

Вариант 1

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18
3	2	2	1	4	4	3	4	2	1	2	1	1	1	5	3	3	4
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12						
2	24	32	60	125	4	80	88	75	30	40	200						

Вариант 2

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18
1	3	4	3	5	2	3	2	4	1	4	1	3	4	3	2	3	5
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12						
4	80	60	40	168	5	16	22	200	5	300	162						

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

A1. На участке I скорость тела увеличивалась. Следовательно, движение тела было ускоренным. На участке II скорость тела постоянна, то есть движение тела равномерное. Все. Выбираем ответ.

Ответ: 3.

A2. Из данных задачи видно, что скорость тела постоянная и равна 50 км/ч. Поэтому найти путь не составит труда. Главное не забыть перевести минуты в часы. Получим

$$S = v \cdot t = 50 \frac{\text{км}}{\text{ч}} \cdot \frac{18}{60} \text{ ч} = 15 \text{ км}$$

Обратите внимание, что коэффициент A, который нам дан по условию задачи, и который является начальной координатой тела, нам при решении задачи не нужен.

Небольшая рекомендация к этой задаче. Я настоятельно рекомендую скачать у меня с сайта Главу 1 «Кинематика» и внимательно изучить темы 1.12 и 1.13.

Ответ: 2.

A3. Ничего не напоминает? Те, кто не поленился и скачал у меня с сайта главу 1 «Кинематика», должны вспомнить эту задачу. В моей теории это задача №5 в теме 1.05 «Относительность движения». Решается она очень просто. Так как пройденные автомобилем и автобусом пути одинаковы, то

$$S_1 = S_2 \Rightarrow v_1 t_1 = v_2 t_2 \Rightarrow v_2 = v_1 \frac{t_1}{t_2} = 90 \frac{\text{км}}{\text{ч}} \cdot \frac{10 \text{ с}}{25 \text{ с}} = 36 \text{ км/ч.}$$

Обращаю ваше внимание на то, что мы не переводили скорость в метры в секунду. Почему? Посмотрите внимательно на расчеты и попробуйте догадаться самостоятельно.

А теперь ответим на вопрос задачи. В этом нам поможет принцип **ВЗАИМОПОМОЩИ**, который заключается в следующем: **если два движения помогают друг другу (человек поднимается по движущемуся вверх эскалатору, или два поезда, которые едут навстречу друг другу, помогая друг другу сближаться, или катер, который плывет вниз по течению реки), то мы складываем скорости движения тел. И наоборот, если движения мешают друг другу, то ставим знак «минус».** Например, когда одна машина догоняет (или обгоняет) другую. Очевидно, что обгоняемый не очень хочет, чтобы его догнали, и всячески этому препятствует. Поэтому для определения относительной скорости надо просто вычесть скорости машин друг из друга.

В нашем случае тела двигаются в одном направлении. Следовательно, надо найти разность скоростей.

Ответ: 2.

A4. Важно понять, что пройденный за четвертую секунду самолетом путь можно найти как разницу пути пройденного самолетом за четыре секунды и пути, пройденного самолетом за три секунды

$$S_{4-3} = S_4 - S_3 = v_0 t_4 + \frac{at_4^2}{2} - \left(v_0 t_3 + \frac{at_3^2}{2} \right) = v_0 (t_4 - t_3) + \frac{a}{2} (t_4^2 - t_3^2)$$

Не будем выражать в общем виде, а сразу подставим имеющиеся данные. Получим

$$185 = 150 \cdot (4 - 3) + \frac{a}{2} (4^2 - 3^2) \Rightarrow 35 = \frac{a}{2} \cdot 7 \Rightarrow a = 10 \text{ (м/с}^2\text{)}.$$

Зная начальную скорость, ускорение и время движения самолета мы легко найдем скорость в конце четвертой секунды

$$v = v_0 + at = 150 + 10 \cdot 4 = 190 \text{ м/с.}$$

Ответ: 1.

А5. При решении задач на движение тела в горизонтальной плоскости с трением помните о следующих закономерностях:

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

В нашем случае сила тяги это сила упругости, которая по закону Гука равна $F_{\text{упругости}} = kx$, где k - жесткость пружины, x - удлинение пружины (в законе Гука я специально не пишу знак «минус», так как без него проще). Так как по условию задачи тело движется равномерно, то

$$F_{\text{тяги}} = F_{\text{трения}} \Rightarrow kx = \mu mg \Rightarrow x = \frac{\mu mg}{k}.$$

Ответ: 4.

А6. Сообщающимися называют сосуды, имеющие между собой канал, заполненный жидкостью.

Пусть в сообщающиеся сосуды налита однородная жидкость. Условие равновесия жидкости заключается в равенстве давлений в сосудах.

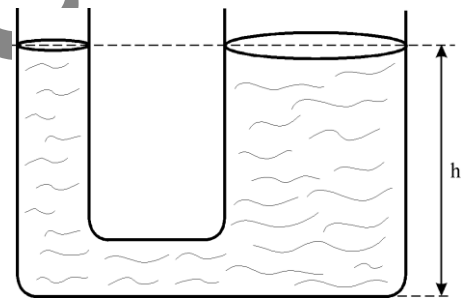
$$p_1 = p_2 \Rightarrow \rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2$$

Так как $\rho_1 = \rho_2$ - это одна и та же жидкость, то

$$h_1 = h_2 = h.$$

То есть **высота столба жидкости в сосудах будет одинакова вне зависимости от площади поперечного сечения сосудов, так как давление столба жидкости зависит от высоты столба и не зависит от формы сосуда.**

Перед решением предложенной задачи хочу предложить вам более сложный пример.



ПРИМЕР. В сообщающиеся сосуды с ртутью долили: в один сосуд столб масла высотой 30 см, в другой сосуд столб воды высотой 20,2 см. Определите разность уровней (в мм) ртути в сосудах. Плотность ртути 13600 кг/м^3 , масла 900 кг/м^3 .

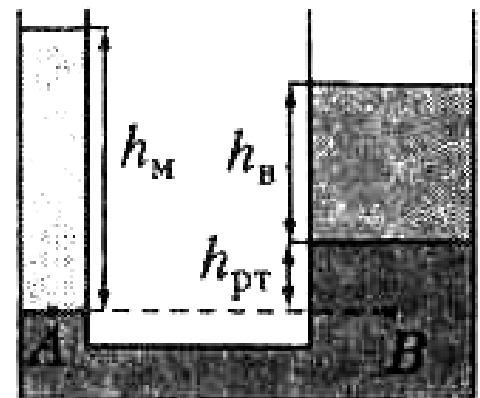
Предположим, что граница с маслом находится ниже, чем граница с водой (если это не так, то ответ будет правильный по величине, но отрицательный). Выберем границу ртути с маслом, как уровень, относительно которого мы будем рассчитывать давление в сосудах (см. рисунок).

Приравнявая давления ртути в точках, расположенных на одном уровне (в точках A и B), получаем

$$\rho_{\text{м}} g h_{\text{м}} = \rho_{\text{в}} g h_{\text{в}} + \rho_{\text{рт}} g h_{\text{рт}}$$

Отсюда находим разность уровней ртути в сосудах.

Ответ: 5 мм.



А теперь вернемся к нашей задаче. Так как уровень ртути после установления равновесия в обоих сосудах одинаков, то давление столба воды будет равно давлению столба керосина

$$\rho_{\text{к}} g h_{\text{к}} = \rho_{\text{в}} g h_{\text{в}}$$

Ну а дальше как-нибудь сами.

Ответ: 4.

А7. Молекулярно–кинетической теорией (МКТ) называют учение о строении и свойствах вещества на основе представления о существовании атомов и молекул как наименьших частиц вещества, сохранивших его химические свойства. В основе молекулярно–кинетической теории лежат три основных положения:

- 1. Все вещества – жидкие, твердые и газообразные – состоят из мельчайших частиц – молекул, которые сами состоят из атомов** («элементарных молекул»). Молекулы вещества могут быть простыми и сложными и состоять из одного или нескольких атомов. Молекулы и атомы представляют собой электрически нейтральные частицы. При определенных условиях молекулы и атомы могут приобретать дополнительный электрический заряд и превращаться в положительные или отрицательные ионы (соответственно, анионы и катионы).
- 2. Атомы и молекулы находятся в непрерывном хаотическом движении**, которое называется тепловым движением.
- 3. Частицы взаимодействуют друг с другом силами притяжения и отталкивания**, имеющими электрическую природу. Гравитационное взаимодействие между частицами пренебрежимо мало.

АТОМ – наименьшая химически неделимая частица **ЭЛЕМЕНТА** (атом золота, гелия, кислорода).

МОЛЕКУЛА – наименьшая частица **ВЕЩЕСТВА**, сохраняющая его химические свойства. Молекула состоит из одного или более атомов (например, вода – H_2O – 1 атом кислорода и 2 атома водорода).

ИОН – атом или молекула, у которых один или несколько электронов лишние или электронов не хватает.

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}C .

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**:

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

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

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

Количество вещества ν (обозначается греческой буквой «ню», не путайте со скоростью v) равно отношению числа N частиц (атомов или молекул) вещества к постоянной Авогадро N_A

$$\nu = \frac{N}{N_A}.$$

Массу одного моля вещества принято называть **молярной массой M** . Молярная масса это масса одного моля вещества. Молярную массу можно найти умножив массу одной молекулы m_0 данного вещества на постоянную Авогадро (то есть на количество частиц в одном моле)

$$M = N_A \cdot m_0$$

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 – $2 \cdot 14$ г/моль = 28 г/моль. А вот молярную массу сложных веществ Вам придется считать самостоятельно. Например, молярная масса воды H_2O – $(2 \cdot 1 + 16)$ г/моль = 18 г/моль.

ПОМНИТЕ, ЧТО В СИСТЕМЕ СИ МОЛЯРНАЯ МАССА ОБЯЗАТЕЛЬНО ИМЕЕТ РАЗМЕРНОСТЬ КГ/МОЛЬ!!!

При решении задач удобно пользоваться формулами:

$$\nu = \frac{m}{M} = \frac{N}{N_A} \text{ и } m_0 = \frac{m}{N} = \frac{M}{N_A},$$

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!!!**

А теперь вернемся к нашей задаче. Нам известна молярная масса и количество частиц. Следовательно,

$$\nu = \frac{m}{M} = \frac{N}{N_A} \Rightarrow \frac{m}{M} = \frac{N}{N_A} \Rightarrow m = M \frac{N}{N_A}$$

Ответ: 3.

А8. Газ может участвовать в различных тепловых процессах, при которых могут изменяться все параметры, описывающие его состояние (p , V и T).

В общем случае, если масса газа m и его состав (молярная масса) M не меняются

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \text{ – объединенный газовый закон.}$$

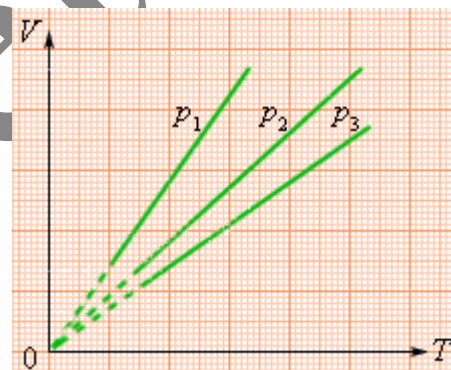
Интерес представляют процессы, в которых один из параметров (p , V или T) остается неизменным. Такие процессы называются **изопроцессами**.

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

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

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

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



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

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

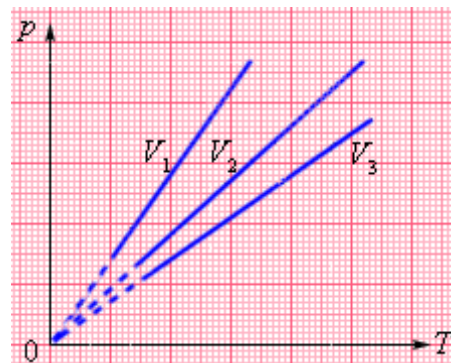
Изохорный процесс – это процесс нагревания или охлаждения газа при постоянном объеме V и при условии, что количество вещества ν в сосуде остается неизменным.

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

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

где p_1 и T_1 – начальные давление и температура газа, p_2 и T_2 – конечные давление и температура газа.

На плоскости (p , T) изохорные процессы для заданного количества вещества ν при различных значениях объема V изображаются семейством прямых линий, которые называются **изохорами**. Большим значениям объема соответствуют изохоры с меньшим наклоном по отношению к оси температур (см. график, $V_3 > V_2 > V_1$).



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

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

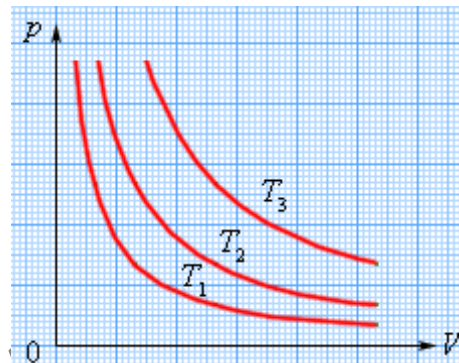
Изотермический процесс ($T = \text{const}$)

Изотермическим процессом называют процесс, протекающий при постоянной температуре T . Из уравнения состояния идеального газа следует, что при постоянной температуре T и неизменном количестве вещества ν в сосуде произведение давления p газа на его объем V должно оставаться постоянным:

$$pV = \text{const} \text{ или } p_1V_1 = p_2V_2,$$

где p_1 и V_1 – начальные давление и объем газа, p_2 и V_2 – конечные давление и объем газа.

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



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

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

А теперь внимательно читаем условие задачи. Изохорное увеличение давление, это процесс, при котором объем газа не меняется, а давление растет. Температура при этом тоже будет расти. Дальше сами.

Ответ: 4.

А9. Пусть газ находится в сосуде, закрытом подвижным поршнем. Давление газа равно внешнему давлению p , так как поршень подвижен. Это давление будет постоянно. Пусть газ расширяется. Например, его нагрели. По определению, работа силы равна

$$A = F\Delta l.$$

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

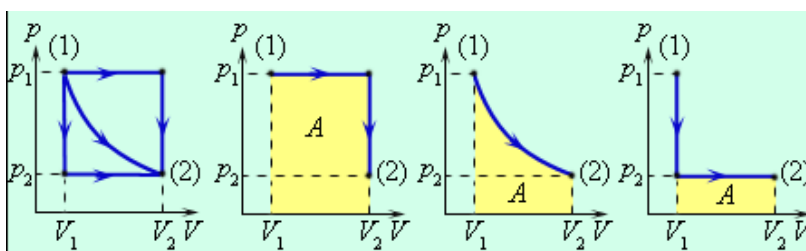
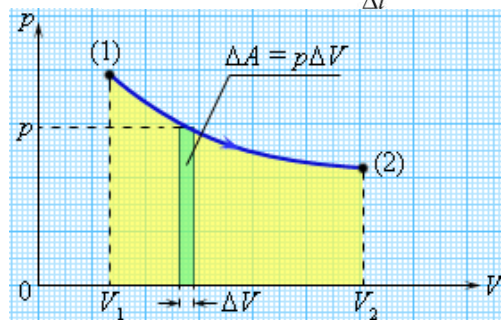
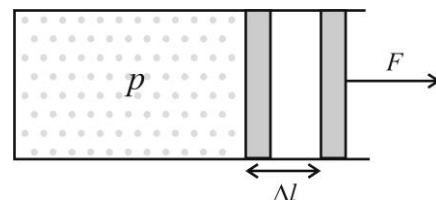
$$A = F\Delta l = p \cdot S\Delta l = p \cdot \Delta V.$$

По этой формуле можно считать работу газа, если давление **постоянно**. Любой газ совершает работу только при **РАСШИРЕНИИ (увеличении объема)**. Используя уравнение Менделеева – Клайперона:

$$p\Delta V = \frac{m}{M} R\Delta T \Rightarrow$$

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

Если же давление газа меняется, то работу газа считают как **ПЛОЩАДЬ ФИГУРЫ ПОД ГРАФИКОМ p – V** (см. рисунок). Величина работы зависит от того, каким путем совершался переход из начального состояния в конечное. На следующем рисунке изображены три различных процесса, переводящих газ из



состояния (1) в состояние (2). Во всех трех случаях газ совершает различную работу. Процессы, изображенные на рисунке, можно провести и в обратном направлении. Тогда работа A просто изменит знак на противоположный. Процессы такого рода, которые можно проводить в обоих направлениях, называются **обратимыми**.

Значит, чтобы дать ответ на вопрос задачи надо перерисовать предложенный в задаче график из координат V - T (график в V - T координатах будет выглядеть так же, как и предложенный в задаче график) в координатах p - V . Как это сделать? Сразу скажу, что я не буду за вас перерисовывать график. Я покажу вам метод, при помощи которого вы это сделаете сами.

ПРИМЕР. Провести анализ отдельных газовых процессов (участки 1–2, 2–3, и т. д.). Изобразить процессы в координатах $p(T)$ и $V(T)$.

Проанализируем каждый из участков данного процесса. Для этого нам понадобится объединенный газовый закон

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

1–2: $p \uparrow$, $V = \text{const}$ – изохорный, $T \uparrow$.

Примеры рассуждений:

Вариант 1.

Давление газа растет в закрытом сосуде (объем не меняется). Это может происходить только за счет нагревания газа, то есть $T \uparrow$.

Вариант 2.

Так как $\frac{pV}{T} = \text{const}$, и числитель растет, то, чтобы величина дроби не меня-

лась, знаменатель тоже должен увеличиваться, то есть $T \uparrow$.

2–3: $p = \text{const}$ – изобарный, $V \uparrow$, $T \uparrow$.

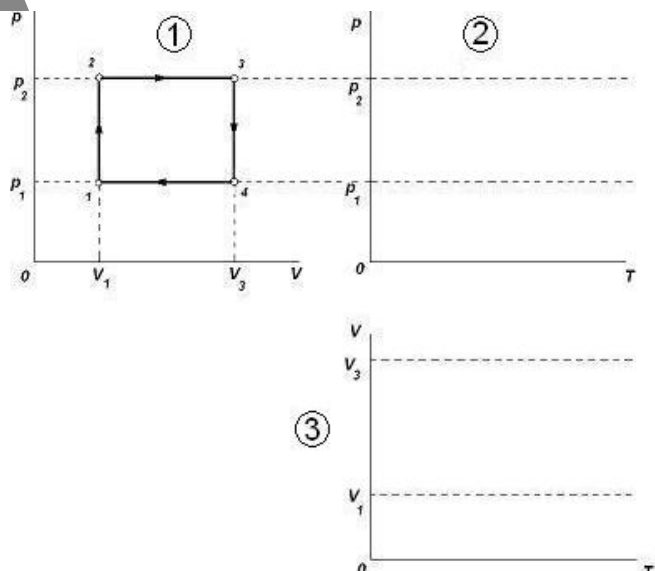
3–4: $p \downarrow$, $V = \text{const}$ – изохорный, $T \downarrow$.

4–1: $p = \text{const}$ – изобарный, $V \downarrow$, $T \downarrow$.

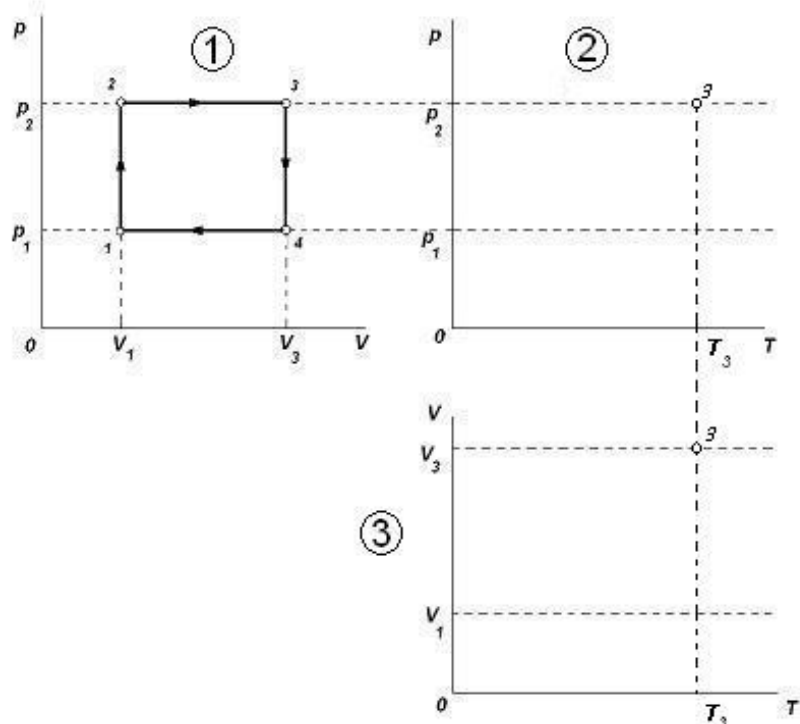
Выполнение построения начинается с произвольного изображения точки 1, соответствующей первому состоянию газа. Далее последовательно строятся отдельные участки диаграммы, руководствуясь проведенным анализом. Здесь главное, чтобы Вы не ошиблись, и соотношение температур $T_1 < T_2 < T_4 < T_3$, видимое из первой построенной Вами диаграммы $p(T)$ сохранялось и на следующей диаграмме $V(T)$ (аналогично с объемом газа в других заданиях). А соблюдение масштаба не так важно (важно качественное описание).

МОЖЕТЕ ТАК ЖЕ ВЗЯТЬ НА ВООРУЖЕНИЕ СЛЕДУЮЩИЙ АЛГОРИТМ.

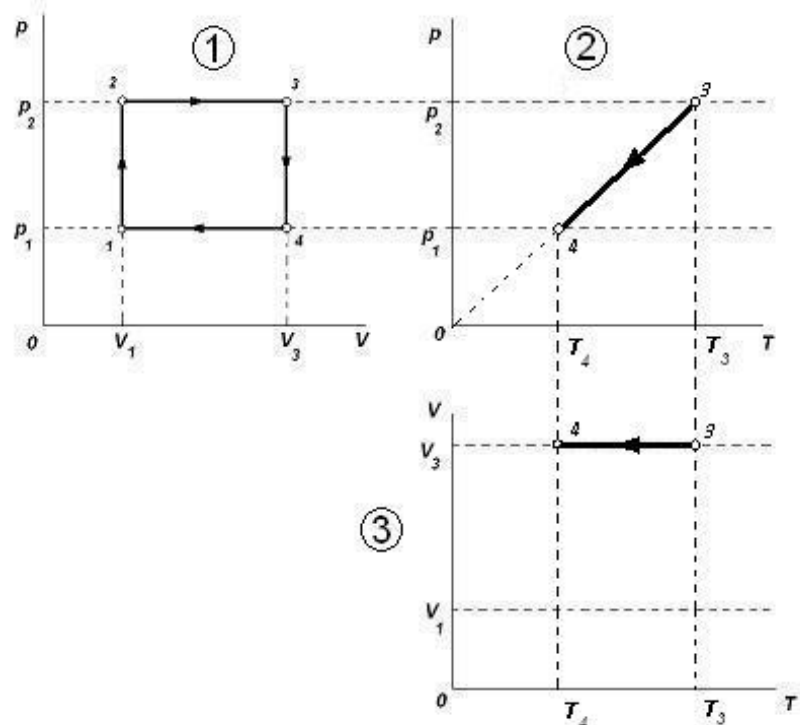
Во-первых, располагаем удобно системы координат p , T и V , T и переносим на них данные по p и V из исходного графика.



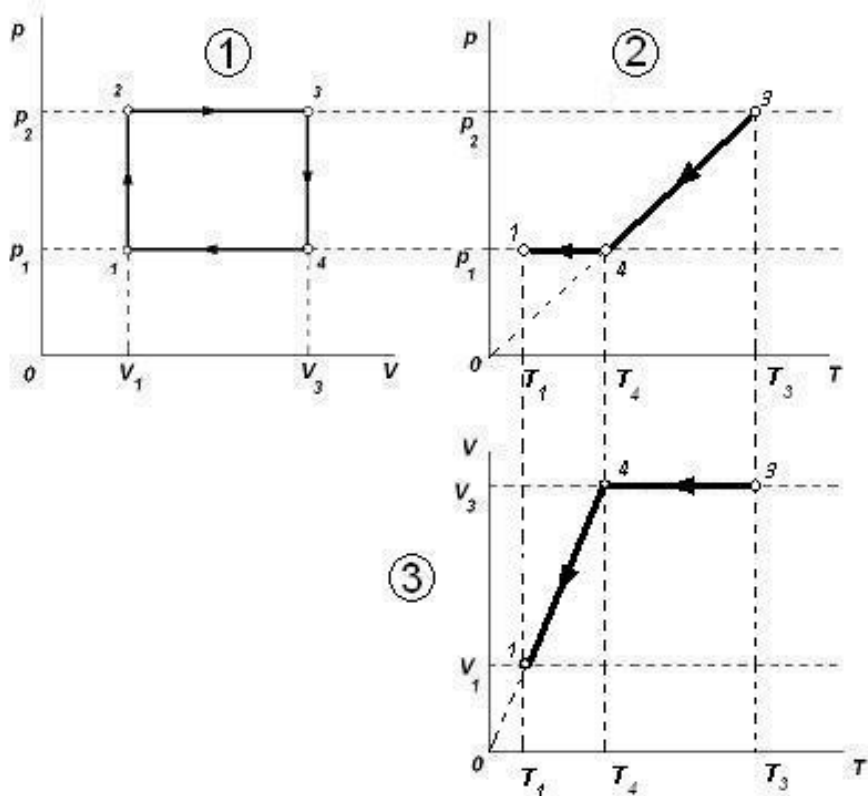
Нам не известно ни одного значения третьего параметра газа – температуры. Отметим его можно только относительно. Из первого графика видим, что максимальному значению температуры, соответствует точка 3 (через нее проходит самая верхняя изотерма – гипербола на первой диаграмме). Произвольно отмечаем максимальное значение температуры T_3 , которое задаст нам масштаб по оси T . Пересечение вертикальной прямой T_3 с горизонтальными прямыми p_2 и V_3 даст точки, соответствующие состоянию газа 3 в координатах p, T и V, T .



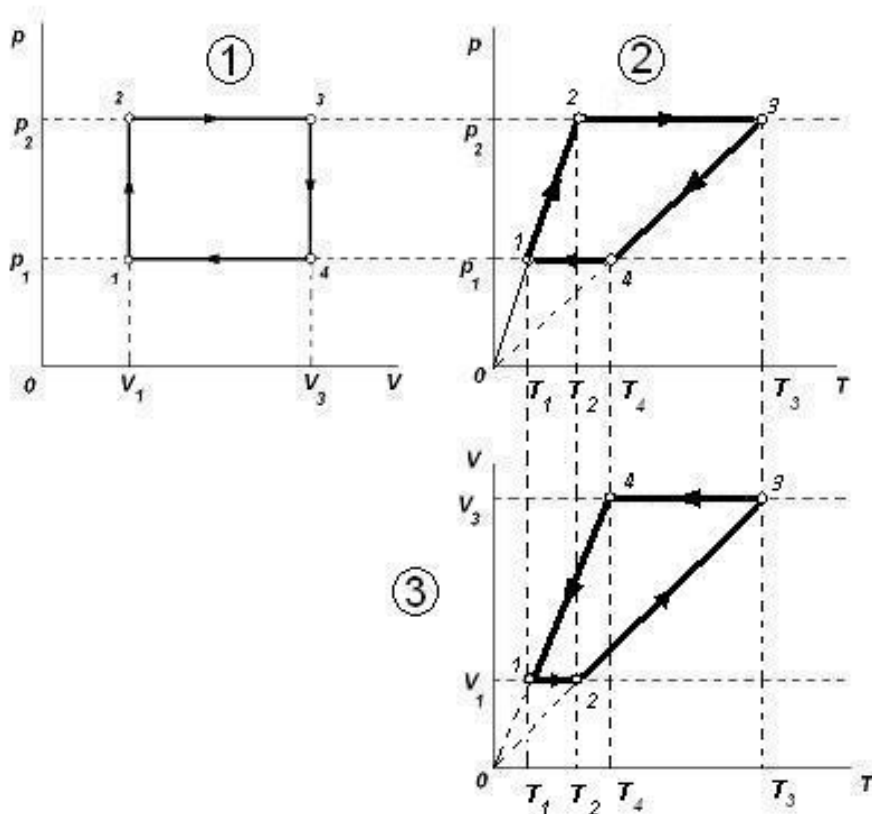
Чтобы найти точку 4, обратимся к проведенному анализу участка 3–4. Изохорному процессу 3–4 в координатах p, T соответствует прямая, проходящая через начало координат. Проводим соответствующую прямую линию, получим точку 4 и новое значение температуры T_4 . Пересечение линии T_4 и V_3 на третьем графике даст точку 4.



Далее из анализа 4–1 (прямая, проходящая через начало координат в осях V, T) находится точка 1 и соответствующая ей температура T_1 .



Далее анализируем процесс 4–1 и окончательно получаем:



Ответ: 2.

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

Ответ: 1.

A11. Свойство потенциальности (независимости работы от формы траектории) электростатического поля позволяет ввести понятие **потенциальной энергии** заряда в электрическом поле. Для этого в пространстве выбирается некоторая точка (0), и потенциальная энергия заряда q , помещенного в эту точку, принимается равной нулю (см. рисунок).

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

$$W_{p1} = A_{10}.$$

В ЭЛЕКТРОСТАТИКЕ ЭНЕРГИЮ ПРИНЯТО ОБОЗНАЧАТЬ БУКВОЙ W , ТАК КАК БУКВОЙ E ОБОЗНАЧАЮТ НАПРЯЖЕННОСТЬ ПОЛЯ.

Так же, как и в механике (вспоминайте про выбор нулевого уровня при отсчете потенциальной энергии тела), потенциальная энергия зависит от выбора опорной точки (0). Такая неоднозначность в определении потенциальной энергии не приводит к каким-либо недоразумениям, так как физический смысл имеет не сама потенциальная энергия, а **РАЗНОСТЬ ЕЕ ЗНАЧЕНИЙ В ДВУХ ТОЧКАХ ПРОСТРАНСТВА.**

Работа, совершаемая электрическим полем при перемещении точечного заряда q из точки (1) в точку (2) (см. рисунок), равна разности значений потенциальной энергии в этих точках и не зависит от пути перемещения заряда и от выбора точки (0).

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

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

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

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

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

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

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

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

Потенциал поля в данной точке пространства равен работе, которую совершают электрические силы при удалении единичного положительного заряда из данной точки в бесконечность

$$\varphi_{\infty} = \frac{A_{\infty}}{q}.$$

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

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

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

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

Для наглядного представления электрического поля наряду с силовыми линиями используют **линии уровня**. Теперь возвращаемся к нашей задаче. Потенциал в точке А будет равен



$$\varphi_A = k \frac{q}{r_A}$$

Потенциал в точке В

$$\varphi_B = k \frac{q}{r_B}$$

Значит разность потенциалов будет равна

$$\varphi_A - \varphi_B = k \frac{q}{r_A} - k \frac{q}{r_B} \Rightarrow \varphi_A - \varphi_B = kq \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right) \Rightarrow q = \frac{\varphi_A - \varphi_B}{k \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right)}$$

Ответ: 2.

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

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

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

Проводники в электрических цепях можно соединять двумя способами: **последовательно и параллельно**. В задаче проводники соединены параллельно. Однако так как у каждого способа есть свои закономерности и их важно знать, я расскажу об обоих типах соединения проводников.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ

При последовательном соединении (когда конец одного проводника соединен с началом другого) проводников сила тока во всех проводниках одинакова:

$$I_1 = I_2 = I.$$

По закону Ома, напряжения U_1 и U_2 на проводниках равны:

$$U_1 = IR_1, \quad U_2 = IR_2.$$

Общее напряжение U на обоих проводниках равно сумме напряжений U_1 и U_2 :

$$U = U_1 + U_2 = I(R_1 + R_2) = IR,$$

где R – электрическое сопротивление всей цепи. Отсюда следует:

$$R = R_1 + R_2.$$

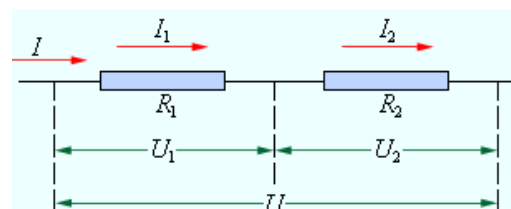
ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ ПОЛНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ЦЕПИ РАВНО СУММЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ ОТДЕЛЬНЫХ ПРОВОДНИКОВ.

Этот результат справедлив для любого числа последовательно соединенных проводников

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

Если же в цепь последовательно включено n **ОДИНАКОВЫХ** сопротивлений R , то общее сопротивление R_0 находится по формуле

$$R_0 = n \cdot R.$$



ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ

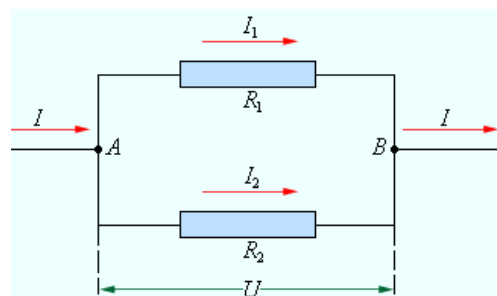
При параллельном соединении (когда у резисторов общее начало и общий конец) напряжения U_1 и U_2 на обоих проводниках одинаковы (каждый из потребителей напрямую подключен к источнику):

$$U_1 = U_2 = U.$$

Сумма токов I_1 и I_2 , протекающих по обоим проводникам, равна току в неразветвленной цепи:

$$I = I_1 + I_2.$$

Этот результат следует из того, что в точках разветвления токов (узлы А и В) в цепи постоянного тока не могут накапливаться за-



ряды. Например, к узлу А за время Δt подтекает заряд $I\Delta t$, а утекает от узла за то же время заряд $I_1\Delta t + I_2\Delta t$. Следовательно, $I = I_1 + I_2$.

Записывая на основании закона Ома

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

где R – электрическое сопротивление всей цепи, получим

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

или (после приведения к общему знаменателю)

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

При параллельном соединении проводников величина, обратная общему сопротивлению цепи, равна сумме величин, обратных сопротивлениям параллельно включенных проводников.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} \dots$$

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

$$R_0 = \frac{R}{n}.$$

ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ УДОБНО ПОЛЬЗОВАТЬСЯ СЛЕДУЮЩИМИ СООТНОШЕНИЯМИ:

для последовательного соединения

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

для параллельного соединения

$$U_1 = U_2 \Rightarrow I_1 R_1 = I_2 R_2.$$

При протекании тока по однородному участку цепи электрическое поле совершает работу. За время 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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Так как у нас два параллельно соединенных резистора, то согласно закономерностям параллельного соединения проводников напряжение на резисторах будет одинаковое. Поэтому выбираем формулу работы тока с напряжением и сопротивлением. Получим

$$Q_1 = \frac{U^2}{R_1} \Delta t \Rightarrow U^2 \Delta t = Q_1 R_1 \quad \text{и} \quad Q_2 = \frac{U^2}{R_2} \Delta t \Rightarrow U^2 \Delta t = Q_2 R_2$$

Дальше сами.

Ответ: 1.

A13. Для описания магнитного поля необходимо ввести **силовую** характеристику поля, аналогичную вектору **напряженности** $\vec{E}$ электрического поля. Такой характеристикой является вектор $\vec{B}$ магнитной индукции. В системе единиц СИ за единицу магнитной индукции принята 1 **тесла** (Тл).

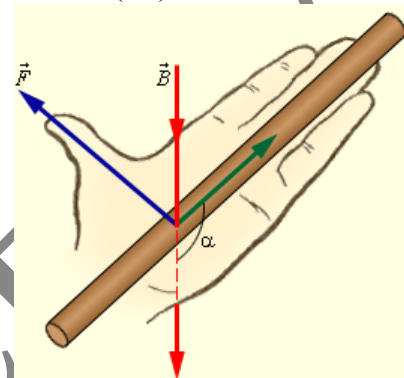
Если в магнитное поле с индукцией B поместить проводник длиной Δl с током I , то на него будет действовать сила

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

Это соотношение принято называть **законом Ампера**.

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

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



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

1. $\otimes$ – вектор или ток направлен от нас (как бы летящая от нас стрела).

2. $\odot$ – вектор или ток направлен к нам (стрела летит к нам).

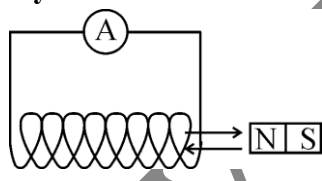
При этом на чертеже удобнее всего будет изображать торец проводника, по которому идет ток. Так же важно помнить, что магнитное поле направлено от северного полюса магнита к южному. Дальше сами.

Ответ: 1.

A14. 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.

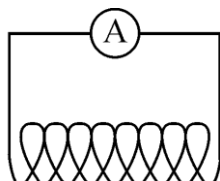
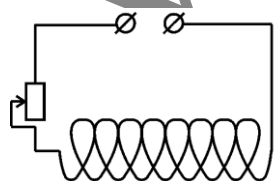
ОПЫТЫ ФАРАДЕЯ

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.

меняющимся 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, 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.

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:

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

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

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

Опыт показывает, что индукционный ток, возбуждаемый в замкнутом контуре при изменении магнитного потока, всегда направлен так, что создаваемое им магнитное поле препятствует изменению магнитного потока, вызывающего индукционный ток. Это утверждение называется **правилом Ленца** (его более подробно 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 $\varepsilon_{\text{инд}} < 0$.

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.

Изменение магнитного потока, пронизывающего замкнутый контур, может происходить по двум причинам.

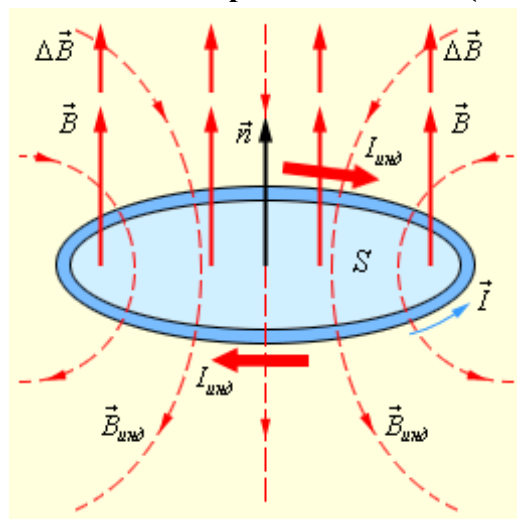
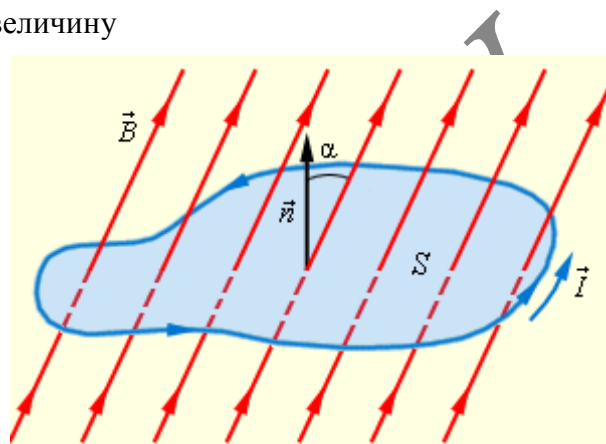
1. Магнитный поток изменяется вследствие перемещения контура или его частей в постоянном во времени магнитном поле. Это случай, когда проводники, а вместе с ними и свободные носители заряда, движутся в магнитном поле. Возникновение ЭДС индукции объясняется действием силы Лоренца на свободные заряды в движущихся проводниках. Сила Лоренца играет в этом случае роль сторонней силы.

2. Вторая причина изменения магнитного потока, пронизывающего контур, – изменение во времени магнитного поля при неподвижном контуре.

Согласно закону Ома:

$$I_i = \frac{\varepsilon_i}{R},$$

где ε_i – ЭДС электрического поля, порожденного переменным магнитным полем, I_i – величина индукционного тока, R – сопротивление контура.



$$\varepsilon_i = I_i R \Rightarrow I_i = -\frac{\Delta\Phi}{R\Delta t}.$$

Так как

$$q = I\Delta t,$$

то

$$q = -\frac{\Delta\Phi}{R},$$

где q – заряд, прошедший по контуру.

При решении задач важно сразу определить за счет чего меняется магнитный поток. Возможно три варианта.

1. Меняется магнитное поле. Тогда

$$\varepsilon_{\text{инд}} = \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right| = \left| \frac{\Delta B}{\Delta t} \right| S \cos \alpha.$$

2. Меняется площадь контура. Тогда

$$\varepsilon_{\text{инд}} = \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right| = \left| \frac{\Delta S}{\Delta t} \right| B \cos \alpha.$$

3. Меняется ориентация рамки относительно поля. Тогда

$$\varepsilon_{\text{инд}} = \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right| = \frac{|\Phi_2 - \Phi_1|}{\Delta t},$$

В нашем случае все просто. Главное не забыть про знак «минус»!!!

$$\varepsilon_{\text{инд}} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\left(\frac{\Phi_2 - \Phi_1}{\Phi} \right).$$

Ответ: 1.

A15. Если в каком-нибудь месте твердой, жидкой или газообразной среды возбуждены колебания частиц, то вследствие взаимодействия атомов и молекул среды колебания начинают передаваться от одной точки среды к другой с конечной скоростью. Процесс распространения колебаний в среде называется **волной**.

Механические волны бывают двух видов. Если при распространении волны частицы среды колеблются в направлении, **перпендикулярном** направлению распространения, такая волна называется **поперечной**. Примером волны такого рода могут служить волны, бегущие по натянутому резиновому жгуту (см. рисунок) или по струне.

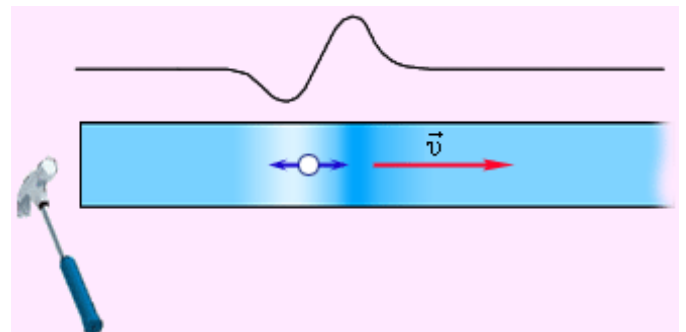
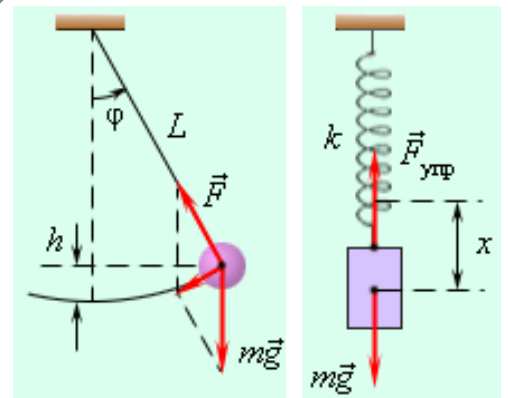
Если частицы среды колеблются вдоль направления распространения волны (**продольно**), такая волна называется **продольной**. Волны в упругом стержне, возникающие при ударе (см. рисунок) или звуковые волны в газе являются примерами таких волн.

Волны на поверхности жидкости имеют как поперечную, так и продольную компоненты.

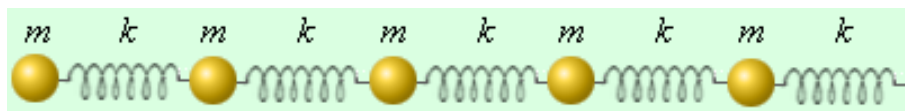
КАК В ПОПЕРЕЧНЫХ, ТАК И В ПРОДОЛЬНЫХ ВОЛНАХ НЕ ПРОИСХОДИТ ПЕРЕНОСА ВЕЩЕСТВА В НАПРАВЛЕНИИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛНЫ.

В процессе распространения волны частицы среды лишь совершают колебания около положений равновесия. Однако волны переносят энергию колебаний от одной точки среды к другой.

Характерной особенностью механических волн является то, что они распространяются в материальных средах (твердых, жидких или газообразных). Существуют волны, которые способны распространяться и в пустоте (например, световые волны). Для механических волн обязательно нужна среда, обладающая способностью запасать кинетическую и потенциальную энергию. Следовательно, среда должна обладать **инертными и упругими свойствами**. В реальных средах эти свойства распределены по всему



объему. Так, например, любой малый элемент твердого тела обладает массой и упругостью. В простейшей **одномерной модели** твердое тело можно представить как совокупность шариков и пружинок (см. рисунок).



В этой модели инертные и упругие свойства разделены. Шарик обладает массой m , а пружинки – жесткостью k .

С помощью такой простой модели можно описать распространение продольных и поперечных волн в твердом теле. В продольных волнах шарики испытывают смещения вдоль цепочки, а пружинки растягиваются или сжимаются. Такая деформация называется **деформацией растяжения или сжатия**. В жидкостях или газах деформация такого рода сопровождается уплотнением или разрежением.

Продольные механические волны могут распространяться в любых средах – твердых, жидких и газообразных.

Если в одномерной модели твердого тела один или несколько шариков сместить в направлении, **ПЕРПЕНДИКУЛЯРНОМ** цепочке, то возникнет деформация **сдвига**. Деформированные при таком смещении пружины будут стремиться возвратить смещенные частицы в положение равновесия. При этом на ближайшие несмещенные частицы будут действовать упругие силы, стремящиеся отклонить их от положения равновесия. В результате вдоль цепочки побежит **поперечная волна**.

В жидкостях и газах упругая деформация сдвига не возникает. Если один слой жидкости или газа сместить на некоторое расстояние относительно соседнего слоя, то никаких касательных сил на границе между слоями не появляется. Силы, действующие на границе жидкости и твердого тела, а также силы между соседними слоями жидкости всегда направлены по нормали к границе – это силы давления. То же относится к газообразной среде. Следовательно, **поперечные волны не могут распространяться в жидкой или газообразной средах.**

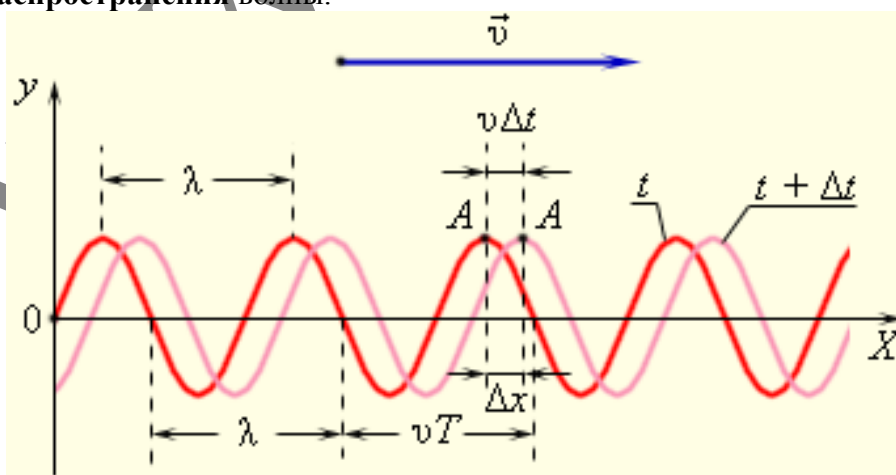
Значительный интерес для практики представляют простые **гармонические или синусоидальные волны**. Они характеризуются **амплитудой** A колебания частиц, **частотой** ν и **длиной волны** λ . Синусоидальные волны распространяются в однородных средах с некоторой постоянной скоростью v .

На рисунке (см. ниже) изображены «моментальные фотографии» поперечной волны в два момента времени: t и $t + \Delta t$. За время Δt волна переместилась вдоль оси OX на расстояние $v\Delta t$. Волны, распространяющиеся в пространстве, принято называть бегущими (в отличие от **стоячих** волн, см. далее).

Длиной волны λ называют наименьшее расстояние между двумя точками на оси OX , колеблющимися в одинаковых фазах (или говорят просто, что точки колеблются синхронно, то есть одинаково). Расстояние, равное длине волны λ , волна пробегает за период T , следовательно,

$$\lambda = vT,$$

где v – скорость распространения волны.



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

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

Так же надо понимать, что по определению волна проходит расстояние равное λ за время равное T , следовательно, расстояние равное $\lambda/2$ волна пройдет за время равное $T/2$ и т.д.

Кроме этого, можно использовать еще и то, что λ – расстояние между точками волн, разность фаз которых 2π . Следовательно, можно использовать пропорцию:

$$\frac{\lambda}{\Delta l} = \frac{2\pi}{\Delta \varphi}$$

При решении задач помните, что

$$\nu = \frac{\lambda}{T} = \lambda \nu, \quad \nu = \frac{N}{t}, \quad T = \frac{t}{N}$$

где N – количество **целых** волн, прошедших за время t .

Расстояние между гребнями волн равно длине волны. Поэтому

$$\nu = \lambda \nu \Rightarrow \nu = \frac{v}{\lambda}$$

Ответ: 5.

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

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

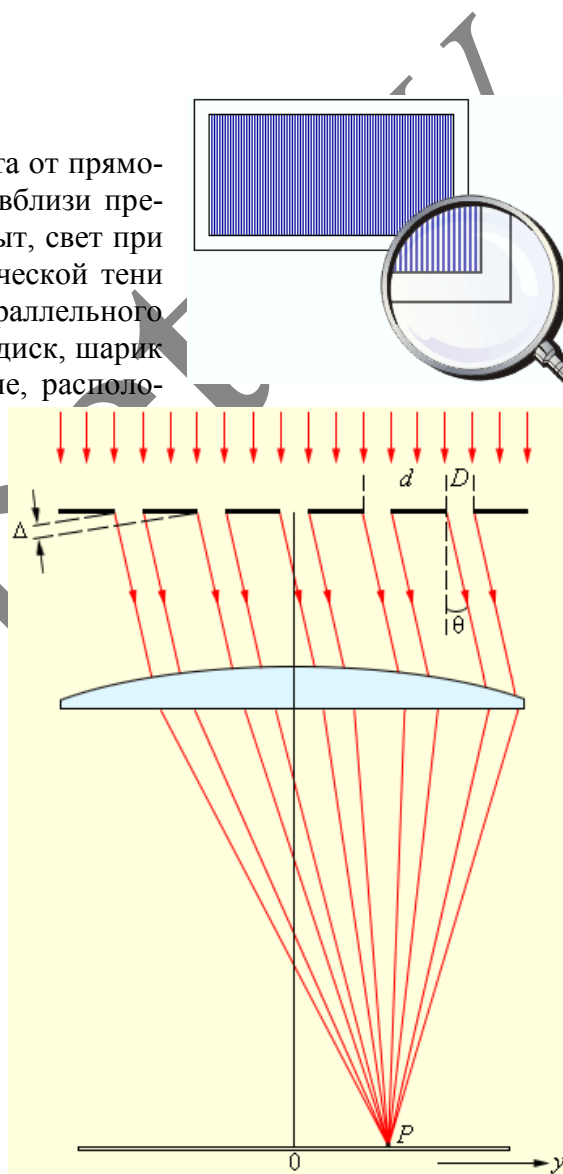
В каждой точке P на экране в фокальной плоскости линзы соберутся лучи, которые до линзы были параллельны между собой и распространялись под определенным углом θ к направлению падающей волны. Колебание в точке P является результатом интерференции вторичных волн, приходящих в эту точку от разных щелей.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

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

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

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

Если в задаче требуется найти **ПОЛНОЕ КОЛИЧЕСТВО МАКСИМУМОВ**, то сначала находим максимальный порядок (например, он равен 6). Затем вспоминаем, что максимумы будут и с другой сторо-



ны. Следовательно, умножаем количество максимумов на 2 (получаем 12). Это НЕПРАВИЛЬНЫЙ ОТВЕТ! Надо к 12 прибавить еще 1, так как будет еще и центральный максимум. Значит, полное число максимумов будет 13.

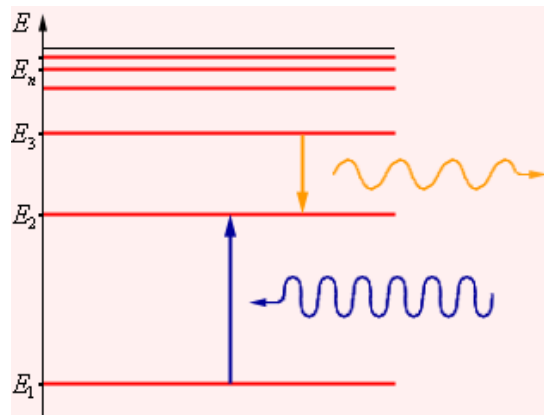
Решите задачу самостоятельно. Все необходимое есть в теории.

Ответ: 3.

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

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

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



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

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

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

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

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

На любом другом уровне энергия электрона будет равна

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

А дальше все просто.

$$\Delta E = E_2 - E_1 = \frac{E_1}{n_2^2} - E_1 = \frac{E_1}{9} - E_1 = -\frac{8}{9} E_1$$

Ответ: 3.

A18. Угол падения равен углу отражения. Это все, чем я могу вам помочь при решении данной задачи. Ручку в руки и вперед! Для решения задачи нужен только рисунок и терпение.

Ответ: 4.

B1. По второму закону Ньютона

$$F = ma \Rightarrow m = \frac{F}{a} \Rightarrow \frac{m_2}{m_1} = \frac{\frac{F_2}{a_2}}{\frac{F_1}{a_1}} = \frac{F_2}{a_2} \cdot \frac{a_1}{F_1} = \frac{a_1}{a_2}$$

Таким образом нам надо знать ускорение тел. Как его найти? По определению

$$a = \frac{v - v_0}{t}$$

У первого тела скорость изменилась с 2 м/с до 6 м/с за 3 секунды. За те же 3 секунды скорость второго тела упала с 2 м/с до нуля. Дальше сами.

Ответ: 2.

B2. Задачи на наклонную плоскость с одной стороны являются достаточно сложными. Однако если понять фишку таких задач, то решение не будет составлять особого труда. Задачи с наклонной плоскостью можно разделить на несколько типов:

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

Разберем первый случай.

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

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

$$\text{OX: } mgsin\alpha - F_{\text{тр}} = ma$$

(или равно 0, если тело движется равномерно)

$$\text{OY: } N - mg\cos\alpha = 0 \quad (0, \text{ так как движения вдоль оси OY нет})$$

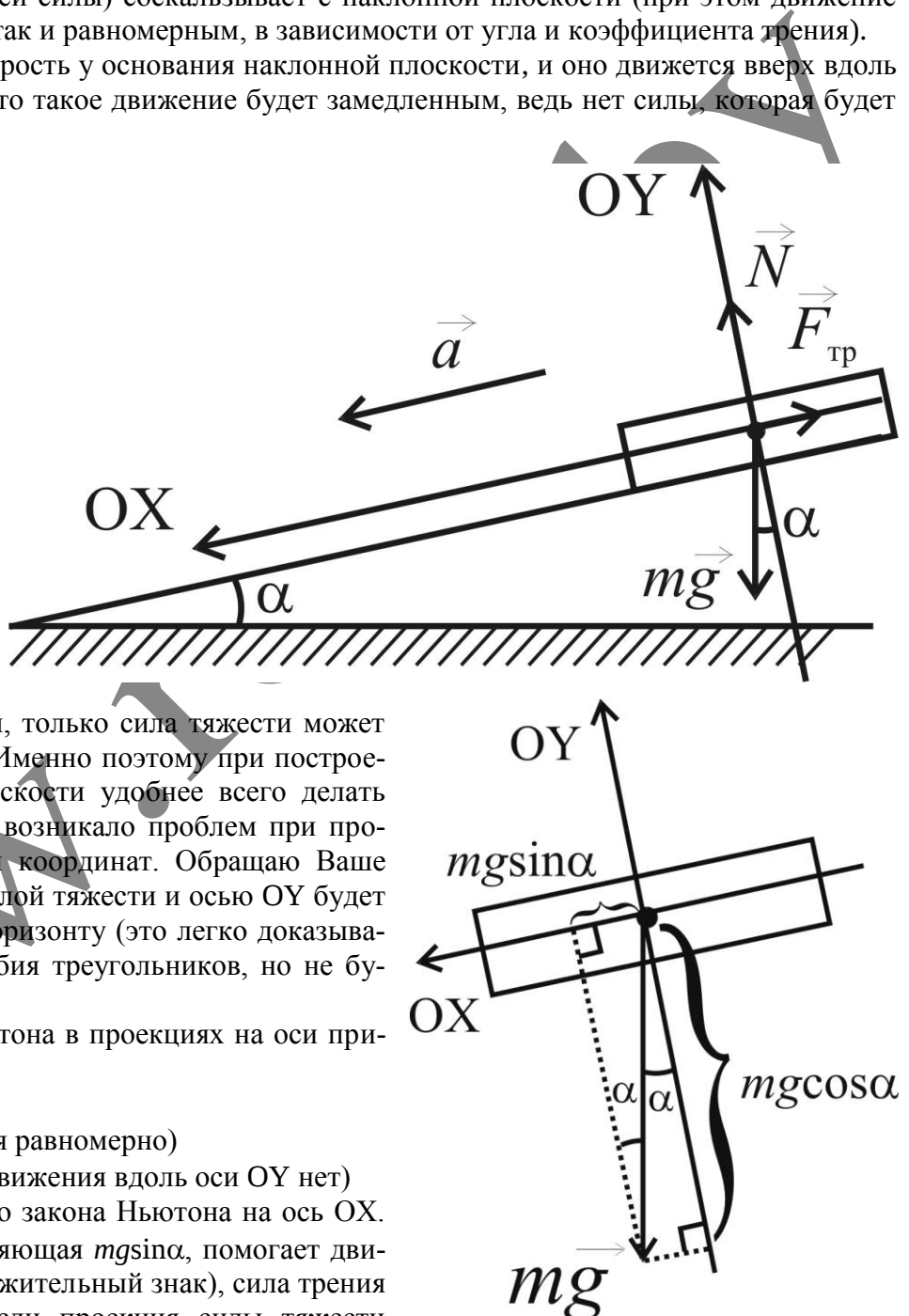
Проанализируем проекцию второго закона Ньютона на ось OX.

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

Разберемся теперь подробнее с силой тяжести и ее проекциями на оси. Сила тяжести направлена под углом α к оси OY. Опустим перпендикуляр из конца силы тяжести на оси OX и OY. Получим два одинаковых прямоугольных треугольника. Найдем проекцию силы тяжести на ось OX.

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

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



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

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

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

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

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

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

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

$$OY: N - mg \cos \alpha = 0$$

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

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

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

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

$$mgsin \alpha + F_{\text{тр}} = ma$$

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

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

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

Для решения задачи достаточно воспользоваться предложенной теорией.

Ответ: 24.

В3. Одну и ту же работу (например, поднять груз на некоторую высоту) можно совершить за разные промежутки времени. Поэтому вводится величина, характеризующая скорость выполнения работы.

Работа силы, совершаемая в единицу времени, называется **мощностью**. Мощность P (иногда обозначают буквой N) – физическая величина, равная отношению работы A к промежутку времени t , в течение которого совершена эта работа:

$$P = \frac{A}{t}.$$

То есть работу можно выразить и через мощность

$$A = Pt$$

(если конечно известна мощность и время совершения работы). Единица мощности называется **ватт (Вт)** или 1 Джоуль в 1 секунду. С учетом того, что

$$A = FS \cos \alpha,$$

мощность равна

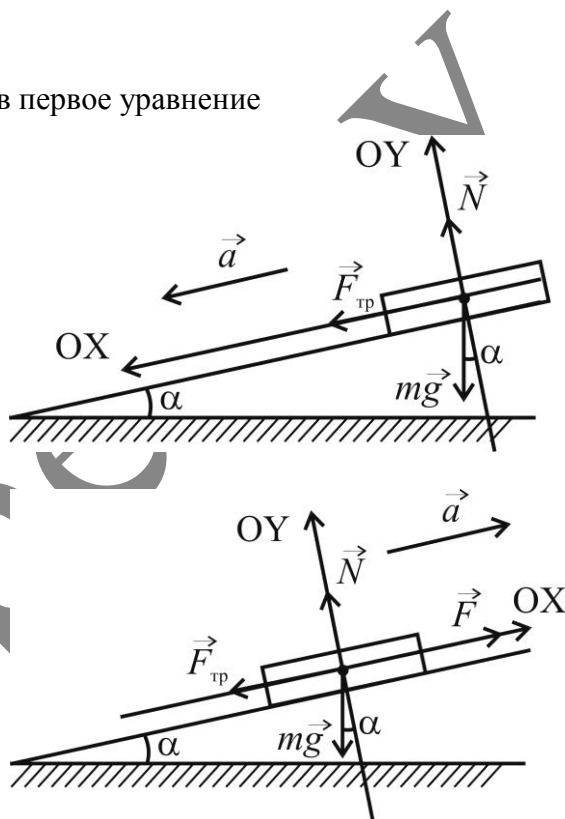
$$P = \frac{A}{t} = \frac{FS \cos \alpha}{t}.$$

Если движение равномерное, то

$$P = \frac{FS \cos \alpha}{t} = F \frac{S}{t} \cos \alpha = Fv \cos \alpha,$$

или

$$P = Fv \cos \alpha.$$



Коэффициент полезного действия (КПД) – характеристика эффективности системы (устройства, машины) в отношении преобразования или передачи энергии. Он определяется отношением полезно использованной энергии к суммарному количеству энергии, полученному системой.

$$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{затрач}}} \cdot 100\% \quad \text{или} \quad \eta = \frac{P_{\text{пол}}}{P_{\text{затрач}}} \cdot 100\%.$$

Как видно из формул КПД можно рассчитывать как через работу, так и через мощность. Какая работа (мощность) полезная, а какая затраченная определяется из условия конкретной задачи путем логического рассуждения. К примеру, если подъемный кран совершает работу по подъему груза на некоторую высоту, то полезной будет работа по поднятию груза (так как именно ради нее создан кран), а затраченной – работа, совершенная электродвигателем крана.

В общем случае КПД показывает, как эффективно механизм преобразует один вид энергии в другой.

В нашем случае полезная мощность будет равна

$$P_{\text{пол}} = F_{\text{тяги}} \cdot v = F_{\text{тяги}} \frac{S}{t}$$

Затраченная мощность – мощность двигателей. Подставляем полезную и затраченную мощности в формулу для КПД. Дальше сами.

Ответ: 32.

В4. Это задача на закон сохранения импульса и энергии. Если с законом сохранения энергии все более-менее понятно, то теорию по закону сохранения импульса никогда не будет лишним повторить.

Импульсом (количеством движения) тела называют физическую векторную величину, являющуюся количественной характеристикой поступательного движения тел. Импульс обозначается p . Импульс тела равен произведению массы тела на его скорость:

$$\vec{p} = m\vec{v}.$$

Направление вектора импульса $\vec{p}$ совпадает с направлением вектора скорости тела (направлен по касательной к траектории при криволинейном движении). Единица измерения импульса – кг·м/с.

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

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

Этот фундаментальный закон природы называется **законом сохранения импульса**. Следствием его являются **законы Ньютона**.

Второй закон Ньютона:

$$\vec{F} \Delta t = \Delta \vec{p}.$$

Если $\vec{F} = 0$, то

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

то есть если на тело или систему тел не действуют **ВНЕШНИЕ** силы или результирующая этих сил равна нулю, то **изменение импульса** (А НЕ САМ ИМПУЛЬС) тоже равно нулю. То есть импульс тела (или суммарный импульс системы тел) не изменяется.

Аналогично это можно применить для равенства нулю **проекции силы** на выбранную ось.

Если

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

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

ПРИ ЭТОМ САМИ ИМПУЛЬСЫ МОГУТ МЕНЯТЬСЯ, А ИХ СУММА ОСТАЕТСЯ ПОСТОЯННОЙ.

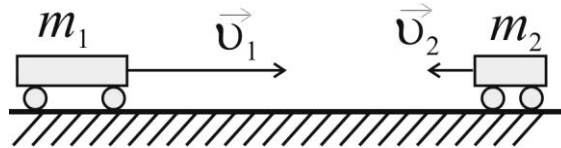
Для случая взаимодействия двух тел закон сохранения импульса часто записывают в виде:

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

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

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

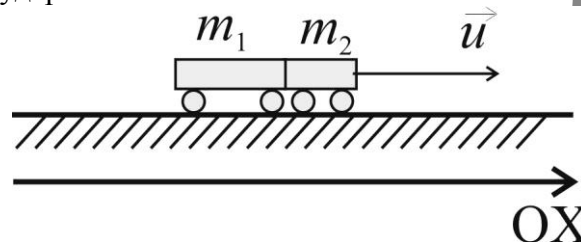
Сделаем пояснительный рисунок.



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

1. Решать задачу так, как будто обе тележки продолжают движение в направлении первоначального движения первой тележки. Если в ответе выскочит знак «-», значит, Вы ошиблись, и обе тележки будут двигаться в обратном направлении.
2. Импульс первой тележки до удара $p_1 = m_1 v_1 = 24$ кг·м/с. Импульс второй $p_2 = m_2 v_2 = 20$ кг·м/с. А теперь угадайте с трех раз какая тележка победит в столкновении. Именно этот способ я и рекомендую.

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



Запишем закон сохранения импульса в векторной форме

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

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

В проекции на ось Ox уравнение примет вид

$$m_1 v_1 - m_2 v_2 = (m_1 + m_2) u.$$

У второго тела импульс до удара отрицательный, так как второе тело до удара двигалось **против** оси Ox . Теперь найдем скорость тележек после удара

$$u = \frac{m_1 v_1 - m_2 v_2}{m_1 + m_2}.$$

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

Применим закон сохранения импульса к нашей задаче. До удара импульсом обладал только пластилиновый шарик. После неупругого удара шарик и пластина становятся одним целым и будут двигаться с одинаковой скоростью

$$mv = (m + M)u.$$

По условию задачи нам надо найти импульс шарика непосредственно перед столкновением. Поэтому найдя конечную скорость систему шарик-пластика, мы легко найдем начальный импульс шарика, который равен mv . Для этого запишем закон сохранения энергии. Кинетическая энергия шарика с пластинкой перейдет в их потенциальную энергию

$$\frac{(m + M)u^2}{2} = (m + M)gh \Rightarrow \frac{u^2}{2} = gh \Rightarrow u^2 = 2gh \Rightarrow u = \sqrt{2gh}.$$

Так как нить отклонилась на угол 60 градусов, то высота, на которую поднялась пластинка с шариком, будет равна половине длины нити (пояснительный рисунок поможет вам убедиться в этом самостоятельно). Дальше сами.

Ответ: 60.

B5. Уравнение состояния идеального газа является следствием из основного уравнения молекулярно-кинетической теории идеального газа

$$pV = \nu RT$$

Это уравнение 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. Сначала применим его для трех разных газов

$$p_1 V_1 = \nu_1 RT, \quad p_2 V_2 = \nu_2 RT, \quad p_3 V_3 = \nu_3 RT$$

После удаления перегородок газы перемешаются и займут весь предоставленный им объем

$$p_0 (V_1 + V_2 + V_3) = (\nu_1 + \nu_2 + \nu_3) RT$$

Выразим количества каждого из газов из первых трех уравнений и подставим их в последнее уравнение

$$p_0 (V_1 + V_2 + V_3) = \left(\frac{p_1 V_1}{RT} + \frac{p_2 V_2}{RT} + \frac{p_3 V_3}{RT} \right) RT \Rightarrow p_0 (V_1 + V_2 + V_3) = p_1 V_1 + p_2 V_2 + p_3 V_3 \Rightarrow$$

$$p_0 = \frac{p_1 V_1 + p_2 V_2 + p_3 V_3}{V_1 + V_2 + V_3}$$

Обращаю ваше внимание на то, что и давление газа и объем газа можно подставлять в тех единицах, в которых они даны по условию задачи и ответ мы получим сразу в килоПаскалях.

Ответ: 125.

B6. Чтобы найти на сколько нагрелись шарики после удара, надо узнать сколько энергии было потеряно во время удара. Количество выделившейся при ударе теплоты будет равно

$$Q = \frac{mv_1^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2} - \frac{(m+m)u^2}{2}$$

где u – скорость шариков после неупругого удара. Для того, чтобы найти их скорость после удара, запишем закон сохранения импульса. Очевидно, что в столкновении победит (то есть продолжит движение в первоначальном направлении) шарик с большей скоростью

$$mv_2 - mv_1 = (m+m)u \Rightarrow u = \frac{v_2 - v_1}{2} = \frac{500 - 400}{2} = 50 \text{ (м/с)}.$$

Важно понимать, что выделившаяся в виде теплоты энергия будет разделена между шариками поровну

$$Q = \frac{mv_1^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2} - \frac{(m+m)u^2}{2} = c(m+m)\Delta T \Rightarrow \frac{v_1^2}{2} + \frac{v_2^2}{2} - u^2 = 2c\Delta T \Rightarrow \Delta T = \frac{\frac{v_1^2}{2} + \frac{v_2^2}{2} - u^2}{2c}$$

Дальше сами.

Ответ: 4.

B7. Коэффициент полезного действия (КПД) – характеристика эффективности системы (устройства, машины) в отношении преобразования или передачи энергии. Он определяется отношением полезно использованной энергии к суммарному количеству энергии, полученному системой.

В нашем случае КПД цикла будет равен отношению полезной работы к количеству теплоты, полученному от нагревателя

$$\eta = \frac{A_{\text{полезная}}}{Q}$$

Полная работа газа за цикл будет равна сумме работ на участке 2-3 (газ на этом участке расширяется и совершает положительную работу) и на участке 3-1 (на этом участке газ сжимается и совершает отрицательную работу)

$$A_{\text{полная}} = A + A_{3-1} = A + p_1 (V_1 - V_2) = A - p_1 (V_2 - V_1) = A - p_1 \Delta V$$

Работу газа на участке 3-1 можно так же записать через температуру газа (помним, что $T_2 = T_3$)

$$A_{3-1} = \nu R (T_1 - T_2) \Rightarrow (T_1 - T_2) = \frac{A_{3-1}}{\nu R}$$

Газе получает теплоту на участке 1-2 (при постоянном объеме растет давление и, как следствие, темпе-

ратура) и на участке 2-3 (температура постоянна, раз расширяется)

$$Q = Q_{12} + Q_{23}$$

На участке 1-2 газ участвует в изохорном процесс. Следовательно, вся теплота, переданная газу, идет на увеличение внутренней энергии газа

$$Q_{12} = \Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1)$$

Так как $T_2 = T_3$, то с учетом уравнения состояния идеального газа

$$Q_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} p_1 \Delta V$$

На участке 2-3 процесс был изотермическим и вся полученная газом энергия пошла на работу газа A . Следовательно,

$$Q = Q_{12} + Q_{23} = \frac{3}{2} p_1 \Delta V + A$$

А теперь подставим работу газа и полученную газом теплоту в формулу для КПД. Получим

$$\eta = \frac{A_{\text{полная}}}{Q} = \frac{A - p_1 \Delta V}{\frac{3}{2} p_1 \Delta V + A}$$

Я надеюсь, что начальное давление p_1 вы найдете самостоятельно.

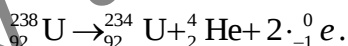
Ответ: 80.

В8. Почти 90 % из известных 2500 атомных ядер нестабильны. Нестабильное ядро самопроизвольно превращается в другие ядра с испусканием частиц. Это свойство ядер называется **радиоактивностью**. Явление радиоактивности было открыто в 1896 году французским физиком А. Беккерелем, который обнаружил, что соли урана испускают неизвестное излучение, способное проникать через непрозрачные для света преграды и вызывать почернение фотоэмульсии.

АЛЬФА-РАСПАД. Альфа-распадом называется самопроизвольное превращение атомного ядра с числом протонов Z и нейтронов N в другое (дочернее) ядро, содержащее число протонов $Z - 2$ и нейтронов $N - 2$, нуклонов — $A - 4$. При этом испускается α -частица — ядро атома гелия ${}^4_2\text{He}$. Примером такого процесса может служить α -распад радия



БЕТА-РАСПАД. При бета-распаде из ядра вылетает электрон (${}^0_{-1}e$). Например



ГАММА-РАСПАД. В отличие от α - и β -радиоактивности γ -радиоактивность ядер не связана с изменением внутренней структуры ядра и не сопровождается изменением зарядового или массового чисел. Как при α -, так и при β -распаде дочернее ядро может оказаться в некотором возбужденном состоянии и иметь избыток энергии. Переход ядра из возбужденного состояния в основное сопровождается испусканием одного или нескольких γ -квантов, энергия которых может достигать нескольких МэВ.

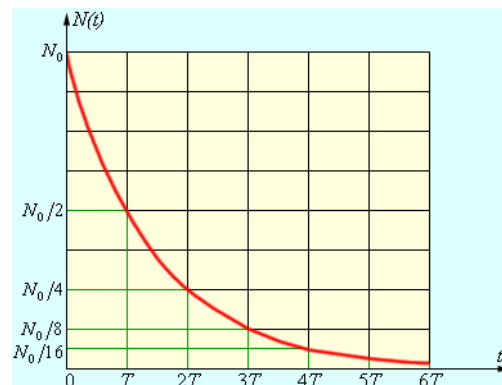
ЗАКОН РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА. В любом образце радиоактивного вещества содержится огромное число радиоактивных атомов. Так как радиоактивный распад имеет случайный характер и не зависит от внешних условий, то закон убывания количества $N(t)$ **НЕРАСПАВШИХСЯ** к данному моменту времени t ядер может служить 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.

Для начала найдем количество ядер в начальный момент времени

$$N_0 = \frac{m}{M} N_A = \frac{44 \cdot 10^{-3} \text{ гр}}{44 \text{ гр/моль}} 6 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}} = 6 \cdot 10^{20} \text{ частиц.}$$

Теперь найдем количество распавшихся ядер

$$N_{\text{распавшихся}} = \frac{q}{e} = \frac{90,3}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 56,4375 \cdot 10^{19} = 5,64375 \cdot 10^{20}$$

А теперь подставим это в закон радиоактивного распада

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T}} \Rightarrow N_0 - N_{\text{распавшихся}} = N_0 2^{-\frac{t}{T}} \Rightarrow 6 \cdot 10^{20} - 5,64375 \cdot 10^{20} = 6 \cdot 10^{20} \cdot 2^{-\frac{t}{T}} \Rightarrow 0,35625 = 2^{-\frac{t}{T}} \Rightarrow 0,059375 = 2^{-\frac{t}{T}} \Rightarrow \frac{1}{0,059375} = 2^{\frac{t}{T}} \Rightarrow 16 \approx 2^{\frac{t}{T}} \Rightarrow 2^4 = 2^{\frac{t}{T}} \Rightarrow t = 4T$$

Ответ: 88.

В9. Это задача на принцип суперпозиции электростатических полей. Абитуриенты очень часто плохо понимают задачи по этой теме. Поэтому начинаем с теории.

Напряженность электрического поля, создаваемого системой зарядов в данной точке пространства, равна векторной сумме напряженностей электрических полей, создаваемых в той же точке каждым зарядом в отдельности

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

Это свойство электрического поля означает, что поле подчиняется **принципу суперпозиции**.

Как находить направление и значение напряженности результирующего поля? ПОСЛЕДУЮЩИЙ ПРИМЕР ОЧЕНЬ ВАЖЕН! Пусть у нас имеется два заряда $q_1 = -11 \text{ Кл}$ и $q_2 = 5 \text{ Кл}$ находящихся на расстоянии 5 см друг от друга. Необходимо найти напряженность поля в точке, удаленной на 3 см от первого заряда и на 4 см от второго.

1. Делаем рисунок, на котором указываем заряды и расстояние и между ними.
2. Находим геометрическим построением точку, в которой необходимо найти напряженность поля. Очевидно, что так как стороны треугольника равны 3, 4 и 5 см, то треугольник будет прямоугольным.
3. **СТАВИМ КАРАНДАШ В НАЙДЕННУЮ ТОЧКУ.** Смотрим на знак первого заряда. Так как знак **отрицательный**, то поле этого заряда в этой точке будет **направлено в сторону заряда**. **НЕ ОТРЫВАЯ РУКИ** рисуем из этой точки вектор напряженности E_1 . По формуле

$$E_1 = k \frac{q_1}{r_1^2}$$

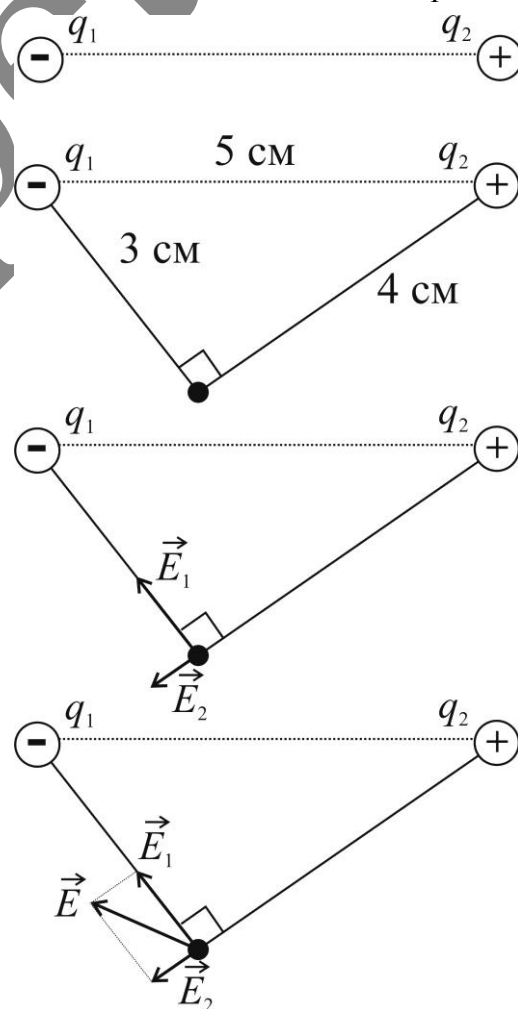
находим напряженность поля первого заряда.

4. Повторно ставим карандаш в найденную точку. Смотрим на знак второго заряда. Так как знак **положительный**, то поле этого заряда в этой точке будет **направлено от заряда**. **НЕ ОТРЫВАЯ РУКИ** рисуем из этой точки вектор напряженности E_2 . По формуле

$$E_2 = k \frac{q_2}{r_2^2}$$

находим напряженность поля первого заряда.

5. Результирующая напряженность поля находится по теореме Пифагора (так как у нас прямоугольный треугольник)



$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}.$$

ЗАМЕЧАНИЕ. Возможны следующие варианты взаимной направленности двух полей – в одном направлении (при этом могут смотреть как в одну, так и в разные стороны), под прямым углом друг к другу (как в нашем примере), под произвольным углом. В любом случае, так как напряженность поля величина векторная, вспоминайте, как Вы находили результирующую силу и применяйте эти же методы для нахождения результирующего поля.

Предлагаю вашему вниманию несколько важных примеров.

ПРИМЕР. Два одноименных заряда q_1 и q_2 ($q_1 < q_2$) находятся на расстоянии a друг от друга. В какой точке напряженность поля будет равна нулю?

Точка, в которой напряженность поля будет равна нулю, будет, естественно, находится на линии соединяющей заряды и будет располагаться между зарядами, так как у нас заряды одного знака. При этом она будет располагаться ближе к меньшему заряду.

По условию задачи

$$E_1 = E_2 \Rightarrow k \frac{q_1}{x^2} = k \frac{q_2}{(a-x)^2}.$$

Откуда после сокращений и извлечения корня имеем

$$\frac{\sqrt{q_1}}{x} = \frac{\sqrt{q_2}}{a-x}.$$

Теперь можно легко найти x . **ВНИМАТЕЛЬНО ЧИТАЙТЕ В УСЛОВИИ ЗАДАЧИ КАКОЕ ИМЕННО РАССТОЯНИЕ ВАС ПРОСЯТ НАЙТИ (от первого или от второго заряда)!!!**

Если же в задаче сказано о разноименных зарядах, то точка, в которой напряженность поля будет равна нулю, будет находиться так же на линии, соединяющей заряды, но не между зарядами, а за пределами отрезка, соединяющего заряды. При этом точка будет находиться около меньшего заряда.

По условию задачи

$$E_1 = E_2 \Rightarrow k \frac{q_1}{x^2} = k \frac{q_2}{(a+x)^2}$$

Откуда после сокращений и извлечения корня имеем

$$\frac{\sqrt{q_1}}{x} = \frac{\sqrt{q_2}}{a+x}.$$

Ответ: 6.

А теперь вернемся к нашей задаче. В точке А поле положительного заряда будет направлено направо (от заряда). При этом поле отрицательного заряда – налево (к заряду). Это значит, что результирующее поле будет равно разности электростатических полей, созданных этими зарядами

$$E = E_2 - E_1 = k \frac{q_2}{r_2^2} - k \frac{|q_1|}{r_1^2}$$

Ответ: 75.

В10. Для начала просмотрите еще раз теорию к задаче А12 (особенности последовательного и параллельного соединения проводников).

Важно понять, что, так как конденсатор и первый резистор соединены параллельно, то напряжение на конденсаторе будет равно напряжению на первом резисторе. Поэтому

$$q = CU_1.$$

А теперь запишем закон Ома для полной цепи который гласит, что сила тока в замкнутой цепи равна электродвижущей силе источника, деленной на общее (внутреннее + внешнее) сопротивление цепи.

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

Сопротивление r – внутреннее (собственное) сопротивление источника тока (зависит от внутреннего строения источника). Сопротивление R – сопротивление нагрузки (внешнее сопротивление цепи).

В нашем случае $I = \frac{\varepsilon}{R_1 + R_2 + r} = \frac{12}{6 + 5 + 1} = 1$ (А). Зная силу тока в цепи мы можем при помощи закона

Ома для участка цепи найти напряжение на первом сопротивлении $U_1 = IR_1 = 6$ (Ом).

А дальше уже не интересно.

Ответ: 30.

В11. Эта задача на достаточно сложную и трудную для понимания тему – переменный ток. Поэтому я постараюсь как можно проще показать ее решение.

Основная часть электроэнергии в мире в настоящее время вырабатывается генераторами **переменного** тока, создающими синусоидальное напряжение. Они позволяют наиболее просто и экономно осуществлять передачу, распределение и использование электрической энергии.

Устройство, предназначенное для превращения механической энергии в энергию переменного тока, называется генератором переменного тока. Он характеризуется переменным напряжением $U(t)$ (индуцированной ЭДС) на его клеммах.

В основу работы генератора переменного тока положено явление электромагнитной индукции. Пусть рамка площадью S вращается с частотой n оборотов в секунду вокруг оси, расположенной в ее плоскости перпендикулярно однородному магнитному полю индукции B . В этом случае магнитный поток, пронизывающий рамку, будет

$$\Phi = BS \cos \alpha.$$

При равномерном вращении рамки угол α меняется со временем по линейному закону

$$\alpha = 2\pi n t = \omega t,$$

где ω – угловая скорость вращения рамки.

Поскольку магнитный поток, пронизывающий рамку, изменяется с течением времени, то в ней возникает индуцированная ЭДС, которая определяется по закону Фарадея:

$$\varepsilon(t) = -\Phi'(t) = BS\omega \sin \omega t.$$

(здесь для вычисления ЭДС мы брали производную; если Вы не дружите с производной – просто запомните, что если поток меняется по косинусу, то ЭДС будет по синусу и наоборот).

Как видно, ЭДС индукции изменяется по синусоидальному закону $\varepsilon = \varepsilon_0 \sin \omega t$, где $\varepsilon_0 = BS\omega$ – амплитудное (максимальное) значение ЭДС.

Пусть электрический генератор создает напряжение

$$U(t) = U_0 \sin \omega t.$$

Согласно закону Ома сила тока в цепи, содержащей только резистор сопротивлением R , изменяется со временем также по синусоидальному закону

$$I(t) = \frac{U(t)}{R} = \frac{U_0}{R} \sin \omega t = I_0 \sin \omega t,$$

где $I_0 = U_0/R$ – **амплитудное** значение тока в цепи. **Переменным током** называется электрический ток, который изменяется с течением времени по гармоническому закону.

Величины U_0 , $I_0 = U_0/R$ называются **амплитудными значениями** напряжения и силы тока. Значения напряжения $U(t)$ и силы тока $I(t)$, зависящие от времени, называют **мгновенными**.

Зная мгновенные значения $U(t)$ и $I(t)$, можно вычислить мгновенную мощность $P(t) = U(t)I(t)$, которая, в отличие от цепей постоянного тока, изменяется с течением времени. Таким образом, тепловая мощность, рассеиваемая (выделяемая) на резисторе, определяется по формуле

$$P(t) = U(t)I(t) = I^2(t)R = I_0^2 R \sin^2 \omega t.$$

Поскольку мгновенная мощность меняется со временем, то использовать эту величину в качестве характеристики длительно протекающих процессов на практике крайне неудобно.

Перепишем формулу для мощности иначе:

$$P = IU = U_0 I_0 \sin^2 \omega t = \frac{1}{2} U_0 I_0 (1 - \cos 2\omega t) = \frac{U_0 I_0}{2} - \frac{U_0 I_0}{2} \cos 2\omega t.$$

Первая составляющая мощности не зависит от времени и представляет собой постоянную часть мгновенной мощности за сколь угодно длительный промежуток времени. Вторая составляющая – переменная – есть функция косинуса удвоенного угла, и ее среднее значение за период колебаний равно нулю.

Таким образом, среднее значение мощности переменного электрического тока за длительный промежуток времени определяется по формуле

$$\langle P \rangle = \frac{U_0 I_0}{2}.$$

Это выражение позволяет ввести **действующее (эффективное)** значение силы тока и напряжения, которое используется в качестве основных характеристик переменного тока.

Действующим (эффективным) значением переменного тока называется сила такого постоянного тока, который, проходя по цепи, выделил бы в единицу времени такое же количество теплоты, что и данный переменный ток. Другими словами действующее значение переменного тока есть **СРЕДНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ** переменного тока.

Для переменного тока действующее значение силы тока равно $I_d = \frac{I_0}{\sqrt{2}}.$

Аналогично можно ввести действующее (эффективное) значение и для напряжения $U_d = \frac{U_0}{\sqrt{2}}.$

Таким образом, выражения для мощности постоянного тока остаются справедливыми и для переменного тока, если использовать в них действующие значения силы тока и напряжения:

$$P = U_d I_d = I_d^2 R = \frac{U_d^2}{R}.$$

А теперь вернемся к нашей задаче. Так как при фазе $\pi/4$ сила тока равна 2 А, то

$$I = I_0 \sin \omega t \Rightarrow I_0 = \frac{I_0}{\sin \omega t} = \frac{2}{\sin\left(\frac{\pi}{4}\right)} = \frac{2}{\frac{\sqrt{2}}{2}} = 2\sqrt{2} \text{ (А)}$$

Мы нашли максимальное значение силы тока. Значит, действующее значение силы тока будет равно

$$I_d = \frac{I_0}{\sqrt{2}} = \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = 2 \text{ (А)}.$$

Среднюю мощность найдите самостоятельно.

Ответ: 40.

В12. На мой взгляд, эта самая сложная задача в тесте. Решение задачи начнем с того, что найдем энергию, запасенную в конденсаторе

$$W_1 = \frac{CU_c}{2}.$$

Как и в задаче В10 конденсатор параллельно соединен с резистором R_1 . Найдем напряжение на нем – найдем напряжение и на конденсаторе. В этой части задача полностью повторяет задачу В10.

$$I = \frac{\varepsilon}{R_1 + R_2} \Rightarrow U_1 = IR_1 = \frac{\varepsilon}{R_1 + R_2} R_1 \Rightarrow W_1 = \frac{C}{2} \left(\frac{\varepsilon R_1}{R_1 + R_2} \right)^2$$

После того как мы разомкнем ключ ток в цепи пропадет и напряжение на конденсаторе станет равно ЭДС источника тока. После размыкания ключа энергия конденсатора будет равна

$$W_1 = \frac{C\varepsilon^2}{2}$$

Так как ЭДС источника больше чем начальное напряжение на конденсаторе энергия конденсатора после размыкания ключа увеличилась. Это произошло потому, что источник тока совершил работу

$$A = \Delta q \cdot U = (q_2 - q_1) \varepsilon,$$

где q_1 и q_2 – начальный и конечный заряд на конденсаторе. Начальный и конечный заряд конденсатора легко найдем зная напряжение на конденсаторе и его емкость

$$C = \frac{q_1}{U_1} \Rightarrow q_1 = CU_1, \quad C = \frac{q_2}{U_2} \Rightarrow q_2 = CU_2 = C\varepsilon$$

Закон сохранения энергии для электрической цепи будет иметь вид

$$A = W_2 - W_1 + Q,$$

где Q – количество теплоты, которое нам и нужно найти. Дальше сами.

Ответ: 200.