

**Вариант 1**

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18
2	4	2	4	4	1	5	1	1	1	5	5	3	3	2	5	3	3
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12						
5	96	13	26	20	20	30	18	21	10	140	10						

**Вариант 2**

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18
1	3	2	4	2	2	1	1	1	1	4	4	1	4	4	5	5	3
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12						
17	84	23	21	9	14	40	48	25	100	110	11						

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

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

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

2015/2016, 1 этап, первый вариант

**A1.** Для того, чтобы узнать кто самый быстрый, надо перевести все скорости к одной единице измерения. Какой? Решать вам. Это могут быть и метры в секунду и метры в минуту и километры в час. Если у вас есть проблемы с переводом единиц измерения – рекомендую скачать у меня с сайта раздел «Кинематика» (он находится в свободном доступе) и внимательно изучить первый параграф.

**Ответ:** 2.

**A2.** Искомое время будет состоять из двух времен: времени падения камня до дна ущелья и времени движения звука от дна ущелья до ушей мальчика

$$t = t_1 + t_2$$

Время падения камня будет равно (параграф 1.06 из раздела «Кинематика»)

$$t_1 = \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

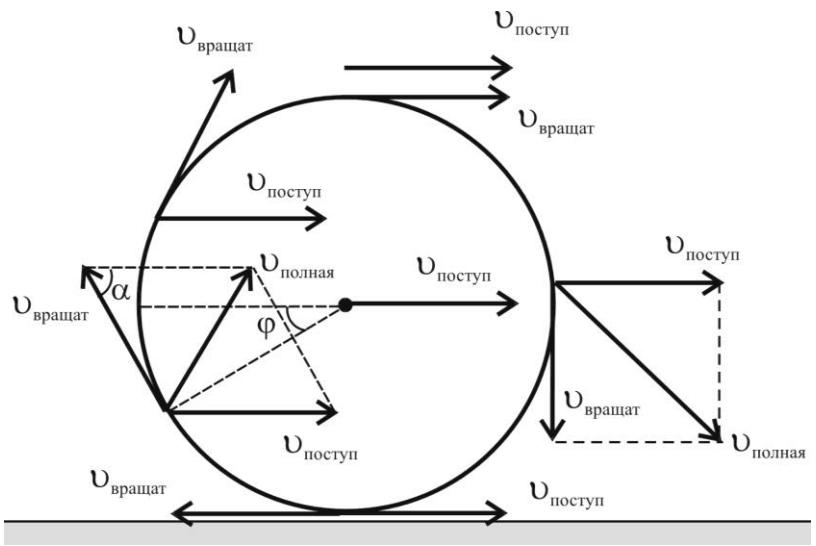
Найти время движения звука еще проще

$$t_2 = \frac{H}{v_{\text{звук}}}$$

Дальше сами.

**Ответ:** 4.

**A3.** При решении задач на вращение колеса (или на движение гусеницы трактора) важно понять следующее. **У каждой точки колеса будет две скорости – скорость вращательного движения и скорость поступательного движения.** Скорость поступательного движения у любой точки колеса будет направлена в сторону движения колеса (так же направлена скорость движения автомобиля на котором стоит наше колесо). Скорость вращательного движения всегда будет направлена по касательной к точке колеса. Внимательно посмотрите на рисунок.



У верхней точки обе скорости направлены горизонтально. Следовательно, скорость верхней точки будет равна

$$v_{\text{верхней точки}} = v_{\text{поступ}} + v_{\text{вращат}} = 2v$$

где  $v$  – скорость движения автомобиля. Вспоминайте как движется гусеница трактора. Верхняя часть гусеницы всегда обгоняет трактор. Почему? Потому что у нее скорость в два раза больше чем у самого трактора.

Рассмотрим теперь нижнюю точку. У нее тоже две скорости. Только скорость вращательного движения будет направлена назад, а скорость поступательного – вперед. Следовательно, скорость нижней точки будет равна

$$v_{\text{нижней точки}} = v_{\text{поступ}} - v_{\text{вращат}} = 0$$

то есть нижняя точка будет покоиться относительно земли. Опять вспомним как движется нижняя часть гусеницы трактора. Она покоится относительно земли! Трактор едет по гусенице как по рельсу!

Полную скорость точек, находящихся на одном уровне с центром колеса (таких точек две – одна справа и одна слева от колеса), мы легко найдем по теореме Пифагора

$$v_{\text{горизонтальной точки}} = \sqrt{v_{\text{поступ}}^2 + v_{\text{вращат}}^2}$$

Скорость произвольной точки найдет по теореме косинусов

$$v_{\text{произвольной точки}} = \sqrt{v_{\text{поступ}}^2 + v_{\text{вращат}}^2 - 2v_{\text{поступ}} v_{\text{вращат}} \cos \alpha}$$

где  $\alpha$  - угол между векторами скоростей, когда они стоят друг за другом. Из рисунка видно, что

$$\alpha = 90^\circ - \varphi$$

В любом случае надо внимательно читать условие задачи и аккуратно находить нужный для теоремы косинусов угол. Дальше сами.

**Ответ:** 2.

**A4.** И опять рекомендую скачать у меня с сайта тему «Кинематика» и прочитать в ней темы 1.06 и 1.13. Ускорение тела будет положительным в те моменты времени, когда проекция скорости тела  $v_x$  будет расти. Этому условию соответствует только точка 4. И не важно, что проекция скорости в этот момент времени отрицательная. Важно то, что значение проекции увеличивается.

**Ответ:** 4.

**A5.** Вспомним теорему о кинетической энергии. Работа  $A$  равнодействующей силы приложенной к телу равна изменению его кинетической энергии

$$A = E_{k2} - E_{k1}$$

Таким образом, любая сила либо увеличивает кинетическую энергию тела, либо пытается ее уменьшить. Увеличивать кинетическую энергию тела может сила тяги автомобиля, сила тяжести при свободном падении тела с некоторой высоты. Уменьшать кинетическую энергию может сила трения, сила тяжести (при броске тела вертикально вверх).

А теперь посмотрим на график и выберем тот участок, где за заданный промежуток времени изменение энергии было максимальным. На участках 1-2, 3-4 и 5-6 кинетическая энергия тела не изменилась. На участке 2-3 кинетическая энергия тела увеличилась на 50 Дж за 2 с, то есть на 25 Дж за 1 секунду. На участке 4-5 кинетическая энергия тела уменьшилась на 30 Дж за 1 секунду. Дальше сами

**Ответ:** 4.

**A6.** Достаточно сложная задача. Внимательно изучите в учебнике тему сообщающиеся сосуды и только потом переходите к разбору данной задачи.

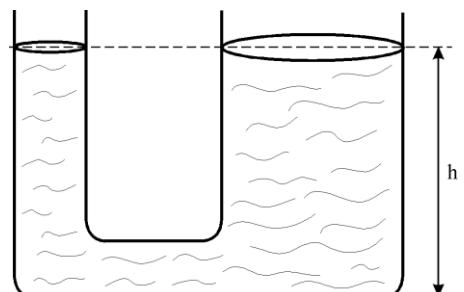
Сообщающимися называют сосуды, имеющие между собой канал, заполненный жидкостью. Пусть в сообщающиеся сосуды налита однородная жидкость. Условие равновесия жидкости заключается в равенстве давлений в сосудах.

$$p_1 = p_2 \Rightarrow \rho_1 gh_1 = \rho_2 gh_2$$

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**

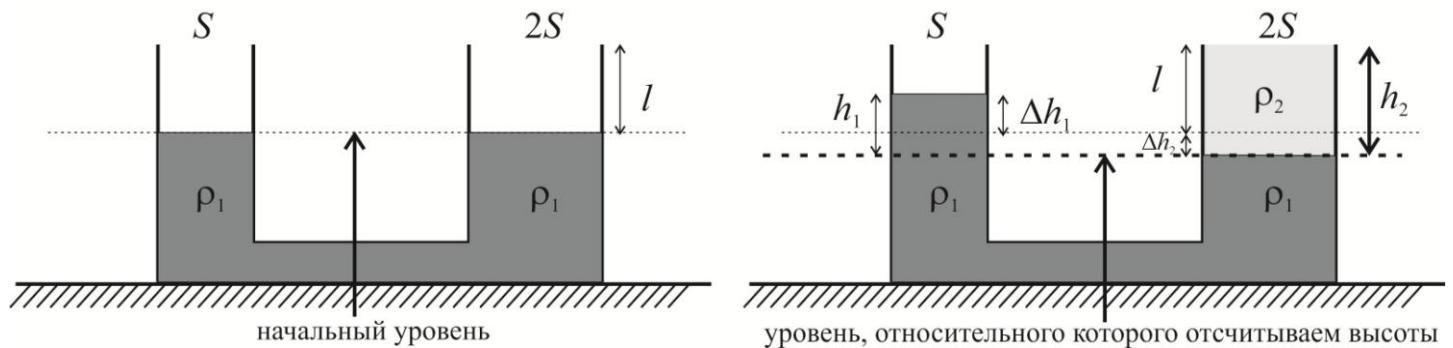


**зависимости от площади поперечного сечения сосудов, так как давление столба жидкости зависит от высоты столба и не зависит от формы сосуда.**

**Если вам встретилась задача на сообщающиеся сосуды, то вы должны:**

1. Сделать рисунок!!!!
2. Выбрать горизонтальный уровень, ниже которого во всех сосудах находится одинаковая жидкость. Если такого уровня нет, то, естественно, за нулевой уровень выбираем дно сосудов.
3. Записать давления относительно этого уровня во всех сосудах и прировнять.
4. При необходимости использовать свойство несжимаемости жидкости (объем жидкости, вытекающей из одного сосуда, равен объему жидкости, втекающей в другой сосуд).

Начинаем решение задачи с рисунка. Даже с двух. Пусть плотность ртути  $\rho_1$ , плотность воды  $\rho_2$ ,  $\Delta h_2$  - на сколько просела ртуть в правом сосуде,  $\Delta h_1$  - на сколько поднялась ртуть в левом сосуде.



При решении задачи мы должны обязательно учитывать тот факт, что **объем вытесненной из правого сосуда жидкости равен объему жидкости, вошедшей в левый сосуд**. Следовательно,

$$2S\Delta h_2 = S\Delta h_1 \Rightarrow 2\Delta h_2 = \Delta h_1$$

Относительно нового уровня, давление, оказываемое жидкостями, будет одинаково

$$\rho_1 gh_1 = \rho_2 gh_2 \quad (1)$$

Так же из рисунка видно, что

$$h_2 = \Delta h_2 + l \quad (2) \text{ и } h_1 = \Delta h_1 + \Delta h_2.$$

Так как  $\Delta h_1 = 2\Delta h_2$  (см. выше), то

$$h_1 = \Delta h_1 + \Delta h_2 = 2\Delta h_2 + \Delta h_2 = 3\Delta h_2 \quad (3)$$

А теперь подставим формулы (2) и (3) в (1). Получаем

$$\rho_1 gh_1 = \rho_2 gh_2 \Rightarrow \rho_1 (3\Delta h_2) = \rho_2 (\Delta h_2 + l)$$

Дальше сами.

**Ответ: 1.**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### СЛЕДСТВИЯ ИЗ ОСНОВНОГО УРАВНЕНИЯ:

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

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

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

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

2. Продолжим игры. Теперь раскроем концентрацию

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

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

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

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

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

Сразу же оговоримся, что далее во всех задачах Вы должны, не задумываясь, **ПЕРЕВОДИТЬ ТЕМПЕРАТУРУ В КЕЛЬВИНЫ ИЗ ГРАДУСОВ ЦЕЛЬСИЯ** (кроме задач на уравнение теплового баланса (тема 7), где вы в основном будете иметь дело с изменением температуры, а не самой температурой), пользуясь простым правилом: **В ГРАДУСАХ ДУМАЮТ ТОЛЬКО АЛКОГОЛИКИ!!!** Это же правило можно, кстати, применять и в кинематике, переводя углы из градусов в радианы.

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

$$k \bullet N_A = R,$$

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

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

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

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

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

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

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

5. Далее

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

6. Мы уже близки к финалу

$$p = n k T = \frac{N}{V} k T.$$

Следовательно,

$$p V = N k T.$$

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

**Ответ: 5.**

**A8.** И опять немного теории. 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

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

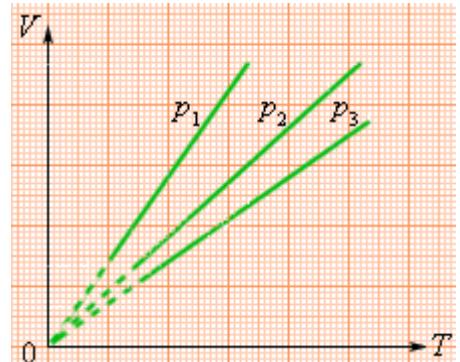
Интерес представляют процессы, в которых один из параметров ( $p$ ,  $V$  или  $T$ ) остается неизменным. Такие процессы называются **изопроцессами**.

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

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

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

где  $V_1$  и  $T_1$  – начальные объем и температура газа,  $V_2$  и  $T_2$  – конечные объем и температура газа. На плоскости ( $V$ ,  $T$ ) изобарные процессы при разных значениях давления  $p$  изображаются семейством прямых линий, которые называются **изобарами**. Большим значениям 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.).



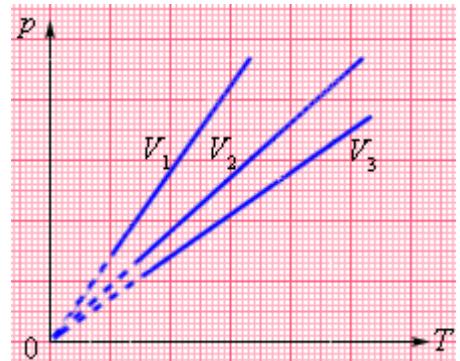
**ПРИМЕНЕНИЕ.** Закон Гей–Люссака применяют, если неизменным остается давление газа. Ищите в задачах слова «газ в сосуде, закрытом ПОДВИЖНЫМ поршнем» или «газ в открытом сосуде». Иногда про сосуд ничего не сказано, но по условию понятно, что он сообщается с атмосферой. Тогда считается, что атмосферное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

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

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



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

На плоскости  $(p, T)$  изохорные процессы для заданного количества вещества  $v$  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  $v$  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 теплонепроводящим поршнем. Наконец, совсем плохо, если про температуру не сказано ничего, но из условия можно предположить, что она не изменяется. Обычно в этом случае ученики применяют закон Бойля–Мариотта от безысходности.

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

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

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

Температурная шкала Кельвина называется **абсолютной шкалой температур**. Она оказывается наиболее удобной при построении физических теорий.

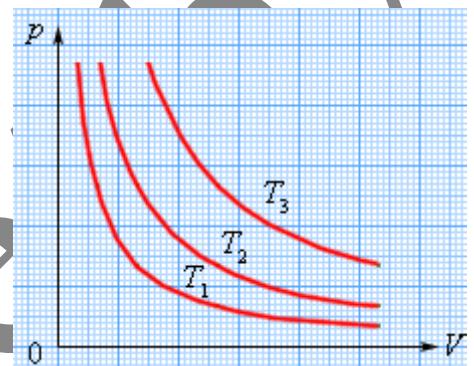
**ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ СЧИТАЙТЕ, ЧТО**

$$T_K = T_C + 273.$$

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

Задачу решите самостоятельно.

**Ответ:** 1.



**A9.** 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, находящихся 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  $N = N_A \frac{m}{M}$  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

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

Дальше опять сами.

**Ответ:** 1.

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

**Ответ:** 1.

**A11.** По современным представлениям, электрические заряды не действуют друг на друга непосредственно. Каждое заряженное тело создает в окружающем пространстве **электрическое поле**. Это поле оказывает силовое действие на другие заряженные тела. Главное свойство электрического поля – действие на электрические заряды с некоторой силой. Таким образом, взаимодействие заряженных тел осуществляется не непосредственным их воздействием друг на друга, а через электрические поля, окружающие заряженные тела. Электрическое поле, окружающее заряженное тело, можно исследовать с помощью так называемого **пробного заряда** – небольшого по величине точечного заряда, который не вносит заметного искажения в исследуемое поле. Для количественной характеристики электрического поля вводится **силовая характеристика поля – напряженность электрического поля**.

Как можно определить напряженность поля и что это такое? Электрическое поле создается только зарядами, следовательно, действует только на заряды. Поэтому для исследования поля в некоторую его точку необходимо поместить пробные заряды и исследовать действие поля на них. Оказывается, что при помещении в одну и ту же точку поля разных зарядов сила, действующая на них со стороны поля, увеличивается пропорционально величине заряда. То есть отношение силы, действующей на заряд, остается неизменным для одной и той же точки поля. Логично предположить, что это отношение представляет собой некую характеристику поля в данной точке.

**Напряженностью электрического поля называют физическую величину  $E$ , равную отношению силы  $F$ , с которой поле действует на положительный пробный заряд  $q_0$ , помещенный в данную точку пространства, к величине этого заряда**

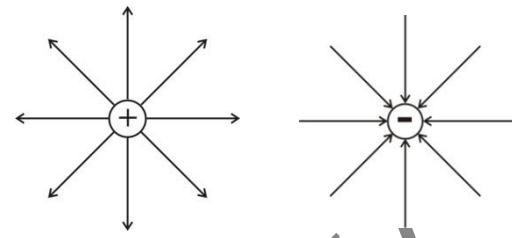
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}.$$

Напряженность электрического поля – векторная физическая величина. Направление вектора  $\vec{E}$  совпадает в каждой точке пространства с направлением силы, действующей на **положительный** пробный заряд. Электрическое поле неподвижных и не меняющихся со временем зарядов называется **электростатическим**.

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

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

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



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

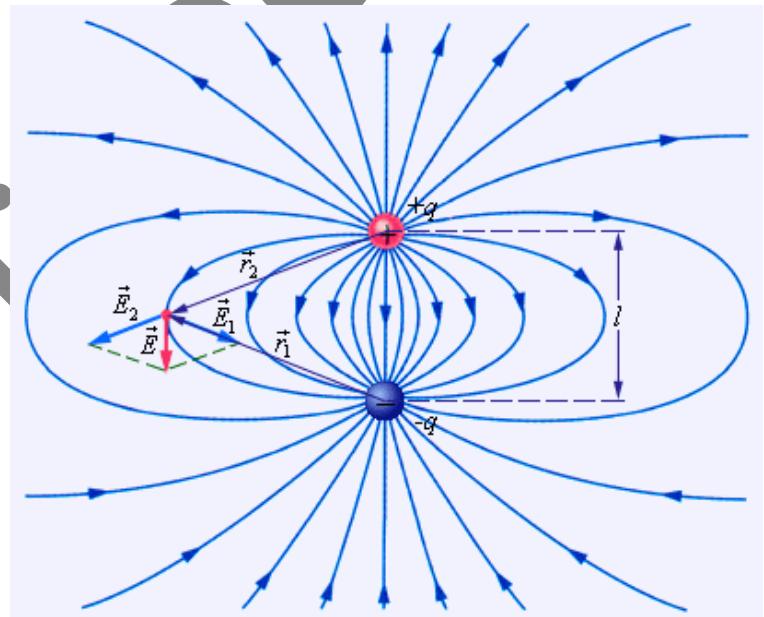
**В кулоновском поле направление вектора  $\vec{E}$  зависит от знака заряда  $Q$ :** если  $Q > 0$  (заряд положителен), то вектор  $\vec{E}$  направлен от заряда, если  $Q < 0$  (заряд отрицателен), то вектор  $\vec{E}$  направлен к заряду (см. рисунки).

Для наглядного представления электрического поля используют **силовые линии**. Эти линии проводятся так, чтобы направление вектора  $\vec{E}$  в каждой точке совпадало с направлением касательной к силовой линии (см. рисунок). Силовые линии обладают следующими свойствами:

- Силовые линии электростатического поля никогда не пересекаются.
- Силовые линии электростатического поля всегда направлены от положительных зарядов к отрицательным. Вообще, в этом состоит один из фундаментальных законов природы (шуточный, конечно). Все стремится от хорошего (положительного) к плохому (отрицательному).
- При изображении электрического поля с помощью силовых линий **их густота должна быть пропорциональна модулю вектора напряженности поля**.

Так как электростатическое поле, создаваемое любой системой зарядов, может быть представлено в виде суперпозиции кулоновских полей точечных зарядов, изображенные на рисунке поля можно рассматривать как элементарные структурные единицы («кирпичики») любого электростатического поля. В качестве примера применения принципа суперпозиции полей на рисунке (см. рисунок выше) изображена картина силовых линий поля **электрического диполя** – системы из двух одинаковых по модулю зарядов разного знака  $q$  и  $-q$ , расположенных на некотором расстоянии  $l$ .

**Ответ:** 5.



**A12.** В проводниках при определенных условиях может возникнуть непрерывное упорядоченное движение свободных носителей электрического заряда. Такое движение называется **электрическим током**. За направление электрического тока принято направление движения положительных свободных зарядов, хотя в большинстве случаев движутся электроны – отрицательно заряженные частицы.

Количественной мерой электрического тока служит **сила тока  $I$  – скалярная физическая величина, равная отношению заряда  $q$ , переносимого через поперечное сечение проводника за интервал**

**времени  $t$ , к этому интервалу времени:**  $I = \frac{q}{t}$ .

Если сила тока и его направление не изменяются со временем, то такой ток называется **постоянным**. Сила тока измеряется амперметром, который включается в цепь **последовательно**. В Международной системе единиц СИ сила тока измеряется в **амперах** (А). 1 А = 1 Кл/с.

А дальше все просто. Смотрим на Амперметр. Записываем значение силы тока. Время переводим в секунды. Расчет сделайте самостоятельно.

**Ответ:** 5.

**A13.** Ниже будет много полезной теории.

Если по двум параллельным проводам идет ток в одном направлении, то они притягиваются. Если в противоположных направлениях, то отталкиваются. Если же рядом с проводом находится магнитная стрелка, то она устанавливается перпендикулярно проводу. Причем при изменении направления тока стрелка разворачивается на 180°. При взаимодействии с дугообразным магнитом проводник может втягиваться в него или выталкиваться в зависимости от направления тока.

При взаимодействии прямого тока с рамкой, по которой течет ток, рамка поворачивается таким образом, чтобы в ближней ее части ток был сонаправлен, а в дальней – противоположен прямому току. При изменении направления тока рамка разворачивается на 180°. Взаимодействие магнита и рамки приводит к установлению плоскости рамки перпендикулярно линии, соединяющей полюса. Взаимодействие рамок с током приводит к тому, что они устанавливаются параллельно, а токи в них – сонаправленно.

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

### МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ТОКА

В пространстве, окружающем движущиеся электрические заряды возникает магнитное поле.

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

*Магнитным* называется *взаимодействие* между движущимися электрическими зарядами.

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

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

### ВЕКТОР МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

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

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

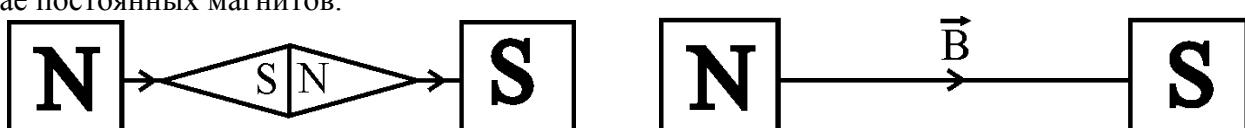
**Вектор магнитной индукции направлен по касательной к силовым линиям, то есть совпадает с направлением северного полюса магнитной стрелки, помещенной в данное магнитное поле.**

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.

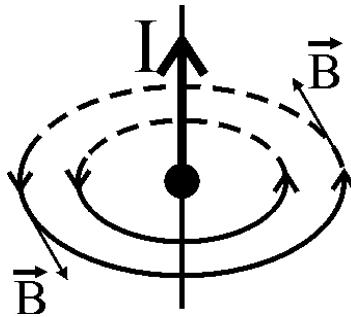
**СИЛОВАЯ ЛИНИЯ НАПРАВЛЕНА ОТ ЮЖНОГО ПОЛЮСА МАГНИТНОЙ СРЕДЫ К СЕВЕРНОМУ, ТО ЕСТЬ ОТ СЕВЕРНОГО ПОЛЮСА МАГНИТА К ЮЖНОМУ.**

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.



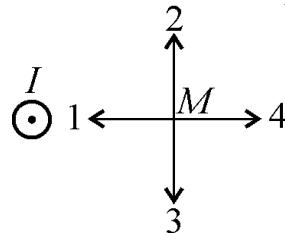
Вектора магнитной индукции направлены по касательной к окружности.

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

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

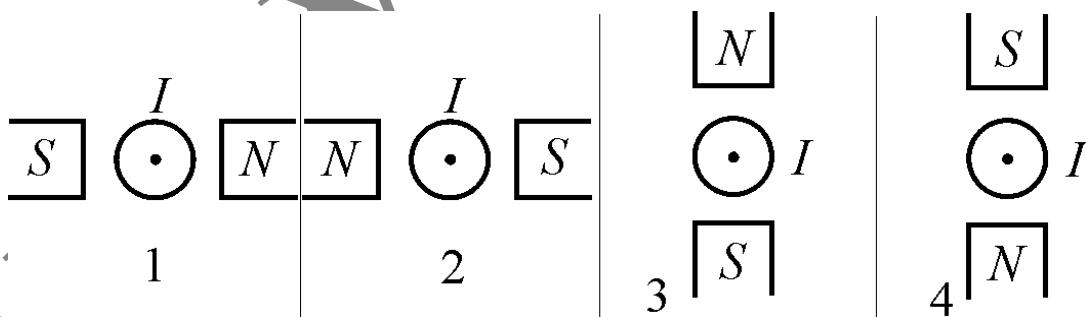
где  $\mu_0$  – магнитная постоянная,  $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$  Гн/м,  $\mu$  – магнитная проницаемость среды.

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



Начертите окружность с центром находящимся на проводнике и проходящую через точку М. Мысленно обхватите проводник с током **правой** рукой так, чтобы большой палец был направлен по току, то есть из плоскости чертежа к нам, а четыре обхватывающих пальца совпадали с окружностью. Мысленно проведем касательную к этой окружности в точке М от запястья к кончикам пальцев. Очевидно, что касательная направлена к точке 2. Кстати, так же будет направлен северный полюс магнитной стрелки, помещенный в точку М.

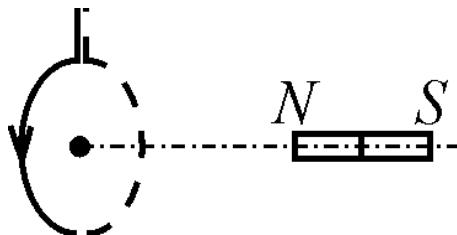
**ПРИМЕР.** На горизонтально расположенный проводник с током действует сила Ампера, направленная вверх вдоль плоскости чертежа. В каком случае показано правильное положение полюсов магнита?



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.

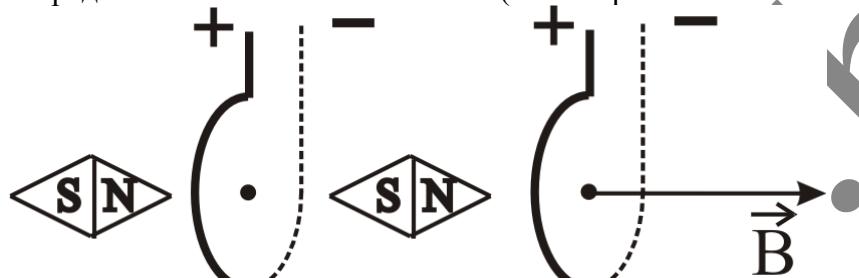
Очевидно, что только рисунок 2 соответствует всем указанным требованиям.

**ПРИМЕР.** Круглый проводящий виток с током, направленным против часовой стрелки, свободно висит на подводящих 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 расположиться 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.

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

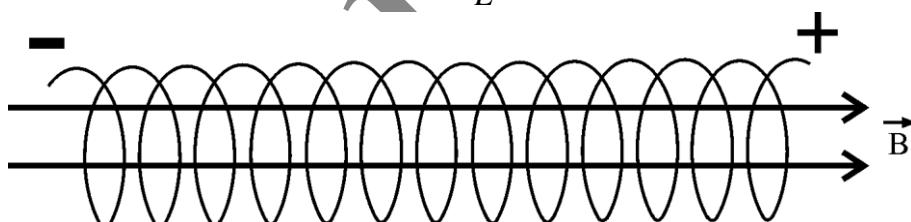


Индукция поля в центре витка радиусом  $R$ :

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

**Соленоид** – намотанный на цилиндрическую поверхность проводник, по которому течет электрический ток. Внешнее магнитное поле соленоида подобно полю прямого постоянного магнита. Внутри соленоида длиной  $L$  и количеством витков  $N$  создается однородное магнитное поле с индукцией:

$$B = \frac{\mu_0 \mu NI}{L}.$$



Линии магнитного поля имеют вид замкнутых линий – это общее свойство всех магнитных линий. Такое поле называют вихревым. В случае постоянных магнитов линии не оканчиваются на поверхности, а проникают внутрь магнита и замыкаются внутри. Это различие электрического и магнитного полей объясняется тем, что, в отличие от электрических, магнитных зарядов не существует.

### МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВА.

Все вещества обладают магнитными свойствами, то есть в любом веществе можно добиться приоритетного направления вращения элементарных токов.

Магнитные свойства вещества характеризуются относительной магнитной проницаемостью  $\mu$ , которую можно рассчитать по формуле:

$$\mu = \frac{F}{F_0},$$

где  $F_0$  – сила магнитного взаимодействия в вакууме,  $F$  – в данной однородной среде.

$$\mu = \frac{B}{B_0}$$

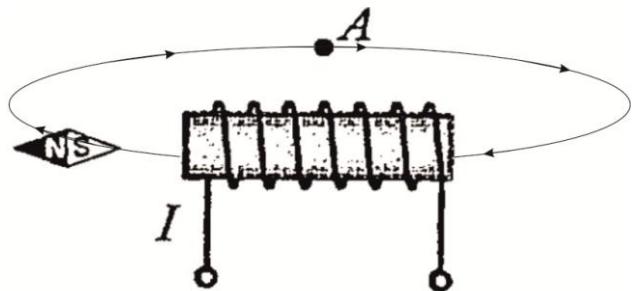
– соответствие вектора магнитной индукции поля в вакууме и в данной среде.

В отличие от электрического, при магнитном взаимодействии в среде можно наблюдать и усиление, и ослабление взаимодействия по сравнению с вакуумом ( $\mu = 1$ ).

У диамагнетиков  $\mu$  немного меньше 1. Примеры: вода, азот, серебро, медь, золото. Эти вещества несколько ослабляют магнитное поле. *Парамагнетики* – кислород, платина, магний – несколько усиливают поле, имея  $\mu$  немного больше 1. У *ферромагнетиков* – железо, никель, кобальт –  $\mu \gg 1$ . У железа  $\mu \approx 25000$ .

А теперь вернемся к нашей задаче. Судя по первоначальному положению магнитной стрелки магнитное поле, создаваемое соленоидом, имеет направление, представленное на рисунке. Ответ очевиден.

**Ответ:** 3.



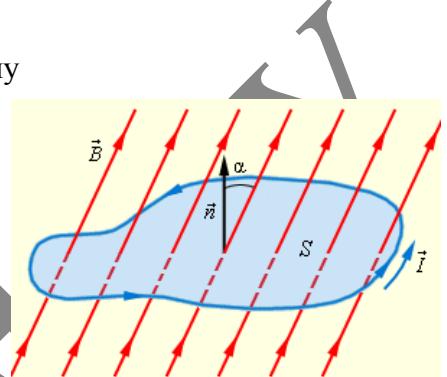
**A14.** Магнитным потоком  $\Phi$  через площадь  $S$  контура называют величину

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

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

Единица магнитного потока в системе СИ называется **вебером** (Вб). Магнитный поток, равный 1 Вб, создается магнитным полем с индукцией 1 Тл, пронизывающим по направлению нормали плоский контур площадью 1 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  $\varepsilon_{\text{инд}}$ , равная скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром, взятой со знаком минус (на знак минус в большинстве задач мы не будем обращать внимание):

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

В нашей задаче менялось значение индукции магнитного поля. Следовательно,

$$\varepsilon_{\text{инд}} = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -\frac{\Delta B \cdot S}{\Delta t} = -\frac{\Delta(B_2 - B_1) \cdot S}{\Delta t}.$$

Дальше как-нибудь сами.

**Ответ:** 3.

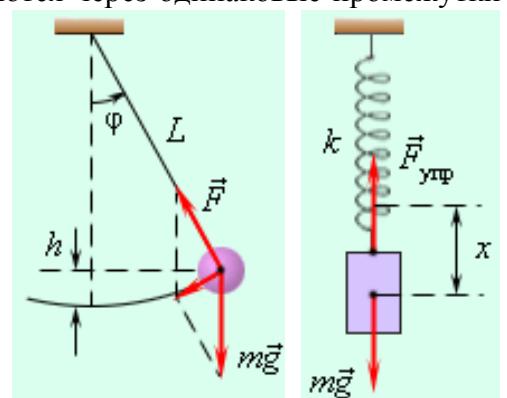
**A15.** На мой взгляд тема «Колебательное движение» одна из самых сложных тем в физике. Поэтому в этой задаче будет достаточно большой кусок теории.

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. Общность колебательных закономерностей позволяет рассматривать колебательные процессы различной природы с единой точки зрения.

**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 совершаются 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 четверть 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

$$x = A \cos(\omega t + \phi_0)$$

или

$$x = A \sin(\omega t + \phi_0).$$

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)

$$\phi = \omega t + \phi_0$$

называется **фазой** гармонического процесса. Если при  $t = 0$ , то  $\phi = \phi_0$ . Поэтому  $\phi_0$  называют начальной фазой. **Начальная фаза определяет положение тела в начальный момент времени.**

**ФАЗА КОЛЕБАНИЙ НИКОМ ОБРАЗОМ НЕ СООТВЕТСТВУЕТ УГЛУ ОТКРОВЕНИЯ МАЯТНИКА ИЗ ПОЛОЖЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ.**

Если при решении задачи вам предстоит самостоятельно записать уравнение колебательного процесса, то надо выбирать его так, чтобы начальная фаза была равна нулю. Если тело начинает движение **из положения равновесия**, то будем пользоваться уравнением

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

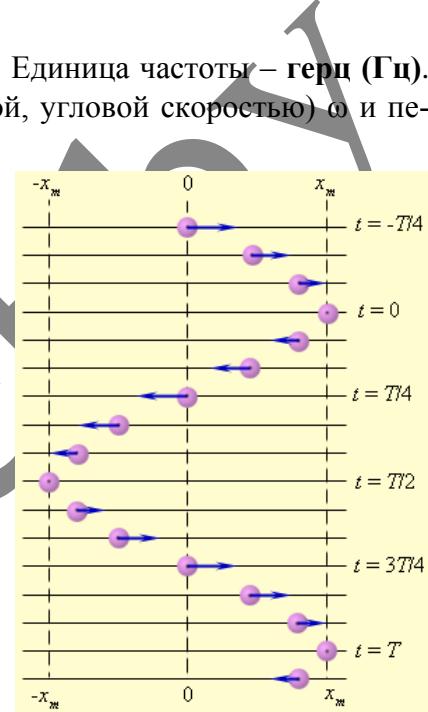
так как при  $t = 0$

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

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

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

так как при  $t = 0$



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

При колебательном движении тела вдоль прямой линии (ось ОХ) вектор скорости направлен всегда вдоль этой прямой. Скорость  $v = v_x$  движения тела определяется выражением

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \text{ при } \Delta t \rightarrow 0 \text{ (то есть за очень малый промежуток времени).}$$

В математике процедура нахождения предела отношения  $\frac{\Delta x}{\Delta t}$  при  $\Delta t \rightarrow 0$  называется **вычислением производной функции**  $x(t)$  по времени  $t$  и обозначается как  $x'(t)$ . Для гармонического закона движения  $x = A \cos(\omega t + \phi_0)$  вычисление производной приводит к следующему результату:

$$v = x'(t) = -A\omega \sin(\omega t + \phi_0).$$

### Максимальное по модулю значение скорости

$$v_{\max} = \omega A$$

**достигаются в те моменты времени, когда тело проходит через положения равновесия** ( $x = 0$ ). Не дружите с производными? Тогда просто выучите формулу наизусть!

А теперь вернемся к задаче. По условию уравнение колебательного движения имеет следующий вид  
 $x = 0,25 \sin(\pi t/2)$ .

Сравним это уравнение с эталонным

$$x = 0,25 \sin(\pi t/2).$$

$$x = A \sin(\omega t + \phi_0).$$

Очевидно, что  $\omega = \frac{\pi}{2}$ . По определению  $\omega = 2\pi\nu$ . Дальше сами.

**Ответ:** 2.

**A16.** Изучив внимательно теорию вы сможете без моей помощи решить эту задачу.

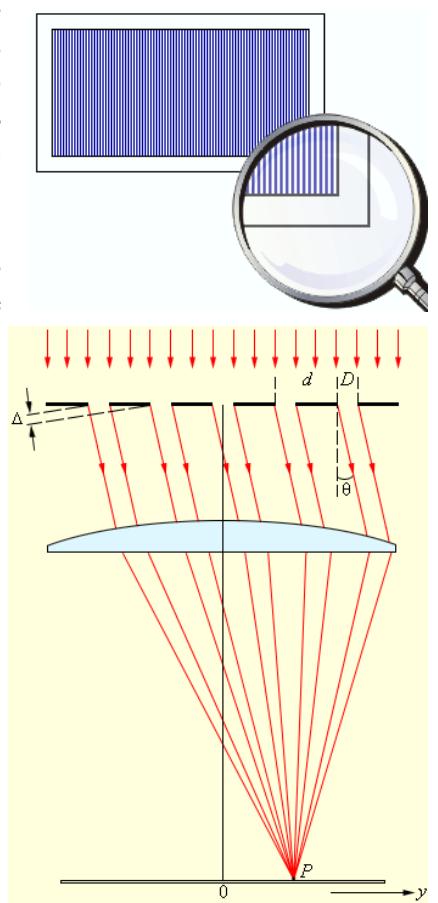
**Дифракцией света** называется явление отклонения света от прямолинейного направления распространения при прохождении вблизи препятствий (огибание светом препятствий). Как показывает опыт, свет при определенных условиях может заходить в область геометрической тени (то есть быть там, где его быть не 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 граммофонной пластинки.

В каждой точке  $P$  на экране в фокальной плоскости линзы собираются 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 макси-**



**мума** ( $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ). 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 ОТВАЕТ!** Надо к 12 прибавить еще 1, так как будет еще и центральный максимум. Значит, полное число максимумов будет 13.

**Ответ:** 5.

**A17.** Эту тему вы еще не проходили в школе. Поэтому лучше поступить следующим образом.

Вариант 1. Дождаться момента, когда вы ее пройдете в школе, и только потом приступать к решению данной задачи.

Вариант 2. Самостоятельно прочитать параграфы школьного учебника по этой теме и только потом приступать к данной задачи.

Какой вариант выбрать решайте сами. Если вы сразу же приступите к разбору данной задачи, то многие моменты для вас могут быть непонятны.

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:

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

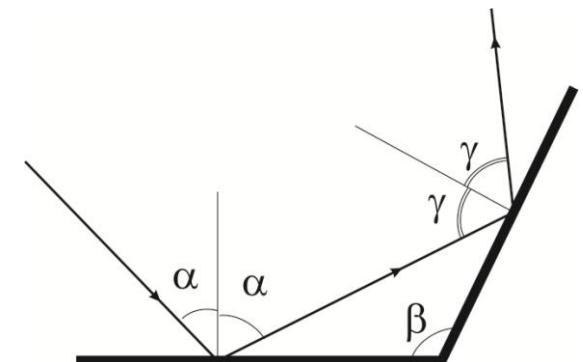
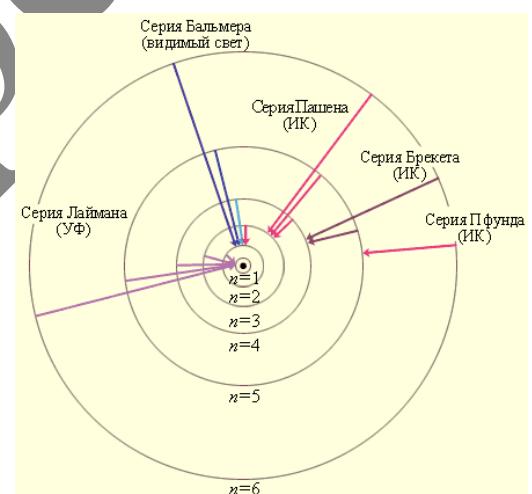
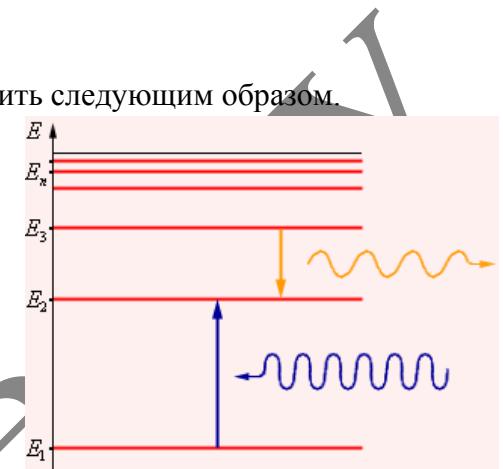
Не лишним будет помнить, что на первом уровне энергия электрона равна **-13,6 эВ**.

Задача решается в одно действие.

**Ответ:** 3.

**A18.** Угол падения равен углу отражения. Этот закон геометрической оптики знают даже двоечники. Сделав подробный рисунок данную задачу сможет решить каждый. Две подсказки. Во-первых, сумма внутренних углов треугольника равна 180 градусов. Во вторых, в точке падения луча восстановлен перпендикуляр.

**Ответ:** 3.



**B1.** И опять я предлагаю вам скачать у меня с сайта раздел «Кинематика». Внимательно изучить параграфы 1.12 и 1.13 вы без проблем решите данную задачу.

**Ответ:** 5.

**B2.** Если вы внимательно изучили параграфы 1.12 и 1.13, то при помощи закона движения вы без труда найдете начальную скорость и ускорение, с которым движется тело. А теперь поговорим немного о работе силы.

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

$$A = FS \cos \alpha$$

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

Всегда важно понять о работе какой именно силы идет речь в задаче. Обратите внимание на рисунок.

На тело действуют 4 силы. Найдем работу каждой из сил.

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

$$A = F_{\text{тяги}} S \cos \alpha.$$

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

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

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

$$A_{\text{тяжести}} = mg S \cos(90^\circ) = 0, A_{\text{реакции опоры}} = N S \cos(90^\circ) = 0.$$

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

Чтобы найти силу тяги, воспользуемся вторым законом Ньютона. На тело (на рисунке это автобус) действуют сила тяжести  $mg$ , сила тяги  $F$ , сила нормальной реакции опоры  $N$  и сила сопротивления движению  $F_{\text{тр}}$ . Из второго закона Ньютона получаем

$$ma = F - F_{\text{тр}},$$

Выражаем силу тяги

$$F = ma + F_{\text{тр}} = ma + \mu mg = m(a + \mu g).$$

Путь, пройденный телом, будет равен

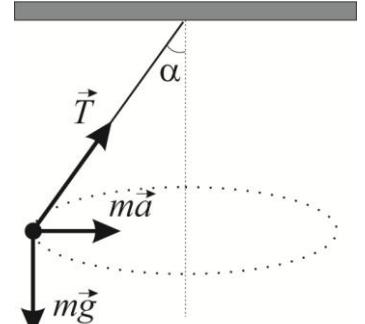
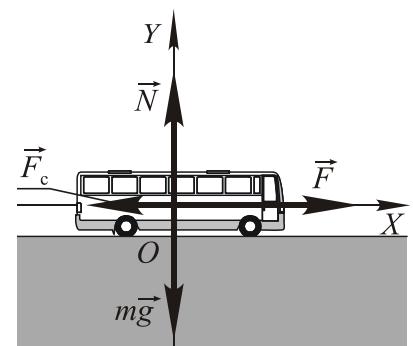
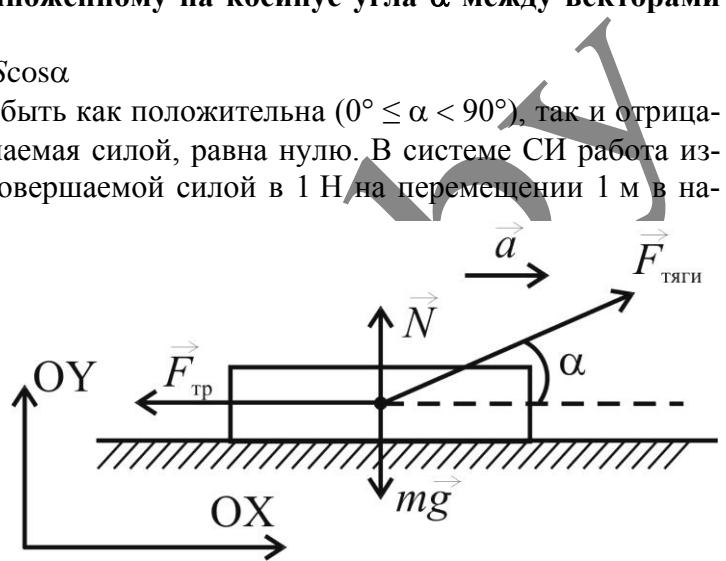
$$S = v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

Подставляя выражения для  $F$  и  $S$  в формулу для работы двигателей, получаем

$$A = FS = m(a + \mu g) \cdot \left( v_0 t + \frac{at^2}{2} \right)$$

**Ответ:** 96.

**B3.** По условию задачи, такое движение шарика представляет собой конический маятник (см. рисунок). Сначала решим задачу классическим способом. На груз действуют две силы: сила тяжести и сила натяжения нити, направленная вдоль нити. Выбрав одну из осей горизонтально (вдоль ускорения), а вторую – вертикально вверх, запишем второй закон Ньютона в проекции на эти оси



$$OX: T \sin \alpha = ma$$

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

Исключив из этих уравнений силу  $T$  (выразим  $T$  из каждого уравнения и приравняем полученные формулы), получим

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{g}$$

По определению, центростремительное ускорение, с которым движется шарик, будет равно

$$a = \frac{v^2}{R} = \frac{\left(\frac{2\pi R}{T}\right)^2}{R} = \frac{4\pi^2 R}{T^2}.$$

Радиус окружности найдем через длину нити и угол, на который она отклонена от вертикали

$$\sin \alpha = \frac{R}{l} \Rightarrow R = l \sin \alpha$$

Окончательно получаем

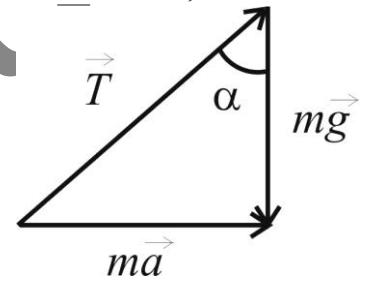
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{g} \Rightarrow \operatorname{tg} \alpha = \frac{4\pi^2 R}{g T^2} \Rightarrow \sin \alpha = \frac{R}{l} \Rightarrow \operatorname{tg} \alpha = \frac{4\pi^2 l \sin \alpha}{g T^2} \Rightarrow l = \frac{g T^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha}{4\pi^2 \sin \alpha} = \frac{g T^2}{4\pi^2 \cos \alpha}$$

Есть еще один способ решения. На мой взгляд, более простой и удобный. К сожалению, его можно применять только к малому количеству задач по динамике. Нарисуем треугольник сил действующих на тело. Угол  $\alpha$  будет равен углу между вертикалью и нитью. Из треугольника сил найдем  $\operatorname{tg} \alpha$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{ma}{mg} = \frac{a}{g}.$$

Дальше аналогично первому способу. В итоге мы получаем ответ, аналогичный предыдущему решению. Какое решение запоминать решать вам.

**Ответ:** 13.



**B4.** На мой взгляд, эту задачу можно отнести к разряду нерешаемых. Сейчас узнаете почему. Только сначала рассмотрим аналогичную задачу.

Пусть навстречу тяжелой плите, которая движется со скоростью  $v$ , движется легкий шарик массой  $m$  со скоростью  $U_1$ . Так как импульс шарика много меньше импульса плиты, то после удара скорость плиты не изменится, и она будет продолжать движение с той же скоростью и в том же направлении. В результате упругого удара, шарик отлетит от плиты.

**ЗДЕСЬ ВАЖНО ПОНЯТЬ, ЧТО НЕ ПОМЕНЯЕТСЯ СКОРОСТЬ ШАРИКА ОТНОСИТЕЛЬНО ПЛИТЫ.**

До удара скорость шарика относительно плиты  $U_1 + v$  (движение навстречу), а после удара  $U_2 - v$  (движение в одном направлении). Приравняем относительные скорости

$$U_1 + v = U_2 - v.$$

Получаем

$$U_2 = U_1 + 2v,$$

то есть скорость шарика после удара увеличивается на удвоенную скорость стены.

Например, в настольном теннисе, скорость шарика после удара увеличивается на удвоенную скорость ракетки. Аналогичное рассуждение используйте, если до удара шарик и плита двигались в одном направлении. Получится, что скорость шарика уменьшается на удвоенную скорость стены  $U_2 = U_1 - 2v$ .

Вернемся к нашей задаче. Начальная кинетическая энергия шарика равна

$$E_1 = \frac{mv_1^2}{2}.$$

Конечная

$$E_2 = \frac{mv_2^2}{2}$$

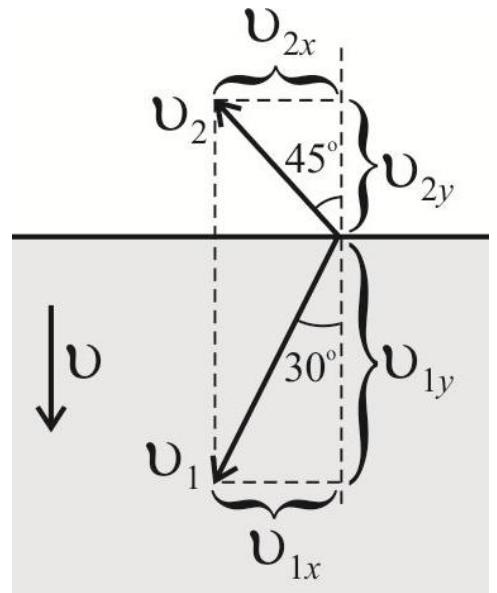
Разделим второе уравнение на первое, чтобы исключить массу шарика, которая не дана нам по условию задачи. Получим

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{\frac{mv_2^2}{2}}{\frac{mv_1^2}{2}} = \frac{v_2^2}{v_1^2} \Rightarrow E_1 = E_2 \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^2$$

Таким образом, чтобы найти конечную кинетическую энергию нам надо будет найти отношение конечной и начальной скорости шарика. Кстати, исходя из примера выше, сразу делаем вывод о том, что конечная скорость шарика будет меньше начальной, так как шарик и плита двигались в одну сторону до удара.

Сделаем пояснительный рисунок. В нашем случае начальная и конечная скорости направлены под некоторым углом к вертикали. Раскладываем эти скорости на две составляющие – вертикальную и горизонтальную. Так как никакого взаимодействия в горизонтальной плоскости не происходит, то горизонтальные составляющие будут равны

$$v_{2x} = v_{1x}.$$



Удар происходит в вертикальной плоскости. Применим рассуждения аналогичные рассуждениям выше. Относительная скорость плиты и шарика до удара равна  $v_{1y} - v$ . После удара  $v_{2y} + v$ . Эти скорости равны. Так как  $v_{2y} = v_2 \cos 45^\circ$  и  $v_{1y} = v_1 \cos 30^\circ$ , то

$$v_{1y} - v = v_{2y} + v \Rightarrow v_1 \cos 30^\circ - v = v_2 \cos 45^\circ + v \Rightarrow v_1 = \frac{v_2 \cos 45^\circ + 2v}{\cos 30^\circ}$$

Все! Приплыли! Мы не знаем скорость плиты, поэтому и не сможем найти соотношение скоростей. Значит, мы пошли не в том направлении. С самого начала решения задачи мы работали только с вертикальной составляющей скорости. Какая еще составляющая есть? Горизонтальная! Мы даже записали

$$v_{2x} = v_{1x}.$$

Раскроем каждую из этих скоростей

$$v_2 \sin 45^\circ = v_1 \sin 30^\circ \Rightarrow \frac{v_2}{v_1} = \frac{\sin 30^\circ}{\sin 45^\circ} \Rightarrow \frac{v_2}{v_1} = \frac{\frac{1}{2}}{\frac{\sqrt{2}}{2}} \Rightarrow \frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \sqrt{2}$$

Подставляем это соотношение в формулу для конечной кинетической энергии

$$E_1 = E_2 \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^2 = 13 (\sqrt{2})^2 = 26 \text{ (Дж)}.$$

Я специально не убрал рассуждения, касающиеся вертикальной составляющей скорости. Этим я хотел показать Вам, что не всегда стандартные методы решения приведут к правильному ответу. Иногда то, на что мы не обращаем внимания при решении задачи и считаем несущественным, и будет ключиком к правильному решению.

**Ответ: 26.**

**B5.** Используем теорию из задачи А7. Давление газа в сосуде можно найти по формуле

$$p = \frac{N}{V} kT \Rightarrow N = \frac{pV}{kT}$$

Мы нашли количество частиц, при котором давление в баллоне будет равно давлению, данному по условию задачи. Таким образом, промежуток времени, за который в баллон поступит необходимое количество частиц, будет равен

$$\Delta t = \frac{N}{\Delta N} = \frac{\frac{pV}{kT}}{\frac{\Delta N}{\Delta N}} = \frac{pV}{kT \Delta N}$$

**Ответ: 20.**

**B6.** Если в результате теплообмена телу передается некоторое количество теплоты, то внутренняя энергия тела и, естественно, его температура изменяются. Количество теплоты  $Q$ , необходимое для нагревания 1 кг вещества на 1 К называют **удельной теплоемкостью вещества**  $c$ .

$$Q = cm(t_2 - t_1) = cm\Delta t.$$

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

Единица измерения удельной теплоемкости вещества

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

**Физический смысл УДЕЛЬНОЙ теплоёмкости вещества:** она показывает, какое количество теплоты надо сообщить телу массой 1 кг, чтобы нагреть его на один градус.

Например, теплоемкость воды 4200 Дж/кг<sup>0</sup>С, следовательно для того чтобы нагреть 1 кг воды на 1 градус надо затратить 4200 Дж энергии. Чем больше теплоемкость тела, тем медленней оно нагревается, и, естественно, тем медленней тело остывает.

Если  $t_2 > t_1$ , то  $Q > 0$  – тело нагревается (получает тепло). Если  $t_2 < t_1$ , то  $Q < 0$  – тело охлаждается (отдает тепло). Произведение массы тела на его теплоемкость называется **ТЕПЛОЕМКОСТЬЮ ТЕЛА**.

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

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

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

А дальше все просто. Главное правильно прочитать график

$$c = \frac{Q}{m\Delta t} = \frac{150 \text{ Дж}}{1 \text{ кг} \cdot |2,5 - 10| \text{ }^{\circ}\text{C}} = 20 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{ }^{\circ}\text{C}}$$

**Ответ:** 20.

**B7.** Пусть  $Q_{12}$  – количество теплоты, которое получает газ при изобарном процессе,  $Q_{23}$  – количество теплоты, которое получает газ при изохорном нагревании. Общее количество теплоты, переданное газу, будет равно

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

Теплота, переданная газу при изобарном нагревании, идет на работу газа и на увеличение его внутренней энергии

$$Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12} = \frac{5}{2} p_1 (V_2 - V_1)$$

При изохорном переходе вся теплота идет на увеличение внутренней энергии газа

$$Q_{23} = \Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2)$$

Из уравнения состояния идеального газа  $pV = \nu RT$  найдем  $T_2$  и  $T_3$

$$T_2 = \frac{p_1 V_2}{\nu R}, \quad T_3 = \frac{p_2 V_2}{\nu R},$$

Подставим эти значения в формулу выше

$$Q_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) = \frac{3}{2} \nu R \left( \frac{p_2 V_2}{\nu R} - \frac{p_1 V_2}{\nu R} \right) = \frac{3}{2} V_2 (p_2 - p_1)$$

Окончательно получаем

$$Q = Q_{12} + Q_{23} = \frac{5}{2} p_1 (V_2 - V_1) + \frac{3}{2} V_2 (p_2 - p_1)$$

Осталось выразить начальный объем  $V_1$  и вычислить его. Это вы должны сделать самостоятельно.

**Ответ:** 30.

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

Было выяснено, что радиоактивные ядра могут испускать частицы трех видов: положительно заряженные, отрицательно заряженные и нейтральные. Эти три вида излучений были названы  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучениями.

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

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

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

Через время равное периоду полураспада распадается половина исходного количества радиоактивного вещества. Например, было 50 грамм радиоактивного вещества. Через период полураспада останется 25 грамм. Еще через период полураспада останется 12,5 грамм и так далее. То есть происходит постоянное деление пополам оставшегося количества нераспавшегося вещества.

Рисунок графически иллюстрирует закон радиоактивного распада.

Период полураспада – основная величина, характеризующая скорость радиоактивного распада. Чем меньше период полураспада, тем интенсивнее протекает распад. Так, для урана  $T \approx 4,5$  млрд лет, а для радия  $T \approx 1600$  лет. Поэтому активность радия значительно выше, чем урана. Существуют радиоактивные элементы с периодом полураспада в доли секунды.

А теперь читаем условие задачи. В нашем случае промежуток времени равен двум периодам полураспада. Используя рассуждения, которые были приведены выше, самостоятельно решите задачу. Не помните, что нам надо найти массу распавшегося вещества!

**Ответ:** 18.



**B9.** При перемещении электрических зарядов по цепи постоянного тока сторонние силы, действующие внутри источников тока, совершают работу.

**Физическая величина, равная отношению работы  $A_{ct}$  сторонних сил при перемещении заряда  $q$  от отрицательного полюса источника тока к положительному к величине этого заряда, называется электродвижущей силой источника (ЭДС):**

$$\varepsilon = \frac{A_{ct}}{q}.$$

Таким образом, ЭДС определяется работой, совершаемой сторонними силами при перемещении единичного положительного заряда. Электродвижущая сила, как и разность потенциалов, измеряется в **вольтах (В)**.

**Закон Ома для полной (замкнутой) цепи:** сила тока в замкнутой цепи равна электродвижущей силе источника, деленной на общее (внутреннее + внешнее) сопротивление цепи.

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

Сопротивление  $r$  – **внутреннее (собственное) сопротивление источника тока** (зависит от внутреннего строения источника). Сопротивление  $R$  – **сопротивление нагрузки** (внешнее сопротивление цепи). Если переписать формулу в несколько ином виде, то

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

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

$$\varepsilon \approx U_R.$$

**ЭДС И ВНУТРЕННЕЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ИСТОЧНИКА НЕ МЕНЯЮТСЯ, ПРИ ПОДКЛЮЧЕНИИ РАЗНЫХ НАГРУЗОК. ЭТО НАДО УЧИТЬ В ПРИРЕШЕНИИ ЗАДАЧ!!!**

Если сопротивление нагрузки равно нулю (источник замыкается сам на себя) или много меньше сопротивления источника ( $r \gg R$ ), то тогда в цепи потечет **ток короткого замыкания**

$$I_{ks} = \frac{\varepsilon}{r}.$$

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

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

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

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

$$A = UI\Delta t.$$

Используя закон Ома для участка цепи, получаем:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

И опять у нас три формулы

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

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

Максимальная мощность тока достигается когда внутреннее сопротивление источника тока равно сопротивлению цепи (внешнему сопротивлению).

Для начала запишем закон Ома для полной цепи

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

При этом при ток короткого замыкания равен

$$I_{ks} = \frac{\varepsilon}{r} \Rightarrow r = \frac{\varepsilon}{I_{ks}}$$

Подставим значение внутреннего сопротивления источника в закон Ома для полной цепи и найдем ЭДС

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} = \frac{\varepsilon}{R + \frac{\varepsilon}{I_{ks}}} \Rightarrow I \left( R + \frac{\varepsilon}{I_{ks}} \right) = \varepsilon \Rightarrow IR + \varepsilon \frac{I}{I_{ks}} = \varepsilon \Rightarrow IR = \varepsilon \left( 1 - \frac{I}{I_{ks}} \right) \Rightarrow \varepsilon = \frac{IR}{1 - \frac{I}{I_{ks}}}$$

Зная ЭДС мы легко найдем внутреннее сопротивление источника.

Максимальная мощность будет равна

$$P_{\max} = I_{\max}^2 R = \left( \frac{\varepsilon}{R+r} \right)^2 R = \left( \frac{\varepsilon}{2r} \right)^2 r = \frac{\varepsilon^2}{4r}.$$

Осталось только подставить значение ЭДС и внутреннего сопротивления источника

**Ответ:** 21.

**B10.** Для описания магнитного поля необходимо ввести **силовую** характеристику поля, аналогичную вектору **напряженности**  $\vec{E}$  электрического поля. Такой характеристикой является вектор  $\vec{B}$  магнитной индукции. В системе единиц СИ за единицу магнитной индукции принята 1 тесла (Тл).

Если в магнитное поле с индукцией  $B$  поместить проводник длиной  $\Delta l$  с током  $I$ , то на него будет действовать сила

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

Это соотношение принято называть **законом Ампера**.

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

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

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

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

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

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

Решать задачи этой темы надо как в динамике, то есть расписать силы по осям координат или складывая силы по правилам векторов. **При этом не напрягайтесь, если Вы не понимаете, что такое магнитная индукция. Пусть, пока, это будет основная характеристика магнитного поля, измеряемая в Теслах (Тл).**

На данный проводник действуют сила тяжести, результирующая сила упругости двух нитей и сила Ампера, под действием которых нити отклоняются на угол  $\alpha$  от вертикали. В установленвшемся режиме проводник будет находиться 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

$$F_A = BIl.$$

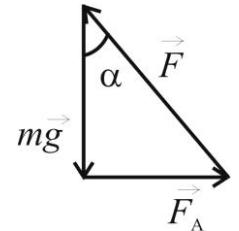
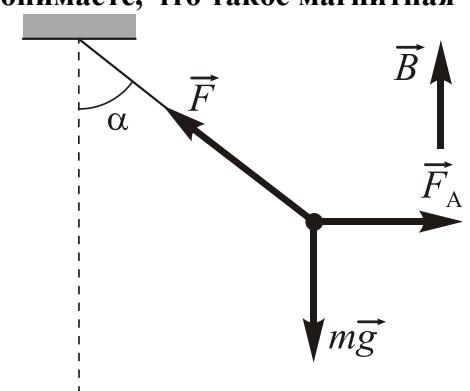
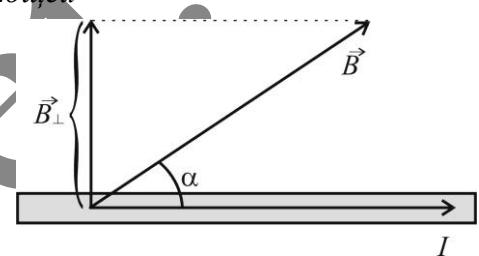
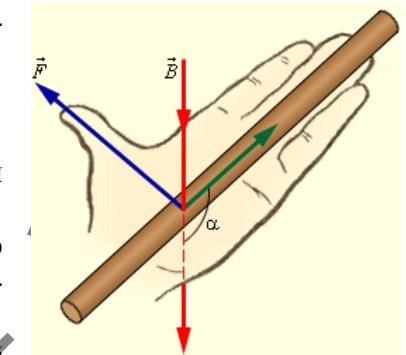
Так как три силы, действующие на проводник, образуют прямоугольный треугольник (см. нижний рисунок), то

$$\tan \alpha = \frac{F_A}{mg} = \frac{IBl}{mg} \Rightarrow m = \frac{IBl}{g \tan \alpha}.$$

**Ответ:** 10.

**B11.** Мгновенное значение любой физической величины, это значение физической величины в определенный момент времени. Просто подставим данные в условии задачи значения в уравнение зависимости силы тока от времени и вычислим мгновенное значение силы тока

$$I = I_0 \cos \left( \frac{4\pi}{5}t - \frac{\pi}{15} \right) = 280 \cdot \cos \left( \frac{4\pi}{5} \cdot 0,5 - \frac{\pi}{15} \right) = 280 \cdot \cos \left( \frac{6\pi}{15} - \frac{\pi}{15} \right) = 280 \cdot \cos \left( \frac{\pi}{3} \right) = 140 \text{ мА.}$$



**Ответ:** 140.

**B12.** На мой взгляд, эта самая сложная и самая спорная задача в тесте.

Рассмотрим что происходит в цепи, когда ключ находится в положении 1. Так как через конденсатор не может идти постоянный ток, то ток в цепи отсутствует. При этом конденсатор будет заряжен. Напряжение на конденсаторе будет равно ЭДС источника  $U_1 = \varepsilon_1$  (напряжение на резисторе равно нулю, ведь тока нет). Заряд конденсатора будет равен  $q_1 = CU_1 = C\varepsilon_1$ . При этом на верхней пластине конденсатора будет положительный заряд.

А теперь переведем ключ в положении 2. Конденсатор начнет разряжаться до нуля (обратите внимание на второй источник; его отрицательный полюс подключен к положительно заряженной пластине конденсатора). После того, как конденсатор разрядится, он начнет заряжаться заново. При этом теперь уже на нижней пластине у него будет положительный заряд.

Когда процесс зарядки прекратится на конденсаторе будет напряжение, равно ЭДС второго источника  $U_2 = \varepsilon_2$ . При этом заряд конденсатора будет равен  $q_2 = CU_2 = C\varepsilon_2$ .

Второй источник тока совершает работу  $A$  при перезарядке конденсатора. Количество теплоты, которое выделяется в цепи, будет равно

$$Q = A + W_1 - W_2 = \varepsilon_2(q_2 - (-q_1)) + \frac{CU_1^2}{2} - \frac{CU_2^2}{2} = \varepsilon_2(C\varepsilon_2 + C\varepsilon_1) + \frac{C\varepsilon_1^2}{2} - \frac{C\varepsilon_2^2}{2} = \frac{C}{2}(\varepsilon_2 + \varepsilon_1)^2.$$

Потери будут происходить как на резисторе  $R$ , так и на источнике тока. Сила тока через второй источник и сила тока через резистор в любой момент времени будут равны. Запишем закон Джоуля-Ленца для внешнего сопротивления  $R$  и внутреннего  $r$  и разделим уравнения друг на друга

$$\frac{Q_R}{Q_r} = \frac{I^2 R \Delta t}{I^2 r \Delta t} = \frac{R}{r} \Rightarrow Q_r = Q_R \frac{r}{R}$$

С другой стороны

$$Q = Q_R + Q_r = Q_r \cdot \frac{R+r}{R}$$

Окончательно получаем

$$Q_R = Q \cdot \frac{R}{R+r} = \frac{C(\varepsilon_2 + \varepsilon_1)^2}{2} \cdot \frac{R}{R+r}.$$

**Ответ:** 10.

## А ТЕПЕРЬ ПОДВЕДЕМ ИТОГИ!!!

На мой взгляд, задачи 3 и 6 из А части и задачи 2, 3, 7, 9, 10 из Б части были средней сложности. Задачи Б9 и Б11 были просто сложными. Очень сложными были задачи Б4 и Б12.

Всего в тесте было 30 задач. Таким образом, около 20 задач теста решаются тупо в лоб. То есть для их решения достаточно хорошо знать только формулы и уметь мыслить логически. От вас не требуется глубокого понимания физических явлений и процессов. Поэтому если вы на первом этапе набрали меньше 50 баллов стоит пересмотреть свое отношение к подготовке к ЦТ по физике.