Вариант 1

A1	**A2**	**A3**	**A4**	**A5**	**A6**	**A7**	**A8**	**A9**	**A10**	**A11**	**A12**	**A13**	**A14**	**A15**	**A16**	**A17**	**A18**
4	5	1	2	1	5	4	2	1	4	3	1	4	2	3	1	4	4

B1	**B2**	**B3**	**B4**	**B5**	**B6**	**B7**	**B8**	**B9**	**B10**	**B11**	**B12**
10	12	7	300	18	8	15	48	840	13	150	34

Вариант 2

A1	**A2**	**A3**	**A4**	**A5**	**A6**	**A7**	**A8**	**A9**	**A10**	**A11**	**A12**	**A13**	**A14**	**A15**	**A16**	**A17**	**A18**
2	3	4	1	5	1	3	5	5	4	3	5	3	4	5	3	2	4

B1	**B2**	**B3**	**B4**	**B5**	**B6**	**B7**	**B8**	**B9**	**B10**	**B11**	**B12**
20	11	6	200	90	19	21	40	800	15	200	20

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

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

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

2016/2017, 2 этап, первый вариант

A1. Открываем учебник по физике и читаем теорию. Вам надо знать все формулы наизусть.
Ответ: 4.

A2. Рекомендую скачать у меня с сайта www.repet.by тему «Кинематика» и внимательно изучить параграфы 1.12 и 1.13. Для решения задачи определите координату тела в моменты времени 0 и 1 секунды.
Ответ: 5.

A3. Для решения этой задачи кроме параграфов 1.12 и 1.13 вам надо будет внимательно прочитать параграф 1.06. Так как точка останавливается через 5 секунд, то она двигается с ускорением $a=\dfrac{\upsilon-\upsilon_0}{t}=\dfrac{0-6}{5}=-1,2$ (см/с^2). Запишем уравнение движения точки $x=x_0+\upsilon_0 t+\dfrac{at^2}{2}=2+6t-\dfrac{1,2t^2}{2}$. А теперь легко находим координату в момент времени три секунды.
Ответ: 1.

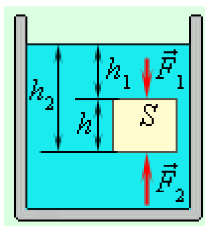
A4. И опять рекомендую скачать у меня с сайта тему «Кинематика» и прочитать в ней тему 1.14.
В нашей задаче речь идет о двух точках, лежащих на одной прямой. Следовательно,

$$\omega_1=\omega_2 \;\Rightarrow\; \frac{\upsilon_1}{R_1}=\frac{\upsilon_2}{R_2} \;\Rightarrow\; \frac{2,5\upsilon_2}{R_1}=\frac{\upsilon_2}{R_1-\Delta l} \;\Rightarrow\; \frac{2,5}{R_1}=\frac{1}{R_1-\Delta l} \;\Rightarrow\; 2,5\left(R_1-\Delta l\right)=R_1$$

Открываем скобки и решаем простое линейное уравнение.
Ответ: 2.

A5. Согласно второму закону Ньютона $F=ma$. Вам остается только из уравнения движения найти ускорение, с которым двигается тело. И не забудьте про двойку (тема 1.13)!!!
Ответ: 1.

A6. 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:



$$\Delta p = p_2 - p_1 = \rho g h_2 - \rho g h_1 = \rho g(h_2 - h_1) = \rho g h.$$

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

$$F_А = F_2 - F_1 = S\Delta p = \rho g S h = \rho g V \qquad \Rightarrow \qquad F_А = \rho g V$$

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.

Если тело находится на поверхности жидкости (плавает), то на него действует всего две силы – сила Архимеда вверх и сила тяжести вниз. Эти силы уравновешивают друг друга. Второй закон Ньютона примет вид: $F_A = mg$. Раскроем силу Архимеда и массу тела. Получаем: $\rho_{жидкости} g V_{погр} = \rho_{тела} V g$,

где $V_{погр}$ – объем **ПОГРУЖЕННОЙ** части тела, V – **ПОЛНЫЙ** объем тела. Получаем соотношение

$$\frac{V_{погр}}{V} = \frac{\rho_{тела}}{\rho_{жидкости}}$$

При помощи этого соотношения легко решается большинство задач на ПЛАВАНИЕ тел.

Если внутри тела есть полость (пустота), то масса тела будет равна $m = \rho_{тела}(V - V_{полости})$, где V – объем тела, $V_{полости}$ – объем полости, $\rho_{тела}$ – плотность тела.

При решении этой задачи важно понять, то объем погруженной части тела равен разнице между объемом всего тела и объемом надводной части тела. Следовательно,

$$\frac{V_{погр}}{V} = \frac{\rho_{тела}}{\rho_{жидкости}} \Rightarrow \frac{V - V_{надвод}}{V} = \frac{\rho_{тела}}{5\rho_{тела}} \Rightarrow \frac{V - V_{надвод}}{V} = \frac{1}{5} \Rightarrow 5(V - V_{надвод}) = V$$

С другой стороны проще сразу же найти объем погруженной части и потом вычесть найденный объем из объема всего тела

$$\frac{V_{погр}}{V} = \frac{\rho_{тела}}{\rho_{жидкости}} \Rightarrow \frac{V_{погр}}{V} = \frac{\rho_{тела}}{5\rho_{тела}} \Rightarrow V_{погр} = \frac{1}{5}V$$

Ответ: 5.

А7. Идеальный газ – это газ, молекулы которого не взаимодействуют друг с другом, за исключением процессов упругого столкновения. Молекулы такого газа считают материальными точками.

В молекулярно–кинетической теории вводится новая величина – **количество вещества,** которую принято считать пропорциональной числу частиц. Единица количества вещества называется молем (моль).

МОЛЬ – это количество вещества, содержащее столько же частиц (атомов, молекул), сколько содержится атомов в 0,012 кг углерода ^{12}С.

Молекула углерода состоит из одного атома. В некотором роде 1 моль подобен единице измерения дюжине (или просто двенадцати). Ведь не имеет значения чего будет дюжина: стульев, столов, учебников, машин, планет. То же самое с молем: не важно какого вещества будет 1 моль. Важно, что мы будем иметь определенное количество частиц вещества. Таким образом, в одном моле **любого вещества** содержится одно и то же число частиц (атомов или молекул). Это число называется **постоянной или числом Авогадро:**

$$N_A = 6{,}02 \bullet 10^{23} \text{ моль}^{-1}.$$

Таким образом в двух молях **ЛЮБОГО** вещества будет $2 \bullet 6{,}02 \bullet 10^{23} = 12{,}04 \cdot 10^{23}$ частиц, в трех – $3 \bullet 6{,}02 \bullet 10^{23} = 18{,}06 \cdot 10^{23}$ частиц, в половине моля – $0{,}5 \bullet 6{,}02 \bullet 10^{23} = 3{,}01 \cdot 10^{23}$ частиц.

ПОСТОЯННАЯ АВОГАДРО – ОДНА ИЗ ВАЖНЕЙШИХ ПОСТОЯННЫХ В МКТ!!!

Количество вещества ν (обозначается греческой буквой «ню», не путайте со скоростью υ) равно отношению числа N частиц (атомов или молекул) вещества к постоянной Авогадро N_A: $\nu = \dfrac{N}{N_A}$.

Массу одного моля вещества принято называть **молярной массой** M. Молярная массу можно найти умножив массу одной молекулы m_0 данного вещества на постоянную Авогадро (то есть на количество частиц в одном моле): $M = N_A \bullet m_0$. Молярная масса выражается в **килограммах на моль** (кг/моль). В таблице Менделеева молярная масса указана в граммах на моль.

При решении задач молярную массу мы берем из таблицы Менделеева.

Например, молярная масса натрия Na – 23 г/моль или 0,023 кг/моль или 23 кг/кмоль. Молярная масса азота N_2 – 2•14 г/моль = 28 г/моль. А вот молярную массу сложных веществ Вам придется считать самостоятельно. Например, молярная масса воды H_2O – (2•1 + 16) г/моль = 18 г/моль.

Помните, что в системе си молярная масса обязательно имеет размерность кг/моль!!!

При решении задач удобно пользоваться формулами: $\nu = \frac{m}{M} = \frac{N}{N_A}$ и $m_0 = \frac{m}{N} = \frac{M}{N_A}$**,**

где M – молярная масса, N_A – число Авогадро, m_0 – масса одной частицы вещества, ν – количество вещества, N –число частиц вещества, содержащееся в массе вещества m. **ЗАПОМНИТЕ ЭТИ ОБОЗНАЧЕНИЯ!!! Так же очень часто будет удобно использовать соотношение:** $\frac{m}{M} = \frac{N}{N_A}$

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**: $p = \frac{1}{3} n m_0 \upsilon_{кв}^2$,

где p – давление газа, n – концентрация молекул газа, m_0 – масса одной молекулы, $\upsilon_{кв}$ – 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. Начинам играть в формулы (помножим и поделим уравнение на 2)

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

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

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

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

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

$\upsilon_{\text{кв}} = \sqrt{\dfrac{3kT}{m_0}}$, 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:** $k \bullet N_A = R$,

где $R = 8{,}31$ Дж/(моль·К) – универсальная газовая постоянная. Значит, $\upsilon_{\text{кв}} = \sqrt{\dfrac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\dfrac{3 \cdot kN_A \cdot T}{m_0 N_A}} = \sqrt{\dfrac{3RT}{M}}$.

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

$\upsilon_{\text{кв}} = \sqrt{\dfrac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\dfrac{\text{Три КоТа}}{\text{Мышка}}}$ – Три кота на мышку. $\upsilon_{\text{кв}} = \sqrt{\dfrac{3RT}{M}} = \sqrt{\dfrac{\text{Три РТа}}{\text{Миска}}}$ – Три рта на миску.

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

ее скорости: $E_K = \dfrac{m_0 \upsilon_{\text{кв}}^2}{2} = \dfrac{3m_0 kT}{2m_0} = \dfrac{3}{2}kT \quad \Rightarrow \quad E_K = \dfrac{3}{2}kT$.

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

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

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

6. Мы уже близки к финалу $p = nkT = \dfrac{N}{V}kT$. Следовательно, $pV = NkT$.

ВНИМАТЕЛЬНО ЧИТАЙТЕ УСЛОВИЕ ЗАДАЧИ И ВЫБИРАЙТЕ НАИБОЛЕЕ ПОДХОДЯЩУЮ ПОД УСЛОВИЕ ФОРМУЛУ.

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, 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 – это 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. В ряде стран (например в США) широко используется **шкала**

Фаренгейта (T_F), в которой температура замерзающей воды принимается равной 32 °F, а температура кипения воды равной 212 °F. Следовательно, $T_F = \frac{9}{5}T_C + 32$ или $T_C = \frac{5}{9}(T_F - 32)$.

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: $T(\text{К}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273{,}15$.
В системе СИ принято единицу измерения температуры по шкале Кельвина называть **кельвином** и обозначать буквой К. Например, комнатная температура $T_C = 20$ °C по шкале Кельвина равна $T_K = 293{,}15$ К.
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 $^{\circ}$C!!! Например, была температура 290 К. Стала 310 К. Изменение составит 20 К. Если перевести в градусы Цельсия, то начальная температура была $T_1 = 290–273=17$ $^{\circ}$C, конечная стала $T_2 = 310–273=37$ $^{\circ}$C, то есть **ИЗМЕНЕНИЕ** равно 20 $^{\circ}$C!!!
Для решения нашей задачи воспользуемся любой из двух формул «голодных животных».

$$\upsilon_2 = \sqrt{\frac{3kT_2}{m_0}}, \quad \upsilon_1 = \sqrt{\frac{3kT_1}{m_0}} \Rightarrow \frac{\upsilon_2}{\upsilon_1} = \frac{\sqrt{\frac{3kT_2}{m_0}}}{\sqrt{\frac{3kT_1}{m_0}}} = \sqrt{\frac{T_2}{T_1}}$$

И не забываем перевести температуру в Кельвины!!!
Ответ: 4.

A8. Газ может участвовать в различных тепловых процессах, при которых могут изменяться все параметры, описывающие его состояние (p, V и T).

В общем случае $\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2}$ – объединенный газовый закон.

Объединенный газовый закон используют, если МАССА ГАЗА ПОСТОЯННА (например, газ находится в закрытом сосуде) и по условию понятно, что все остальные параметры (давление, объем, температура) изменяются. Смотрим на график и подставляем начальные (в точке 1) и конечные (в точке 3) значения давления и объема.
Ответ: 2.

A9. Теорию к задаче А7 мы закончили, записав очередное следствие из основного уравнения молекулярно–кинетической теории идеального газа. Продолжим исследование этого следствия:

$$pV = N \cdot kT = \nu N_A \cdot kT = \nu \cdot (N_A k) \cdot T = \nu RT \quad \text{или} \quad pV = \nu RT,$$ где ν – количество молей газа.

Произведение постоянной Авогадро N_A на **постоянную Больцмана** k называется **универсальной газовой постоянной** и обозначается буквой R. Ее численное значение в СИ: $R = 8{,}31$ 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 количество молей Менделеевым.
Если температура газа равна $T_н = 273{,}15$ К (0 °C), а давление $p_н = 1$ атм $= 1{,}013 \cdot 10^5$ Па, то говорят, что газ находится при **НОРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ (запомните эти данные, при решении некоторых задач Вам это пригодиться)**. Как следует из уравнения состояния идеального газа, один моль любого газа **при нормальных условиях** занимает один и тот же объем V_0, равный

$$V_0 = 0{,}0224 \text{ м}^3/\text{моль} = 22{,}4 \text{ дм}^3/\text{моль}.$$

Это утверждение называется **законом Авогадро.**
Для смеси химически невзаимодействующих газов уравнение состояния принимает вид

$$pV = (\nu_1 + \nu_2 + \nu_3 + ...)RT,$$

где ν_1, ν_2, ν_3 и т. д. – количество вещества каждого из газов в смеси.

Запишем основные формы уравнения Клапейрона–Менделеева

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

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

Понять, что авторы задачи добиваются того, чтобы Вы вспомнили и попытались верно записать уравнение Клапейрона–Менделеева, очень легко. В задаче, как правило, будет назван газ или дана его молярная масса, а определять Вам придется давление, плотность, температуру или объем газа.

Следует отметить, что задолго до того, как уравнение состояния идеального газа было теоретически получено на основе молекулярно–кинетической модели, закономерности поведения газов в различных условиях были хорошо изучены экспериментально. Поэтому уравнение можно рассматривать как обобщение опытных фактов, которые находят объяснение в молекулярно–кинетической теории.

Если же в задаче будет сказано про смесь газов, то давление смеси газов на стенки сосуда будет складываться из **парциальных давлений** каждого газа:

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \ldots = (n_1 + n_2 + n_3 + \ldots)kT.$$

В этом соотношении n_1, n_2, n_3, … – концентрации молекул различных газов в смеси. Это соотношение выражает на языке молекулярно–кинетической теории экспериментально установленный в начале XIX столетия **закон Дальтона: давление в смеси химически невзаимодействующих газов равно сумме их парциальных давлений (то есть давлений, которые оказывали бы газы в отсутствии других газов).** При решении задач **ВСЕГДА** начальные параметры газа обозначайте с подиндексом 1. Например, p_1, V_1, T_1, m_1, M_1.

Конечные параметры обозначайте с подиндексом 2. Например, p_2, V_2, T_2, m_2, M_2.

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

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

$$\frac{p_1V_1M_1}{m_1T_1} = \frac{p_2V_2M_2}{m_2T_2}.$$

В большинстве задач химический состав газа меняться не будет, следовательно $M_1 = M_2$.

Если в задаче будет сказано, что газ находится в **закрытом** сосуде, то $m_1 = m_2$ и $V_1 = V_2$.

Если газ находится под поршнем, который имеем массу, то давление газа будет равно сумме давлений: атмосферного и давления, создаваемого поршнем (обычно это $p = \frac{mg}{S}$, где m – масса поршня, S – его площадь.)

Если газ находится под **подвижным** поршнем или речь идет об открытом сосуде, то $p_1 = p_2$.

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

Для решения нашей задаче надо выбрать на графике точки, для которых можно без ошибки определить значение температуры и объема. В нашем случае нам удобно выбрать точку с температурой 200 Кельвинов. Запишем уравнения состояния для первого и второго газов: $p_1V_1 = \frac{m_1}{M_1}RT_1$ и $p_2V_2 = \frac{m_2}{M_2}RT_2$. Разделим первое уравнение на второе и подставим все данные задачи

$$\frac{p_2V_2}{p_1V_1} = \frac{\frac{m_2}{M_2}RT_2}{\frac{m_1}{M_1}RT_1} \Rightarrow \frac{p_2 \cdot 0,01}{2p_2 \cdot 0,02} = \left(\frac{m_2}{M_2} \cdot 200\right) : \left(\frac{m_1}{M_1} \cdot 200\right) \Rightarrow \frac{1}{4} = \frac{M_1}{M_2}$$

Обращаю ваше внимание на то, что ответ 1/4, а не 4!!! Ответ: **1.**

А10. Если вы не можете решить эту задачу без посторонней помощи, то делать в вузе вам точно нечего. **Ответ:** 4.

А11. Простейшие наблюдения еще в древности показали, что некоторые тела при натирании, соприкосновении, разделении на части приобретают способность взаимодействовать друг с другом особым образом. Заметьте, что это взаимодействие совершенно не описывается в рамках известных законов механики (а именно закона всемирного тяготения). Очевидно, проявление такого взаимодействия свидетельствует о возникновении у тел некоторой новой характеристики, которая и описывает такое взаимодействие. Эта характеристика называется **электрическим зарядом**. Подобно понятию массы тела в механике Ньютона, понятие заряда в электродинамике является первичным, основным понятием.

Электрический заряд – это физическая величина, характеризующая свойство частиц или тел вступать в электромагнитные силовые взаимодействия. Электрический заряд обычно обозначается буквами q или Q. В системе СИ **электрический заряд** измеряется в **Кулонах** (Кл). Свободный заряд в 1 Кл – это гигантская величина заряда, практически не встречающаяся в природе. Как правило, Вам придется иметь дело с микрокулонами (1 мкКл = 10^{-6} Кл), нанокулонами (1 нКл = 10^{-9} Кл) и пикокулонами (1 пКл = 10^{-12} Кл). **Электрический заряд обладает следующими свойствами:**

1. Электрический заряд является видом материи.

2. Электрический заряд не зависит от скорости движения частицы.

3. Заряды могут передаваться от одного тела к другому (например, при непосредственном контакте). В отличие от массы тела электрический **заряд не является неотъемлемой характеристикой данного тела**. Одно и то же тело в разных условиях может иметь разный заряд.

4. Существует два рода электрических зарядов, условно названных **положительными** (например, протон $q_{\text{протона}} = 1{,}6\cdot10^{-19}$ Кл) и **отрицательными** (например, электрон $q_{\text{электрона}} = -1{,}6\cdot10^{-19}$ Кл).

5. Все заряды взаимодействуют друг с другом. Силы взаимодействия зарядов являются центральными, то есть лежат на прямой, соединяющей центры зарядов. При этом одноименные заряды отталкиваются, разноименные – притягиваются. В этом также проявляется принципиальное отличие электромагнитных сил от гравитационных. Гравитационные силы всегда являются силами притяжения.

6. Существует минимально возможный (по модулю) электрический заряд, называемый **элементарным зарядом**. Его значение

$$e = 1{,}602177\cdot10^{-19}\text{ Кл} \approx 1{,}6\cdot10^{-19}\text{ Кл}.$$

Электрический заряд любого тела всегда **кратен элементарному заряду**

$$q = Ne,$$

где **N – ЦЕЛОЕ число!!!** Обратите внимание, невозможно существование заряда, равного 0,5e; 1,7e; 22,7e и.т.д. Только целое число e!!! Физические величины, которые могут принимать только дискретный (не непрерывный) ряд значений, называются **квантованными**. Элементарный заряд e является **квантом** (наименьшей порцией) электрического заряда.

7. Закон сохранения электрического заряда. **В изолированной системе алгебраическая сумма зарядов всех тел остается постоянной**

$$q_1 + q_2 + q_3 + ... + q_n = \text{const}.$$

Закон сохранения электрического заряда утверждает, что в замкнутой системе тел не могут наблюдаться процессы **рождения** или **исчезновения** зарядов только одного знака.

Из закона сохранения заряда так же следует, что если два тела **ОДНОГО РАЗМЕРА**, обладающие зарядами q_1 и q_2 (совершенно не важны знаки зарядов), привести в соприкосновение, а затем обратно раздвинуть, то заряд каждого из тел станет равным: $q' = \dfrac{q_1 + q_2}{2}$. Наример у нас имелось два заряда $q_1 = -11$ Кл и $q_1 = 5$ Кл. После того, как заряды приведут в соприкосновение и разведут в разные стороны заряд каждого из них станет равным $q_1' = q_2' = \dfrac{q_1+q_2}{2} = \dfrac{-11+5}{2} = \dfrac{-6}{2} = -3$ Кл.

Внимательно читайте теорию и решите задачу самостоятельно. **Ответ:** 3.

А12. 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): $\varepsilon = A_{\text{ст}} / q$.

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: $I = \dfrac{\varepsilon}{R + r}$.

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 $r << R$, 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 сопротивления источника ($r >> R$), то тогда в цепи потечет **ток короткого замыкания:** $I_{кз} = \varepsilon / r$.

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

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

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

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

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 одну 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: $A = \dfrac{U^2}{R}\Delta t$.

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

Если два потребителя соединенные 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 Δt, за которое эта работа была совершена: $P = \dfrac{A}{\Delta t} = IU = \dfrac{U^2}{R} = I^2 R$.

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

И ОПЯТЬ ФОРМУЛА С НАПРЯЖЕНИЕМ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ БУДЕТ ПРИМЕНЯЕТСЯ ГОРАЗДО ЧАЩЕ, ЧЕМ ОСТАЛЬНЫЕ!!!

Работа электрического тока в СИ выражается в **джоулях** (Дж), мощность – в **ваттах** (Вт).

Работа электрического тока так же может выражаться через мощность, то есть $A = Pt$. Таким образом работу тока можно выразить через 1 кВт·ч= 1 000 Вт х 3600 с = 3 600 000 Дж. Эту единицу работы тока используют в быту (посмотрите в счета, которые Ваши родители платят за электроэнергию).

При этом если на лампочке написано 100 Вт, 220 В, то это означает, что лампочка **рассчитана** на 220 В и при включении в сеть с 220 В будет вырабатывать мощность 100 Вт. Следовательно, **номинальная** (то есть та, на которую рассчитана лампочка), сила тока, на которую рассчитана лампочка, находится из соотношения : $P = IU \Rightarrow I = \dfrac{P}{U} = \dfrac{100\,\text{Вт}}{220\,\text{В}} = 0{,}45\,\text{А}$. При помощи закона Ома для участка цепи найдем сопротивление лампочки: $I = \dfrac{U}{R} \Rightarrow R = \dfrac{U}{I} = \dfrac{220\,\text{В}}{0{,}45\,\text{А}} \approx 490$ Ом.

Полезной работой считается работа, совершенная на внешнем участке цепи, то есть: $A_{полезная} = I^2 R\Delta t$

При этом полная работа, совершенная источником, будет равна: $A_{полная} = I^2\left(R+r\right)\Delta t$. По определению, КПД это отношение полезной работы ко всей совершенной работе: $\eta = \dfrac{A_{полезная}}{A_{полная}} = \dfrac{I^2\left(R\right)\Delta t}{I^2\left(R+r\right)\Delta t} = \dfrac{R}{R+r}$

Ответ: 1.

А13. Если по двум параллельным проводам идет ток в одном направлении, то они притягиваются. Если в противоположных направлениях, то отталкиваются. 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.

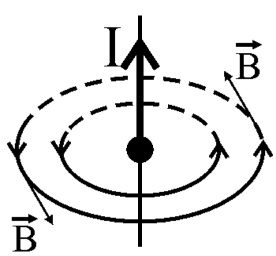
Обозначается B, единица измерения – 1 Тесла. 1 Тл – очень большая величина, поэтому в реальных магнитных полях магнитную индукцию измеряют в мТл.

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

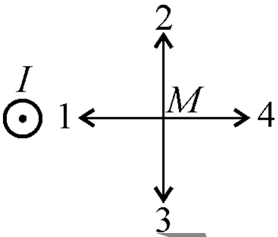
Направление $\vec{B}$ определяется правилом правой руки. Направление $\vec{B}$ не совпадает с направлением силы, действующей на проводник, поэтому силовые линии магнитного поля, строго говоря, силовыми не являются.

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

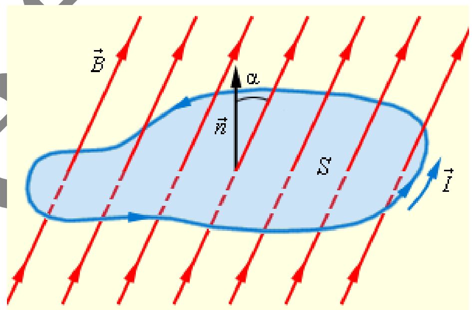
Силовая линия направлена от южного полюса магнитной стрелки к северному, то есть от северного полюса магнита к южному. В случае постоянных магнитов:



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



ПРИМЕР. *Как направлен вектор индукции магнитного поля прямолинейного тока I в точке M?*
Начертите окружность с центром находящимся на проводнике и проходящую через точку М. Мысленно обхватите проводник с током **правой** рукой так, чтобы большой палец был направлен по току, то есть из плоскости чертежа к нам, а четыре обхватывающих пальца совпадали с окружностью. Мысленно проведем касательную к этой окружности в точке М от запястья к кончикам пальцев. Очевидно, что касательная направлена к точке 2. Кстати, так же будет направлен северный полюс магнитной стрелки, помещенный в точку М.
А теперь решаем задачу самостоятельно. Подсказка. При решении вам понадобиться пример, приведенный выше, и теорема Пифагора.
Ответ: 4.



А14. Магнитным потоком Ф 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 м^2: 1 Вб = 1 Тл · 1 м^2. Фарадей экспериментально установил, что при изменении магнитного потока в проводящем контуре возникает ЭДС индукции $\varepsilon_{инд}$, равная скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром, взятой со знаком минус (на знак минус в большинстве задач мы не будем обращать внимание): $\varepsilon_{инд} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$.

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** Ф, 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: $\varepsilon_{инд} = \varepsilon_L = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}$. **ЭДС самоиндукции прямо пропорциональна индуктивности катушки и скорости изменения силы тока в ней.**
Возвращаемся к нашей задаче. Внимательно читаем условие. В нем нам дана зависимость силы тока от времени. Коэффициент B=-0,4 А/с есть не что иное как $\frac{\Delta I}{\Delta t}$. Дальше сами.

Ответ: 2.

А15. При свободных механических колебаниях кинетическая и потенциальная энергии периодически изменяются. При максимальном отклонении тела от положения равновесия (неважно пружинный будет маятник или математический) его скорость, а следовательно, и кинетическая энергия обращаются в нуль. В этом положении потенциальная энергия системы достигает максимального значения. Для груза на пружине потенциальная энергия – это энергия упругих деформаций пружины. Для математического маятника – это энергия в поле тяготения Земли.

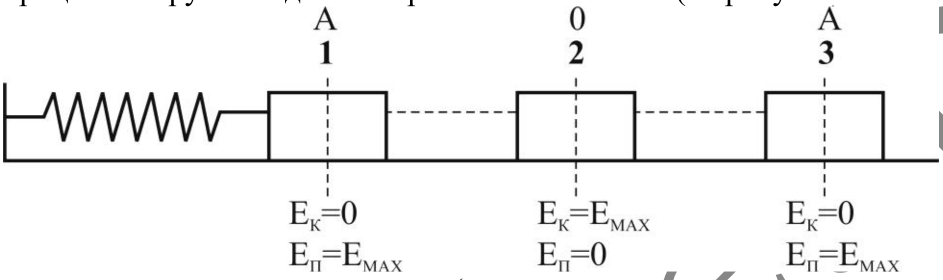
Когда тело при своем движении проходит через положение равновесия, его скорость максимальна. Тело проскакивает положение равновесия по закону инерции. В этот момент оно обладает максимальной кинетической и минимальной (обычно нулевой) потенциальной энергией. Увеличение кинетической энергии происходит за счет уменьшения потенциальной энергии. При дальнейшем движении начинает увеличиваться потенциальная энергия за счет убыли кинетической энергии и т. д.

Таким образом, **ПРИ ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЯХ ПРОИСХОДИТ ПЕРИОДИЧЕСКОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ПОТЕНЦИАЛЬНУЮ И НАОБОРОТ.**

Если в колебательной системе **отсутствует трение**, то полная механическая энергия при свободных колебаниях **остается неизменной**.

ПРУЖИННЫЙ МАЯТНИК

Рассмотрим процесс колебания груза на пружине более подробно. Пусть в момент начала наблюдения за колебательным процессом груз находится в крайнем положении (на рисунке положение 1).



В крайних положениях груз всегда неподвижен (в этих точках происходит изменении направления движения груза) и его кинетическая энергия будет равна нулю. Тогда вся энергия системы будет сосредоточена в потенциальной энергии пружины и равна: $E = E_{p\,\max} = \dfrac{kA^2}{2}$.

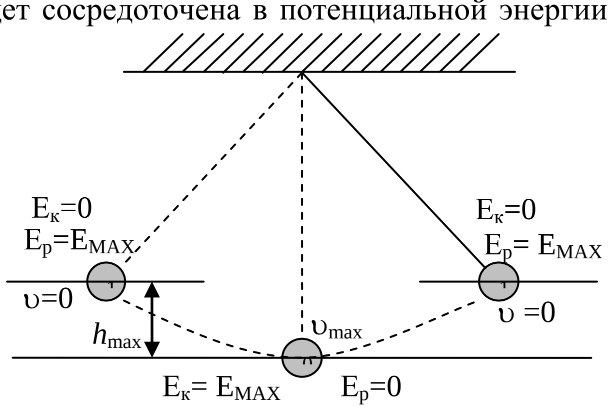
Потом пружина начинает разжиматься и ее энергия начинает уменьшаться. Куда переходит ее энергия? Конечно же в энергию движения груза или в кинетическую энергию. В любой точке на пути от точки 1 к точке 2 энергия системы будет равна: $E = E_k + E_p = \dfrac{m\upsilon^2}{2} + \dfrac{kx^2}{2}$, где x – смещение груза из положение равновесия, υ – скорость в данный момент времени (или скорость при смещении x).

При прохождении положения равновесия деформация пружины станет равна нулю. Следовательно, энергии в ней не будет запасено. Это значит, что вся энергия будет запасена в кинетической энергии груза и, как следствие, скорость его движения будет максимальна в этот момент времени. Энергия системы в этот момент времени будет равна: $E = E_{k\,\max} = \dfrac{m\upsilon_{\max}^2}{2}$.

Далее груз приходит в точку 3 и его энергия станет равна энергии в точке 1.

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ МАЯТНИК

Рассмотрим процесс колебания математического маятника. Пусть в момент начала наблюдения за колебательным процессом груз находится в крайнем левом положении. В крайних положениях груз всегда неподвижен (в этих точках происходит изменении направления движения груза) и его кинетическая энергия будет равна нулю. Тогда вся энергия системы будет сосредоточена в потенциальной энергии груза и равна: $E = E_{p\,\max} = mgh_{\max}$. Потом груз под действием силы тяжести начинает движение к положению равновесия. При этом высота над положением равновесия (уровень положения равновесия мы естественно выбрали за нулевой) начинает уменьшаться. Следовательно, уменьшается и потенциальная энергия груза. Куда она переходит? Конечно же в энергию движения груза или в кинетическую энергию. В любой точке на пути от крайней левой точки к положению равновесия энергия системы будет равна: $E = E_k + E_p = \dfrac{m\upsilon^2}{2} + mgh$, где h – высота тела над нулевым уровнем для данной точки, υ – скорость в данный момент времени (или скорость при высоте тела над нулевым уровнем h).



При прохождении положения равновесия высота тела над нулевым уровнем станет равна нулю. Следовательно, потенциальная энергия груза тоже станет равна нулю. Это значит, что вся энергия будет запасена в кинетической энергии груза и, как следствие, скорость его движения будет максимальна в этот момент времени. Энергия системы в этот момент времени будет равна: $E = E_{k\max} = \frac{m\upsilon_{\max}^2}{2}$. Далее груз по инерции приходит в крайнюю правую точку и его энергия станет равна энергии крайней левой точке.

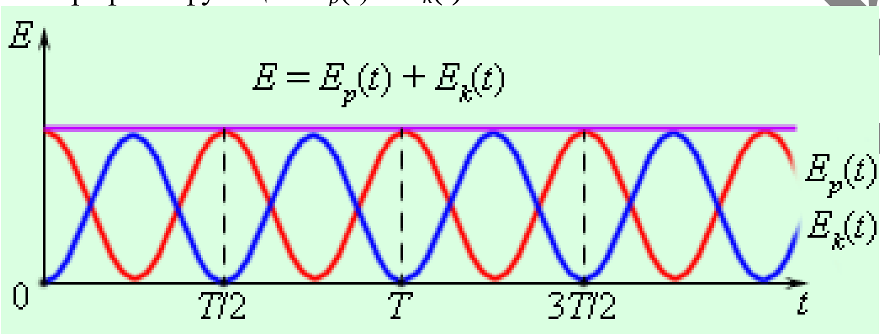
Превращения энергии при свободных механических колебаниях в отсутствие трения можно проиллюстрировать графически. Рассмотрим в качестве примера колебания груза массой m на пружине жесткости k. Пусть смещение $x(t)$ груза из положения равновесия и его скорость $\upsilon(t)$ изменяются со временем по законам:

$$x(t) = A\cos(\omega t) \text{ и } \upsilon(t) = -\omega A \sin(\omega_0 t).$$

Следовательно,

$$E_p = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}kA^2\cos^2(\omega t) = \frac{1}{4}kA^2(1+\cos 2\omega t). \qquad E_k = \frac{1}{2}k\upsilon^2 = \frac{1}{2}kA^2\omega^2\sin^2(\omega t) = \frac{1}{4}kA^2(1-\cos 2\omega t).$$

На рисунке изображены графики функций $E_p(t)$ и $E_k(t)$.



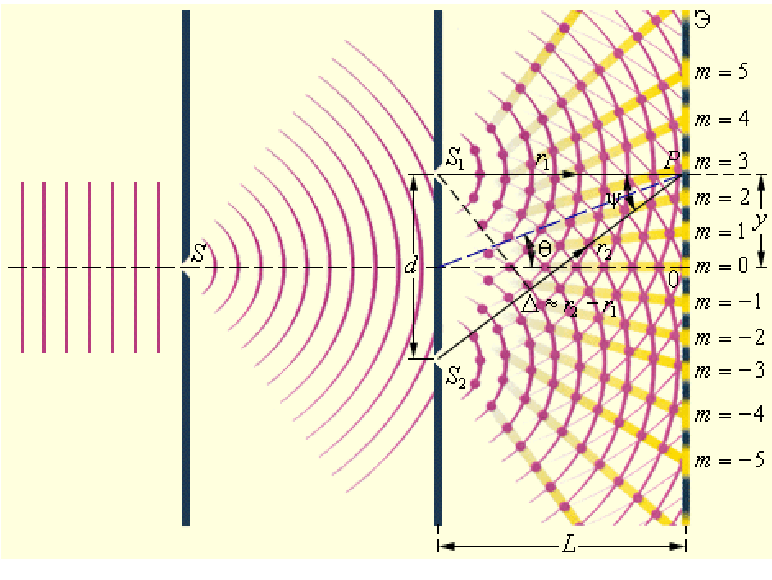
Потенциальная и кинетическая энергии два раза за период колебаний достигают максимальных значений. **ПРИ ЭТОМ СУММА ЭНЕРГИЙ ОСТАЕТСЯ НЕИЗМЕННОЙ!!!**

В реальных условиях любая колебательная система находится под воздействием сил трения (сопротивления). При этом часть механической энергии превращается во внутреннюю энергию теплового движения атомов и молекул, и колебания становятся **затухающими**.

Так как полная энергия системы остается постоянной, то $E_{k\max} = E_{p\max} \Rightarrow \frac{m\upsilon_{\max}^2}{2} = \frac{kA^2}{2}$, Дальше сами.

Ответ: 3.

А16. Интерференция – одно из ярких проявлений волновой природы света. Это интересное и красивое явление наблюдается при определенных условиях при наложении двух или нескольких световых пучков. Интенсивность света в области перекрытия пучков имеет характер чередующихся светлых и темных полос, причем в максимумах интенсивность больше, а в минимумах меньше суммы интенсивностей пучков. При использовании белого света **интерференционные полосы** оказываются окрашенными в различные цвета спектра. С интерференционными явлениями мы сталкиваемся довольно часто: цвета масляных пятен на асфальте, окраска замерзающих оконных стекол, причудливые цветные рисунки на крыльях некоторых бабочек и жуков – все это проявление интерференции света.

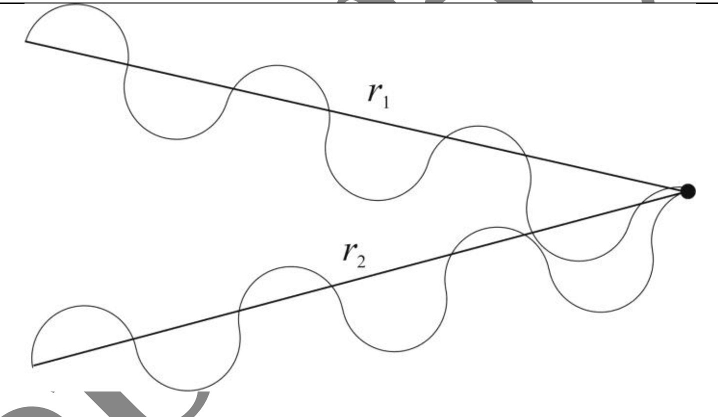
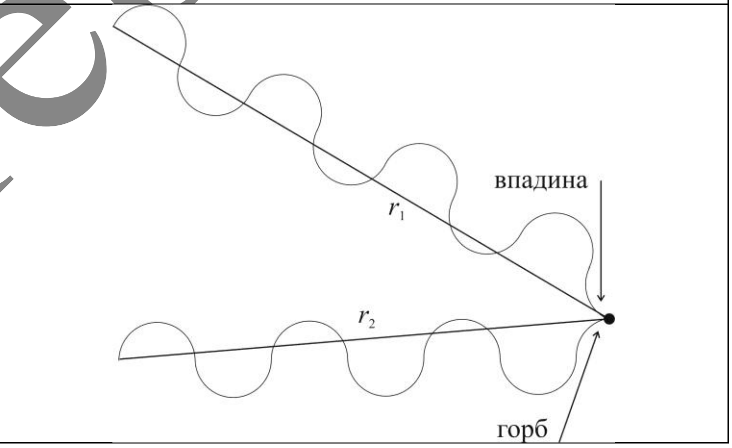


Исторически первым интерференционным опытом, получившим объяснение на основе волновой теории света, явился **опыт Юнга** (1802 г.). В опыте Юнга свет от источника, в качестве которого служила узкая щель S, падал на экран с двумя близко расположенными щелями S_1 и S_2. Проходя через каждую из щелей, световой пучок уширялся, поэтому на белом экране Э световые пучки, прошедшие через щели S_1 и S_2, перекрывались. В области перекрытия световых пучков наблюдалась интерференционная картина в виде чередующихся светлых и темных полос.

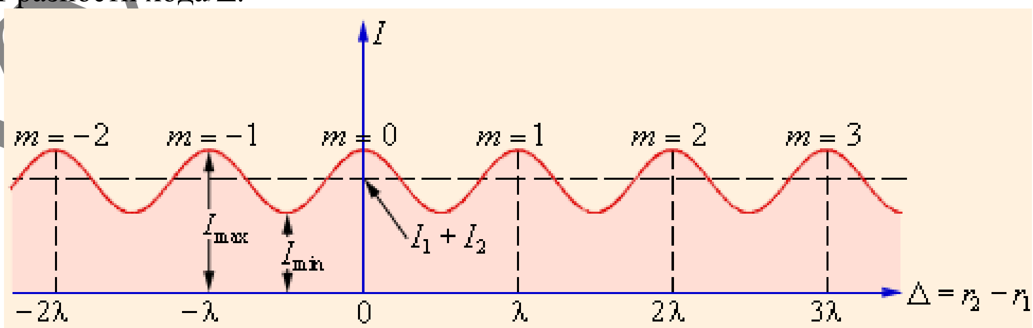
Юнг был первым, кто понял, что нельзя наблюдать интерференцию при сложении волн от двух независимых источников. Поэтому в его опыте щели S_1 и S_2, которые можно рассматривать в соответствии с принципом Гюйгенса как источники вторичных волн, освещались светом одного источника S. При симметричном расположении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

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

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

<table>
<tr>
<td>Интерференционный максимум (светлая полоса) достигается в тех точках пространства, в которых
$$\Delta = 2m\frac{\lambda}{2} \quad (m = 0, \pm1, \pm2, ...).$$
То есть разность хода равна ЧЕТНОМУ ЧИСЛУ ПОЛУВОЛН. При этом $I_{max} = (a_1 + a_2)^2 > I_1 + I_2$.
Если более просто, то в одну точку приходят либо два горба (как на следующем рисунке) либо две впадины. То есть волны приходят в одинаковой фазе (состоянии). В таком случае происходит усиление.</td>
<td>
</td>
</tr>
<tr>
<td>Интерференционный минимум (темная полоса) достигается при
$$\Delta = (2m+1)\frac{\lambda}{2}.$$
То есть разность хода равна НЕЧЕТНОМУ ЧИСЛУ ПОЛУВОЛН. Минимальное значение интенсивности $I_{min} = (a_1 - a_2)^2 < I_1 + I_2$.
Если более просто, то в одну точку волны приходят в ПРОТИВОФАЗЕ. То есть у одной волны будет горб, а у другой впадина (как на следующем рисунке). В таком случае происходит ослабление.</td>
<td>
</td>
</tr>
</table>

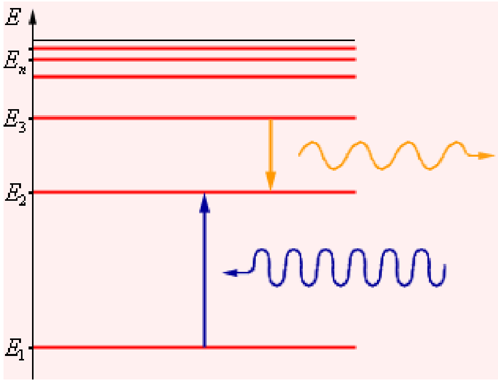
На следующем рисунке показано распределение интенсивности света в интерференционной картине в зависимости от разности хода Δ.



При решении задач помните, что λ – расстояние между точками волн, разность фаз которых 2π. Следовательно, можно использовать пропорцию:

$$\lambda - 2\pi$$
$$\Delta l - \Delta\varphi.$$

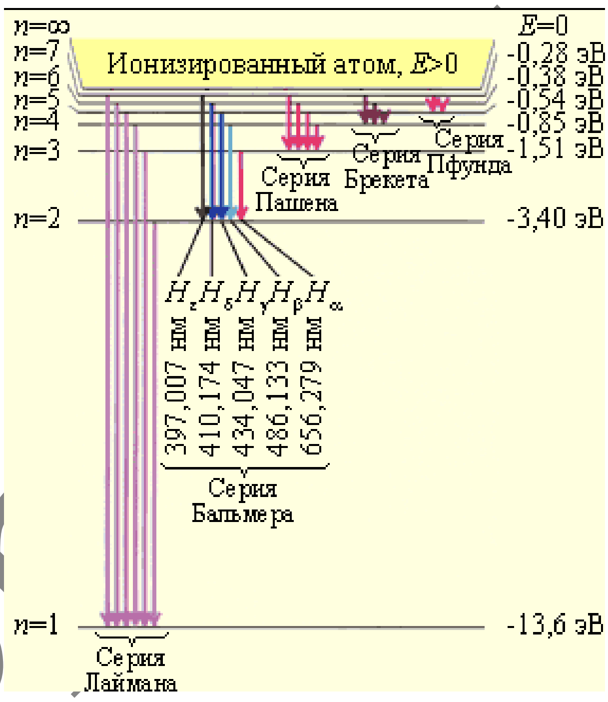
Задачу решите самостоятельно. **Ответ:** 1.



А17. Проанализировав всю совокупность опытных фактов, Бор сформулировал постулаты, которым должна удовлетворять теория о строении атомов:

ПЕРВЫЙ ПОСТУЛАТ БОРА (постулат стационарных состояний): атомная система может находится только в особых стационарных или квантовых состояниях, каждому из которых соответствует определенная энергия E_n. В стационарных состояниях атом не излучает.

Согласно первому постулату Бора, атом характеризуется системой **энергетических уровней**, каждый из которых соответствует определенному стационарному состоянию (см. рисунок). Механическая энергия электрона, движущегося по замкнутой траектории вокруг положительно заряженного ядра, отрицательна. Поэтому всем стационарным состояниям соответствуют значения энергии $E_n < 0$. При $E_n \geq 0$ электрон удаляется от ядра (происходит ионизация). Величина $|E_1|$ называется **энергией ионизации**. Состояние с энергией E_1 называется **основным состоянием** атома. Энергия на любом другом уровне равна $E_n = \frac{E_1}{n^2}$, где n – номер уровня.



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

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

где h – постоянная Планка. Отсюда можно выразить частоту излучения:

$$\nu_{mn} = \frac{E_n - E_m}{h}.$$

Не лишним будет помнить, что на первом уровне энергия электрона равна –13,6 эВ.

Атом водорода явился своеобразным тест–объектом для теории Бора. Ко времени создания теории Бора атом водорода был хорошо изучен экспериментально. Еще в начале XIX века были открыты дискретные спектральные линии в излучении атома водорода в видимой области (так называемый **линейчатый спектр**). Впоследствии закономерности, которым подчиняются длины волн (или частоты) линейчатого спектра, были хорошо изучены количественно (И. Бальмер, 1885 г.). Совокупность спектральных линий атома водорода **В ВИДИМОЙ ЧАСТИ СПЕКТРА** (то есть те электромагнитные волны, которые называют видимым светом) была названа **серией Бальмера**. Позже аналогичные серии спектральных линий были обнаружены в ультрафиолетовой и инфракрасной частях спектра. В 1890 году И. Ридберг получил эмпирическую формулу для частот спектральных линий:

$$\nu_{nm} = R\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right).$$

Для ультрафиолетовой серии (серия Лаймана) $m = 1$ (то есть электрон переходит на первый уровень), $n = 2, 3, 4, \ldots$ (электрон покидает уровень n и переходит именно на первый). Для серии Бальмера $m = 2$ (то есть электрон переходит на второй уровень), $n = 3, 4, 5, \ldots$(электрон покидает уровень n и переходит именно на второй). Для серии Пашена $m = 3$ (то есть электрон переходит на третий уровень), $n = 4, 5, \ldots$(электрон покидает уровень n и переходит именно на третий).

Постоянная R в этой формуле называется **постоянной Ридберга**. Ее численное значение $R = 3{,}29\cdot10^{15}$ Гц.

На рисунке выше изображена диаграмма энергетических уровней атома водорода и указаны переходы, соответствующие различным спектральным сериям. На рисунке показаны переходы, соответствующие различным спектральным сериям. Для первых пяти линий серии Бальмера в видимой части спектра указаны длины волн. Так же серии Лаймана, Бальмера и Пашена могут описаны по–другому.

Серия Лаймана $h\nu = \frac{E_1}{n^2} - \frac{E_1}{1^2}$. **Серия Бальмера** $h\nu = \frac{E_1}{n^2} - \frac{E_1}{2^2}$. **Серия Пашена** $h\nu = \frac{E_1}{n^2} - \frac{E_1}{3^2}$.

ПРИМЕР. *Сколько фотонов с различной энергией может испустить электрон, находящийся на третьем энергетическом уровне в атоме водорода.*
Электрон может совершить следующие переходы: с третьего уровня на первый, с третьего на второй и со второго на первый. Таким образом, электрон способен испустить три различных фотона.

ПРИМЕР. *Сколько фотонов с различной энергией может испустить электрон, находящийся на четвертом энергетическом уровне в атоме водорода? Какой переход будет с максимальной энергией излучаемого фотона?*
Электрон может совершить следующие переходы: 4→3, 4→2, 4→1, 3→2, 3→1, 2→1. Всего 6 переходов. При излучении энергия электрона уменьшается, и электрон переходит на низший энергетический уровень. Из формулы $h\nu_{nm} = E_n - E_m$, следует, что максимальная энергия фотона соответствует максимальной разности энергий, которому соответствует переход 4→1.
При переходе электрона с третей орбиты на вторую испуститься фотон с длиной волны

$$\nu_{23} = \frac{E_2 - E_3}{h} \Rightarrow \frac{c}{\lambda_{23}} = \frac{\frac{E_1}{2^2} - \frac{E_1}{3^2}}{h} \Rightarrow \frac{\lambda_{23}}{c} = \frac{h}{\frac{E_1}{4} - \frac{E_1}{9}} = \frac{h}{\frac{5E_1}{36}}$$

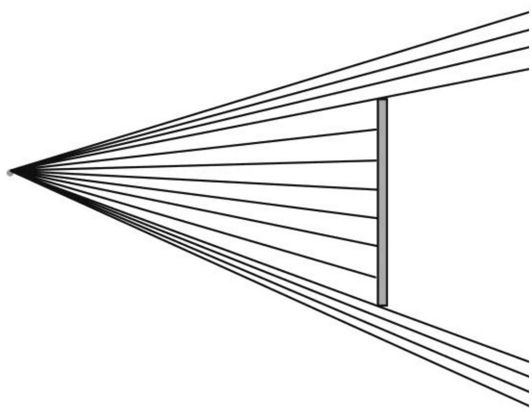
При переходе электрона с второй орбиты на первую испуститься фотон с длиной волны

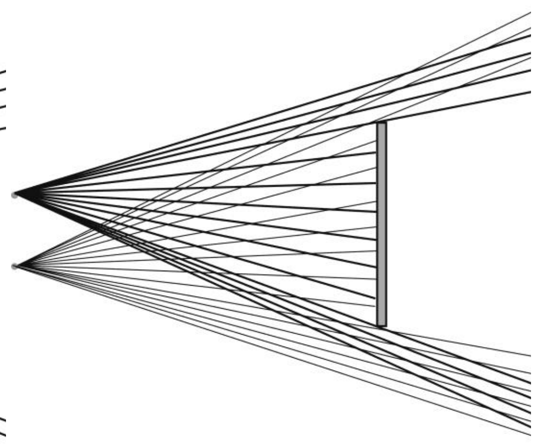
$$\nu_{12} = \frac{E_1 - E_2}{h} \Rightarrow \frac{c}{\lambda_{12}} = \frac{\frac{E_1}{1^2} - \frac{E_1}{2^2}}{h} \Rightarrow \frac{\lambda_{12}}{c} = \frac{h}{\frac{E_1}{1} - \frac{E_1}{4}} = \frac{h}{\frac{3E_1}{4}}$$

Осталось разделить почленно первое уравнение на второе
Ответ: 4.

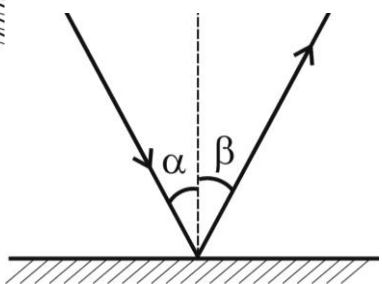
А18. В геометрической оптике свет рассматривают как совокупность лучей, которые в отсутствии препятствий (зеркал, линз, границы раздела двух оптически прозрачных сред) распространяются прямолинейно. Поэтому для успешного усвоения материала Вам придется освежить все свои знания из геометрии. Основные законы геометрической оптики были известны задолго до установления физической природы света. **ЗАКОН ПРЯМОЛИНЕЙНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВЕТА**: в оптически однородной среде свет распространяется прямолинейно.

Опытным доказательством этого закона могут служить резкие тени, отбрасываемые непрозрачными телами при освещении светом источника достаточно малых размеров («точечный источник»).	Если будет два источника света или источник света будет не точечным, то помимо области тени появится область полутени.





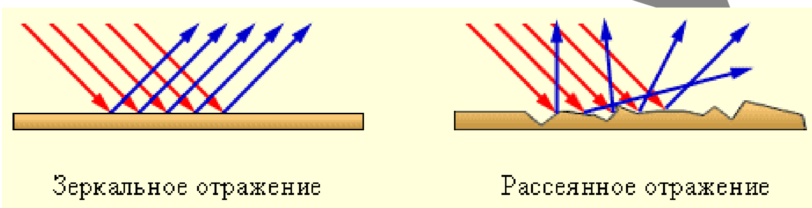
Другим доказательством может служить известный опыт по прохождению света далекого источника сквозь небольшое отверстие, в результате



чего образуется узкий световой пучок. Этот опыт приводит к представлению о световом луче как о геометрической линии, вдоль которой распространяется свет. Следует отметить, что закон прямолинейного распространения света нарушается и понятие светового луча утрачивает смысл, если свет проходит через малые отверстия, размеры которых сравнимы с длиной волны. Таким образом, геометрическая оптика, опирающаяся на представление о световых лучах, есть предельный случай волновой оптики при $\lambda \to 0$. Границы применимости геометрической оптики будут рассмотрены в разделе о дифракции света. Начнем изучение геометрической оптики с самого простого процесса – отражения света от зеркальной поверхности.

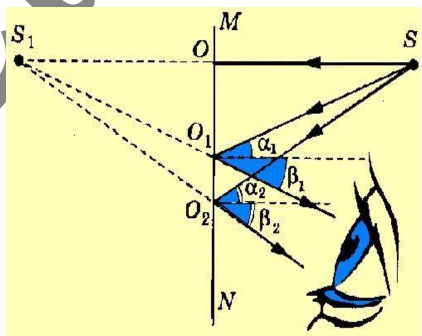
ЗАКОН ОТРАЖЕНИЯ СВЕТА: падающий и отраженный лучи, а также перпендикуляр к границе раздела двух сред, восстановленный в точке падения луча, лежат в одной плоскости (плоскость падения). Угол отражения β равен углу падения α.

Существуют два вида отражения света – зеркальное и диффузное, которые зависят только от **состояния поверхности** на которую падает свет (см. рисунок). Как видно из рисунка неровная поверхность рассеивает свет. Благодаря этому рассеянный шероховатой поверхностью свет можно видеть отовсюду (например, шероховатой является поверхность экрана в кинотеатре). Так же шероховатую поверхность имеют нечищеные туфли. Однако начистив туфли кремом, мы заполняем неровности на поверхности кожи кремом, в результате чего поверхность становится ровной, а отражение зеркальным и туфли начинают блестеть.



Рассмотрим процесс формирования изображения в плоском зеркале.

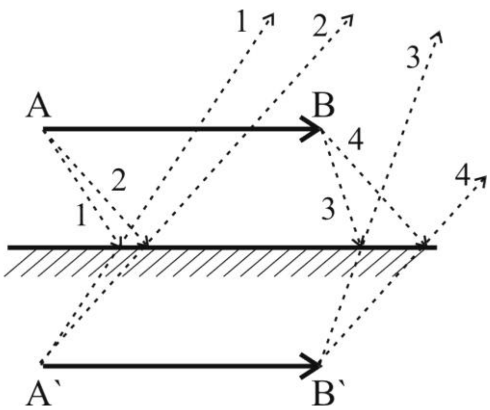
Изображение предмета в плоском зеркале образуется за зеркалом, то есть там, где предмета на самом деле нет. Как это получается?



На рисунке показано, как глаз воспринимает изображение точки S в зеркале. Лучи SO, SO_1 и SO_2 отражаются от зеркала в соответствии с законами отражения. Луч SO падает на зеркало перпендикулярно ($\alpha = 0°$) и, отражаясь ($\beta = 0°$), не попадает в глаз. Лучи SO_1 и SO_2 после отражения попадают в глаз **расходящимся** пучком, глаз воспринимает светящуюся точку S1 за зеркалом. На самом деле в точке S1 сходятся **продолжения** отраженных лучей (пунктир), а не сами лучи (это только кажется, что попадающие в глаз расходящиеся лучи исходят из точек, расположенных в "зазеркалье"), поэтому такое изображение называют воображаемым (или **мнимым**). Точка, из которой, как нам кажется, исходит каждый пучок, и есть точка изображения. Каждой точке объекта соответствует точка изображения.

Вследствие закона отражения света мнимое изображение предмета располагается симметрично относительно зеркальной поверхности. размер изображения равен размеру самого предмета.

В действительности световые лучи не проходят сквозь зеркало. Нам только кажется, будто свет исходит от изображения, поскольку наш мозг воспринимает попадающий к нам в глаза свет как свет от источника, находящегося перед нами. Так как лучи в действительности не сходятся в изображении, поместив лист белой бумаги или фотоплёнку в то место, где находится изображение, мы не получим никакого изображения. Поэтому такое изображение называют мнимым. Его следует отличать от действительного изображения, через которое свет проходит и которое можно получить, поместив там, где оно находится, лист бумаги или фотоплёнку. Как мы увидим в дальнейшем, действительные изображения можно формировать с помощью линз.



Рассмотрим, как построить изображение предмета. Допустим, что предмет *AB* параллелен зеркалу. Проведем из точки *A* предмета два луча: *1* и *2*. Продолжения отраженных лучей пересекутся в точке *A'*. Проведем из точки *B* предмета тоже два луча: *3* и *4*. Продолжения отраженных лучей пересекутся в точке *B'*. Изображение предмета *A'B'* является мнимым (т.к. образовано продолжениями лучей), равным предмету *AB*.

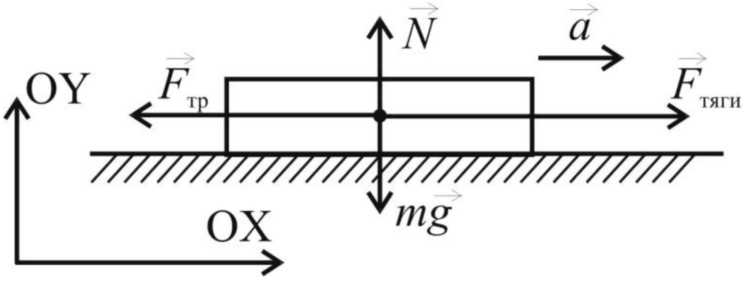
При решении задач по этой теме вспоминайте, как Вы сами себя видите в зеркале, – на каком расстоянии от зеркала находится Ваше изображение, каких оно размеров. Так же учтите, что если вы сделаете шаг по направлению к зеркалу, то и Ваше изображение тоже сделает шаг Вам навстречу, в результате чего расстояние между Вами и вашим изображением сократится не на один шаг, а на два. Так же пом-

ните, что при построении изображения в зеркале мы можем «продлевать» плоскость зеркала на нужное нам расстояние (например, если предмет находится в стороне от зеркала). **При решении задач всегда делайте рисунок и помните, что знание геометрии вам всегда поможет!!!**
Ответ: 4.

В1. Скачивайте у меня с сайта www.repet.by главу «Кинематика» и внимательно изучайте тему «Горизонтальный бросок».
Ответ: 10.

В2. АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ДИНАМИКЕ
1. проанализировав условие задачи, установить, какие силы действуют на материальную точку (тело) массой m;
2. показать на рисунке все силы в виде векторов, то есть направленных отрезков, приложенных к одной точке − к центру масс (центру тяжести) тела массой m;
3. длины отрезков должны качественно (примерно) соответствовать условию задачи и II закону Ньютона: векторная сумма (равнодействующая) сил, действующих на **покоящееся** или движущееся равномерно прямолинейно тело, **равна нулю**. При **ускоренном движении** эта сумма совпадает по направлению **с вектором ускорения**. То есть сила тяги на рисунке всегда будет длиннее силы трения, если тело ускоряется;
4. выбрать систему отсчета; при этом в случае прямолинейного движения достаточно указать одну ось;
5. записать II закон Ньютона в векторной форме: $\vec{F}_1+\vec{F}_2+\vec{F}_3+...=m\vec{a}$;
6. перейти к скалярной форме уравнения, то есть записать все его члены в том же порядке в проекциях на каждую из осей, без знаков векторов;
7. составить систему уравнений, дополнив в случае необходимости кинематическими уравнениями, и провести далее все этапы решения;
8. если в движении участвует несколько тел, анализ сил и запись уравнений должен производиться **ДЛЯ КАЖДОГО ИЗ НИХ В ОТДЕЛЬНОСТИ.**

ПРИМЕР. *Определите силу тяги автомобиля массой 2 тонны, если он, двигаясь с места, за 10 секунд прошел путь 200 м? Сила сопротивления движению равна 1 кН.*
Это очень важный пример. Внимательно разберите его. Решаем задачу по алгоритму.
1. На тело действует 4 силы – сила тяги, сила трения (сила сопротивления), сила тяжести (эта сила будет действовать на тело в 99,9 % задач по курсу «Динамика»), сила реакции опоры.
2. Согласно пункту 1 делаем рисунок. Не забываем показать на нем направление ускорения, с которым двигается тело.



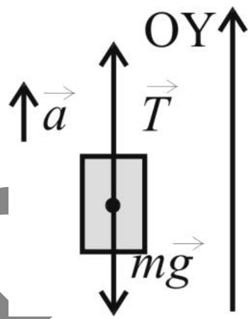
3. Обращаю Ваше внимание на то, что сила тяги длинней силы трения, а сила тяжести равна силе реакции опоры. Это потому, что тело двигается в направлении силы тяги (то есть сила тяги больше чем сила трения), а в вертикальном направлении движения вообще нет (силы тяжести и реакции опоры скомпенсировали друг друга, так как они равны).
4. Выбираем систему отсчета. Ось ОХ направим по ускорению – горизонтально. Вторая ось, естественно, будет вертикальна. В этой задаче нам нужна только горизонтальная ось.
5. Второй закон Ньютона в векторной форме примет вид: $\vec{F}_{\text{тяги}}+\vec{F}_{\text{тр}}+m\vec{g}+\vec{N}=m\vec{a}$.
6. В скалярной форме в проекции на ось ОХ: $F_{\text{тяги}}-F_{\text{тр}}=ma.$
В ОДНОЙ ЧАСТИ УРАВНЕНИЯ ВСЕГДА ДОЛЖНЫ СТОЯТЬ СИЛЫ, В ДРУГОЙ – *ma.*
Небольшой анализ. Проекция силы тяги имеет положительный знак. Это потому, что именно она **вызывает** движение тела. Проекция силы трения в уравнении с отрицательным знаком. Это потому, что она **мешает** движению. **ТАКИМ ОБРАЗОМ, ВСЕ СИЛЫ МОЖНО РАЗДЕЛИТЬ НА ТРИ ТИПА:**
I. Силы, помогающие движению (сила тяги в нашей задаче).
II. Силы, мешающие движению (сила трения).

III. Силы, не влияющие на движение в данном направлении. В нашем случае это сила тяжести и сила реакции опоры. Их проекций нет в уравнении потому, что они действуют вдоль **вертикальной** оси и напрямую никак не могут повлиять на **горизонтальное** движение тела.

7. Ускорение найдем по формуле (так как тело начинает движение из состояния покоя, то начальная скорость равна нулю): $S = \upsilon_0 t + \frac{at^2}{2} = \frac{at^2}{2} \;\Rightarrow\; a = \frac{2S}{t^2}$.

8. Тело у нас одно, следовательно, окончательный ответ имеет вид: $F_{\text{тяги}} = F_{\text{тр}} + m\frac{2S}{t^2}$.

Проанализируем ответ. Сила тяги расходуется на преодолении силы трения и на то, чтобы телу сообщить ускорение. Если тело будет двигаться равномерно, то сила тяги должна будет равна только силе трения (первый закон Ньютона).



Делаем рисунок к задаче. На тело действуют две силы – сила натяжения троса T, которая помогает движению тела, и сила тяжести, которая мешает телу подниматься. Второй закон Ньютона в проекции на ось OY примет вид: $T - mg = ma$.

Согласно закону Гука сила упругости равна $T = kx$. Ускорение, с которым двигается груз, равно $S = \frac{at^2}{2} \;\Rightarrow\; a = \frac{2S}{t^2}$. Дальше сами.

Ответ: 12.

B3. На шарик действуют три силы: вверх – сила Архимеда, вниз – сила тяжести и сила сопротивления со стороны воды. Теплота будет выделяться из-за того, что на шарик действует сила сопротивления. Ее работа будет равна $A = F_C \cdot S$. Запишем второй закон Ньютона для шарика

$$F_{арх} - F_C - mg = 0 \;\Rightarrow\; F_C = F_{арх} - mg$$

Про силу Архимеда можете еще раз прочитать теорию в задаче А6. Дальше сами.

Ответ: 7.

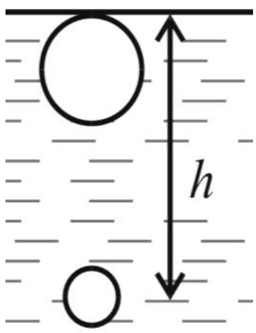
B4. Используя закон сохранения энергии, определим скорость отклоненного шарика в момент взаимодействия с другим шариком. За нулевой уровень выберем уровень, на котором располагается второй шарик. Следовательно, в начальном состоянии энергия отклоненного шарика будет равна только потенциальной энергии. Конечная энергия будет равна кинетической энергии. Таким образом, получим

$$mgh = \frac{m\upsilon^2}{2} \;\Rightarrow\; \upsilon = \sqrt{2gh}$$

Теперь запишем закон сохранения импульса для неупругого удара шариков: $m\upsilon = (m+M)U$, где U – скорость движения шариков сразу после удара. А теперь все просто: $E = \frac{MU^2}{2}$. Сделайте расчеты самостоятельно.

Ответ: 300.

B5. Газ может участвовать в различных тепловых процессах, при которых могут изменяться все параметры, описывающие его состояние (p, V и T).



В общем случае $\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2}$ – объединенный газовый закон.

Объединенный газовый закон используют, если МАССА ГАЗА ПОСТОЯННА (например, газ находится в закрытом сосуде) и по условию понятно, что все остальные параметры (давление, объем, температура) изменяются. Вообще, часто вместо универсального закона можно применять уравнение Менделеева – Клапейрона. Вы так же получите правильный ответ, только в каждой формуле будете писать по две лишние буквы.

В начальный момент времени резиновый шарик находится на поверхности воды (V_1 – объем шарика на поверхности воды, T_1 – температура на поверхности воды, p_1 – давление внутри шарика). Затем мы перемещаем шарик на некоторую глубину h (V_2, T_2 и p_2 – объем, температура и давление воздуха в шарике на глубине *h*). Объединенный газовый закон для воздуха внутри шарика будет иметь вид: $\frac{p_1V_1}{T_1}=\frac{p_2V_2}{T_2}$,

где $p_1 = p_A$ (давление на поверхности воды равно атмосферному давлению), $p_2 = p_A + \rho gh$. Осталось только подставить и сделать вычисления. И не забудьте перевести температуру в Кельвины.
Ответ: 18.

В6. Если в результате теплообмена телу передается некоторое количество теплоты, то внутренняя энергия тела и, естественно, его температура изменяются. Количество теплоты *Q*, необходимое для нагревания 1 кг вещества на 1 К называют **удельной теплоемкостью вещества** *c*: $Q = cm(t_2 - t_1) = cm\Delta t$.

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

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

Физический смысл УДЕЛЬНОЙ теплоёмкости вещества: она показывает, какое количество теплоты надо сообщить телу массой 1 кг, чтобы нагреть его на один градус.
Например, теплоемкость воды 4200 Дж/кг·°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).
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: $\Delta Q_1 + \Delta Q_2 + \Delta Q_3 + \ldots + \Delta Q_n = 0$.
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** ($\Delta Q<0$).
Задачи данного типа лучше решать не в общем виде, а сразу подставлять числа!!!
Существует два метода решения задач данного типа.

МЕТОД 1 (на мой взгляд, наиболее простой; хотя кто-то может со мной не согласиться)

ПРИМЕР. *Водяной пар при 100 °С массой 200 г впустили в калориметр (алюминиевый) массой 100 г, где находился лёд при температуре –8 °С. Температура в калориметре установилась 24 °С. Определить массу льда.*
В теплообмене участвуют три тела: пар, лёд и калориметр. Уравнение теплового баланса в общем виде:

$$Q_{\text{полученное}} = Q_{\text{отданное}}.$$

Теплообмен осуществляется в результате отдачи тепла паром и получения тепла льдом и калориметром (калориметр это стакан, который нагревается [охлаждается] так же как и вещество, которое в нем находится). Отсюда запись уравнения теплового баланса для данной задачи:

$$Q_{\text{льда}} + Q_{\text{алюминия}} = Q_{\text{пара}}.$$

С каждым из тел происходят определённые процессы:
– лед нагревается от –8 °С до 0 °С ($\Delta t_{\text{льда}} = 8\ ^{\circ}\text{C}$), потом плавится. Полученная ледяная вода нагревается до 24 °С ($\Delta t_{\text{лед–вода}} = 24\ ^{\circ}\text{C}$). Следовательно, общее количество теплоты, полученное льдом, равно

$$Q_{\text{льда}} = c_{\text{льда}} m_{\text{льда}} \Delta t_{\text{льда}} + \lambda m_{\text{льда}} + c_{\text{воды}} m_{\text{льда}} \Delta t_{\text{лед-вода}}$$

– калориметр нагревается так же как и лед от –8 °С до 24 °С ($\Delta t_{\text{ал}} = 32\ ^{\circ}\text{C}$):

$$Q_{\text{ал}} = c_{\text{ал}} m_{\text{ал}} \Delta t_{\text{ал}}$$

– пар конденсируется и образовавшаяся вода остывает от 100 °С до 24 °С ($\Delta t_{\text{пар–вода}} = 76\ ^{\circ}\text{C}$):

$$Q_{\text{пара}} = Lm_{\text{пара}} + c_{\text{воды}} m_{\text{пара}} \Delta t_{\text{пар-вода}}$$

С учетом вышеизложенного, уравнение теплового баланса примет вид

$$Q_{\text{пара}} = Q_{\text{ал}} + Q_{\text{льда}} \Rightarrow Lm_{\text{пара}} + c_{\text{воды}} m_{\text{пара}} \Delta t_{\text{пар-вода}} = c_{\text{ал}} m_{\text{ал}} \Delta t_{\text{ал}} + c_{\text{льда}} m_{\text{льда}} \Delta t_{\text{льда}} + \lambda m_{\text{льда}} + c_{\text{воды}} m_{\text{льда}} \Delta t_{\text{лед-вода}}$$

Решение уравнения относительно $m_{\text{льда}}$:

$$m_{\text{льда}} = \frac{Lm_{\text{пара}} + c_{\text{воды}}m_{\text{пара}}\Delta t_{\text{пар-вода}} - c_{\text{ал}}m_{\text{ал}}\Delta t_{\text{ал}}}{c_{\text{льда}}\Delta t_{\text{льда}} + \lambda + c_{\text{воды}}\Delta t_{\text{лед-вода}}} = \frac{2,3\cdot10^6\cdot0,2+4,2\cdot10^3\cdot0,2\cdot76-0,88\cdot10^3\cdot0,1\cdot32}{2,1\cdot10^3\cdot8+330\cdot10^3+4,2\cdot10^3\cdot24} = 1,16 \text{ кг}$$

МЕТОД 2

При решении задач этим методом мы должны помнить, что в замкнутой системе тел алгебраическая сумма количеств теплоты, отданных и полученных всеми телами, участвующими в теплообмене, равна нулю: $\Delta Q_1 + \Delta Q_2 + \Delta Q_3 + \ldots + \Delta Q_n = 0$. Общее правило знаков следующее: количество теплоты, **ПОЛУЧЕННОЕ** телом, считают **положительным** ($\Delta Q>0$), а **ОТДАННОЕ – ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ** ($\Delta Q<0$).

ПРИМЕР. *Термометр, показывающий температуру 22°С, опускают в воду, после чего он показывает температуру 70°С. Чему была равна температура (в °С) воды до погружения термометра? Масса воды 40 г, удельная теплоемкость воды 4200Дж/(кг·К), теплоемкость термометра 7 Дж/К.*

Уравнение теплового баланса имеет для данной задачи вид: $c_{\text{в}}m_{\text{в}}\left(t^* - t_{\text{в}}\right) + C_{\text{Т}}\left(t^* - t_{\text{Т}}\right) = 0$, где t^* – температура теплового равновесия (показание термометра после опускания в воду), $t_в$ – начальная температура воды (до наступления теплового равновесия), t_T – начальная температура термометра (его показание до опускания в воду). Получаем: $t_{\text{в}} = t^* + \dfrac{C_{\text{Т}}\left(t^* - t_{\text{Т}}\right)}{c_{\text{в}}m_{\text{в}}} = 72\ ^{\text{o}}\text{C}$.

Если же решать данную задачу первым методом, то решение будет следующим

$$Q_{\text{полученное}} = Q_{\text{отданное}} \quad \Rightarrow \quad C_{\text{Т}}\left(t^* - t_{\text{Т}}\right) = c_{\text{в}}m_{\text{в}}\left(t_{\text{в}} - t^*\right).$$

Подставляем данные и находим начальную температуру воды.

Второй метод удобен в отсутствие фазовых превращений, то есть плавления (кристаллизации) и парообразования (конденсации). Почему? Не надо думать о том, какое тело нагревается, какое охлаждается. Например, он будет очень удобен в нашей задаче. У нас в теплообмене участвуют три тела

$$cm_1\left(t^* - t_1\right) + cm_2\left(t^* - t_2\right) + cm_3\left(t^* - t_3\right) = 0$$

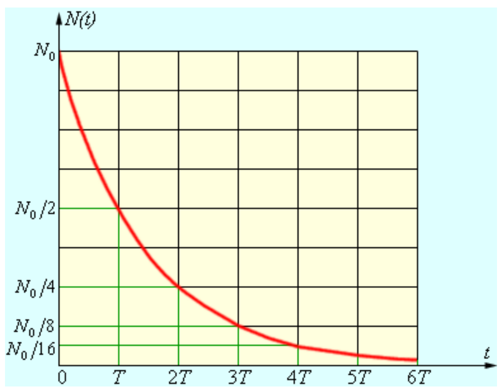
Осталось только подставить числа. **В задачах такого типа температуру мы можем подставлять в градусах Цельсия!!!**
Ответ: 8.

B7. Так как при изобарном расширении объем газа увеличился в 5 раз, то и температура газа при этом процессе увеличилась в пять раз (внимательно повторяем тему изопроцессы). При изохорном охлаждении газ отдавал энергию, так как уменьшалась его температура и, как следствие, его внутренняя энергия. Эта энергия будет равна энергии, полученной газом при нагревании

$$Q = \Delta U = \frac{3}{2}\nu R\Delta T = \frac{3}{2}\nu R\left(T_2 - T_1\right) = \frac{3}{2}\nu R\left(5T_1 - T_1\right) = 6\nu RT_1$$

Ответ: 15.

B8. Почти 90 % из известных 2500 атомных ядер нестабильны. Нестабильное ядро самопроизвольно превращается в другие ядра с испусканием частиц. Это свойство ядер называется **радиоактивностью**.



ЗАКОН РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА. В любом образце радиоактивного вещества содержится огромное число радиоактивных атомов. Так как радиоактивный распад имеет случайный характер и не зависит от внешних условий, то закон убывания количества $N(t)$ **НЕРАСПАВШИХСЯ** к данному моменту времени t ядер может служить важной статистической характеристикой процесса радиоактивного распада. Закон радиоактивного распада имеет вид: $N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}$, где N – число **НЕРАСПАВШИХСЯ** ядер через промежуток времени t, N_0 – начальное число ядер. Величина T называется **периодом полураспада**.

Через время равное периоду полураспада распадается половина исходного количества радиоактивного вещества. Например, было 50 грамм радиоактивного вещества. Через период полураспада останется 25

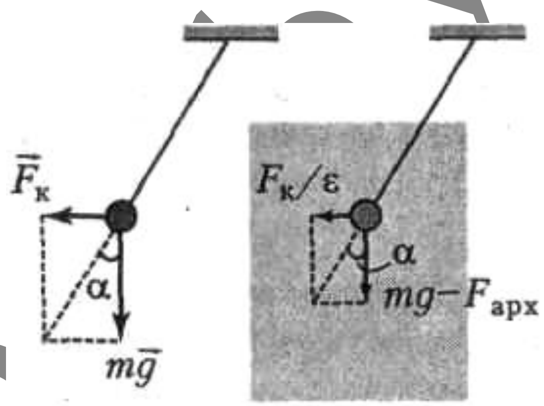
грамм. Еще через период полураспада останется 12,5 грамм и так далее. То есть происходит постоянное деление пополам оставшегося количества нераспавшегося вещества.
Рисунок графически иллюстрирует закон радиоактивного распада.
Период полураспада – основная величина, характеризующая скорость радиоактивного распада. Чем меньше период полураспада, тем интенсивнее протекает распад. Так, для урана $T \approx 4{,}5$ млрд лет, а для радия $T \approx 1600$ лет. Поэтому активность радия значительно выше, чем урана. Существуют радиоактивные элементы с периодом полураспада в доли секунды.

Запишем закон радиоактивного распада для нашей задачи. По условию задачи $\dfrac{N}{N_0} = \dfrac{1}{64}$. Значит

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T}} \Rightarrow \frac{N}{N_0} = 2^{-\frac{t}{T}} \Rightarrow \frac{1}{64} = 2^{-\frac{t}{T}} \Rightarrow 2^{-6} = 2^{-\frac{t}{T}} \Rightarrow 6 = \frac{t}{T} \Rightarrow t = 6T$$

Ответ: 48.

B9. На рисунке изображен один из шариков до и после погружения в жидкость. До погружения на шарик действуют сила кулоновского отталкивания и сила тяжести, сумма которых должна быть направлена по нити (она уравновешивает силу натяжения нити, которая на рисунке не показана). После погружения в диэлектрическую жидкость кулоновская сила уменьшится в ε раз (расстояние между зарядами не изменилось). Одновременно уменьшится и общая вертикальная сила, так как на шарик начнет действовать выталкивающая сила Архимеда. Равнодействующая горизонтальной и вертикальной сил должна быть опять направлена по нити, то есть под тем же углом к вертикали. Из подобия треугольников сил получаем уравнение



$$\frac{F_k}{mg} = \frac{F_k/\varepsilon}{mg - F_{арх}}$$ (каждое из этих отношений равно tgα).

Учитывая, что $m = \rho_ш V$, $F_{Арх} = p_ж gV$, приходим к уравнению $\varepsilon(\rho_ш - \rho_ж) = \rho_ш$, откуда находим плотность материала шариков $\rho_ш = \dfrac{\varepsilon\rho_ж}{\varepsilon - 1} = 900$ кг/м^3.

Ответ: 840.

B10. Повторите теорию к задаче А12. Очень простая задача. Нам надо лишь записать Ома для полной цепи для двух случаев.

Для первого $I_1 = \dfrac{\varepsilon}{R_1 + r}$. Для второго $I_2 = \dfrac{\varepsilon}{R_{12} + r} = \dfrac{\varepsilon}{\dfrac{R_1R_2}{R_1 + R_2} + r}$.

Из первого уравнения найдем ЭДС. Дальше сами.
Ответ: 13.

B11. Для решения этой задачи надо лишь знать формулу, которая связывает скорость распространения волны с ее частотой и длиной (эта формула справедлива как для механических волн, так и для электромагнитных) $\upsilon = \lambda\nu$. Дальше сами.
Ответ: 150.

B12. Электрические заряды взаимодействуют друг с другом и с электрическим полем. Любое взаимодействие описывается потенциальной энергией. Потенциальная энергия взаимодействия **двух** точечных электрических зарядов рассчитывается по формуле $W = k\dfrac{q_1q_2}{r}$. **Обратите внимание на отсутствие модулей у зарядов!!!** Для разноименных зарядов энергия взаимодействия имеет отрицательное значение. Такая же формула справедлива и для энергии взаимодействия равномерно заряженных сфер и шаров. Как обычно, в этом случае расстояние r измеряется между центрами шаров или сфер.

Если же зарядов не два, а больше, то энергию их взаимодействия следует считать так: надо разбить систему зарядов на все возможные пары, рассчитать энергию взаимодействия **каждой пары** и просуммировать все энергии для всех пар.
Большинство задач по данной теме решаются так же, как и задачи на закон сохранения механической энергии: сначала находится **начальная** энергия взаимодействия системы, потом **конечная**. Если в задаче просят найти работу по перемещению зарядов, то она будет равна **разнице** между начальной и конечной суммарной энергией взаимодействия зарядов. Энергия взаимодействия так же может переходить в кинетическую энергию.
Если тела в начальный момент времени находятся на очень большом расстоянии, то энергия их взаимодействия будет равна 0.

ПРИМЕР. *Две частицы массой 2 мг с зарядом q=10 нКл каждая находятся на расстоянии a=5 см друг от друга, а посередине между ними закреплен точечный заряд Q=60 нКл. Частицы одновременно отпускают. Чему будет равна скорость частиц после их разлета на большое расстояние?* $k = 9 \cdot 10^9$ *м/Ф.*
Суммарная начальная энергия взаимодействия системы зарядов равна

$$W_0 = k\frac{Qq}{a/2} + k\frac{qq}{a} + k\frac{Qq}{a/2}.$$

После разлета зарядов на большое расстояния их энергия взаимодействия станет равна нулю. Куда она делась? Она перешла в их энергию движения. Следовательно, $W_0 = 2E_K$. .Откуда получаем уравнение

$$k\frac{Qq}{a/2} + k\frac{qq}{a} + k\frac{Qq}{a/2} = 2\frac{m\upsilon^2}{2}$$

решая которое находим скорость частиц.
При решении нашей задачи важно понять, что считать энергию взаимодействия закрепленных частиц нам не надо, так как она постоянна и не изменяется. Мы будем думать только о маленьком теле и записывать только то, что касается его состояния. В начальный момент времени, когда тело начинает движение, оно взаимодействует со всеми 4 зарядами. Следовательно, начальная энергия системы будет равна энергии взаимодействия тела и зарядов плюс кинетическая энергия тела

$$W_0 = 4k\frac{Qq}{d/2} + \frac{m\upsilon_0^2}{2}$$

где d – диагональ квадрата. После того, как тело отпустили и оно удалилось на бесконечно большое расстояние, оно будет обладать кинетической энергией и взаимодействовать с зарядами уже не будет

$$W = \frac{m\upsilon^2}{2}$$

Приравниваем начальную и конечную энергию и находим конечную скорость тела.
Ответ: 34.