лед находится в жидкости с плотностью меньшей, чем плотность льда. В этом случае лед утонет, и способ рассуждения надо менять.

Пусть лед полностью погружается в жидкость. В этом случае объем содержимого в сосуде увеличится на объем льда. Когда лед растает и превратится в воду, уровень жидкости в сосуде понизится, так как объем льда больше, чем объем образованной из льда воды $\Delta V = V_{\text{л}} - V_{\text{в}}$, где

$\Delta V = \frac{m}{\rho_{\text{л}}} - \frac{m}{\rho_{\text{в}}}$. Если сосуд цилиндрический, то $\Delta V = S(h_1 - h_2)$, где S –

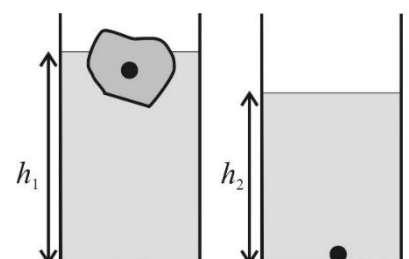
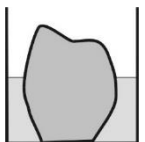
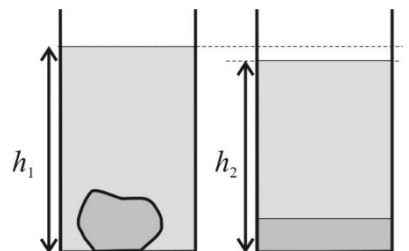
площадь поперечного сечения сосуда, h_1 – высота столба жидкости до таяния льда, h_2 – высота столба жидкости после таяния льда (вода из растаявшего льда может перемешаться с жидкостью, например, вода со спиртом, или жидкости расслоятся, например, вода и масло).

Абсолютно аналогичные рассуждения справедливы, если лед опускают в сосуд с небольшим количеством воды, в результате чего лед опускается на дно и лежит там, пока не растает.

Теперь рассмотрим ситуацию, когда в сосуде с водой плавает кусок льда, внутри которого находится вмерзшее тело.

Сначала рассмотрим случай, когда плотность вмерзшего в лед тела больше плотности воды. Например, в лед вмерз кусок металла. Мы уже выяснили, что **из-за таяния плавающего льда уровень воды в сосуде не изменяется.** Когда лед растает, тело упадет на дно сосуда. Рассчитаем, как изменится уровень воды в сосуде вследствие падения тела на дно.

Пока тело плавает внутри льда, масса плавающего тела равна массе вы-



тесненной воды ($m_t = m_b$) – этот вывод мы уже делали. Тогда $m_t = \rho_b V_1$, откуда $V_1 = \frac{m_t}{\rho_b}$ – объем вытесненной воды, вмерзшим в лед телом.

Когда тело утонет, то оно будет вытеснять объем воды, равный объему тела $V_2 = \frac{m_t}{\rho_t}$. Тогда изменение

объема воды будет равно $\Delta V = V_1 - V_2 = \frac{m}{\rho_b} - \frac{m}{\rho_t}$, так как плотность тела больше плотности воды, то

уровень воды понизится, то есть плавающее тело с плотностью большей плотности жидкости, вытесняет больше жидкости, чем утонувшее тело. С другой стороны $\Delta V = S(h_1 - h_2)$ и можно легко рассчитать изменение уровня жидкости. Для нашей задачи получим

$$S(h_1 - h_2) = \frac{m}{\rho_{\text{воды}}} - \frac{m}{\rho_{\text{тела}}} \Rightarrow \Delta h = \frac{\frac{m}{\rho_{\text{воды}}} - V}{S}.$$

Вычисления сделайте самостоятельно. **Ответ:** 25.

В5. Теория к этой задаче является продолжением теории к задаче **A8**. Теория к задаче **A8** закончилась на очередном следствии из основного уравнения молекулярно–кинетической теории идеального газа. Продолжим исследование этого следствия:

$$pV = N \cdot kT = \nu N_A \cdot kT = \nu \cdot (N_A k) \cdot T = \nu RT \quad \text{или} \quad pV = \nu RT \quad \text{или} \quad pV = \frac{m}{M} RT$$

где ν – количество молей газа, m – масса газа, M – молярная масса газа. Как уже было сказано в предыдущем параграфе, произведение постоянной Авогадро N_A на **постоянную Больцмана** k называется **универсальной газовой постоянной** и обозначается буквой $R = 8,31$ Дж/моль·К.

Мы получили уравнение, которое устанавливает связь между основными параметрами состояния идеального газа: давлением, объемом, количеством вещества и температурой. Очень важно, что **эти параметры взаимосвязаны – изменение любого из них неизбежно приведет к изменению еще хотя бы одного**. Именно поэтому его и называют **уравнением СОСТОЯНИЯ идеального газа**. Оно было открыто сначала для одного моля газа Клапейроном, а впоследствии обобщено на случай большего количества молей Менделеевым.

Начальное состояние газа описывается уравнением $p_0 V = \frac{m_0}{M} RT_0$. После того, как некоторую часть газа

выпустили, уравнение состояния примет следующий вид $(p_0 + \Delta p)V = \frac{m_0 - m}{M} RT_0$. Нам остается решить систему из двух уравнений с двумя неизвестными. Расчеты сделайте самостоятельно. **Ответ:** 25.

В6. В соответствии с законом сохранения энергии для **замкнутой системы тел**, в которой не происходит никаких превращений энергии кроме теплообмена, **количество теплоты, отдаваемое более нагретыми телами, будет равно количеству теплоты, получаемому более холодными**. Теплообмен прекращается в состоянии термодинамического равновесия, то есть когда температура всех тел системы становится одинаковой. Сформулируем **уравнение теплового баланса**:

 **В замкнутой системе тел алгебраическая сумма количеств теплоты, отданных и полученных всеми телами участвующими в теплообмене, равна нулю:**

$$\Delta Q_1 + \Delta Q_2 + \Delta Q_3 + \dots + \Delta Q_n = 0.$$

В зависимости от условий задачи каждое слагаемое уравнения может быть как положительным, так и отрицательным. Общее правило знаков следующее: количество теплоты, **ПОЛУЧЕННОЕ** телом, считают **положительным** ($\Delta Q > 0$), а **ОТДАННОЕ – ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ** ($\Delta Q < 0$).

Теплота поглощается:	Теплота отдается:
Нагревание	Охлаждение
Плавление	Кристаллизация
Парообразование	Конденсация
	Сгорание топлива

Чтобы не сделать ошибку при решении задач запомните одно простое правило. Когда Вы будете считать теплоту при нагревании или охлаждении тела, всегда нужно из большей температуры вычитать меньшую, чтобы теплота всегда была положительной.

ПРИМЕР. В ванну налили 50 литров воды при 10°C и 60 литров воды при 50°C . Чему будет равна температура воды в ванне после установления теплового равновесия?

При решении таких задач важно понять, что температура смеси жидкостей будет где-то между начальными температурами горячей и холодной жидкости, то есть в нашем случае $10^\circ\text{C} < T < 50^\circ\text{C}$. При этом горячая вода будет остывать и отдаст количество теплоты равное

$$Q_{\text{отданное}} = cm_{\text{горячая}} (50 - T)$$

Холодная вода при этом получает теплоту и нагревается

$$Q_{\text{полученное}} = cm_{\text{холодная}} (T - 10)$$

Согласно уравнению теплового баланса, количество теплоты, отданной теплой водой, будет равно количеству теплоты, полученному холодной водой. Следовательно,

$$Q_{\text{отданное}} = Q_{\text{полученное}} \Rightarrow cm_{\text{горячая}} (50 - T) = cm_{\text{холодная}} (T - 10) \Rightarrow m_{\text{горячая}} (50 - T) = m_{\text{холодная}} (T - 10)$$

Как я уже писал выше, в таких задачах проще всего сразу же подставлять данные. И не забываем, что массу любого тела мы можем найти зная плотность и объем тела ($m = \rho V$)

$$m_{\text{горячая}} (50 - T) = m_{\text{холодная}} (T - 10) \Rightarrow \rho V_{\text{горячая}} (50 - T) = \rho V_{\text{холодная}} (T - 10) \Rightarrow$$

$$60 \cdot (50 - T) = 50 \cdot (T - 10) \Rightarrow 3000 - 60T = 50T - 500 \Rightarrow 110T = 3500 \Rightarrow T = \frac{3500}{110} = 32^\circ\text{C}$$

При этом важно помнить, что температура смеси должна удовлетворять условию $10^\circ\text{C} < T < 50^\circ\text{C}$.

Возвращаемся к нашей задаче. Водяной пар отдает энергию дважды. Первый раз когда конденсируется, второй раз когда охлаждается превратившись в воду. Отданную паром энергию получает вода

$$Q_{\text{отданное}} = Q_{\text{полученное}} \Rightarrow Lm_2 + cm_2 (100 - T) = cm_1 (T - 20)$$

В таких задачах проще всего сразу же подставлять данные и не решать в общем виде. **Ответ:** 60.

В7. Первый закон термодинамики является обобщением закона сохранения и превращения энергии для термодинамической системы. Он формулируется следующим образом.



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

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

Количество теплоты, полученное системой, идет на изменение ее внутренней энергии и на совершение работы системой над внешними телами (или просто на совершение системой работы).

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 ΔU .

Применим первый закон термодинамики к изопроцессам в газах.

В **изохорном процессе** ($V = \text{const}$) газ работы не совершает $A = 0$ (объем не меняется). 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

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

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

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

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 можно получить более компактные соотношения

$$Q = \Delta U + A = \frac{3}{2} \nu R \Delta T + \nu R \Delta T = \frac{5}{2} \nu R \Delta T \quad \text{или} \quad Q = \Delta U + A = \frac{3}{2} p \Delta V + p \Delta V = \frac{5}{2} p \Delta V$$

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 ($T_2 < T_1$) и внутренняя энергия убывает, то есть $\Delta U < 0$.

А теперь одна важная особенность изобарного процесса. Так как работа газа равна $A = \nu R \Delta T$, то для изобарного процесса будет справедливо следующее соотношение

$$Q = \frac{5}{2} \nu R \Delta T = \frac{5}{2} A \Rightarrow A = \frac{2}{5} Q = 0,4Q,$$

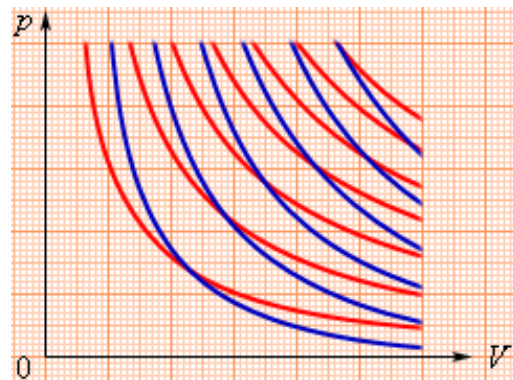
то есть при изобарном процессе 40% теплоты, переданной газу, идут на работу газа. Остальные 60% идут на увеличение внутренней энергии газа. Другими словами, на изменение внутренней энергии при изобарном процессе идет в 1,5 раза большее количество теплоты чем на работу газа.

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. При этом никакого источника энергии для совершения работы у газа нет и он расширяется только за счет собственной внутренней энергии. Вследствие этого его температура резко падает и мы видим туман. Возможна 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. В youtube есть достаточно много видео с этим красивым явлением. Рекомендую посмотреть.

На плоскости (p, V) процесс адиабатического расширения (или сжатия) газа изображается кривой, которая называется **адиабатой** (на графике адиабата более крутая [синяя, в PDF-файле это видно]). При адиабатическом расширении газ совершает положительную работу ($A > 0$) и поэтому его внутренняя энергия уменьшается ($\Delta U < 0$). Это приводит к понижению температуры газа. Вследствие этого давление газа при адиабатическом расширении убывает быстрее, чем при изотермическом расширении. Адиабатический процесс также можно отнести к изопроцессам.



А теперь оформим теорию, изложенную выше, в виде таблицы.

Процесс	Изменение внутренней энергии ΔU	Работа газа A	Полученное газом количество теплоты Q
Изохорный $V = \text{const}$	$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T$ или $\Delta U = \frac{3}{2} V \Delta p$	$A = 0$	$Q = \Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T$ или $Q = \Delta U = \frac{3}{2} V \Delta p$
Изобарный $p = \text{const}$	$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T$ или $\Delta U = \frac{3}{2} p \Delta V$	$A = \nu R \Delta T$ или $A = \frac{3}{2} p \Delta V$	$Q = \frac{5}{2} \nu R \Delta T$ или $Q = \frac{5}{2} p \Delta V$
Изотермический $T = \text{const}$	0	$A = Q$ (площадь под графиком pV -координатах)	$Q = A$ (площадь под графиком pV -координатах)
Адиабатный	$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T$	$A = -\Delta U = -\frac{3}{2} \nu R \Delta T$	$Q = 0$

Возвращаемся к задаче. Всего газу было передано количество теплоты, равное $Q = Q_{12} + Q_{23}$. Процесс

1-2 изобарный. Следовательно, $Q_{12} = \frac{5}{2} \nu R \Delta T$. Процесс 2-3 изотермический. Следовательно, $Q_{23} = A_{23}$.

Окончательно получим

$$Q = Q_{12} + Q_{23} = \frac{5}{2} \nu R \Delta T + A_{23} \Rightarrow A_{23} = Q - \frac{5}{2} \nu R \Delta T. \text{ Ответ: 314.}$$

В8. Очень простая задача, которую можно решить не зная физику в принципе. Достаточно уметь мыслить логически. Для наглядности сделаем рисунок. Важно понимать, что угловая высота солнца будет одинаковой как для сажени, так и для столбика. Получаем два подобных треугольника. Следовательно,

$$\frac{H}{h} = \frac{L}{l} \Rightarrow L = \frac{H}{h} l.$$

При расчетах лучше сразу же перевести все в дециметры. **Ответ: 30.**

В9. Постоянный электрический ток может быть создан только в замкнутой цепи, в которой свободные носители заряда циркулируют по замкнутым траекториям. Электрическое поле в разных точках такой цепи неизменно во времени. Следовательно, электрическое поле в цепи постоянного тока имеет характер «замороженного» электростатического поля. Но при перемещении электрического заряда в электростатическом поле по замкнутой траектории, работа электрических сил равна нулю. Поэтому для существования постоянного тока необходимо наличие в электрической цепи устройства, способного создавать и поддерживать разности потенциалов на участках цепи за счет работы сил неэлектростатического происхождения. Такие устройства называются **источниками постоянного тока**. Силы неэлектростатического происхождения, действующие на свободные носители заряда со стороны источников тока, называются **сторонними силами**.

Природа сторонних сил может быть различной. В гальванических элементах или аккумуляторах они возникают в результате электрохимических процессов, в генераторах постоянного тока сторонние силы возникают при движении проводников в магнитном поле. Источник тока в электрической цепи играет ту же роль, что и насос, который необходим для перекачки жидкости в замкнутой гидравлической системе. Под действием сторонних сил электрические заряды движутся **внутри источника тока против** сил электростатического поля, благодаря чему в замкнутой цепи может поддерживаться постоянный электрический ток.

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

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

электродвижущей силой источника (ЭДС): $\varepsilon = \frac{A_{\text{вт}}}{q}$.

Таким образом, ЭДС определяется работой, совершаемой 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** (сопротивление внешнего участка цепи). Под сопротивлением нагрузки принято понимать сопротивление цепи, которая подключена к источнику тока. Если переписать формулу в несколько ином виде, то

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} \Rightarrow \varepsilon = IR + Ir = U_R + U_r,$$

где U_R – падение напряжения во внешней цепи (часто говорят «напряжение на источнике»), U_r – падение напряжения в источнике. То есть ЭДС источника делится между внешней цепью (потребителями) и самим источником тока. При этом важно понимать, что в зависимости от сопротивления внешнего участка цепи напряжение на источнике может быть разным. То есть при разной нагрузке (внешнем сопротивлении) источник будет давать разный ток и разное напряжение.

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

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

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 $I = \frac{U}{R}$, мы можем получить еще несколько формул

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

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 обычно используем формулу с силой тока

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

Мощность электрического тока равна отношению работы тока A , совершенной током, к интервалу

времени Δt , 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: $P = IU \quad P = \frac{U^2}{R} \quad P = I^2 R.$

И опять формула с напряжением при решении задач будет применяется гораздо чаще, чем остальные!!! Возвращаемся к нашей задаче.

Запишем закон Ома для полной цепи для первого случая $I_1 = \frac{\varepsilon}{R_1 + r}$. Потребляемая мощность в этом

случае будет равна $P_1 = I_1^2 R_1 = \left(\frac{\varepsilon}{R_1 + r} \right)^2 R_1$. Запишем закон Ома для полной цепи для второго случая

$I_2 = \frac{\varepsilon}{R_2 + r}$. Потребляемая мощность в этом случае будет равна $P_2 = I_2^2 R_2 = \left(\frac{\varepsilon}{R_2 + r} \right)^2 R_2$. Так как по

условию задачи мощности, потребляемые резисторами, одинаковы, то

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

Подставим данные задачи и будем надеяться, что все будет хорошо считаться

$$\frac{R_1}{(R_1 + r)^2} = \frac{R_2}{(R_2 + r)^2} \Rightarrow \frac{3}{(3+r)^2} = \frac{48}{(48+r)^2} \Rightarrow \frac{1}{(3+r)^2} = \frac{16}{(48+r)^2} \Rightarrow \frac{1}{3+r} = \frac{4}{48+r}$$

Дальнейшие вычисления сделайте самостоятельно. **Ответ: 12.**

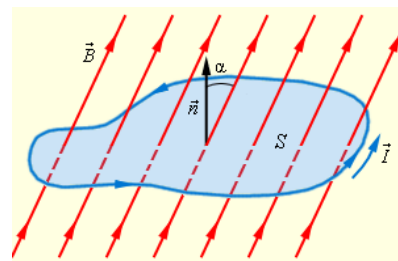
В10. Явление **электромагнитной индукции** было открыто выдающимся английским физиком М. Фарадеем в 1831 г. Оно заключается в возникновении электрического тока в замкнутом проводящем контуре при изменении во времени **магнитного потока**, пронизывающего контур.

МАГНИТНЫЙ ПОТОК

Магнитным потоком Φ через площадь S контура называют величину

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

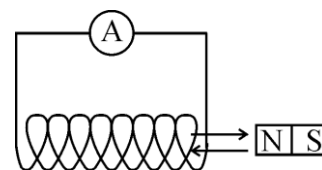
где B – модуль вектора магнитной индукции, α – угол между вектором $\vec{B}$ и нормалью (перпендикуляром) $\vec{n}$ к плоскости контура (см. рисунок). Единица магнитного потока в системе СИ называется **вебером (Вб)**. Магнитный поток, равный 1 Вб, создается магнитным полем с индукцией 1 Тл, пронизывающим по направлению нормали плоский контур площадью 1 м²: 1 Вб = 1 Тл · 1 м².



ОПЫТЫ ФАРАДЕЯ

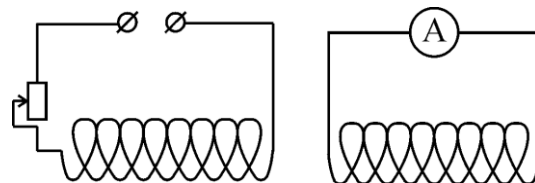
Во всех опытах Фарадея исследовалось, в каком случае гальванометр (прибор, регистрирующий маленький ток) зарегистрирует ток в катушке. **Обратите внимание, что никаких источников в цепи катушки нет.**

1. Если перемещать относительно катушки с гальванометром постоянный магнит, то гальванометр регистрирует ток, который тем больше, чем быстрее движется магнит. Ток в гальванометре меняет направление в зависимости от полюса, обращенного к катушке, или от того, вдвигается магнит в катушку или выдвигается.



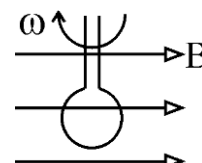
Ток не возникает, если плоскость витков катушки параллельна линиям магнитного поля.

При изменении силы тока в катушке, находящейся рядом с исследуемой катушкой (например, перемещая ползунок реостата), в исследуемой катушке регистрировался ток. Чем быстрее менялся ток в одной катушке, тем больше был ток в исследуемой катушке. Причем направление тока менялось в зависимости от того возрастал или убывал ток в катушке с изменяющимся током.



При перемещении катушки с гальванометром относительно катушки, по которой идет ток, гальванометр также регистрировал ток.

2. Гальванометр регистрирует ток, если изменить площадь контура катушки, находящейся в магнитном поле. Причем, чем быстрее меняется площадь контура, тем большая сила тока регистрируется.



3. Ток в исследуемой катушке регистрировался при вращении катушки с гальванометром в поле постоянного магнита или постоянного тока. Чем быстрее вращалась катушка

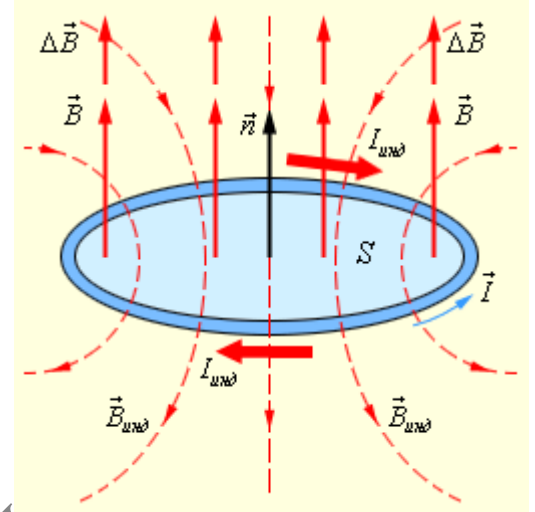
ка, тем большая сила тока регистрируется гальванометром.

В первом опыте Фарадея изменялась величина магнитной индукции поля. Во втором опыте менялась площадь контура. В третьем – ориентация контура в пространстве.

Таким образом, Фарадей экспериментально установил, что при изменении магнитного потока в проводящем контуре возникает ЭДС индукции $\varepsilon_{\text{инд}}$, равная скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром, взятой со знаком минус: $\varepsilon_{\text{инд}} = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$.

Опыт показывает, что индукционный ток, возбуждаемый в замкнутом контуре при изменении магнитного потока, всегда направлен так, что создаваемое им магнитное поле препятствует **(именно поэтому в формуле для ЭДС присутствует минус)** изменению магнитного потока, вызывающего индукционный ток. Это утверждение называется **правилом Ленца**. Более подробно правило Ленца мы изучим в самом конце раздела.

Следующий рисунок иллюстрирует правило Ленца на примере неподвижного проводящего контура, который находится в однородном магнитном поле, модуль индукции которого увеличивается во времени. В этом примере $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} > 0$, а $\varepsilon_{\text{инд}} < 0$. **Обязательно попросите меня подробно рассказать вам о том, что изображено на рисунке!!!!**



Правило Ленца отражает тот экспериментальный факт, что $\varepsilon_{\text{инд}}$ и $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ всегда имеют противоположные знаки (знак «минус» в формуле Фарадея). Правило Ленца имеет глубокий физический смысл – оно выражает закон сохранения энергии. Возвращаемся к задаче. Заряд конденсатора будет равен $q = CU = C\varepsilon_{\text{инд}}$. В нашем случае ЭДС индукции будет равна

$$\varepsilon_{\text{инд}} = \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right| = \left| \frac{\Delta B \cdot S \cos \alpha}{\Delta t} \right| = \left| \frac{\Delta B}{\Delta t} \right| S = \left| \frac{\Delta B}{\Delta t} \right| \pi R^2,$$

где R – радиус кольца. Вычисления сделайте самостоятельно. **Ответ: 43.**

В11. В электрических цепях, так же как и в механических системах, могут возникать **свободные колебания**. Простейшей электрической системой, в которой могут возникать свободные колебания, является последовательный RLC-контур.

Когда ключ K находится в положении 1, конденсатор заряжается до напряжения $U = \varepsilon$. После переключения ключа в положение 2 начинается процесс разрядки конденсатора через резистор R и катушку индуктивности L . При определенных условиях этот процесс может иметь колебательный характер.

При этом весь колебательный процесс можно разбить на следующие этапы (для наглядности рядом изображен пружинный маятник).

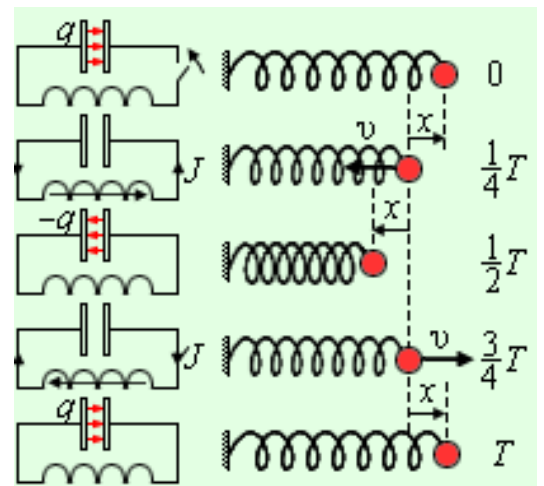
1. Заряд конденсатора от батареи. Ключ разомкнут (первая цепь на рисунке). В этот момент вся энергия контура запасена в конденсаторе. Энергия магнитного поля катушки равна нулю

$$W_C = \frac{CU_{\text{max}}^2}{2} = \frac{q_{\text{max}}^2}{2C}, \quad W_L = 0.$$

2. Замыкаем ключ. Конденсатор начинает разряжаться на катушку. При этом в цепи возникает электрический ток. Энергия электрического поля конденсатора постепенно переходит в энергию магнитного поля катушки. Общая энергия системы будет равна

$$W = \frac{LI^2}{2} + \frac{CU^2}{2}.$$

При этом напряжение на конденсаторе постепенно уменьшается до нуля, а ток в катушке возрастает до максимального значения.



3. Конденсатор полностью разрядился (вторая цепь на рисунке). Вся энергия контура запасена в магнитном поле катушки. Ток в цепи достиг максимального значения

$$W_L = \frac{LI_{\max}^2}{2}, W_C = 0.$$

4. Ток по инерции «идет дальше» и заряжает конденсатор наоборот, то есть заряды обкладок становятся противоположными по знаку

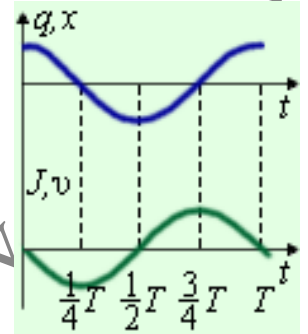
$$W = \frac{LI^2}{2} + \frac{CU^2}{2}.$$

5. Энергия магнитного поля катушки полностью перешла в энергию конденсатора (третья цепь)

$$W_C = \frac{CU_{\max}^2}{2}, W_L = 0.$$

После этого весь процесс повторяется в обратном направлении (цепи 4 и 5).

При этом зависимости силы тока от времени и заряда на конденсаторе от времени имеют вид, изображенный на рисунке.



Если потерь в контуре нет (то есть сопротивление $R = 0$), то энергия сохраняется и в любой момент времени она равна:

$$W = \frac{CU^2}{2} + \frac{LI^2}{2} = \frac{CU_{\max}^2}{2} = \frac{LI_{\max}^2}{2},$$

где U и I – промежуточные значения напряжения и силы тока.

Так как процесс повторяется, то он должен характеризоваться периодом. Период данных колебаний находится по формуле Томпсона:

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

Как правило, в начальный момент времени заряжается конденсатор, поэтому $q(t) = q_0 \cos(\omega t)$. Так как сила тока равна $I = \frac{q}{t}$, то взяв производную (если не знаете как ее брать, то смотрите только результат вычислений) получим

$$I = q'(t) = -\omega q_0 \sin(\omega t) = -I_0 \sin(\omega t).$$

То есть максимальное значение силы тока определяется выражением: $I_0 = \omega q_0$. При этом напряжение будет меняться по закону:

$$U = \frac{q(t)}{C} = \frac{q_0 \cos(\omega t)}{C} = U_0 \cos(\omega t),$$

То есть максимальное значение напряжения определяется выражением: $U_0 = q_0/C$.

Сравнение свободных колебаний груза на пружине и процессов в электрическом колебательном контуре позволяет сделать заключение об **анalogии между электрическими и механическими величинами**. Эти аналогии представлены в таблице.

Электрические величины		Механические величины	
Заряд конденсатора	$q(t)$	Координата	$x(t)$
Ток в цепи	$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$	Скорость	$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$
Индуктивность	L	Масса	m
Величина, обратная электроемкости	$1/C$	Жесткость	k
Напряжение на конденсаторе	$U = q/C$	Упругая сила	$F = kx$
Энергия электрического поля конденсатора	$\frac{q^2}{2C}$	Потенциальная энергия пружины	$\frac{kx^2}{2}$
Магнитная энергия катушки	$\frac{LI^2}{2}$	Кинетическая энергия	$\frac{mv^2}{2}$
Магнитный поток	LI	Импульс	mv

Данная таблица поможет Вам ПОНЯТЬ процесс колебаний в LC-контуре.

В отсутствие затухания свободные колебания в электрическом контуре являются **гармоническими**, то есть происходят по закону

$$q(t) = q_0 \cos(\omega t + \varphi_0).$$

Амплитуда q_0 и начальная фаза φ_0 определяются **начальными условиями**, то есть тем способом, с помощью которого система была выведена из состояния равновесия. В частности, для процесса колебаний, который начнется в контуре изображенном на первом рисунке в этой теме после переброса ключа K в положение 2, $q_0 = C\varepsilon$, $\varphi_0 = 0$.

При свободных колебаниях происходит периодическое превращение электрической энергии W_C , запасенной в конденсаторе, в магнитную энергию W_L катушки и наоборот. Если в колебательном контуре нет потерь энергии, то полная электромагнитная энергия системы остается неизменной.

Все реальные контура содержат электрическое сопротивление R . Процесс свободных колебаний в таком контуре уже не подчиняется гармоническому закону. За каждый период колебаний часть электромагнитной энергии, запасенной в контуре, превращается в тепло, и колебания становятся **затухающими**.

Сейчас получим одно соотношение, которым очень удобно пользоваться при решении задач. По закону сохранения энергии максимальная энергия катушки будет равна максимальной энергии конденсатора

$$\frac{q_{\max}^2}{2C} = \frac{LI_{\max}^2}{2} \Rightarrow q_{\max}^2 = LC \cdot I_{\max}^2 \Rightarrow \sqrt{q_{\max}^2} = \sqrt{LC \cdot I_{\max}^2} \Rightarrow q_{\max} = I_{\max} \sqrt{LC}.$$

Так как $\sqrt{LC} = \frac{T}{2\pi}$, то получаем

$$q_{\max} = I_{\max} \frac{T}{2\pi} \quad \text{или} \quad q_{\max} = I_{\max} \frac{1}{2\pi\nu} \quad \text{или} \quad q_{\max} = I_{\max} \frac{1}{\omega}$$

И как раз последняя формула поможет нам решить задачу очень быстро. Максимальное напряжение на конденсаторе будет в момент времени, когда заряд на конденсаторе будет тоже максимальный

$$C = \frac{q_{\max}}{U_{\max}} \Rightarrow U_{\max} = \frac{q_{\max}}{C} = \frac{I_{\max}}{C\omega}$$

Где мы возьмём максимальную силу тока и циклическую частоту? Конечно же из зависимости силы тока от времени. В общем виде зависимость силы тока от времени имеем вид

$$I = I_{\max} \sin(\omega t + \varphi_0)$$

Сравниваем уравнение в условии задачи с эталонным и получаем, что

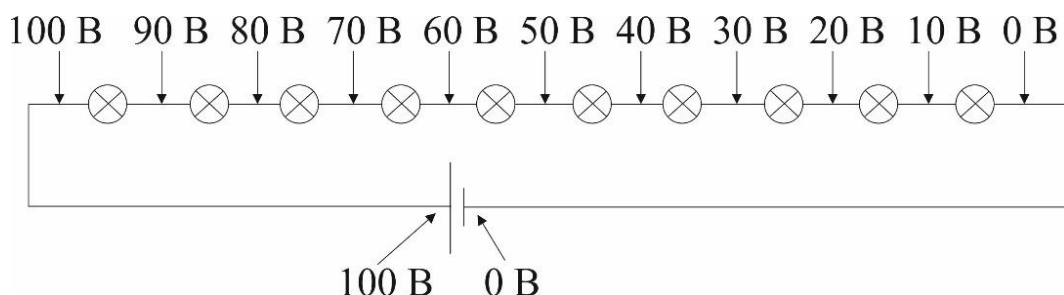
$$I_{\max} = A = 0,2 \quad \text{и} \quad \omega = B = 2,5 \cdot 10^3 \quad (\text{рад/с})$$

В принципе даже по размерностям можно было догадаться. Осталось только вычислить. **Ответ: 16.**

В12. Для начала давайте поговорим о домашней электрической сети. С точки зрения классической физики некоторые мои объяснения могут быть не совсем корректными. Однако по-другому **доступно** объяснить суть физических явлений и процессов будет очень сложно.

В обычной домашней розетке три провода: фаза, ноль и земля. Фаза это провод, который является источником электронов, которые обладают большой потенциальной энергией. Потенциал фазы около 220 В. Ноль это провод, в который электроны стремятся уйти. В принципе в большинстве домов есть только эти два провода и их достаточно чтобы существовала электрическая сеть. Про заземление можете почитать в Википедии.

Если вы включаем в розетку гирлянду, то проходя через каждую лампочку электроны теряют энергию. Посмотрите внимательно на рисунок ниже. Так как сопротивление всех лампочек одинаково, то на каждой лампочке **«теряется»** одинаковое количество вольт (так называемое падение напряжения) и потенциал постоянно уменьшается до нуля. При этом справа и слева от лампочки будут разные потенциалы.



Немного теории о конденсаторах. При сообщении проводнику заряда всегда существует некоторый предел, более которого зарядить тело не удастся. Почему? 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 вещества (например, воды) 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:

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

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

Величина емкости зависит от формы и размеров проводников и от свойств диэлектрика, разделяющего проводники. Существуют такие конфигурации проводников, при которых электрическое поле оказывается сосредоточенным (локализованным) лишь в некоторой области пространства. Такие системы называются **конденсаторами**, а проводники, составляющие конденсатор, называются **обкладками**. Простейший конденсатор – система из двух плоских проводящих пластин, расположенных параллельно друг другу на малом по сравнению с размерами пластин расстоянии и разделенных слоем диэлектрика. Такой конденсатор называется **плоским**.

Электрическое поле плоского конденсатора в основном локализовано между пластинами (см. рисунок).

Емкость такого конденсатора равна

$$C = \frac{\varepsilon_0 S}{d},$$

где S – площадь каждой пластины, d – расстояние между пластинами.

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 ε раз:

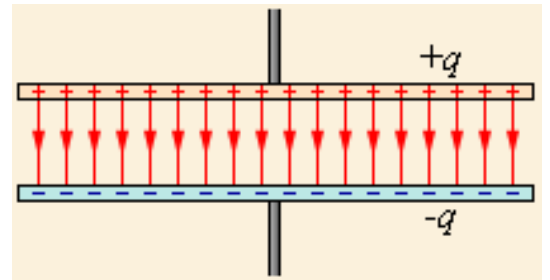
$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}.$$

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

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



А теперь вернемся к нашей задаче. В точке A потенциал будет равен 160 Вольт, в точке B – ноль вольт. Так же важно понимать, что через конденсатор ток не идет и поэтому сопротивления 1 и 2 соединены последовательно. Точно так же соединены сопротивления 3 и 4. Рассмотрим отдельно верхнюю ветку цепи. Так как второе сопротивление в 3 раза больше первого, то на нем падение напряжения будет тоже в 3 раза больше, чем на первом сопротивлении. Следовательно,

$$U_{12} = U_1 + U_2 \Rightarrow \varepsilon = U_1 + 3U_1 = 4U_1 \Rightarrow U_1 = \frac{\varepsilon}{4} = 40 \text{ (В)}$$

Следовательно, потенциал в точке C будет равен $160 \text{ В} - 40 \text{ В} = 120 \text{ В}$.

Теперь рассмотрим нижнюю ветку цепи. Так как третье и четвертое сопротивления равны, и падение напряжения на них будет одинаковым и равным половине ЭДС

$$U_{12} = U_1 + U_2 \Rightarrow \varepsilon = U_1 + U_1 = 2U_1 \Rightarrow U_1 = \frac{\varepsilon}{2} = 80 \text{ (В)}$$

Следовательно, потенциал в точке D будет равен $160 \text{ В} - 80 \text{ В} = 80 \text{ В}$. Таким образом, напряжение на конденсаторе будет равно разности потенциалов в точках C и D и равно 40 Вольт или $\frac{\varepsilon}{4}$.

Работа по раздвижению пластин будет равна разности энергий конденсатора. И тут важно выбрать формулу для расчетов. Так как по условию задачи «Считать, что при быстром изменении расстояния между пластинами заряд конденсатора остается постоянным», то выберем формулу через заряд конденсатора и его емкость. Начальная энергия конденсатора будет равна

$$W_1 = \frac{q_1^2}{2C_1} = \frac{(C_1 U_1)^2}{2C_1} = \frac{C_1^2 \left(\frac{\varepsilon}{4}\right)^2}{2C_1} = \frac{C_1 \varepsilon^2}{32}$$

После раздвигания пластин изменится емкость конденсатора. Выразим ее через начальную емкость

$$C_2 = \frac{\varepsilon_0 S}{d_2} = \frac{\varepsilon_0 S}{2d_1} = \frac{1}{2} \frac{\varepsilon_0 S}{d_1} = \frac{1}{2} C_1$$

Конечная энергия конденсатора будет равна

$$W_2 = \frac{q_2^2}{2C_2} = \frac{(C_1 U_1)^2}{2 \frac{C_1}{2}} = \frac{C_1^2 \left(\frac{\varepsilon}{4}\right)^2}{C_1} = \frac{C_1 \varepsilon^2}{16}$$

Найдем работу, которую нам надо совершить

$$A = W_2 - W_1 = \frac{C_1 \varepsilon^2}{16} - \frac{C_1 \varepsilon^2}{32} = \frac{C_1 \varepsilon^2}{32}$$

Ответ: 160.

