

## Вариант 1

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18
3	5	3	2	3	3	2	2	4	4	2	4	3	4	5	1	4	1
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12						
100	60	40	30	240	88	338	29	6	60	116	170						

## Вариант 2

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18
4	1	5	3	3	4	3	4	4	5	1	2	4	1	4	3	3	3
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12						
16	2	124	60	252	700	2	16	12	40	180	255						

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

**A1.** На первом участке (0–2 секунды) тело двигалось равномерно (координата растет линейно; проекция скорости тела будет положительна). На втором участке (2–4 секунды) тело покоится (координата тела не изменяется). На третьем участке (4–6 секунды) тело двигалось равномерно в противоположную первоначальному движению сторону (координата падает линейно; проекция скорости тела отрицательна). Все. Выбираем ответ.

**Ответ: 3.**

**A2.** По условию задачи велосипедист движется с постоянной скоростью. Следовательно,

$$v_1 = v_2 \Rightarrow \frac{S_1}{t_1} = \frac{S_2}{t_2} \Rightarrow S_2 = t_2 \frac{S_1}{t_1}$$

Обратите внимание, что скорость движения мы не искали. Для решения задачи она не нужна! Однако если вы не догадались до такого решения, то можно поступить иначе. Сначала найдем скорость движения, а потом и пройденный велосипедистом путь

$$v = \frac{S_1}{t_1}, S_2 = vt_2 = \frac{S_1}{t_1} t_2$$

**Ответ: 5.**

**A3.** Рассмотрим несколько примеров. Пусть человек в лодке плывет по реке **по течению**. Скорость лодки **относительно воды**  $v_{\text{лодки}}$  (эта скорость, с которой лодка движется в стоячей воде, то есть скорость, которая зависит только от мощности мотора либо от силы гребца), скорость реки **относительно берега**  $v_{\text{реки}}$ , следовательно, скорость лодки **относительно берега**  $v = v_{\text{лодки}} + v_{\text{реки}}$ . Этот результат легко получить простыми логическими рассуждениями. Если же лодка движется **против** течения, то логично будет предположить, что скорость лодки относительно берега будет равна  $v = v_{\text{лодки}} - v_{\text{реки}}$ .

Как легко запомнить, когда складывать, а когда вычитать? 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 ставим знак «плюс». 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.

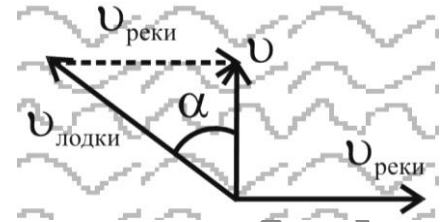
Если же лодка переплывает реку **перпендикулярно** течению (то есть перпендикулярно берегу), то скорость течения реки **НИКАК НЕ БУДЕТ ВЛИЯТЬ НА ВРЕМЯ ПЕРЕПРАВЫ**. Почему? Простой пример. Представьте, что Вы едите в автобусе. Скорость автобуса около 30 км/ч. И вы решаете пересечь с кресла около правого окна на кресло около левого окна (то есть перейти автобус в перпендикулярном направлении). Вопрос: будет ли зависеть время, которое вы потратите на переход (переход осуществляется в направлении **ПЕРПЕНДИКУЛЯРНОМ** движению) от скорости автобуса? Конечно же нет!!! Стоит автобус или едет 120 км/ч – время перехода будет определяться только **ВАШЕЙ** скоростью. Точно так же обстоит дело с переправой через реку, когда скорость **ПЕРПЕНДИКУЛЯРНА** бе-

реку. Время переправы будет зависеть только от ширины реки  $S$  (в примере выше это ширина автобуса) и скорости движения лодки по воде (то есть ее собственной скорости; в примере с автобусом это ваша личная скорость движения по автобусу). Однако у нас задача более сложная. В условии задачи сказано, что лодка должна плыть **ПЕРПЕНДИКУЛЯРНО БЕРЕГУ** (лодочник хочет попасть в точку, которая расположена ровно на противоположной стороне берега). В этом случае направление скорости можно будет найти используя рисунок (треугольник скоростей на рисунке будет прямоугольным)

$$\sin \alpha = \frac{v_{\text{реки}}}{v_{\text{лодки}}}$$

При этом время переправы будет равно

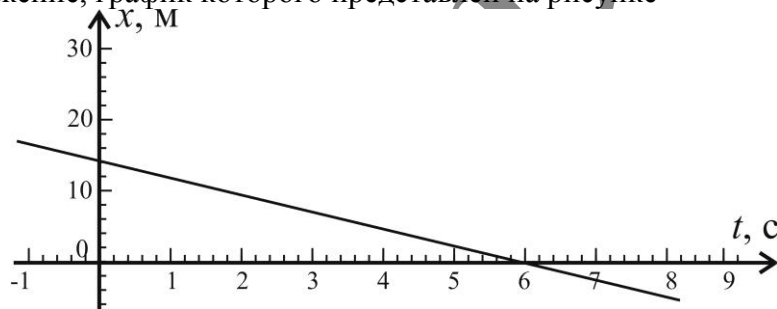
$$t = \frac{L}{v} = \frac{L}{\sqrt{v_{\text{лодки}}^2 - v_{\text{реки}}^2}}$$



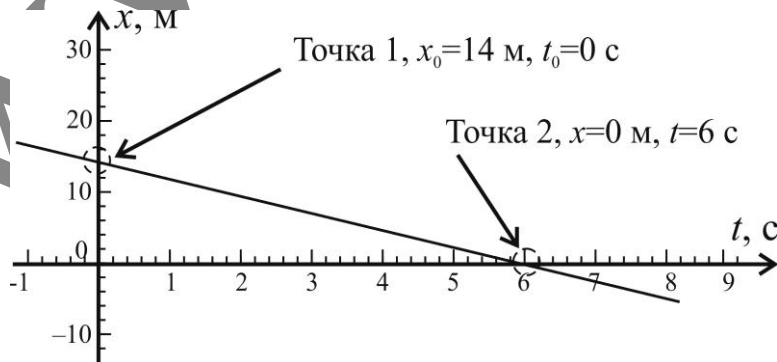
К этому же типу задач относятся задачи на полет самолета при боковом ветре. Часто ученики допускают ошибку, считая, что полет самолета при боковом ветре – это задача аналогичная задаче о лодке, которая переплывает реку перпендикулярно течению реки. Это, конечно, не так. Действительно, в задачах про лодку (в данном случае самолет) сносит по течению (ветру). Если летчик будет направлять самолет строго перпендикулярно ветку, то самолет НЕ ПОПАДЕТ в пункт назначения, а пролетит мимо. В действительности при боковом ветре самолет продолжает лететь по кратчайшему пути, по прямой, при этом скорость самолет относительно ветра направлена под углом к траектории, чтобы компенсировать боковой снос, а скорость самолета относительно земли станет меньше, чем относительно ветра, то есть при боковом ветре самолеты летят медленнее, чем в отсутствие ветра!

А теперь вернемся к задаче. Посмотрим на графики зависимости пройденного пути от времени. С их помощью мы должны найти собственную скорость лодки и скорость движения плота, которая равна скорости течения реки. Как это сделать? Опять небольшой пример.

Путь у нас имеется движение, график которого представлен на рисунке



Найдем скорость тела. Выбираем две удобные точки. Что значит удобные? Это такие точки, абсциссу (горизонтальная координата) и ординату (вертикальная координата) которых мы можем точно узнать из графика



Обращаю Ваше внимание на то, то необязательно одна из точек будет в момент времени равный нулю. Теперь найдем скорость тела

$$v_x = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x - x_0}{t - t_0} = \frac{0 - (14)}{6 - 0} = -\frac{14}{6} = -\frac{7}{3} = -2,3 \text{ м/с.}$$

Скорость получается отрицательной. Но это и очевидно, так как координата тела уменьшается.

Возвращаемся к нашему графику. Из него видно, что лодка проходит 4 км за 40 минут, а плот проходит 2 км, за 40 минут. Дальше все просто. Время переправы лодки будет равно времени, в течении которого река будет сносить плот. Умножим время переправы лодки на скорость течения реки и получим ответ.

**Ответ: 3.**

**A4.** При решении этой задачи важно понять, что в момент времени 2 секунды тело останавливается и меняет направление движения. Это будет для вас более понятно, что если внимательно изучите тему 1.13 из главы «Кинематика», которая лежит в свободном доступе у меня на сайте. А дальше все просто. Так как тело движется ускоренно, то пройденный телом со второй по четвертую секунду путь можно найти по формуле

$$S = v_0 t + \frac{at^2}{2} \Rightarrow S = \frac{at^2}{2} \Rightarrow a = \frac{2S}{t^2}$$

**Ответ: 2.**

**A5.** Механической энергией называется сумма кинетической энергии (энергии движения) и потенциальной энергии (энергия взаимодействия тел силами тяготения и упругости) тела.

Если при движении тела (системы тел) его механическая энергия не переходит ни в какие другие формы энергии (например, внутреннюю [тепловую] энергию), то сумма кинетической и потенциальной энергии тела (системы тел) остается неизменной.

$$E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2}$$

Это утверждение выражает **закон сохранения энергии (ЗСЭ) в механических процессах**.

А теперь посмотрим на график. Так как кинетическая энергия системы равна разности между полной и потенциальной энергией системы, то кинетическая энергия будет постоянной в том промежутке времени, когда разность между полной и потенциальной энергиями не будет меняться. Этому условию соответствует промежуток времени от 2 до 3 секунд.

**Ответ: 3.**

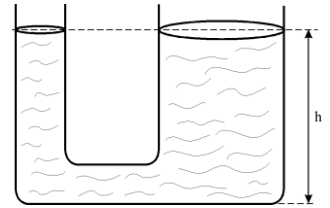
**A6.** Сообщающимися называют сосуды, имеющие между собой канал, заполненный жидкостью.

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

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

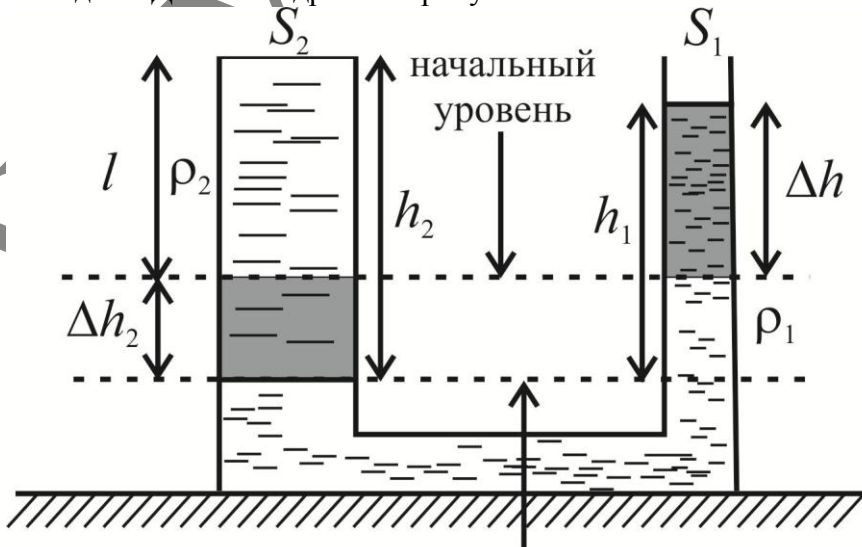
Так как  $\rho_1 = \rho_2$  – это одна и та же жидкость, то

$$h_1 = h_2 = h.$$



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.**

Возвращаемся к нашей задаче. Делаем подробный рисунок



уровень, относительно которого отсчитываем высоты

Важно понять, что **объем вытесненной из левого сосуда жидкости равен объему жидкости, вошедшей в правый сосуд** (объемы выделены серым цветом). Следовательно,

$$S_2 \Delta h_2 = S_1 \Delta h \Rightarrow 2S_1 \Delta h_2 = S_1 \Delta h \Rightarrow 2\Delta h_2 = \Delta h \Rightarrow \Delta h_2 = \frac{\Delta h}{2} \quad (1)$$

Так же из рисунка видно, что

$$h_2 = \Delta h_2 + l.$$

Для сообщающихся сосудов выполняется условие равновесия жидкостей (в однородной жидкости на одном уровне гидростатические давления равны)

$$\rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2 \Rightarrow \rho_1 (\Delta h + \Delta h_2) = \rho_2 (l + \Delta h_2).$$

Осталось только подставить (1) в последнюю формулу и найти  $\Delta h$ .

**Ответ: 3.**

**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 –  $\text{H}_2\text{O}$  – 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  $^{12}\text{C}$** .

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  $\nu$  (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  $\text{Na}$  – 23 г/моль или 0,023 кг/моль или 23 кг/кмоль. Молярная масса азота  $\text{N}_2$  –  $2 \cdot 14$  г/моль = 28 г/моль. А вот молярную массу сложных веществ Вам придется считать самостоятельно. Например, молярная масса воды  $\text{H}_2\text{O}$  –  $(2 \cdot 1 + 16)$  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,  $\nu$  – количество вещества,  $N$  – число частиц вещества, содержащееся в массе вещества  $m$ . **ЗАПОМНИТЕ ЭТИ ОБОЗНАЧЕНИЯ!!!**

Осталось только найти правильную формулу.

**Ответ: 2.**

**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

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

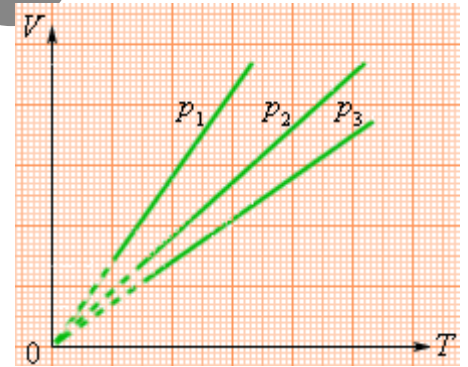
Интерес представляют процессы, в которых один из параметров ( $p$ ,  $V$  или  $T$ ) остается неизменным. Такие процессы называются **изопроцессами**.

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

**Изобарным процессом** называют процесс, протекающий при неизменном давлении  $p$ . Уравнение изобарного процесса для некоторого неизменного количества вещества  $\nu$  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 ( $V = \text{const}$ )**

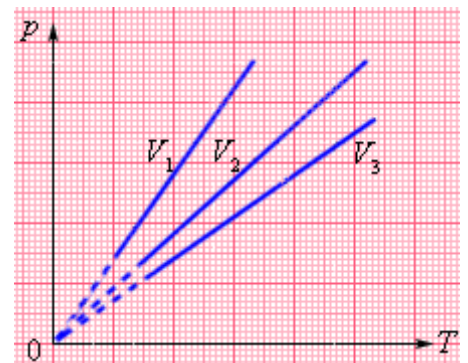
**Изохорный процесс** – это процесс нагревания или охлаждения газа при постоянном объеме  $V$  и при условии, что количество вещества  $\nu$  в сосуде остается неизменным.

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

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

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  $\nu$  при различных значениях объема  $V$  изображаются семейством прямых линий, которые называются **изохорами**. Большим значениям объема соответствуют изохоры с меньшим наклоном по отношению к оси температур (см. график,  $V_3 > V_2 > V_1$ ).



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

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

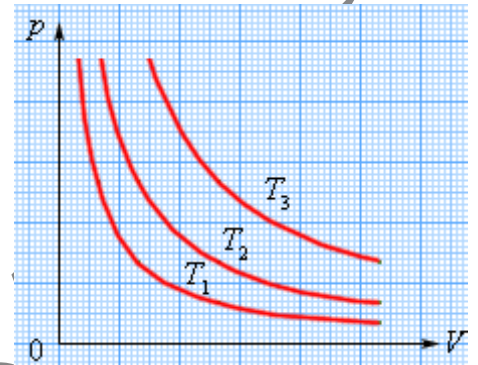
### Изотермический процесс ( $T = \text{const}$ )

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

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

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. По условию с газом происходит изотермический процесс. Поэтому

$$p_1V_1 = p_2V_2$$

Дальше сами.

**Ответ:** 2.

**А9.** Одним из важнейших понятий термодинамики является внутренняя энергия тела. Все тела обладают энергией, заключенной внутри самих тел. С точки зрения молекулярно–кинетической теории **внутренняя энергия** вещества складывается из кинетической энергии (энергии движения) всех атомов и молекул тела и потенциальной энергии их взаимодействия друг с другом.

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

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

Энергия **одной** частицы находится по формуле

$$E = \frac{3}{2} kT .$$

Таким образом, внутренняя энергия идеального газа (обозначается  $U$ ) состоящего из  $N$  частиц равна

$$U = NE = \frac{3}{2} NkT .$$

Поиграем опять в формулы. Используя соотношения

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

получим

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

Используя уравнение Менделеева–Клайперона

$$pV = \nu RT$$

получим

$$U = \frac{3}{2} pV.$$

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

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

Если газ **двухатомный** (кислород, водород, азот), то коэффициент  $3/2$  заменяется на  $5/2$

$$U = \frac{5}{2} \nu RT \text{ или } U = \frac{5}{2} pV.$$

Внутренняя энергия газа будет **меняться** только в случае изменения температуры газа

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T \text{ или } \Delta U = \frac{5}{2} \nu R \Delta T.$$

Если температура газа постоянна (изотермический процесс), то и его внутренняя энергия меняться не будет. Если процесс **изобарный**, то изменение внутренней энергии найдем используя уравнение Менделеева–Клайперона

$$\Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R \Delta T = \frac{3}{2} p \Delta V.$$

Если процесс **изохорный**, то

$$\Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R \Delta T = \frac{3}{2} \Delta p V.$$

Гелий одноатомный газ. Поэтому его внутренняя энергия равна

$$U = \frac{3}{2} pV \Rightarrow V = \frac{2U}{3p}$$

Плотность вещества равна отношению массы вещества к объему, который занимает вещество

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Дальше сами.

**Ответ:** 4.

**A10.** Важно понять, что в горизонтальном направлении на электрон не действуют никакие силы и горизонтальная скорость будет постоянна. А вот в вертикальном направлении на электрон будет действовать сила со стороны электростатического поля. Очевидно, что сила будет направлена вертикально вверх (вспоминайте про силы, действующие между разноименными зарядами). Дальше

**Ответ:** 4.

**A11.** На мой взгляд задачи на принцип суперпозиции электростатических полей одни из самых сложных из-за громоздких математических расчетов. Поэтому я приведу достаточно много примеров по этой теме.

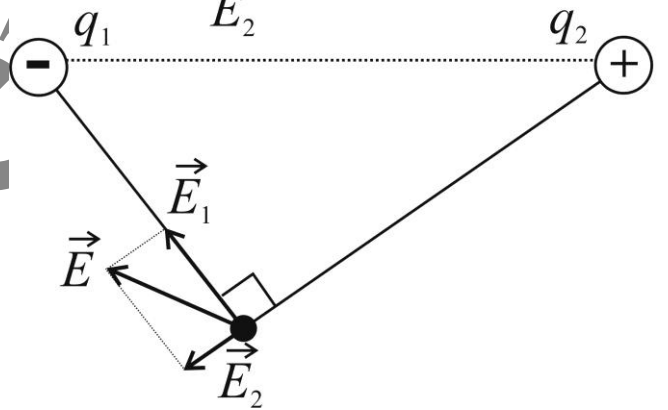
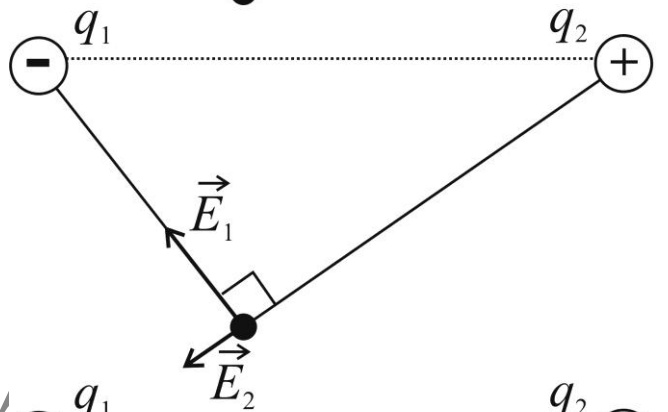
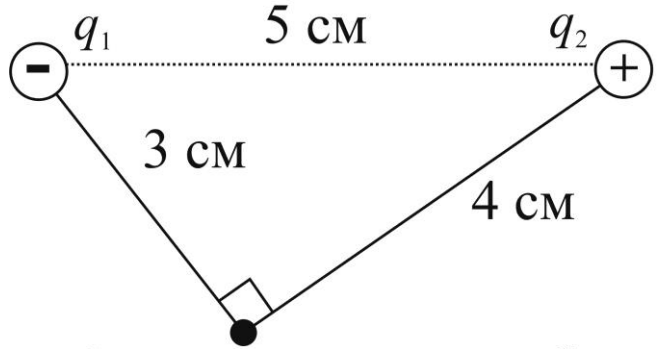
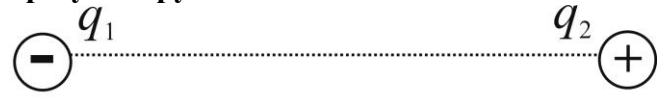
Напряженность электрического поля, создаваемого системой зарядов в данной точке пространства, равна векторной сумме напряженностей электрических полей, создаваемых в той же точке каждым зарядом в отдельности

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

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

### Как находить направление и значение напряженности результирующего поля?

Пусть у нас имеется два заряда  $q_1 = -11$  Кл и  $q_2 = 5$  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 второго заряда.

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

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

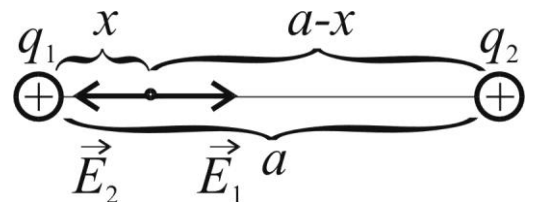
**ЗАМЕЧАНИЕ.** Возможны следующие варианты взаимной направленности двух полей – в одном направлении (при этом могут смотреть как в одну, так и в разные стороны), под прямым углом друг к другу (как в нашем примере), под произвольным углом. **В любом случае, так как напряженность поля величина векторная,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

**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)!!!**

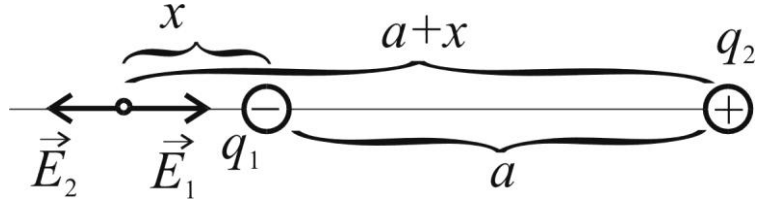
Если же в задаче сказано о разноименных зарядах, то точка, в которой напряженность поля будет равна нулю, будет находиться так же на линии, соединяющей заряды, но не между зарядами, а за пределами отрезка, соединяющего заряды. При этом точка будет находиться около меньшего заряда.

По условию задачи

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

Откуда после сокращения и извлечения корня имеем

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



**ПРИМЕР.** Расстояние между двумя точечными зарядами 64 нКл и -48 нКл равно 10 см. Определите напряженность поля (в кВ/м) в точке, удаленной на 8 см от первого и на 6 см от второго зарядов.

Внимательно смотрим на рисунок. Первый заряд создает в данной точке напряженность

$$E_1 = kq_1/r_1^2 = 90 \text{ кВ/м},$$

а второй заряд – напряженность

$$E_2 = kq_2/r_2^2 = 120 \text{ кВ/м}.$$

Результирующая напряженность равна векторной сумме этих напряженностей:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2.$$

Так как стороны треугольника подчиняются теореме Пифагора (египетский треугольник), то напряженности  $E_1$  и  $E_2$  направлены под прямым углом друг к другу, и результирующая напряженность равна

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = 150 \text{ кВ/м}.$$

А теперь вернемся к нашей задаче. Сделаем рисунок. Покажем направление электростатических полей обоих зарядов. По теореме косинусов

$$E^2 = E_1^2 + E_2^2 - 2E_1E_2 \cos \alpha$$

То, что второй заряд отрицательный, мы учли при построении рисунка. Поэтому при дальнейших расчетах мы будем брать второй заряд по модулю

$$E_1 = k \frac{q_1}{a^2}, \quad E_2 = k \frac{|q_2|}{a^2}.$$

Так же при расчетах учтите, что треугольник равносторонний. Дальше сами.

**Ответ:** 2.

**A12.** По определению полная мощность источника тока равна произведению ЭДС источника тока на силу тока в электрической цепи  $P = \varepsilon I$ . По закону Ома для полной цепи

$$I = \frac{\varepsilon}{R+r} \Rightarrow \varepsilon = I(R+r)$$

Следовательно, полная мощность будет равна

$$P = \varepsilon I = I \cdot I(R+r) = I^2(R+r)$$

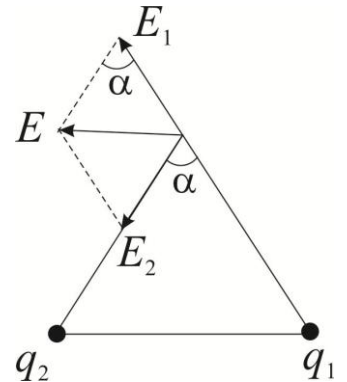
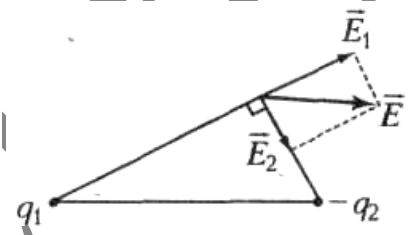
А дальше смотрим на график и вычисляем.

**Ответ:** 4.

**A13.** Поговорим немного о магнитном поле и его свойствах.

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  $180^\circ$ . 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  $180^\circ$ . 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.

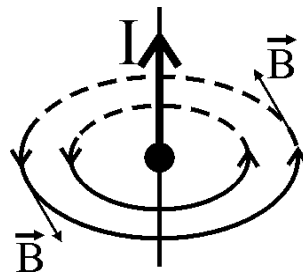
**СИЛОВАЯ ЛИНИЯ НАПРАВЛЕНА ОТ ЮЖНОГО ПОЛЮСА МАГНИТНОЙ СТРЕЛКИ К СЕВЕРНОМУ, ТО ЕСТЬ ОТ СЕВЕРНОГО ПОЛЮСА МАГНИТА К ЮЖНОМУ.**

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.



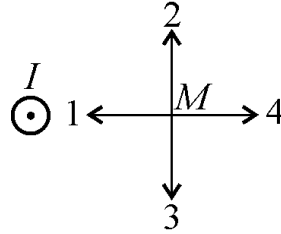
Вектора магнитной индукции направлены по касательной к окружности.

Величина магнитной индукции поля созданного прямым током *I* на расстоянии *R* от него:

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2\pi R},$$

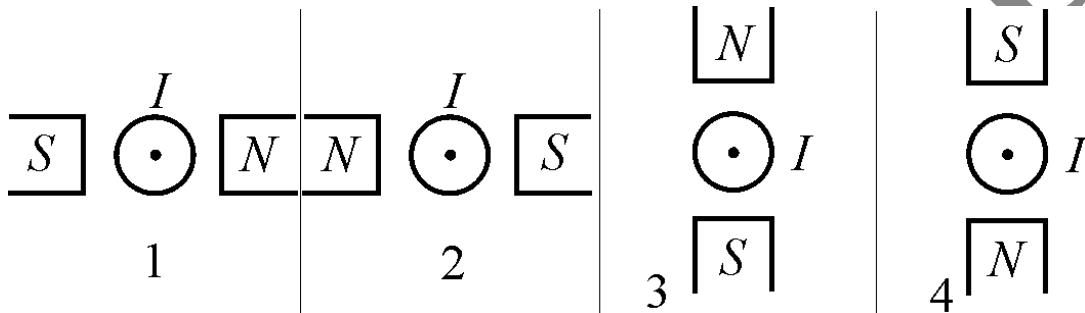
где  $\mu_0$  – магнитная постоянная,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ ,  $\mu$  – магнитная проницаемость среды.

**ПРИМЕР.** Как направлен вектор индукции магнитного поля прямолинейного тока  $I$  в точке  $M$ ?



Начертите окружность с центром находящимся на проводнике и проходящую через точку  $M$ . 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  $M$  от запястья к кончикам пальцев. Очевидно, что касательная направлена к точке 2. Кстати, так же будет направлен северный полюс магнитной стрелки, помещенный в точку  $M$ .

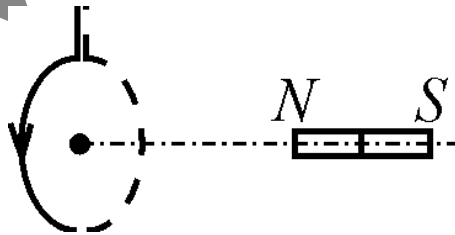
**ПРИМЕР.** На горизонтально расположенный проводник с током действует сила Ампера, направленная вверх вдоль плоскости чертежа. В каком случае показано правильное положение полюсов магнита?



Вектор индукции поля направлен от северного полюса магнита к южному. Именно так расположилась бы магнитная стрелка, помещенная между полюсами магнита. Своим северным полюсом стрелка была бы направлена к южному полюсу магнита. Расположим ладонь левой руки так, чтобы четыре вытянутых пальца были направлены по току, то есть «торчали» из чертежа. При этом вектор индукции должен входить в ладонь, а отогнутый большой палец должен по условию быть направлен вверх вдоль плоскости чертежа.

Очевидно, что только рисунок 2 соответствует всем указанным требованиям.

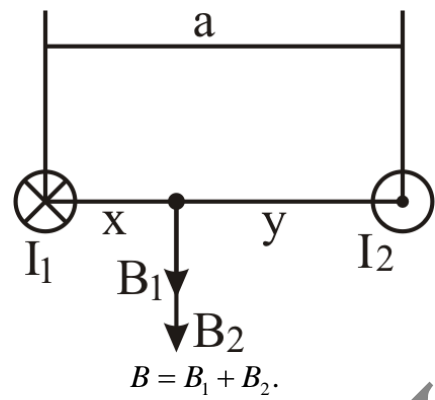
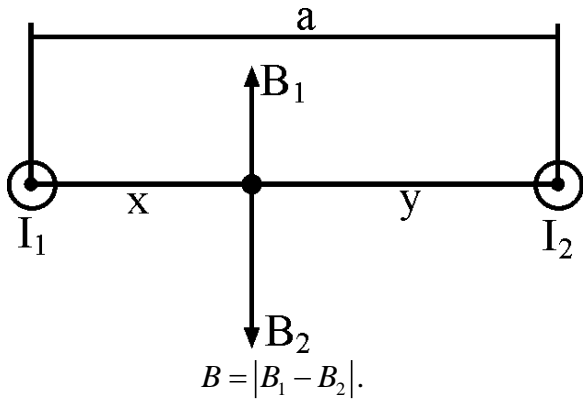
**ПРИМЕР.** Круглый проводящий виток с током, направленным против часовой стрелки, свободно висит на подводных проводах. Перед витком помещают полосовой магнит, северный полюс которого обращен к витку. Что произойдет с витком?



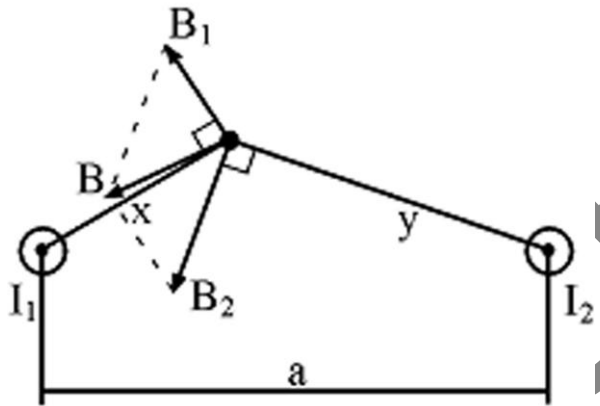
Обхватим правой рукой виток, например ближнюю к нам часть, чтобы большой палец был направлен по току. Тогда, касательная к окружности, образованной обхватывающими пальцами, и направленная от запястья к кончикам пальцев в центре витка будет направлена слева направо. Значит, слева направо расположится в центре витка магнитная стрелка, причем ее северный полюс будет направлен вправо. То есть виток с током создает такое магнитное поле, что его можно заменить магнитом, северный полюс которого будет расположен справа. Значит, виток оттолкнется от магнита.

### ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ УДОБНЕЕ ЧЕРТИТЬ ТОРЦЫ ПРОВОДНИКОВ.

Пусть магнитное поле создается двумя параллельными проводниками с токами  $I_1$  и  $I_2$ , находящимися на расстоянии  $a$  друг от друга. С помощью правила правой руки определим направление векторов магнитной индукции полей. Рассмотрим различные случаи направлений токов и расположения точки, в которой мы находим результирующий вектор индукции.



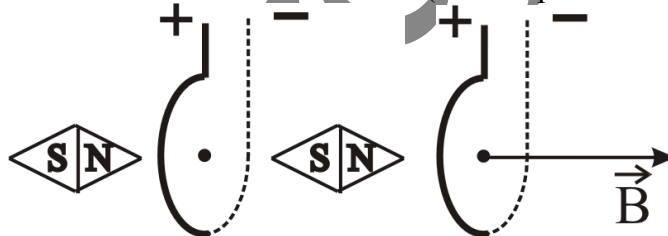
Найдем индукцию поля в точке, находящейся на расстоянии  $x$  от первого проводника и  $y$  от второго.



$$B_1 = \frac{\mu_0 \mu I_1}{2\pi x}; \quad B_2 = \frac{\mu_0 \mu I_2}{2\pi y}.$$

Для нахождения ответа складываем вектора  $B_1$  и  $B_2$  (теорема косинусов в помощь).

В витке с током можно определить его магнитные полюса (ток направлен от плюса к минусу).

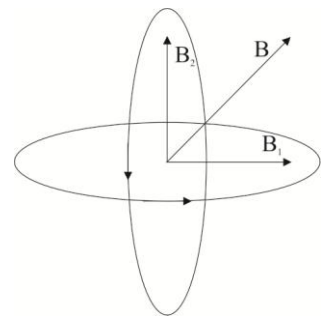


Индукция поля в центре витка радиусом  $R$ :

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2R}.$$

А теперь вернемся к нашей задаче. Сделаем пояснительный рисунок. Направление вектора индукции магнитного поля найдем по правилу правой руки или правилу буравчика. Из рисунка видно, что так как плоскости витков перпендикулярны, то и магнитные поля, создаваемые токами, так же будут перпендикулярны. Следовательно, результирующее поле будет равно

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2}$$



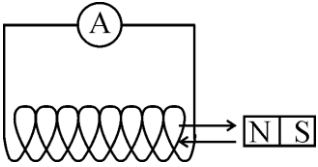
Поле кругового тока легко находится по формуле приведенной чуть выше.

**Ответ: 3.**

**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.

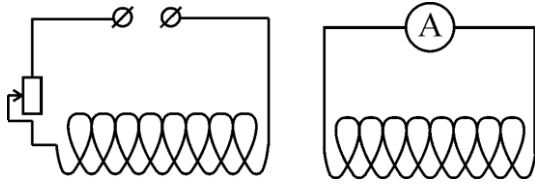
#### ОПЫТЫ ФАРАДЕЯ

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.

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.

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  $\Phi$  через площадь  $S$  контура называют величину

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

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

Единица магнитного потока в системе СИ называется **вебером** (Вб). Магнитный поток, равный 1 Вб, создается магнитным полем с индукцией 1 Тл, пронизывающим по направлению нормали плоский контур площадью 1 м<sup>2</sup>:

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

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

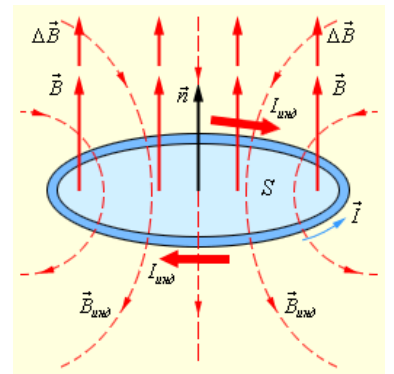
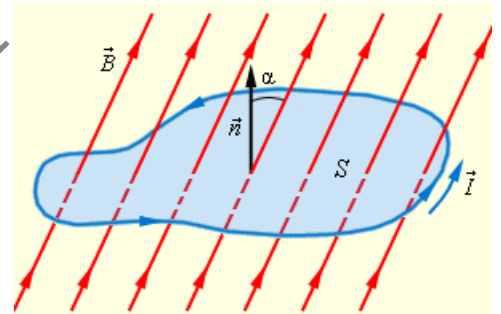
$$\epsilon_{\text{инд}} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}.$$

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 приме-

ре  $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} > 0$ , а  $\epsilon_{\text{инд}} < 0$ .

Правило Ленца отражает тот экспериментальный факт, что  $\epsilon_{\text{инд}}$  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  $\varepsilon_i$  – ЭДС электрического поля, порожденного переменным магнитным полем,  $I_i$  – величина индукционного тока,  $R$  – сопротивление контура. Подставим значение ЭДС

$$I_i = \frac{\varepsilon_i}{R} = \frac{-\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}}{R} = \frac{-\Delta\Phi}{R\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{-\Delta\Phi}{RI} = -\frac{\Phi - \Phi_0}{RI}$$

Я надеюсь, что подставить числа и вычислить вы сможете самостоятельно.

**Ответ: 4.**

**A15.** В технике и окружающем нас мире часто приходится сталкиваться с **периодическими** (или **почти периодическими**) процессами, то есть процессами, которые повторяются через одинаковые промежутки времени. Такие процессы называют **колебательными**. Колебательные явления различной физической природы подчиняются общим закономерностям. Например, колебания тока в электрической цепи и колебания математического маятника могут описываться одинаковыми уравнениями.

**Механическими колебаниями** называют движения тел, повторяющиеся точно (или приблизительно) через одинаковые промежутки времени. Закон движения тела, совершающего колебания, задается с помощью некоторой периодической функции времени  $x = f(t)$ . Графическое изображение этой функции дает наглядное представление о протекании колебательного процесса во времени.

Примерами простых колебательных систем могут служить груз (см. рисунок) на пружине или математический маятник (тяжелое тело, подвешенное на длинной нити).

Механические колебания, как и колебательные процессы любой другой физической природы, могут быть **свободными** и **вынужденными**. **Свободные колебания** совершаются под действием внутренних сил системы, после того, как система была выведена из состояния равновесия. Колебания груза на пружине или колебания маятника являются свободными колебаниями. Свободные колебания всегда затухают, то есть прекращаются. Колебания, происходящие под действием **внешних** периодически изменяющихся сил, называются **вынужденными**.

Минимальный интервал времени, через который происходит повторение движения тела, называется **периодом колебаний**  $T$ . Если же количество колебаний  $N$ , а их время  $t$ , то период находится как

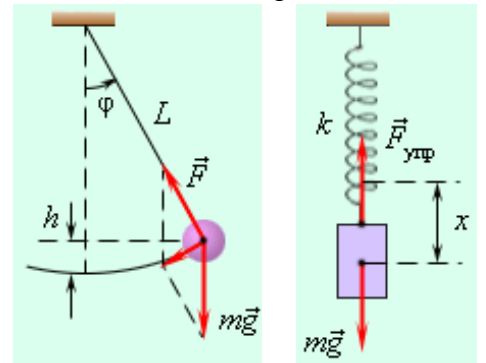
$$T = \frac{t}{N}.$$

Физическая величина, обратная периоду колебаний, называется **частотой колебаний**

$$\nu = \frac{N}{t} = \frac{1}{T}.$$

Частота колебаний  $\nu$  показывает, сколько колебаний совершается за 1 с. Единица частоты – **герц (Гц)**. Частота колебаний  $\nu$  связана с циклической частотой (круговой частотой, угловой скоростью)  $\omega$  и периодом колебаний  $T$  соотношениями:

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}.$$



При колебательном движении тело за время равное периоду проходит путь равный 4 амплитудам (см. рисунок). При этом тело возвращается в исходную точку, то есть перемещение тела будет равно нулю. Следовательно, путь равный амплитуде тело пройдет за время равное четвертой части периода. Путь равный двум амплитудам тело проходит за время равное двум четвертым или половине периода. Но это не значит, что путь равный половине амплитуды тело пройдет за время разное половине от четверти периода, то есть за  $1/8$  периода!!! То есть это правило работает только для пути, который кратен амплитуде или для времени, кратного четверти периода.

На рисунке изображены положения тела через одинаковые промежутки времени при гармонических колебаниях (на рисунке  $x_m = A$ ). Такую картину можно получить экспериментально при освещении колеблющегося тела короткими периодическими вспышками света (стробоскопическое освещение, которое можно часто наблюдать на дискотеках). Стрелки изображают направление скорости тела в различные моменты времени.

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

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

или

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

Здесь  $x$  – смещение тела от положения равновесия в момент времени  $t$ ,  $A$  – амплитуда колебаний, то есть максимальное смещение от положения равновесия,  $\omega$  – циклическая или круговая частота колебаний ( $\omega = 2\pi/T$ ),  $t$  – время. Величина, стоящая под знаком косинуса (синуса)

$$\varphi = \omega t + \varphi_0$$

называется фазой гармонического процесса. Если при  $t = 0$ , то  $\varphi = \varphi_0$ . Поэтому  $\varphi_0$  называют начальной фазой. Начальная фаза определяет положение тела в начальный момент времени.

Фаза колебаний никоим образом не соответствует углу отклонения маятника из положения равновесия.

А теперь вернемся к нашей задаче. По условию фаза поменялась на  $2\pi$ . Это значит, что гармонический осциллятор совершил одно полное колебание. По графику легко находим, что время одного полного колебания равно одной секунде.

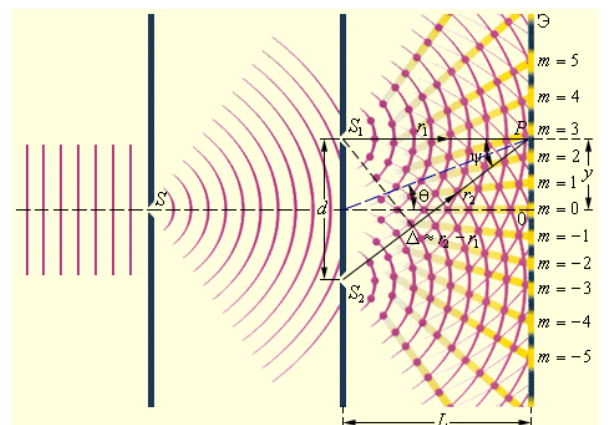
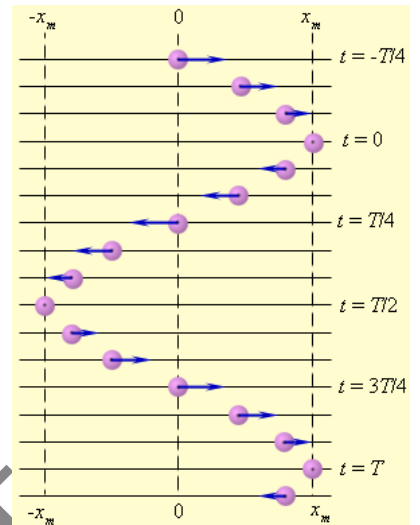
Ответ: 5.

**A16.** Для решения этой задачи необходимо знать закономерности двух физических явлений – интерференции и дифракции света.

**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).

**Интерференционный максимум** (светлая полоса) достигается в тех точках пространства, в которых

$$\Delta = 2m \frac{\lambda}{2} \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots).$$

То есть разность хода равна **ЧЕТНОМУ ЧИСЛУ ПОЛУВОЛН**.

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.

**Интерференционный минимум** (темная полоса) достигается при

$$\Delta = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}.$$

То есть разность хода равна **НЕЧЕТНОМУ ЧИСЛУ ПОЛУВОЛН**.

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.

А теперь немного о дифракции.

**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).

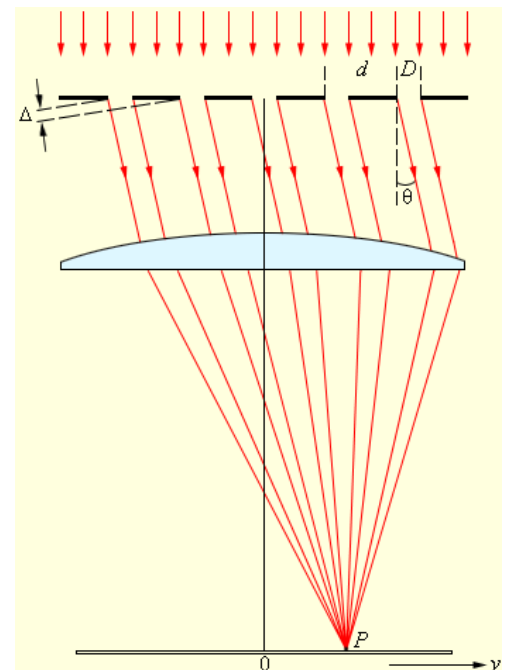
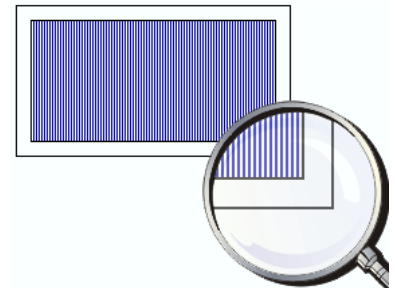
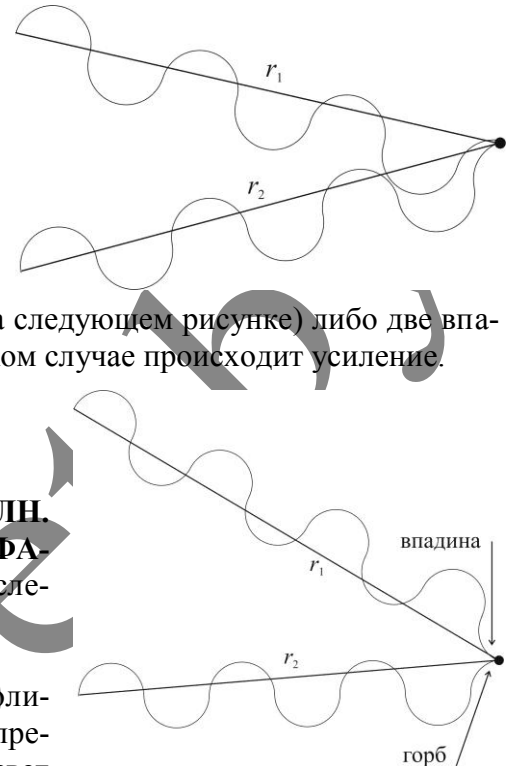
Если на пути параллельного светового пучка расположено круглое препятствие (круглый диск, шарик или круглое отверстие в непрозрачном экране), то на экране, расположенном на достаточно большом расстоянии от препятствия, появляется **дифракционная картина** – система чередующихся светлых и темных колец. 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 грампластины.

В каждой точке  $P$  на экране в фокальной плоскости линзы соберутся лучи, которые до линзы были параллельны между собой и распространялись под определенным углом  $\theta$  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  $\Delta$  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  $\theta$  ставим угол  $90^\circ$ . При этом получившийся порядок максимума (например,  $m=8,75$ ) округляем в **МЕНЬШУЮ** сторону (до 8).

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

С одной стороны  $\Delta = d \sin \theta_m = m\lambda$ . С другой стороны у нас интерференционный максимум. Поэтому  $\Delta = 2m \frac{\lambda}{2}$ . Осталось только соединить две последние формулы.

**Ответ:** 1.

**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.

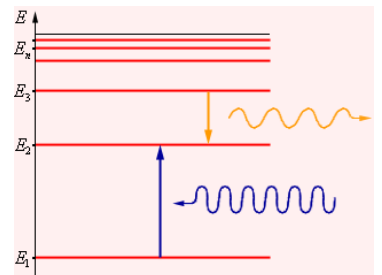
Согласно первому постулату Бора, атом характеризуется системой **энергетических уровней**, каждый из которых соответствует определенному стационарному состоянию (см. рисунок). Механическая энергия электрона, движущегося по замкнутой траектории вокруг положительно заряженного ядра, отрицательна. Поэтому 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

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

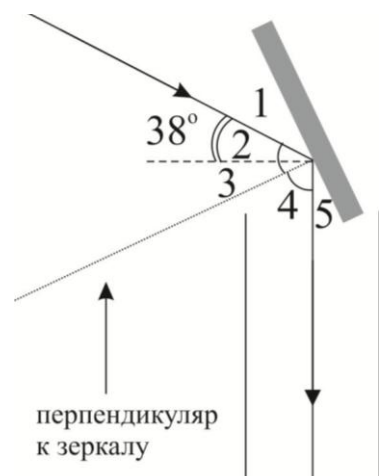
А дальше все просто.

$$\Delta E = E_2 - E_1 = \frac{E_1}{n^2} - E_1 \Rightarrow n^2 = \frac{E_1}{\Delta E - E_1} \Rightarrow n = \sqrt{\frac{E_1}{\Delta E - E_1}}$$

**Ответ:** 4.

**A18.** Угол падения равен углу отражения. Это все, что нам понадобится для решения этой задачи. Начнем с подробного рисунка. При этом я обозначу все углы цифрами. Это гораздо проще, чем обозначать буквами.

По условию задачи нам дан угол 2. Так же мы знаем, что (просто внимательно смотрим на рисунок и пишем соотношения между углами):



$$\angle 1 + 38^\circ + \angle 3 = 90^\circ, \quad \angle 4 + \angle 5 = 90^\circ, \quad \angle 1 = \angle 5, \quad \angle 3 + \angle 4 = 90^\circ, \quad 38^\circ + \angle 3 = \angle 4$$

Из последних двух равенств легко найдем угол 3

$$\angle 3 + (38^\circ + \angle 3) = 90^\circ \Rightarrow \angle 3 = 26^\circ$$

Следовательно, угол 1 будет равен

$$\angle 1 = 90^\circ - (38^\circ + \angle 3) = 26^\circ$$

Осталось только сложить градусные меры первого и второго угла.

**Ответ: 1.**

**В1.** Зная импульс силы за 3 секунды, мы легко найдем силу, действующую на тело

$$F \Delta t = 0,4 \Rightarrow F = \frac{0,4}{\Delta t} = \frac{0,4}{3} = \frac{4}{30} \text{ (Ньютона)}$$

Из графика зависимости скорости тела от времени мы найдем ускорение тела

$$a = \frac{v - v_0}{t} = \frac{6 - 2}{3} = \frac{4}{3} \text{ (м/с}^2\text{)}$$

$$\text{По второму закону Ньютона } F = ma \Rightarrow m = \frac{F}{a} = \frac{\frac{4}{30}}{\frac{4}{3}} = \frac{4}{30} : \frac{4}{3} = \frac{4}{30} \cdot \frac{3}{4} = 0,1 \text{ (кг)} = 100 \text{ (грамм)}$$

**Ответ: 100.**

**В2.** Задачи на наклонную плоскость с одной стороны являются достаточно сложными. Однако если понять фишку таких задач, то решение не будет составлять особого труда. Задачи с наклонной плоскостью можно разделить на несколько типов:

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

### Разберем первый случай.

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

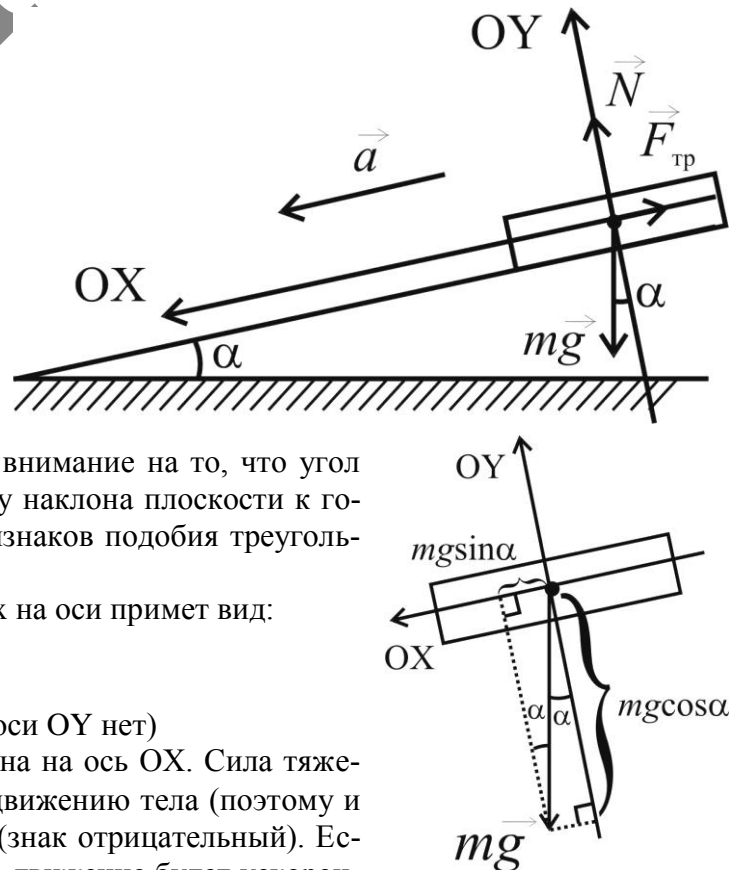
Таким образом, второй закон Ньютона в проекциях на оси примет вид:

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

(или равно 0, если тело движется равномерно)

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

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  $\alpha$  к оси  $OY$ . Опустим перпендикуляр из конца силы тяжести на оси  $OX$  и  $OY$ . Получим два одинаковых прямоугольных треугольника. Найдем проекцию силы тяжести на ось  $OX$ .

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Если же на тело действует внешняя сила  $F$  (это как раз наш случай; см. второй рисунок), которая тащит тело вверх, тогда

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

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

Для решения задачи достаточно воспользоваться предложенной теорией. Так же надо вспомнить формулу для пройденного телом пути (формула справедлива только в том случае, если тело не меняло направление движения)

$$S = v_0 t + \frac{at^2}{2} \Rightarrow S = \frac{at^2}{2} \quad (\text{учитываем, что начальная скорость равна нулю})$$

**Ответ:** 60.

**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:

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

**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 полезной будет работа по подъему вертолета вертикально вверх, а затраченной будет работа электрического тока

$$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{затрач}}} \cdot 100\% = \frac{mgh}{Pt} \cdot 100\%$$

Дальше сами.

**Ответ:** 40.

**В4.** На первый взгляд задача очень сложная. Однако это не так. При решении этой задачи важно понять, что в момент отрыва от полусферы тело перестает взаимодействовать с ней. Это значит, что сила реакции опоры со стороны полусферы становится равной нулю. Поэтому тело будет двигаться только под действием силы тяжести. Для точки отрыва второй закон Ньютона в проекции на ось OY будет иметь вид

$$mg \cos \alpha = ma_y \Rightarrow g \cos \alpha = \frac{v^2}{R}$$

Запишем закон сохранения энергии. В качестве нулевого уровня выберем уровень, на котором происходит отрыв тела от полусферы. На этом уровне тело обладает только кинетической энергией. В верхней точке сферы тело обладало только потенциальной энергией. Следовательно,

$$mg(R-h) = \frac{mv^2}{2}$$

Из рисунка (обратите внимание на серый прямоугольный треугольник) видно, что  $\cos \alpha = \frac{h}{R}$ . Осталось только решить систему уравнений.

**Ответ:** 30.

**В5.** Температура воздуха не меняется. Значит, процесс будет изотермический

$$p_0 V_{\text{атмосф}} = pV$$

Начальное давление воздуха равно атмосферному давлению. При этом, так как мяч первоначально пустой, из атмосферы надо взять объем воздуха равный

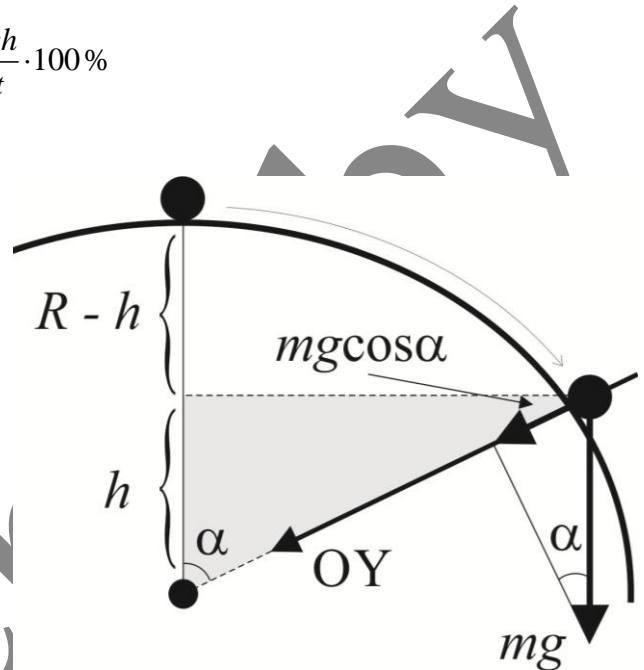
$$V_{\text{атмосф}} = NV_0$$

Если же в задаче будет сказано, что изначально мяч был не пустой, а давление воздуха в нем равнялось атмосферному давлению, то из объема воздуха, который надо взять из атмосферы, надо будет вычесть один объем мяча. Окончательно получаем

$$p_0 V_{\text{атмосф}} = pV \Rightarrow p_0 NV_0 = pV \Rightarrow p = \frac{p_0 NV_0}{V}$$

**Ответ:** 240.

**В6.** При решении этой задачи важно понять, несколько важных моментов. Во-первых, объем растопленного кубиком льда будет равен объему самого кубика. Во-вторых, конечная температура кубика будет равна температуре льда, то есть  $0^\circ\text{C}$ . В-третьих, теплота, отданная кубиком, полностью (то есть без потерь) пойдём только на плавление льда. Поэтому уравнение теплового баланса будет иметь следующий вид



$$Q_{\text{отданное}} = Q_{\text{полученное}} \Rightarrow c_{\text{меди}} m_{\text{меди}} \Delta T = \lambda_{\text{льда}} m_{\text{льда}} \Rightarrow c_{\text{меди}} \rho_{\text{меди}} V \Delta T = \lambda_{\text{льда}} \rho_{\text{льда}} V \Rightarrow c_{\text{меди}} \rho_{\text{меди}} \Delta T = \lambda_{\text{льда}} \rho_{\text{льда}}$$

Дальше сами.

Ответ: 88.

**В7.** Работа газа за циклю будет равна сумме работ газа на всех участках процесса

$$A = A_{12} + A_{23} + A_{34} + A_{41}.$$

На участках 1–2 и 3–4 объем газа не меняется (изохорный процесс). Работа на этих участках равна нулю. На участке 2–3 температура газа не меняется (изотермический процесс). Поэтому вся теплота, переданная газу в этом процессе, идет на работу газа. На участке 4–1 не меняется давление газа (изобарный процесс). Работа газа в этом процессе будет равна

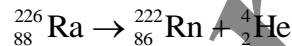
$$A_{41} = \nu R(T_1 - T_4)$$

Дальше сами.

Ответ: 338.

**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  $\alpha$ –частица – ядро атома гелия  ${}^4_2\text{He}$ . Примером такого процесса может служить  $\alpha$ –распад радия



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



**ГАММА–РАСПАД.** В отличие от  $\alpha$ – и  $\beta$ –радиоактивности  $\gamma$ –радиоактивность ядер не связана с изменением внутренней структуры ядра и не сопровождается изменением зарядового или массового чисел. Как при  $\alpha$ –, так и при  $\beta$ –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  $\gamma$ –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:

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T}},$$

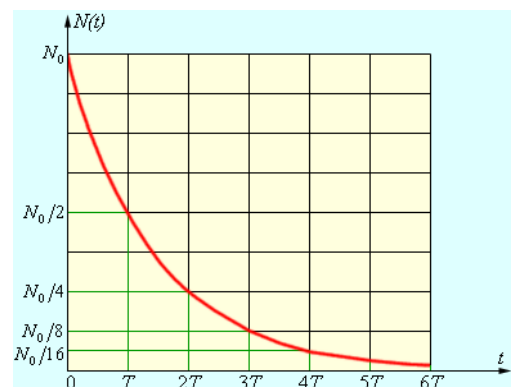
где  $N$  – число **НЕРАСПАВШИХСЯ** ядер через промежуток времени  $t$ ,  $N_0$  – начальное число ядер. Величина  $T$  называется **периодом полураспада**.

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.

Вернемся к нашей задаче

$$\frac{\Delta N}{N_0} = \frac{N_0 - N}{N_0} = \frac{N_0 - N_0 2^{-\frac{t}{T}}}{N_0} = 1 - 2^{-\frac{t}{T}} = 1 - 2^{-\frac{T}{2}} = 1 - 2^{-\frac{1}{2}} = 1 - \frac{1}{\sqrt{2}}$$

Ответ: 29.



**В9.** На данный проводник действуют сила тяжести, сила упругости двух нитей и сила Ампера, под действием которой нити отклоняются на угол  $\alpha$  от вертикали. По условию задачи проводник находится в равновесии. Поскольку нити одинаковы, в том числе и по длине, проводник ориентирован горизонтально. Тогда, определяя направление силы Ампера по правилу левой руки, можно убедиться в том, что векторы силы тяжести и силы Ампера образуют прямой угол. Кроме того, в этом случае

$$F_A = BI.$$

Три силы, действующие на проводник, образуют прямоугольный треугольник сил (смотрите второй рисунок). Угол при вершине этого треугольника будет равен углу отклонения нити. Тангенс этого угла равен

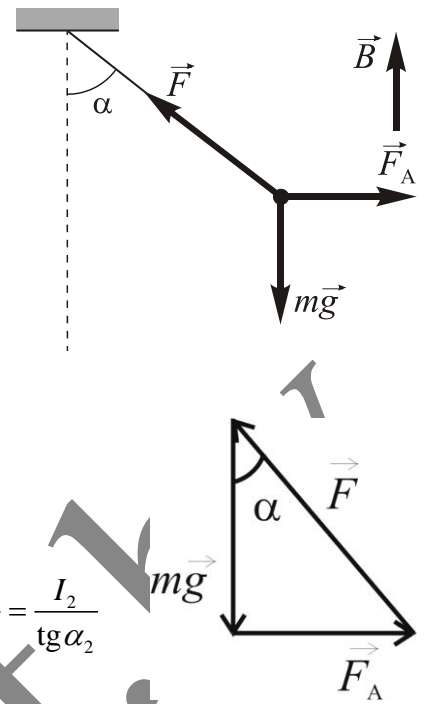
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F_A}{mg}$$

А теперь применим это соотношение для первого и второго случая

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{F_{A1}}{mg} \Rightarrow mg = \frac{F_{A1}}{\operatorname{tg} \alpha_1} &\Rightarrow \frac{F_{A1}}{\operatorname{tg} \alpha_1} = \frac{F_{A2}}{\operatorname{tg} \alpha_2} \Rightarrow \frac{I_1 Bl}{\operatorname{tg} \alpha_1} = \frac{I_2 Bl}{\operatorname{tg} \alpha_2} \Rightarrow \frac{I_1}{\operatorname{tg} \alpha_1} = \frac{I_2}{\operatorname{tg} \alpha_2} \\ \operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{F_{A2}}{mg} \Rightarrow mg = \frac{F_{A2}}{\operatorname{tg} \alpha_2} &\Rightarrow \frac{F_{A1}}{\operatorname{tg} \alpha_1} = \frac{F_{A2}}{\operatorname{tg} \alpha_2} \Rightarrow \frac{I_1 Bl}{\operatorname{tg} \alpha_1} = \frac{I_2 Bl}{\operatorname{tg} \alpha_2} \Rightarrow \frac{I_1}{\operatorname{tg} \alpha_1} = \frac{I_2}{\operatorname{tg} \alpha_2} \end{aligned}$$

Дальше сами.

**Ответ:** 6.



**В10.** Важно понять, что, так как конденсатор и второй резистор соединены параллельно, то напряжение на конденсаторе будет равно напряжению на втором резисторе. Поэтому

$$q = CU_2.$$

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.

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}.$$

Сопротивление  $r$  – внутреннее (собственное) сопротивление источника тока (зависит от внутреннего строения источника). Сопротивление  $R$  – сопротивление нагрузки (внешнее сопротивление цепи). Чтобы найти внешнее сопротивление цепи временно забудем про конденсатор (так как через него ток не идет, мы можем вообще удалить его из цепи) и замкнем ключ. Мы сразу увидим, что резисторы 2 и 3 соединены последовательно. При этом они соединены параллельно с резистором 1. Значит общее внешнее сопротивление равно

$$R = \frac{R_2 R_3 R_1}{R_2 R_3 + R_1} = \frac{(R_2 + R_3) R_1}{R_2 + R_3 + R_1}$$

Найдем силу тока в цепи

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} = \frac{\varepsilon}{\frac{(R_2 + R_3) R_1}{R_2 + R_3 + R_1} + r} = \frac{198}{\frac{60 \cdot 30}{60 + 30} + 2} = 9 \text{ (A)}$$

Зная силу тока в цепи, мы можем найти напряжение на источнике тока

$$U = IR_0 = 9 \cdot 20 = 180 \text{ (Ом)}.$$

Под этим же напряжением будут находиться резисторы 2 и 3. Следовательно, сила электрического тока, идущего через них, равна

$$I = \frac{U_0}{R_2 + R_3} = \frac{180}{60} = 3 \text{ (A)}$$

А теперь найдем напряжение на втором резисторе

$$U_2 = I_{23} R_2 = 3 \cdot 20 = 60 \text{ (В)}$$

Последнее действие сделайте самостоятельно.

**Ответ:** 60.

**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  $\alpha$  меняется со временем по линейному закону

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

где  $\omega$  – 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 дан-

ный переменный ток. Другими словами действующее значение переменного тока есть **СРЕДНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ** переменного тока.

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

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

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

$$P = U_{\text{д}} I_{\text{д}} = I_{\text{д}}^2 R = \frac{U_{\text{д}}^2}{R}.$$

А теперь вернемся к нашей задаче. Нам дано амплитудное значение напряжения. Найдем действующее значение

$$U_{\text{д}} = \frac{U_0}{\sqrt{2}} = \frac{220\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = 220 \text{ (В)}$$

А сейчас найти количество выделившейся теплоты не составит труда (если вы конечно помните тему «Работа электрического тока»)

$$Q = \frac{U^2}{R} \Delta t = \frac{220^2}{100} \cdot 4 \cdot 60 = 116160 \text{ (Дж)} = 116 \text{ кДж}$$

**Ответ:** 116.

**В12.** И как обычно последняя задача самая сложная. В этой задаче мы имеем дуло с колебательным контуром, который состоит из индуктивности  $L$ , емкости  $C$  и двух сопротивлений. После размыкания ключа вся энергия колебательного контура выделится на резисторах. Запишем закон сохранения энергии

$$\frac{LI^2}{2} + \frac{CU^2}{2} = Q_1 + Q_2$$

$Q_1$  и  $Q_2$  – энергия, которая выделяется на первом и втором резисторах. Энергию катушки легко найдем зная силу тока через катушку

$$I = \frac{\varepsilon}{R_0} = \frac{\varepsilon}{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}}$$

Напряжение на конденсаторе будет равно ЭДС источника тока. Теперь разберемся с количеством теплоты, выделяемом на резисторах. По определению

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

Так как напряжение на резисторах и время выделения энергии одинаковое, то

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

Осталось подставить в первое уравнение силу тока и  $Q_2$ . Получим

$$\frac{LI^2}{2} + \frac{CU^2}{2} = Q_1 + Q_2 \Rightarrow \frac{L \left( \frac{\varepsilon}{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}} \right)^2}{2} + \frac{C\varepsilon^2}{2} = Q_1 + Q_1 \frac{R_1}{R_2}$$

Дальше сами.

**Ответ:** 170.