

Вариант 1

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18
4	2	5	3	5	1	1	5	3	2	4	1	1	3	1	5	1	2
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12						
80	47	70	24	75	31	20	56	900	13	2	10						

Вариант 2

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18
4	3	4	5	4	5	4	5	5	2	2	5	1	4	2	1	2	2
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12						
10	6	13	30	80	27	25	48	560	63	10	40						

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

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

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

2015/2016, 3 этап, первый вариант

A1. Именно для решения таких задач надо хорошо знать теорию.

Ответ: 4.

A2. Скачиваем у меня с сайта тему «Кинематика» и внимательно читаем параграф 1.12.

Подставим значения коэффициентов в уравнение движения $x = A + Bt = -5 + 2,5t$. Найдем координату точки в момент времени 0 секунд и 2 секунды

$$t = 0 \text{ с} \Rightarrow x = -5 \text{ (м)}, \quad t = 2 \text{ с} \Rightarrow x = -5 + 2,5 \cdot 2 = 0 \text{ (м)}$$

Смотрим на графики и выбираем тот, который проходит через эти две точки.

Ответ: 2.

A3. Практически у этой задачи есть несколько способов решения. В данном случае я покажу вам два способа решения. Первый – стандартный. Второй – для жуликов. Однако для начала предлагаю вам прочитать тему «Средняя скорость» из главы «Кинематика».

Способ 1. По определению средняя скорость равна

$$\langle v \rangle = \frac{L_1 + L_2}{t_1 + t_2}$$

По условию задачи $L_1 = \frac{L}{3}$ и $L_2 = \frac{2L}{3}$. Время движения на участках равно

$$t_1 = \frac{L_1}{v_1} = \frac{\frac{1}{3}L}{v_1} = \frac{L}{3v_1} \quad \text{и} \quad t_2 = \frac{L_2}{v_2} = \frac{\frac{2}{3}L}{v_2} = \frac{2L}{3v_2}$$

Подставим эти значения в формулу для средней скорости

$$\langle v \rangle = \frac{\frac{L}{3} + \frac{2L}{3}}{\frac{L}{3v_1} + \frac{2L}{3v_2}} = \frac{L}{L \left(\frac{1}{3v_1} + \frac{1}{3v_2} \right)} = \frac{1}{\frac{v_2 + 2v_1}{3v_1v_2}} = \frac{3v_1v_2}{v_2 + 2v_1}$$

Выразим скорость на первом участке

$$\langle v \rangle (v_2 + 2v_1) = 3v_1v_2 \Rightarrow \langle v \rangle v_2 + 2v_1 \langle v \rangle = 3v_1v_2 \Rightarrow \langle v \rangle v_2 = 3v_1v_2 - 2v_1 \langle v \rangle \Rightarrow v_1 = \frac{\langle v \rangle v_2}{3v_2 - 2\langle v \rangle} 25 \left(\frac{\text{км}}{2} \right)$$

Способ 2. Пусть $L = 300$ км. Тогда $L_1 = 100$ км, $L_2 = 200$ км. Подставим эти значения в формулу для средней скорости. Так же подставим значение средней скорости и скорости на втором участке

$$\langle v \rangle = \frac{L}{\frac{L_1}{v_1} + \frac{L_2}{v_2}} \Rightarrow 37,5 = \frac{300}{\frac{100}{v_1} + \frac{200}{50}} \Rightarrow 37,5 \left(\frac{100}{v_1} + 4 \right) = 300 \Rightarrow \frac{100}{v_1} + 4 = 8 \Rightarrow \frac{100}{v_1} = 4 \Rightarrow v_1 = 25$$

Мы получили точно такой же ответ. Какой способ выбрать – решать вам.

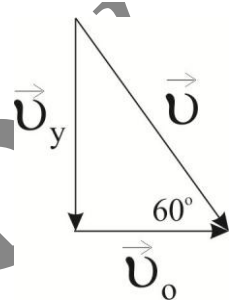
Ответ: 5.

A4. И опять рекомендую скачать у меня с сайта тему «Кинематика» и прочитать в ней тему «Горизонтальный бросок». Делаем небольшой пояснительный рисунок. Найдем v_y . По определению тангенса

$$\operatorname{tg} 60^\circ = \frac{v_y}{v_0} \Rightarrow v_y = v_0 \operatorname{tg} 60^\circ = v_0 \sqrt{3}$$

Высота, с которой был брошен камень, равна пройденному по вертикали пути

$$H = \frac{gt^2}{2} = \frac{g \left(\frac{v_y}{g} \right)^2}{2} = \frac{v_y^2}{2g} = \frac{(v_0 \sqrt{3})^2}{2g} = \frac{3v_0^2}{2g}$$



Ответ: 3.

A5. Импульсом (количеством движения) тела называют физическую векторную величину, являющуюся количественной характеристикой поступательного движения тел. Импульс обозначается $\vec{p}$. Импульс тела равен произведению массы тела на его скорость: $\vec{p} = m\vec{v}$.

Направление вектора импульса $\vec{p}$ совпадает с направлением вектора скорости тела (направлен по касательной к траектории при криволинейном движении). Единица измерения импульса – кг•м/с. При взаимодействии тел **импульс** одного тела может частично или полностью передаваться другому телу.

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

Этот фундаментальный закон природы называется **законом сохранения импульса**. Следствием его являются **законы Ньютона**. Второй закон Ньютона: $\vec{F} \Delta t = \Delta \vec{p}$. Если $\vec{F} = 0$, то

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

то есть если на тело или систему тел не действуют **ВНЕШНИЕ** силы или результирующая этих сил равна нулю, то **изменение импульса (А НЕ САМ ИМПУЛЬС)** тоже равно нулю. То есть импульс тела (или суммарный импульс системы тел) не изменяется. Аналогично это можно применить для равенства нулю **проекции силы** на выбранную ось. Если

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

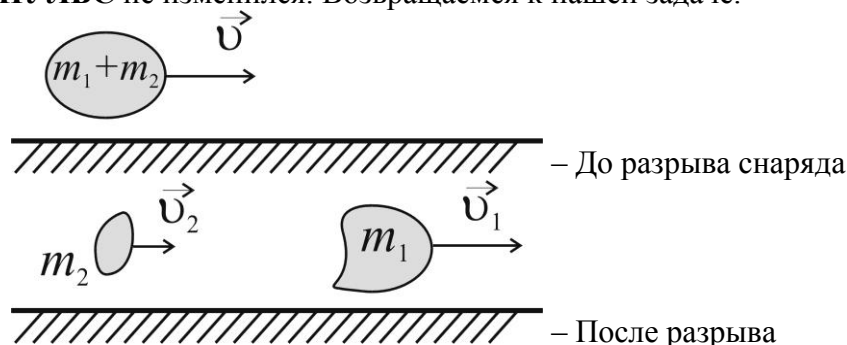
где p_{1x} – проекция импульса на ось OX в начальный момент времени, p_{2x} – в конечный.

При этом сами импульсы могут меняться, а их сумма остается постоянной.

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

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

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



Запишем закон сохранения импульса и найдем скорость первого осколка

$$m_0 v_0 = m_1 v_1 + m_2 v_2 \Rightarrow m_1 v_1 = m_0 v_0 - m_2 v_2 \Rightarrow v_1 = \frac{m_0 v_0 - m_2 v_2}{m_1} = \frac{20 \cdot (10 + 5) - 5 \cdot 90}{10} = -15 \text{ м/с}$$

Нет ничего страшного в том, что мы получили отрицательную скорость. Просто первый осколок после разрыва снаряда полетит не в первоначальном направлении, а в обратную сторону. То есть мы не правильно указали направление его движения.

Ответ: 5.

А6. Давлением называется скалярная физическая величина, равна отношению модуля силы F действующей **перпендикулярно** поверхности, к площади S этой поверхности $p = \frac{F}{S}$. В системе СИ давление измеряется в **паскалях (Па)**: $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$

Давление жидкости на дно или боковые стенки сосуда, в котором она находится, зависит от высоты столба жидкости в этом сосуде. Сила давления на дно цилиндрического сосуда высотой h и площадью основания S равна весу столба жидкости mg , где $m = \rho V = \rho h S$ – масса жидкости в сосуде, ρ – плотность жидкости. Следовательно

$$p = \frac{F}{S} = \frac{mg}{S} = \frac{\rho h S g}{S} = \rho g h.$$

Обратите внимание, что оказываемое давление **НИКОИМ ОБРАЗОМ НЕ ЗАВИСИТ ОТ ФОРМЫ СОСУДА, А ЗАВИСИТ ТОЛЬКО ОТ РОДА ЖИДКОСТИ (ПЛОТНОСТИ) И ВЫСОТЫ СТОЛБА ЖИДКОСТИ**. Например, давление на дно в этих сосудах одинаково. А дальше все просто

$$p = \frac{F}{S} \Rightarrow F = pS = \rho g h S.$$

Высоты одинаковые. Площади основания тоже.

Ответ: 1.

А7. 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** $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$ – объединенный газовый закон.

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

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

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

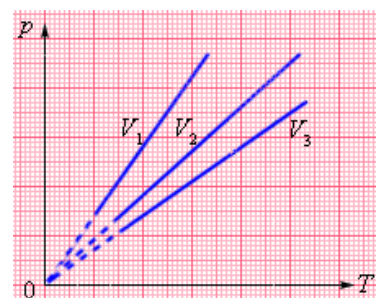
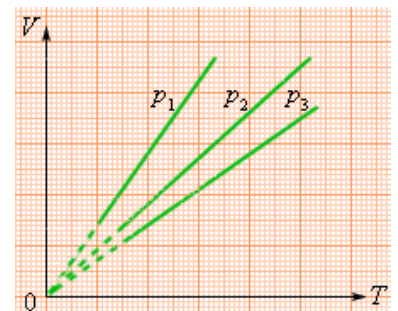
$$\frac{V}{T} = \text{const} \quad \text{или} \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad \text{или} \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2},$$

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 значения давления соответствуют изобары с меньшим углом наклона к оси температур (см. график, $p_3 > p_2 > p_1$). Зависимость объема газа от температуры при неизменном давлении была экспериментально исследована французским физиком Ж. Гей-Люссаком (1862 г.).

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

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

Изохорный процесс – это процесс нагревания или охлаждения газа при



постоянном объеме V и при условии, что количество вещества ν в сосуде остается неизменным. Как следует из уравнения состояния идеального газа, при этих условиях давление газа p изменяется прямо пропорционально его абсолютной температуре: $p \sim T$ или

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

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

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

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

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

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

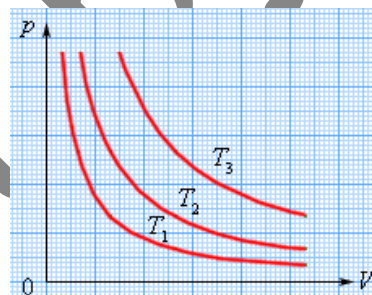
По условию задачи нас просят найти участок, где с газом происходит избранное расширение. Это значит, что при постоянном давлении увеличивается объем газа. Выбор сделайте самостоятельно.

Ответ: 1.

А8. 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 вто-



рой 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. Начинаю 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 ρ – плотность газа, $m = N m_0$ – масса всего вещества.

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

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

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**

$$k \cdot N_A = R,$$

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:

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

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

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

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

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

При решении задач по этой теме **внимательно читайте условие задачи и выбирайте наиболее подходящую под условие формулу.**

$$p = \frac{N}{V} kT \Rightarrow T = \frac{pV}{Nk} = \frac{414 \cdot 50}{5 \cdot 10^{24} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23}} = 300 \text{ K} = 27^\circ \text{C}$$

Ответ: 5.

A9. Пусть газ находится в сосуде, закрытом подвижным поршнем. Давление газа равно внешнему давлению p , так как поршень подвижен. Это давление будет постоянно. Пусть газ расширяется. Например, его нагрели. По определению, работа силы равна

$$A = F \Delta l.$$

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

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

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

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

Так как при переходе из первого состояния во второе давление при постоянном объеме уменьшилось в три раза, то и температура уменьшилась в три раза. Так как процесс изохорный, то

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \Rightarrow \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_1}{3T_2} \Rightarrow T_2 = \frac{T_1}{3}.$$

Работа на участке 1–2 равна нулю, так как объем газа не менялся. Работа на участке 2–3 равна

$$A_{2-3} = \nu R \Delta T = \nu R (T_3 - T_2) = \nu R \left(T_3 - \frac{T_1}{3} \right) = \nu R \frac{2T_3}{3}.$$

Ответ: 3.

A10. Электрические заряды взаимодействуют друг с другом и с электрическим полем. Любое взаимодействие описывается потенциальной энергией. Потенциальная энергия взаимодействия **двух** точечных электрических зарядов рассчитывается по формуле

$$W = k \frac{q_1 q_2}{r}.$$

Обратите внимание на отсутствие модулей у зарядов!!! Для разноименных зарядов энергия взаимодействия имеет отрицательное значение. Такая же формула справедлива и для энергии взаимодействия равномерно заряженных сфер и шаров. Как обычно, в этом случае расстояние r измеряется между центрами шаров или сфер. По формуле $W \sim \frac{1}{r}$. А теперь найдем график такой зависимости.

Ответ: 2

A11. Не знаете ответ? Бегом учить теорию.

Ответ: 4

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

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

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

Проводники, подчиняющиеся закону Ома, называются **линейными**. Графическая зависимость силы тока I от напряжения U (такие графики называются **вольт-амперными характеристиками**, сокращенно ВАХ) изображается прямой линией, проходящей через начало координат. Следует отметить, что существует много материалов и устройств, не подчиняющихся закону Ома. Например, полупроводниковый диод или газоразрядная лампа. Даже у металлических проводников при достаточно больших токах наблюдается отклонение от линейного закона Ома, так как **электрическое сопротивление металлических проводников растет с ростом температуры**.

Проводники в электрических цепях можно соединять двумя способами: **последовательно и параллельно**. У каждого способа есть свои закономерности.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ

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

$$I_1 = I_2 = I.$$

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

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

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

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

где R – электрическое сопротивление всей цепи. Отсюда следует:

$$R = R_1 + R_2.$$

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

Этот результат справедлив для любого числа последовательно соединенных проводников

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

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

$$R_0 = n \cdot R.$$

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ

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

$$U_1 = U_2 = U.$$

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

$$I = I_1 + I_2.$$

Этот результат следует из того, что в точках разветвления токов (узлы А и В) в цепи постоянного тока не могут накапливаться заряды. Например, к узлу А за время Δt подтекает заряд $I\Delta t$, а утекает от узла за то же время заряд $I_1\Delta t + I_2\Delta t$. Следовательно, $I = I_1 + I_2$.

Записывая на основании закона Ома

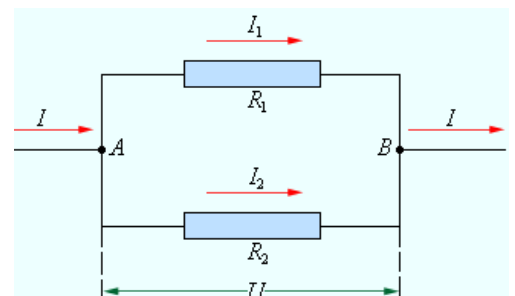
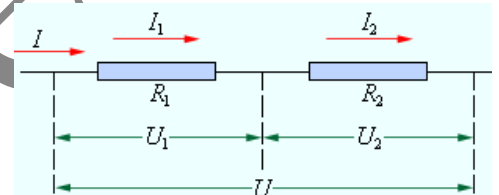
$$I_1 = \frac{U}{R_1}, \quad I_2 = \frac{U}{R_2}, \quad I = \frac{U}{R},$$

где R – электрическое сопротивление всей цепи, получим

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

или (после приведения к общему знаменателю)

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



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

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

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

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

ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ УДОБНО ПОЛЬЗОВАТЬСЯ СЛЕДУЮЩИМИ СООТНОШЕНИЯМИ:
для последовательного соединения

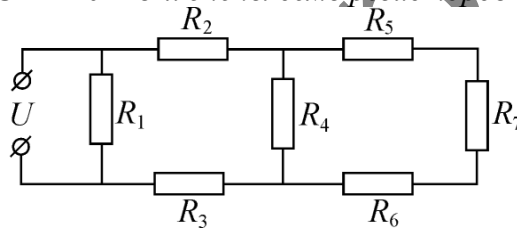
$$I_1 = I_2 \Rightarrow \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2};$$

для параллельного соединения

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

Формулы для последовательного и параллельного соединения проводников позволяют во многих случаях рассчитывать сопротивление сложной цепи, состоящей из многих резисторов. Давайте рассмотрим пример решения задачи по данной теме. **Это очень важный пример!!! Вам необходимо понять логику рассуждений при решении такого типа задач!!!**

ПРИМЕР. В цепь напряжением $U = 220$ В включены семь резисторов так, как показано на схеме.



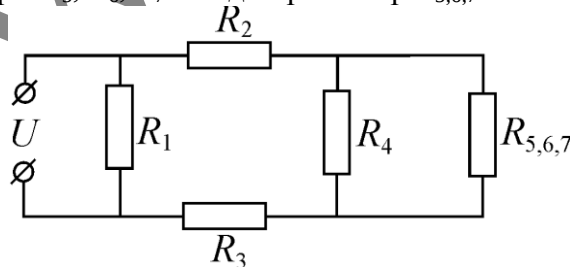
Найдите напряжение на резисторе R_5 , если $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = R_7 = 4$ Ом.

Решим задачу в общем виде и рассчитаем сопротивления, токи, напряжения на каждом участке цепи.

Резисторы R_5, R_6, R_7 – соединены последовательно и их общее сопротивление равно

$$R_5 + R_6 + R_7 = R_{5,6,7}.$$

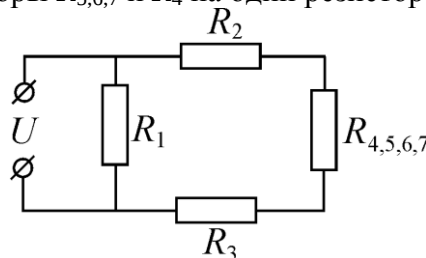
Свернем цепь, заменив резисторы R_5, R_6, R_7 на один резистор $R_{5,6,7}$.



$R_{5,6,7}$ и R_4 – соединены параллельно (у них общее начало и конец) и, поэтому, их общее сопротивление

$$R_{4,5,6,7} = \frac{R_{5,6,7} \cdot R_4}{R_{5,6,7} + R_4}.$$

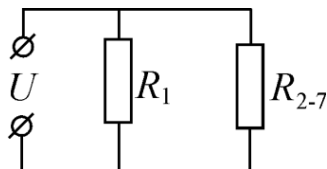
Опять свернем цепь, заменив резисторы $R_{5,6,7}$ и R_4 на один резистор $R_{4,5,6,7}$.



$R_2, R_3, R_{4,5,6,7}$ – соединены последовательно и, поэтому, их общее сопротивление

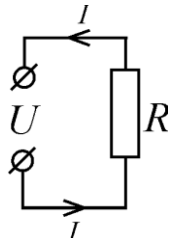
$$R_{2-7} = R_2 + R_3 + R_{4,5,6,7}.$$

Тогда



Полное сопротивление цепи

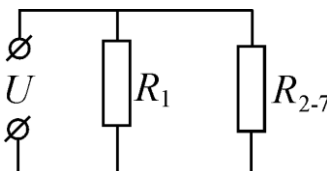
$$R = \frac{R_1 \cdot R_{2-7}}{R_1 + R_{2-7}}.$$



Тогда полная сила тока в цепи

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

Теперь будем разворачивать цепь назад.



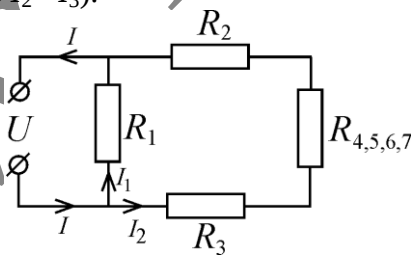
Напряжение на резисторе R_1 равно U и поэтому

$$I_1 = \frac{U}{R_1}.$$

Так как резисторы R_1 и R_{2-7} параллельны, то сила тока в неразветвленной части цепи равна сумме сил токов через резисторы R_1 и R_{2-7} , то есть

$$I = I_1 + I_{2-7}.$$

Силы тока I и I_1 мы уже нашли, найдём ток I_{2-7} . Продолжаем разворачивать цепь. Через резисторы R_2 и R_3 идёт ток I_{2-7} (будем его обозначать $I_2 = I_3$).



Тогда напряжение на резисторе R_2 равно

$$U_2 = I_2 R_2,$$

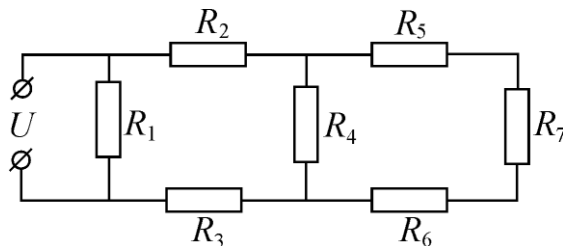
напряжение на резисторе R_3 равно

$$U_3 = I_3 R_3.$$

Напряжение на резисторах $R_{4,5,6,7}$ равно

$$U - U_2 - U_3 = U_4.$$

Полностью развернём цепь.



Тогда сила тока через резистор R_4 равна

$$I_4 = \frac{U_4}{R_4}.$$

Тогда сила тока через резисторы R_5, R_6, R_7 равна

$$I_5 = I_6 = I_7 = \frac{U_4}{R_5 + R_6 + R_7},$$

а напряжение на резисторах

$$U_5 = I_5 R_5, U_6 = I_6 R_6, U_7 = I_7 R_7.$$

Произведём вычисления для данной задачи и получим $U_5 = 20 \text{ В}$.

Возвращаемся к нашей задаче. По свойству параллельного соединения проводников напряжение на резисторах 1 и 2 будет одинаковым

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

Используя закономерности последовательного и параллельного соединения проводников для напряжения выразим неизвестное сопротивление. Общий ток в цепи будет равен

$$I = I_1 + I_2 = I_2 \frac{R_2}{R_1} + I_2$$

Так как $U = U_2 + U_3$, то

$$U = I_2 R_2 + \left(I_2 \frac{R_2}{R_1} + I_2 \right) R_3$$

А теперь выразим из последнего уравнения неизвестное сопротивление

$$I_2 R_2 + I_2 \frac{R_2}{R_1} R_3 = U - I_2 R_3 \Rightarrow R_2 \left(I_2 + I_2 \frac{R_3}{R_1} \right) = U - I_2 R_3 \Rightarrow R_2 = \frac{U - I_2 R_3}{I_2 \left(1 + \frac{R_3}{R_1} \right)}$$

Ответ: 1.

A13. Сила Ампера, действующая на отрезок проводника длиной Δl с силой тока I , находящийся в магнитном поле B равна

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

Сила Ампера действует на большое количество заряженных частиц. Она может быть выражена через силы, действующие **НА ОТДЕЛЬНЫЕ НОСИТЕЛИ ЗАРЯДА**. Пусть концентрация носителей свободного заряда в проводнике есть n , а q – заряд носителя. Тогда произведение $nqvS$, где v – модуль скорости упорядоченного движения носителей по проводнику, а S – площадь поперечного сечения проводника, равно току, текущему по проводнику: $I = qnvS$. Выражение для силы Ампера можно записать в виде:

$$F = qnS\Delta l v B \sin \alpha.$$

Так как полное число N носителей свободного заряда в проводнике длиной Δl и сечением S равно $nS\Delta l$, то сила, действующая на одну заряженную частицу, равна

$$F_{\text{л}} = \frac{F_A}{N} = \frac{qnS\Delta l v B \sin \alpha}{nS\Delta l} = qvB \sin \alpha \text{ или } F_{\text{л}} = qvB \sin \alpha.$$

Эту силу называют **силой Лоренца**. Угол α в этом выражении равен углу между скоростью движения заряженной и **вектором магнитной индукции**. Направление силы Лоренца, действующей на **ПОЛОЖИТЕЛЬНО** заряженную частицу, так же, как и направление силы Ампера, может быть найдено по **правилу левой руки**. Для отрицательно заряженной частицы направление силы будет строго противоположное. Сила Лоренца направлена перпендикулярно векторам скорости и индукции магнитного поля. Угол α в нашем случае равен 180 градусов. Подставьте это значение в формулу для силы Лоренца и сделайте вывод.

Ответ: 1.

A14. Изменение любой величины равно разности между конечным и начальным значение величины

$$\Delta \Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = 4 - 1 = 3.$$

Ответ: 3.

A15. Математическим маятником называют тело небольших размеров, подвешенное на тонкой нерастяжимой нити, масса которой пренебрежимо мала по сравнению с массой тела. В положении равновесия, когда маятник висит по отвесу, сила тяжести уравнивается силой натяжения нити. При отклонении маятника из положения равновесия на некоторый угол φ появляется касательная (направленная по касательной к дуге окружности по которой будет двигаться тело) составляющая силы тяжести, которая заставляет тело вернуться в положение равновесия. Отклоняя тело от положения равновесия и затем отпуская его мы заставим его совершать колебательное движение.

Период колебаний математического маятника находится по формуле $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$. Значит частота колебаний будет равна

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \Rightarrow \nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{l}}$$

Начальная и конечная частота колебаний будет равны

$$\nu_1 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{l_1}} \quad \text{и} \quad \nu_2 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{l_1 - \Delta l}}$$

По условию задачи, после того, как нить укоротили, частота увеличилась в два раза. Следовательно,

$$\nu_2 = 2\nu_1 \Rightarrow \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{l_1 - l}} = 2\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{l_1}} \Rightarrow \frac{1}{\sqrt{l_1 - \Delta l}} = \frac{2}{\sqrt{l_1}} \Rightarrow \sqrt{l_1} = 2\sqrt{l_1 - \Delta l} \Rightarrow l_1 = 4(l_1 - \Delta l) \Rightarrow l_1 = \frac{4\Delta l}{3}$$

Ответ: 1.

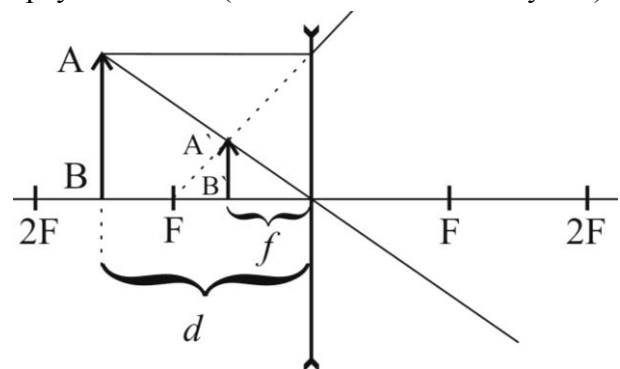
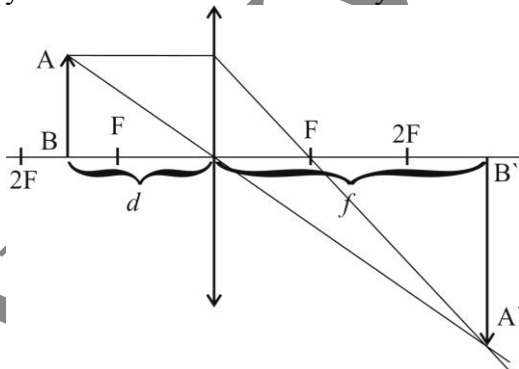
A16. Дисперсия света (разложение света) – это совокупность явлений, обусловленных зависимостью абсолютного показателя преломления вещества от частоты (или длины волны) света. Чем больше частота света (длина волны при этом меньше), тем больше показатель преломления для данной световой волны и тем больше свет отклоняется от первоначального направления распространения.

Ответ: 5.

A17. Положение изображения относительно линзы можно рассчитать с помощью **формулы тонкой линзы**. Если расстояние от предмета до линзы обозначить через d , а расстояние от линзы до изображения через f , то формулу тонкой линзы можно записать в виде:

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

Формулу тонкой линзы можно получить из подобия треугольников (но делать мы это не будем).



Величину D , обратную фокусному расстоянию, называют **оптической силой** линзы. Единица измерения оптической силы является 1 **диоптрия** (дптр). Диоптрия – оптическая сила линзы с фокусным расстоянием 1 м: $1 \text{ дптр} = \text{м}^{-1}$.

ПРАВИЛА ЗНАКОВ. Фокусным расстояниям линз принято приписывать определенные знаки:

для собирающей линзы $F > 0$, для рассеивающей $F < 0$.

Величины d и f также подчиняются определенному правилу знаков:

$d > 0$ для действительных предметов (то есть реальных источников света, а не продолжений лучей, сходящихся за линзой)

$f > 0$ – для действительных изображений;

$f < 0$ – для мнимых изображений.

Для случая, изображенного на первом рисунке, имеем: $F > 0$ (линза собирающая), $d > 0$ (действительный предмет). По формуле тонкой линзы получим, что $f > 0$, следовательно, изображение действительное.

В случае, изображенном на втором рисунке, $F < 0$ (линза рассеивающая), $d > 0$ (действительный предмет), $f < 0$, то есть изображение мнимое.

В зависимости от положения предмета по отношению к линзе изменяются линейные размеры изображения. **Линейным увеличением** линзы Γ называют отношение линейных размеров изображения h' и предмета h . Величине h' , удобно приписывать знаки плюс или минус в зависимости от того, является изображение прямым или перевернутым. Величина h всегда считается положительной. Поэтому для прямых изображений $\Gamma > 0$, для перевернутых $\Gamma < 0$. Из подобия треугольников легко получить формулу для линейного увеличения тонкой линзы: $\Gamma = \frac{h'}{h} = \frac{f}{d}$. Во многих оптических приборах свет последо-

вательно проходит через две или несколько линз. Изображение предмета, даваемое первой линзой, служит предметом (действительным или мнимым) для второй линзы, которая строит второе изображение предмета. Это второе изображение также может быть действительным или мнимым. Расчет оптической системы из двух тонких линз сводится к двукратному применению формулы линзы, при этом расстояние d_2 от первого изображения до второй линзы следует положить равным величине $l - f_1$, где l – расстояние между линзами. Рассчитанная по формуле линзы величина f_2 определяет положение второго изображения и его характер ($f_2 > 0$ – действительное изображение, $f_2 < 0$ – мнимое изображение). Общее линейное увеличение Γ системы из двух линз равно произведению линейных увеличений обеих линз: $\Gamma = \Gamma_1 \cdot \Gamma_2$. Если предмет или его изображение находятся в бесконечности, то линейное увеличение утрачивает смысл.

При решении задач помните:

1. У линзы два фокуса – передний (обычно с этой же стороны расположен предмет, то есть справа) и задний.
2. Расстояние от предмета до линзы – d .
3. Расстояние от линзы до изображения (или до экрана) – f .
4. Если на место одной линзы поставили другую, не изменив при этом начального положения предмета, то $d_1 = d_2 = d$.
5. Если линза помещена между предметом и экраном и это расстояние равно L , то $d + f = L$.
6. Если линза собирающая, то $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$.
7. Если линза рассеивающая, то $\frac{1}{d} - \frac{1}{f} = -\frac{1}{F}$.
8. Если при решении задачи вам не дана оптическая сила и ее не надо находить, то можете решать задачу считая все расстояния в см. Если же наоборот – обязательно переводите все расстояния в метры.

В этой задаче есть небольшой подвох. В условии задачи ничего не сказано о том, где находится изображение предмета и мы не знаем какой знак ставить в формуле тонкой линзы перед f . Поэтому вам надо самостоятельно разместить предмет между фокусом и собирающей линзой и построить его изображение. Сделав это вы сможете определить тип изображения. В нашем случае изображение будет мнимым и мы должны поставить минус перед f . Записываем формулу тонкой линзы

$$\frac{1}{F} = \frac{-1}{f} + \frac{1}{d} \Rightarrow \frac{1}{d} = \frac{1}{F} + \frac{1}{f} = \frac{f + F}{F \cdot f} \Rightarrow d = \frac{F \cdot f}{f + F} = \frac{5 \cdot 10}{10 + 5} = \frac{50}{15} = \frac{10}{3} \text{ (см)}$$

Увеличение предмета будет равно

$$\Gamma = \frac{f}{d} = \frac{10}{\frac{10}{3}} = 3.$$

Ответ: 1.

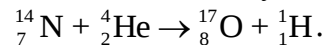
A18. Для характеристики атомных ядер вводится ряд обозначений. Число протонов, входящих в состав атомного ядра, обозначают символом Z и называют **зарядовым числом** или атомным номером (это порядковый номер в периодической таблице Менделеева). Заряд ядра равен Ze , где e – элементарный за-

ряд. Число нейтронов обозначают символом N . Общее число нуклонов (то есть протонов и нейтронов) называют **массовым числом** A : $A = Z + N$. Ядра химических элементов обозначают символом ${}^A_Z X$, где X – химический символ элемента. Например, ${}^1_1 H$ – водород, ${}^0_{-1} e$ – электрон, ${}^0_{+1} e$ – позитрон (электрон, имеющий положительный заряд), ${}^4_2 He$ – гелий (α -частица), ${}^{16}_8 O$ – кислород, ${}^{12}_6 C$ – углерод, ${}^{238}_{92} U$ – уран. Как определять число протонов и нейтронов. На примере урана ${}^{238}_{92} U$ – число протонов $N_p = Z = 92$, число нейтронов $N_n = A - Z = 238 - 92 = 146$.

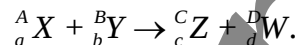
Ядра одного и того же химического элемента могут отличаться числом нейтронов. Такие ядра называются **изотопами**. У большинства химических элементов имеется несколько изотопов. Например, у водорода три изотопа: ${}^1_1 H$ – обычный водород, ${}^2_1 H$ – дейтерий и ${}^3_1 H$ – тритий. У углерода – 6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

Ядерная реакция – это процесс взаимодействия атомного ядра с другим ядром или элементарной частицей, сопровождающийся изменением состава и структуры ядра и выделением вторичных частиц или γ -квантов. В результате ядерных реакций могут образовываться новые радиоактивные изотопы, которых нет на Земле в естественных условиях.

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



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



Сразу можем записать, что

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

Это значит, что общее число нуклонов до и после реакции остается неизменным.

Вернемся к нашей задаче. Количество протонов будет равно

$$2 + 2 = 2 + 2 \cdot Z \Rightarrow Z = 1.$$

Найдем количество нуклонов

$$3 + 3 = 4 + 2 \cdot A \Rightarrow A = 1$$

Следовательно, получившийся элемент это ${}^A_Z X = {}^1_1 P$

Ответ: 2.

В1. При равноускоренном движении среднюю скорость можно рассчитывать как **среднеарифметическое** начальной и конечной скорости

$$v_{\text{ср}} = \frac{v + v_0}{2}.$$

Этим свойством очень удобно пользоваться при решении многих задач. **ОЧЕНЬ ПРОСТОЕ ПРАВИЛО ДЛЯ ДАННОЙ ФОРМУЛЫ:** если в задаче вам не дано ускорение тела и не просят его найти, то на 99,9 % Вам необходимо будет использовать формулу для средней скорости тела, то есть соотношение

$\frac{S}{t} = \frac{v + v_0}{2}$. Применим это соотношение и для нашей задачи. Так же помним, что конечная скорость в 5 раз больше начальной

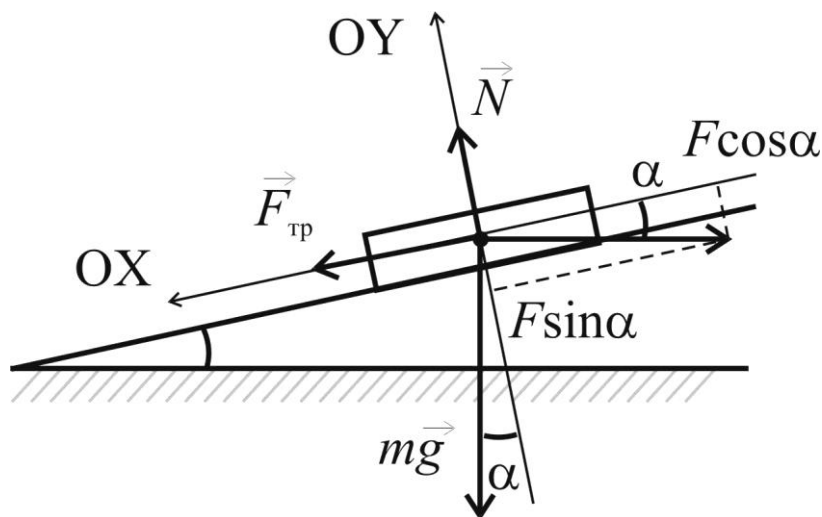
$$\frac{v + v_0}{2} = \frac{S}{t} \Rightarrow \frac{5v_0 + v_0}{2} = \frac{S}{t} \Rightarrow \frac{6v_0}{2} = \frac{S}{t} \Rightarrow v_0 = \frac{S}{3t} = \frac{60}{30} = 2 \text{ (м/с)}$$

Следовательно, конечная скорость равна $v = 5v_0 = 10 \text{ (м/с)}$. По определению ускорения

$$a = \frac{v - v_0}{t} = \frac{10 - 2}{10} = 0,8 \text{ (м/с}^2\text{)} = 80 \text{ (см/с}^2\text{)}$$

Ответ: 80.

В2. В этой задаче очень важно правильно сделать пояснительный рисунок.



На тело действуют следующие силы: mg – сила тяжести, обусловленная влиянием гравитационного поля Земли; N – сила реакции опоры, обусловленная взаимодействием с плоскостью опоры; F – внешняя сила; $F_{\text{тр}}$ – сила трения. Систему координат удобно выбрать так, чтобы одна из осей была направлена вдоль наклонной плоскости, а другая – перпендикулярно ей. Запишем второй закон Ньютона в проекциях на ось OX и OY

$$\begin{cases} F \cos \alpha - F_{\text{тр}} - mg \sin \alpha = ma \\ N - mg \cos \alpha - F \sin \alpha = 0 \end{cases}$$

Для определения силы трения необходимо вначале рассчитать силу реакции опоры N , которую мы выразим из второго уравнения

$$F_{\text{тр}} = \mu N = \mu (mg \cos \alpha + F \sin \alpha)$$

Подставляем силу трения в первое уравнение и находим ускорение. Не спешим браться за калькулятор!!!! Все расчеты делаем на листочке

$$\begin{aligned} a &= \frac{F \cos \alpha - F_{\text{тр}} - mg \sin \alpha}{m} = \frac{F \cos \alpha - \mu (mg \cos \alpha + F \sin \alpha) - mg \sin \alpha}{m} = \\ &= \frac{95 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} - 0,2 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} (60 + 95) - 60 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}}{6} = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{95 - 0,2 \cdot 155 - 60}{6} = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{4}{6} = \frac{\sqrt{2}}{3} \end{aligned}$$

Не трогаем калькулятор!!! В самом начале теста указано, что $\sqrt{2} = 1,41$. Обязательно это учитываем

$$a = \frac{1,41}{3} = 0,47 \text{ м/с}^2 = 47 \text{ см/с}^2.$$

А теперь немного анализа. Горизонтальная сила выполняет две функции. С одной стороны она тянет тело вверх вдоль наклонной плоскости (за это отвечает составляющая $F \cos \alpha$). С другой стороны она сильнее прижимает тело к наклонной плоскости (за это отвечает составляющая $F \sin \alpha$). А теперь подумайте как изменится задача, если направление силы изменится на 180 градусов.

Ответ: 47.

В3. Из-за разности давлений в жидкости на разных уровнях возникает **выталкивающая** или **архимедова** сила. Рисунок поясняет появление архимедовой силы. В жидкость погружено тело в виде прямоугольного параллелепипеда высотой h и площадью основания S . Разность давлений на нижнюю и верхнюю грани равна:

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

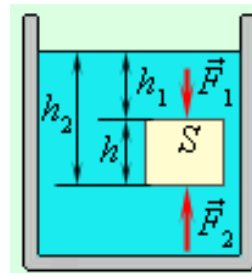
Поэтому выталкивающая сила F_A будет направлена вверх, и ее модуль равен

$$\begin{aligned} F_A &= F_2 - F_1 = S \Delta p = \rho g S h = \rho g V, \\ F_A &= \rho g V \end{aligned}$$

где V – объем **ВЫТЕСНЕННОЙ (!!!)** телом жидкости или объем той части тела, которая погружена в жидкость. Есть и другая форма записи закона Архимеда

$$F_A = mg$$

где $m = \rho V$ – масса **ВЫТЕСНЕННОЙ** телом жидкости (не путайте с массой тела).



Архимедова сила, действующая на погруженное в жидкость (или газ) тело, равна весу жидкости (или газа), вытесненной телом. Это утверждение, называемое законом Архимеда, справедливо для тел любой формы.

Для того, чтобы погрузить тело целиком под воду, надо приложить к телу такую же силу, которую необходимо приложить, чтобы не дать телу всплыть (см. рисунок).

По второму закону Ньютона

$$F_A - mg - T = 0 \Rightarrow T = F_A - mg$$

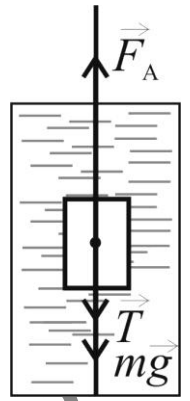
Сила Архимеда равна и масса тела будут равны

$$F_A = \rho_2 \cdot gV; \quad m = \rho_1 V$$

Окончательно получаем

$$T = \rho_2 gV - \rho_1 gV = gV(\rho_2 - \rho_1) = 70 \cdot 10^{-3} \text{ (Н)}.$$

Ответ: 70.



В4. Так как нить только растягиваться, то при движении тела на нити в вертикальной плоскости в нити будет возникать только деформация растяжения и, как следствие, сила упругости, возникающая в нити, будет всегда направлена к центру окружности.

При этом в верхней точке скорость тела не может быть равна нулю, так как нить при нулевой скорости тела просто сложится и тело не сможет продолжить дальнейшее движение. Минимальная скорость, с которой должно двигаться тело в верхней точке легко найдем предположив, что вес тела в верхней точке будет равен нулю. То есть тело **ПОКА** не растягивает нить, но при чуть **БОЛЬШЕЙ** скорости возникнет сила упругости нити. Следовательно

$$N = m \left(g - \frac{v^2}{R} \right) \Rightarrow 0 = m \left(g - \frac{v^2}{R} \right) \Rightarrow v = \sqrt{gR},$$

то есть при скорости тела равной или большей чем $v = \sqrt{gR}$ нить не сложится.

Эту информацию я даю вам на всякий случай.

А теперь запишем второй закон Ньютона для верхней и нижней точки

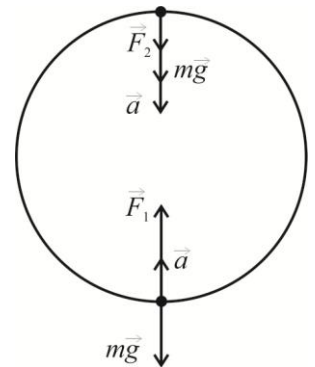
$$F_2 + mg = ma \Rightarrow F_2 = ma - mg$$

$$F_1 - mg = ma \Rightarrow F_1 = ma + mg$$

Найдем разность сил

$$F_1 - F_2 = ma + mg - (ma - mg) = 2mg = 8 \text{ (Н)}.$$

Задача решена? Нет, мы ошиблись! Дело в том, что в условии задачи не сказано, что тело движется равномерно! А это значит, что скорость в верхней и нижней точках будет разной. А если скорость разная, то разным будет и центростремительное ускорение и, как следствие, другими будут силы натяжения нитей. Поэтому нам на помощь придет закон сохранения энергии. Меняем рисунок на новый. Записываем закон сохранения энергии.



$$\frac{mv_1^2}{2} = \frac{mv_2^2}{2} + mg \cdot 2R \Rightarrow v_1^2 - v_2^2 = 4gR$$

А теперь опять записываем второй закон Ньютона для нижней и верхней точки

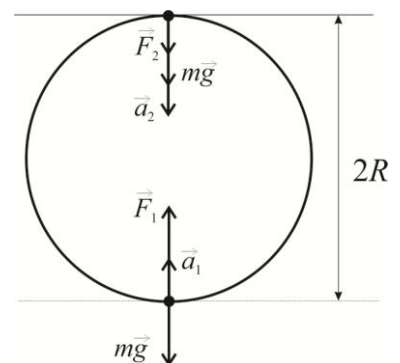
$$F_2 + mg = ma_2 \Rightarrow F_2 = m \frac{v_2^2}{R} - mg$$

$$F_1 - mg = ma_1 \Rightarrow F_1 = m \frac{v_1^2}{R} + mg$$

Находим разность сил

$$F_1 - F_2 = m \frac{v_1^2}{R} + mg - \left(m \frac{v_2^2}{R} - mg \right) = m \frac{v_1^2}{R} - m \frac{v_2^2}{R} + 2mg = \frac{m}{R} (v_1^2 - v_2^2) + 2mg = \frac{m}{R} \cdot 4gR + 2mg = 6mg$$

Ответ: 24.



В5. Если забыли что такое изопроцессы, то быстренько повторяйте теорию из задачи А7. Так как сосуд закрытый, то процесс будет изохорным

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \Rightarrow T_2 = \frac{p_2}{p_1} \cdot T_1$$

А теперь найдем относительное изменение температуры

$$\left| \frac{\Delta T}{T_1} \right| = \left| \frac{T_2 - T_1}{T_1} \right| = \left| \frac{\frac{p_2}{p_1} T_1 - T_1}{T_1} \right| = \left| \frac{T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} - 1 \right)}{T_1} \right| = \left| \frac{p_2}{p_1} - 1 \right| = 0,75 = 75 \, \%.$$

Ответ: 75.

В6. Если в результате теплообмена телу передается некоторое количество теплоты, то внутренняя энергия тела и, естественно, его температура изменяются. Количество теплоты Q , необходимое для нагревания 1 кг вещества на 1 К называют **удельной теплоемкостью вещества** c .

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

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

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

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

Например, теплоемкость воды $4200 \text{ Дж/кг}^\circ\text{C}$, 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**.

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

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.

При неупругих ударах механическая энергия частично или полностью переходит во внутреннюю энергию тел, то есть тела могут нагреваться и плавиться. Например, удар тела о поверхность, при котором тело останавливается и вся его кинетическая энергия переходит во внутреннюю. В этом случае у нас тело нагревается

$$\frac{mv^2}{2} = cm\Delta T$$

Хотя в некоторых случаях тело может не просто нагреться, а нагреться до температуры плавления и даже частично (а иногда и полностью), расплавиться

$$\frac{mv^2}{2} = cm\Delta T + \lambda m_{\text{распл}},$$

где $m_{\text{распл}}$ – масса расплавленного вещества.

При этом не всегда 100% механической энергии переходит во внутреннюю. Если по условию задачи сказано, что во внутреннюю энергию переходит только 40 % механической энергии, то

$$0,4E = Q \text{ или } 0,4 \frac{mv^2}{2} = cm\Delta T$$

Если тело **падает** с некоторой высоты и вся энергия переходит во внутреннюю, то

$$mgh = cm\Delta T,$$

где h – высота, с которой падало тело.

Если тело **бросают** с некоторой высоты и вся энергия переходит во внутреннюю, то

$$\frac{mv^2}{2} + mgh = cm\Delta T,$$

где v – скорость, с которой бросили тело (и не важно как – вверх или вниз).

Тело так же может нагреваться за счет работы силы трения:

$$A_{F_{\text{тр}}} = F_{\text{тр}} S = \mu mg \cdot S = cm\Delta T.$$

А дальше все просто. Изменение кинетической энергии тела равно

$$|\Delta E_K| = |E_2 - E_1| = \left| \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} \right|$$

При этом внутренняя энергия тела увеличилась на

$$\Delta E = cm\Delta T$$

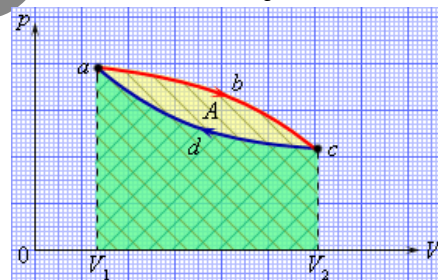
Отношение этих величин равно

$$\frac{\Delta E}{|\Delta E_K|} = \frac{cm\Delta T}{\left| \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} \right|} = \frac{c\Delta T}{\frac{1}{2}|v_2^2 - v_1^2|} = \frac{2c\Delta T}{|v_2^2 - v_1^2|} = \frac{2 \cdot 130 \cdot 60}{|40000 - 90000|} = 0,312 = 31\%.$$

Ответ: 31.

В7. Тепловым двигателем называется устройство, способное превращать полученное количество теплоты в механическую работу. Механическая работа в тепловых двигателях производится в процессе расширения некоторого вещества, которое называется **рабочим телом**. В качестве рабочего тела обычно используются газообразные вещества (пары бензина, воздух, водяной пар).

Как следует из первого закона термодинамики, полученное газом количество теплоты Q полностью превращается в **работу** A при изотермическом процессе, при котором внутренняя энергия остается неизменной ($\Delta U = 0$): $A = Q$. Но такой **однократный акт** преобразования теплоты в работу не представляет интереса для техники. Реально существующие тепловые двигатели (паровые машины, двигатели внутреннего сгорания и т. д.) работают **циклически**. Процесс теплопередачи и преобразования полученного количества теплоты в работу периодически повторяется. Для этого рабочее тело должно совершать **круговой процесс** или термодинамический цикл, при котором периодически восстанавливается **исходное** состояние. Круговые процессы изображаются на диаграмме (p, V) газообразного рабочего тела с помощью замкнутых кривых. При расширении газ совершает положительную работу A_1 , равную площади под кривой abc . При сжатии газ совершает **ОТРИЦАТЕЛЬНУЮ** работу A_2 , равную по модулю площади под кривой cda . Полная работа за цикл

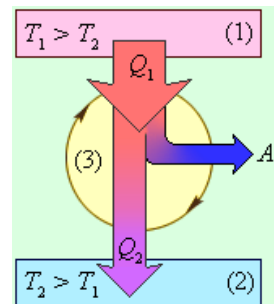


$$A = A_1 + A_2 \text{ или } A = A_1 - |A_2|$$

на диаграмме (p, V) равна площади цикла. Работа A положительна, если цикл обходится по часовой стрелке (как раз такое направление указано на рисунке), и A отрицательна, если цикл обходится в противоположном направлении.

Общее свойство всех круговых процессов состоит в том, что их невозможно провести, приводя рабочее тело (на рисунке обозначено (3)) в тепловой контакт только с одним тепловым резервуаром. Их нужно, по крайней мере, два. Тепловой резервуар с более высокой температурой называют **нагревателем** (на рисунке обозначено (1)), а с более низкой – **холодильником** (на рисунке обозначено (2)). Совершая круговой процесс, рабочее тело получает от нагревателя некоторое количество теплоты Q_1 и отдает холодильнику количество теплоты Q_2 , которое двигатель не смог преобразовать в работу A . Таким образом работа газа за цикл будет равна $A = Q_1 - Q_2$. Отношение работы A к количеству теплоты Q_1 , полученному рабочим телом за цикл от нагревателя, называется **коэффициентом полезного действия** η тепловой машины:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \text{ или } \eta = \frac{A}{A + Q_2}.$$



Коэффициент полезного действия указывает, какая часть тепловой энергии, полученной рабочим телом от «горячего» теплового резервуара, превратилась в полезную работу. Остальная часть $(1 - \eta)$ была «бесполезно» передана холодильнику. Если не отдать эту энергию холодильнику – тепловая машина

может разрушиться. Именно поэтому у любого двигателя внутреннего сгорания есть система охлаждения и подключенный к ней радиатор. Коэффициент полезного действия тепловой машины всегда меньше единицы ($\eta < 1$).

А дальше все просто. Даже энергию из килоджоулей в джоули переводить не будем

$$\eta = \frac{A}{A+|Q|} 100\% = \frac{2}{2+8} 100\% = 0,2 \cdot 100\% = 20\%.$$

Ответ: 20.

В8. Фотоэлектрический эффект (или точнее – внешний фотоэффект) заключается в вырывании электронов из вещества под действием падающего на него света (фотонов). Для того чтобы вырвать электрон из металла фотон должен обладать некоторой минимальной энергией, равной так называемой **работе выхода** электрона из металла. Эта энергия разная для разных веществ и указывается в соответствующих таблицах. Работа выхода находится по формуле

$$A = h\nu_{\min} = \frac{hc}{\lambda_{\text{кр}}}.$$

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

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

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

Решение задач на фотоэффект сводится к решению уравнения Эйнштейна для фотоэффекта

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

То есть **энергия падающего фотона расходуется на работу выхода электрона из металла и на сообщение вырванному электрону кинетической энергии**. Законы фотоэффекта свидетельствуют, что свет при испускании и поглощении ведет себя подобно потоку частиц, получивших название **фотонов** или **световых квантов**.

По условию задачи

$$A_{\text{вых}} = \frac{1}{5} E_{K \max} \Rightarrow E_{K \max} = 5A_{\text{вых}}$$

Записываем уравнение Эйнштейна для фотоэффекта

$$h\nu = A_{\text{вых}} + E_{K \max} = A_{\text{вых}} + 5A_{\text{вых}} = 6A_{\text{вых}}$$

Так как $\nu = \frac{c}{\lambda}$, то

$$\frac{hc}{\lambda} = 6A_{\text{вых}} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{6A_{\text{вых}}}.$$

Ответ: 56.

В9. Если с помощью пробного заряда исследуется электрическое поле, создаваемое несколькими заряженными телами, то результирующая сила оказывается равной геометрической сумме сил, действующих на пробный заряд со стороны каждого заряженного тела в отдельности. Следовательно, **напряженность электрического поля, создаваемого системой зарядов в данной точке пространства,**

равна векторной сумме напряженностей электрических полей, создаваемых в той же точке каждым зарядом в отдельности

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

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

Как находить направление и значение напряженности результирующего поля? ПОСЛЕДУЮЩИЙ ПРИМЕР ОЧЕНЬ ВАЖЕН! Пусть у нас имеется два заряда $q_1 = -11$ 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 (см. ниже), 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)

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

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.

Возвращаемся к нашей задаче. Обязательно делаем пояснительный рисунок!!!

Так как треугольник равнобедренный и заряды равны, то $|\vec{E}_1| = |\vec{E}_2|$. По теореме косинусов найдем значение результирующего поля/

$$E_0 = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 - 2E_1E_2 \cos \alpha} = E_1$$

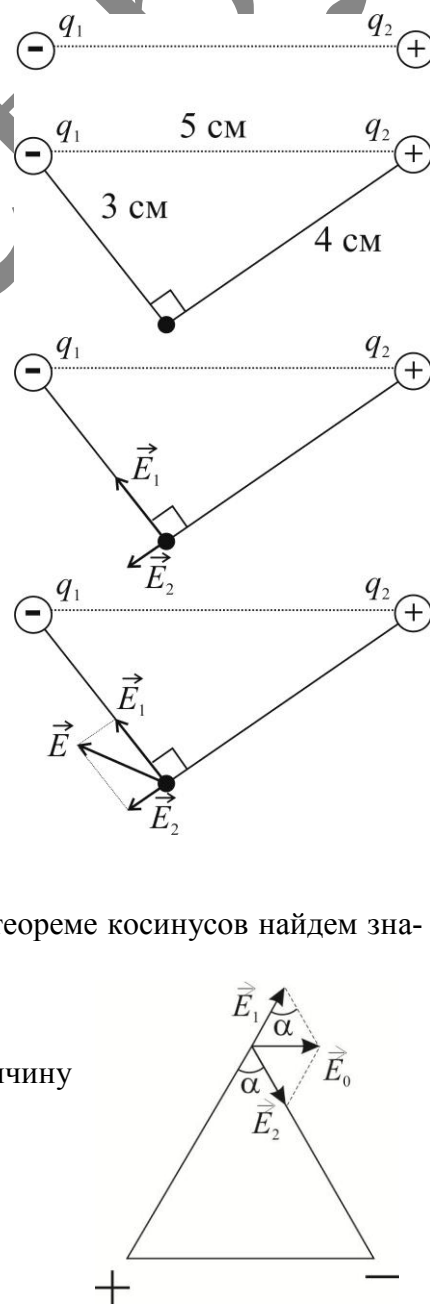
Зная напряженность поля, создаваемого точечным зарядом, найдем величину этого заряда

$$E_0 = \frac{kq}{a^2} \Rightarrow q = \frac{E_0 \cdot a^2}{k}$$

А теперь по закону Кулона найдем силу взаимодействия зарядов

$$F_k = k \frac{q \cdot q}{a^2} = k \frac{\left(\frac{E_0 a^2}{k} \right)^2}{a^2} = \frac{k E_0^2 a^4}{a^2 \cdot k^2} = \frac{E_0^2 a^2}{k} = \frac{(E_0 a)^2}{k} = \frac{(900 \cdot 0,1)^2}{9 \cdot 10^9} = \frac{81 \cdot 10^2}{9} \cdot 10^{-9} = 900 \cdot 10^{-9} \text{ (Н)}.$$

Ответ: 900.



B10. При движении заряженной частицы в магнитном поле сила Лоренца работы не совершает (сила Лоренца направлена перпендикулярно направлению движения). Поэтому модуль вектора скорости при движении частицы не изменяется, то есть не меняется **численное** значение скорости. Однако при этом направление скорости меняется. Если заряженная частица движется в однородном магнитном поле под действием силы Лоренца, а ее скорость лежит в плоскости, перпендикулярной вектору индукции магнитного поля, то частица будет двигаться по окружности. Второй закон Ньютона для этого случая примет вид $ma_{\text{ц}} = qvB$. При этом раскрыв $a_{\text{ц}}$ получаем

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

Откуда радиус окружности, по которой движется заряженная частица, равен

$$R = \frac{mv}{qB}.$$

Сила Лоренца в этом случае играет роль центростремительной силы.

Запишем второй закон Ньютона для движения электрона в электростатическом поле

$$F = ma \Rightarrow qE = m \frac{v^2}{2S} \Rightarrow q \frac{U}{S} = m \frac{v^2}{2S} \Rightarrow qU = \frac{mv^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}.$$

Подставим скорость, которую приобрел электрон в электростатическом поле, в формулу для радиуса окружности. Получим

$$R = \frac{mv}{qB} = \frac{m}{qB} \sqrt{\frac{2qU}{m}} = \frac{\sqrt{2mU}}{\sqrt{qB}} = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mU}{q}}.$$

Ответ: 13.

B11. В электрических цепях, так же как и в механических системах, могут возникать **свободные колебания**. Простейшей электрической системой, в которой могут возникать свободные колебания, является последовательный RLC-контур.

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

При этом весь колебательный процесс можно разбить на следующие этапы (на рисунке приведены графики изменения заряда $q(t)$ конденсатора и смещения $x(t)$ груза от положения равновесия (на верхнем графике), а также графики тока $I(t)$ и скорости груза $v(t)$ за один период колебаний (на нижнем графике)):

1. Заряд конденсатора от батареек.

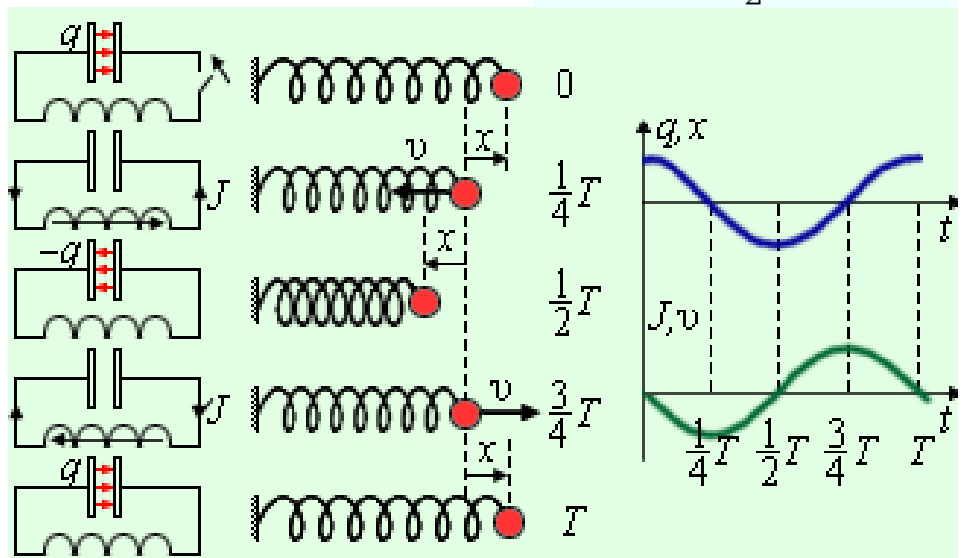
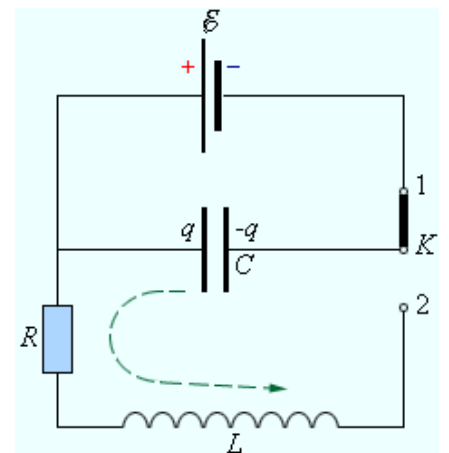
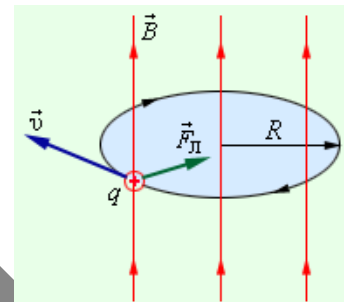
При этом вся энергия контура запасена в конденсаторе. Энергия магнитного поля катушки равна нулю (цепь 1 на рисунке)

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

2. Конденсатор начинает разряжаться на катушку.

При этом в цепи возникает электрический ток. Энергия электрического поля конденсатора постепенно переходит в энергию магнитного поля катушки. Общая энергия системы будет равна:

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



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

3. Конденсатор полностью разрядился. Вся энергия контура запасена в магнитном поле катушки. Ток в цепи достиг максимального значения (цепь 2 на рисунке)

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

4. Ток по инерции «идет дальше» и заряжает конденсатор наоборот, то есть ЗАРЯДЫ ОБКЛАДОК СТАНОВЯТСЯ ПРОТИВОПОЛОЖНЫМИ ПО ЗНАКУ

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

5. Энергия магнитного поля катушки полностью перешла в энергию конденсатора (цепь 3)

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

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

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

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

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

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

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

Как правило, в начальный момент времени заряжается конденсатор, поэтому

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

Так как сила тока равна:

$$I = \frac{q}{t},$$

то взяв производную получим

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

То есть максимальное значение силы тока определяется выражением:

$$I_0 = \omega q_0.$$

При этом напряжение будет меняться по закону:

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

То есть максимальное значение напряжения определяется выражением:

$$U_0 = q_0/C.$$

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

Электрические величины

Механические величины

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Так как

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

то имеем

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

Для решения задачи нам понадобится одна из последних формул

$$q_{\max} = I_{\max} \frac{T}{2\pi} \Rightarrow T = \frac{2\pi q_{\max}}{I_{\max}} \Rightarrow T = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 10^{-6}}{3,14 \cdot 10^{-3}} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ с} = 2 \text{ мс}.$$

Ответ: 2.

В12. Я знаю какое решение ждут от вас составители РТ, но я не уверен в том, что и задача и решение корректные. Поэтому я не буду показывать решение этой задачи. Ждите разбор от РИКЗ.

А ТЕПЕРЬ ПОДВЕДЕМ ИТОГИ!!!

Всего в тесте было 30 задач. Сложные задачи были, но их немного. На мой взгляд это задачи А17 (там была ловушка с f), Б2, Б4 и В12. Все остальные решаются тупо в лоб. То есть для их решения достаточно хорошо знать только формулы и уметь мыслить логически (если не верите мне, то еще раз внимательно изучите решения). От вас уже не требует глубокого понимания физических явлений и процессов. Поэтому если вы на третьем этапе набрали меньше 60–70 баллов стоит пересмотреть свое отношение к подготовке к ЦТ по физике.