



**ФГБОУ ВО  
«АЛТАЙСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»  
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ  
ФАКУЛЬТЕТ**

Пробный вариант для проведения  
в 2019 году ЕГЭ по ФИЗИКЕ

**ОТВЕТЫ И РЕШЕНИЯ  
Часть 1**

- 1 По дуге окружности радиуса  $R = 4$  м равномерно движется точка. За время  $t = 2,5$  с она проходит путь  $s = 2$  м. Найдите модуль ускорения точки при движении.

*Решение.*

Скорость движения точки равна:  $v = \frac{s}{t} = \frac{2}{2,5} = 0,8$  м/с. При равномерном движении

по окружности ускорение точки является чисто центростремительным и равно:

$$a = \frac{v^2}{R} = \frac{(0,8)^2}{4} = 0,16 \text{ м/с}^2.$$

**Ответ:** 0,16 м/с<sup>2</sup>.

- 2 К потолку прикреплена одним концом легкая пружина длиной  $l_0 = 10$  см жесткостью  $k = 100$  Н/м. К другому ее концу прикрепляют груз и длина пружины становится равной  $l = 11,5$  см. Найдите массу груза.

*Решение.*

Из условия следует, что груз, растянув пружину, затем покоится. Это означает, что приложенные к грузу силы уравновешивают друг друга:  $m\vec{g} + \vec{F}_{\text{упр}} = 0$  или  $mg = F_{\text{упр}}$ .

Для модуля силы упругости по закону Гука:  $F_{\text{упр}} = k|\Delta l| = k(l - l_0)$ , откуда находим

$$\text{искомую массу: } m = \frac{k(l - l_0)}{g} = \frac{100 \cdot (0,115 - 0,10)}{10} = 0,15 \text{ кг.}$$

**Ответ:** 0,15 кг.

- 3 На вершине гладкой горки высотой  $h = 1$  м лежит небольшое тело массой  $m = 20$  г. Ему сообщают скорость  $v_0 = 4$  м/с, и оно соскальзывает вниз. Определите импульс тела после соскальзывания.

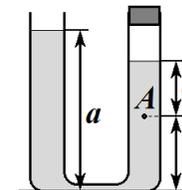
*Решение.*

Горка гладкая, значит можно записать закон сохранения полной механической энергии:  $E_{k0} + E_{p0} = E_k + E_p$ . Если отсчитывать высоту от конечного положения, то потенциальная энергия сначала  $E_{p0} = mgh$ , а в конце  $E_p = 0$ . Кинетическая энергия сначала:  $E_{k0} = \frac{mv_0^2}{2}$ , а потом  $E_k = \frac{p^2}{2m}$ . Запишем закон еще раз:  $\frac{mv_0^2}{2} + mgh = \frac{p^2}{2m} + 0$ . От-

куда искомый импульс:  $p = m\sqrt{v_0^2 + 2gh} = 0,02 \cdot \sqrt{4^2 + 2 \cdot 10 \cdot 1} = 0,12$  кг·м/с.

**Ответ:** 0,12 кг·м/с.

- 4 В сообщающемся сосуде один конец заткнули пробкой, а потом налили в него масло. Определите давление в точке  $A$  внутри жидкости. Атмосферное давление нормальное. Размеры показаны на рисунке:  $a = 9$  м,  $b = 4$  м,  $c = 3$  м.

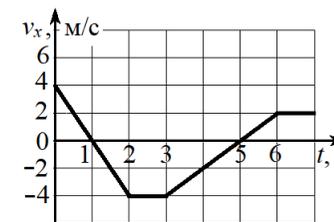


*Решение.*

Давление внутри жидкости на глубине  $h$  можно найти по формуле:  $p = p_0 + \rho gh$ , где  $p_0$  – давление воздуха над жидкостью,  $\rho$  – плотность жидкости. Правое колено заткнуто пробкой, поэтому давление воздуха под пробкой неизвестно. Левое колено открытое, поэтому давление воздуха над ним равно нормальному атмосферному давлению:  $p_0 = p_A$ . Тогда будем отсчитывать глубину от уровня в левом колене:  $h = a - b$ . Вычисляем:  $p = p_A + \rho g(a - b) = 10^5 + 900 \cdot 10 \cdot (9 - 4) = 145000$  Па = 145 кПа. Недостающие в условии данные (нормальное атмосферное давление и плотность масла берем из таблиц в начале задания).

**Ответ:** 145 кПа.

- 5 На рисунке показан график зависимости проекции скорости  $v_x$  тела, движущегося под действием некоторой силы  $F$  вдоль оси  $Ox$ , от времени  $t$ . Масса тела  $m = 0,4$  кг. Из приведённого ниже списка выберите два правильных утверждения.



- 1) Максимальное по модулю ускорение тела в процессе движения равно  $2 \text{ м/с}^2$ .
- 2) Проекция перемещения тела на ось  $Ox$  за первые 4 с движения равна 7 м.
- 3) Работа силы  $F$  за все время движения отрицательна и равна по модулю 2,4 Дж.
- 4) Модуль импульса шарика за все время движения был равен  $1 \text{ кг·м/с}$  ровно 3 раза.
- 5) Кинетическая энергия шарика в момент времени  $t = 1,5$  с равна 1 Дж.

*Решение.*

По определению ускорения  $a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{\Delta t}$ . Оно есть на первом (от 0 с до 2 с) и третьем (от 3 с до 5 с) участках. На первом участке:  $a_{1x} = \frac{-4 - 4}{2} = -4 \text{ м/с}^2$ , что по модулю превышает значение  $2 \text{ м/с}^2$ . Значит 1-ый ответ неверный.

Проекция перемещения может быть найдена по графику зависимости скорости от времени, как площадь под ним. Интервал от 0 с до 4 с можно разбить на простые фигуры (треугольники и прямоугольники) или просто подсчитать по клеткам. Площади при вычислении перемещения берем с учетом знака:  $s_x = -7$  м. Значит 2-ой ответ неверный.

Из графика следует, что сила на первом и третьем участках была постоянной, а на втором и четвертом – равна нулю. Можно было бы найти силу на каждом участке, перемещение, а затем и работу (по определению). Но гораздо проще применить теорему об изменении кинетической энергии:  $A = E_k - E_{k0} = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}$ , где  $v = 2$  м/с – конечная, а  $v_0 = 4$  м/с – начальная скорость. Тогда  $A = \frac{0,4 \cdot 2^2}{2} - \frac{0,4 \cdot 4^2}{2} = -2,4$  Дж.

Итого: 3-ий ответ правильный.

По определению импульса:  $p = mv$ . Тогда импульсу 1 кг·м/с соответствует скорость 2,5 м/с. Из графика следует, что такая скорость (по модулю) была ровно три раза. 4-ый ответ верный.

Скорость в указанный момент времени:  $v_x = -2$  м/с. По определению кинетической энергии:  $E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{0,4 \cdot 2,5^2}{2} = 1,25$  Дж. 5-ый ответ неверный.

**Ответ:** 34 или 43.

6 Пружина подвешена за один конец к потолку, а к другому прикреплена корзинка с грузиками. Корзинку немного оттягивают вниз, а затем отпускают, и она начинает совершать гармонические колебания. В очередной момент максимального растяжения пружины из корзинки достали один грузик. Как после этого изменились амплитуда и период колебаний? Для каждой величины определите соответствующий характер изменения: 1) увеличилась; 2) уменьшилась; 3) не изменилась. Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.



Амплитуда колебаний	Период колебаний

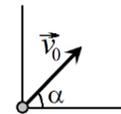
**Решение.**

При колебаниях груза на пружине скорость в нижней и верхней точках (а с ней и кинетическая энергия) равна нулю. Пусть  $x$  – максимальное растяжение пружины, а  $h$  – высота, на которую поднимается корзинка (отсчитанная от нижней точки). Тогда по закону сохранения энергии:  $\frac{kx^2}{2} + 0 = \frac{k(x-h)^2}{2} + mgh$ . Высота соответствует удвоенной амплитуде колебаний ( $h = 2A$ ). Выразим из закона сохранения искомое:  $A = \frac{h}{2} = x - \frac{mg}{k}$ . Если масса груза уменьшится, а максимальное растяжение не изменится, то высота возрастет (ответ 1).

Для периода ответ легко получить по формуле  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ . Если грузик достали, то масса уменьшилась, а с ней и период колебаний (ответ 2).

**Ответ:** 12.

7 Тело массой  $m = 100$  г бросили под углом  $\alpha = 30^\circ$  к горизонту с начальной скоростью  $v_0 = 10$  м/с. Установите соответствие между физическими величинами (характеристиками движения) и формулами, по которым их можно вычислить в момент времени  $t$ . Все выражения записаны в СИ. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.



ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

ФОРМУЛЫ

- |                         |                    |
|-------------------------|--------------------|
| А) Кинетическая энергия | 1) $5 + 5t - 5t^2$ |
| Б) Работа силы тяжести  | 2) $5t - 5t^2$     |
|                         | 3) $5t^2 - 5t$     |
|                         | 4) $5 - 5t + 5t^2$ |

**Решение.**

Начальная кинетическая энергия тела равна  $E_{k0} = \frac{mv_0^2}{2} = \frac{0,1 \cdot 10^2}{2} = 5$  Дж. По закону сохранения энергии  $E_{k0} + E_{p0} = E_k + E_p$ . Высота полета в момент времени  $t$  может быть найдена по формуле:  $h = v_0 t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2} = 5t - 5t^2$ . Тогда кинетическая энергия равна:  $E_k = E_{k0} - mgh = 5 - 5t + 5t^2$  (ответ 4). Работа силы тяжести равна разности начальной и конечной потенциальной энергии тела:  $A = E_{p0} - E_p = -mgh = 5t^2 - 5t$  (ответ 3).

**Ответ:** 43.

8 Идеальный газ занимает объем  $V = 100$  л. Из сосуда выпустили половину газа, а давление увеличили на 25% при неизменной температуре. Определите конечный объем газа.

**Решение.**

Запишем два раза (для начального и конечного состояний) уравнение Менделеева-Клапейрона:  $p_0 V_0 = \nu RT_0$ ,  $1,25 p V = 0,5 \nu RT_0$ . Умножим 2-ое уравнение на 2, тогда можно приравнять левые части:  $2,5 p_0 V = p_0 V_0$ , откуда получим:  $V = V_0 / 2,5 = 40$  л.

**Ответ:** 40 л.

9 КПД цикла Карно 45%. Найдите температуру холодильника, если она отличается от температуры нагревателя на  $216^\circ\text{C}$ .

**Решение.**

По определению КПД цикла Карно (для теплового двигателя):  $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100\%$ .

Связь абсолютной температуры  $T$  (шкала Кельвина) и температуры в градусах Цельсия:  $T = t + 273$ , поэтому разность температур по обеим шкалам одинакова. Тогда

$$\eta = \frac{t_1 - t_2}{t_1 + 273} \cdot 100\% \text{ или в числах } 0,45 = \frac{216}{t_2 + 216 + 273}. \text{ Находим искомое: } t = -9^\circ\text{C}.$$

**Ответ:**     -9     °C.

**10** В сосуде находится 5 г воды и 10 г ее насыщенного пара. Не меняя температуры в сосуде объем увеличили в 3 раза. Какой стала относительная влажность пара после установления термодинамического равновесия?

**Решение.**

Относительная влажность пара  $\varphi = \frac{\rho}{\rho_{\text{нас}}} \cdot 100\%$ , плотность  $\rho = \frac{m}{V}$ . Если объем

увеличить в три раза, то вся вода испарится, и масса пара станет 15 г. Для насыщенного пара масса должна составить втрое больше начальной – 30 г. Значит соотношение плотностей 15 к 30 или 1:2, откуда искомая влажность  $\varphi = 50\%$ .

**Ответ:**     50     %.

**11** В теплоизолированном сосуде в момент времени  $t = 0$  начинают охлаждать некоторую жидкость. Мощность теплоотвода постоянна и равна 100 Вт. В таблице приведены значения температуры в течение некоторого интервала времени. На основе анализа этого процесса выберите **два верных** утверждения.

Время $t$ , мин	0	2	4	6	8	10	12	14	16
Температура $T$ , К	352	344	336	332	332	332	320	308	296

- 1) Температура кипения жидкости равна  $100^\circ\text{C}$ .
- 2) Удельная теплоемкость в жидком состоянии в 1,5 раза больше чем в твердом.
- 3) В момент времени 11 минут вещество в сосуде было одновременно в двух агрегатных состояниях.
- 4) Отвердевание жидкости происходило в течение 4 минут.
- 5) Теплота, выделенная при отвердевании, равна 30 кДж.

**Решение.**

На первый вопрос ответить невозможно, поскольку по условию охлаждают жидкость (не воду!). 1-ый ответ неверный.

Подводимая мощность постоянна, значит за равные промежутки времени вещество получает одинаковое количество теплоты. Сравнивая первые и последние двух минутные интервалы, с учетом формулы  $Q = cm\Delta t$ , получим:  $c_{\text{ж}}m \cdot 8 = c_{\text{тв}}m \cdot 12$ , откуда  $c_{\text{ж}} = 1,5c_{\text{тв}}$ . Тогда 2-й ответ правильный.

Из таблицы видно, что температура отвердевания равна 332 К (горизонтальный участок на графике зависимости температуры от времени). Также по двум последним

интервалам заметно, что твердое вещество нагревается за 2 минуты на  $12^\circ\text{C}$ . Значит отвердевание прекратилось ровно в 10 минут и в 11 минут агрегатное состояние единственное. 3-ий ответ неверный.

Из тех же рассуждений, что и в предыдущем пункте, следует, что охлаждение жидкости происходит на  $8^\circ\text{C}$  за каждые 2 минуты. Значит, отвердевать вещество начало ровно в момент 5 минут. Тогда все время процесса занимает  $\tau = 10 - 5 = 5$  минут. 4-ый ответ неверный.

Находим по времени отвердевания отведенную теплоту (как произведение мощности и времени):  $Q = P \cdot \tau = 100 \cdot 5 \cdot 60 = 30$  кДж. Итак, 5-ый ответ правильный.

**Ответ:**     25 или 52    .

**12** В некотором процессе произведение концентрации и давления идеального одноатомного газа остается постоянным, причем газ совершает положительную работу. Как изменяются в этом процессе параметры состояния газа: внутренняя энергия и давление? Для каждой величины определите соответствующий характер изменения: 1) увеличится, 2) уменьшится, 3) не изменится. Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Внутренняя энергия	Давление

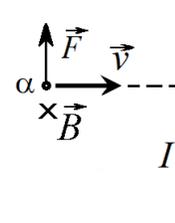
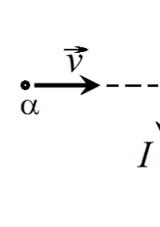
**Решение.**

Если газ совершает положительную работу, то объем газа возрастает ( $V \uparrow$ ). Значит, концентрация газа  $n = N/V$  уменьшается ( $n \downarrow$ ). По условию произведение давления и концентрации постоянно, следовательно, давление увеличивается ( $p \uparrow$ ).

Температура, как следует из уравнения  $pV = \nu RT$ , также возрастает ( $T \uparrow$ ), поскольку увеличиваются и давление, и объем газа. Соответственно, будет возрастать внутренняя энергия газа ( $U \uparrow$ ) равная:  $U = \frac{3}{2} \nu RT$ .

**Ответ:**     11    .

**13** По длинному прямому проводу течет постоянный ток. По направлению к проводу летит  $\alpha$ -частица. Как направлена относительно рисунка (*вправо, влево, вверх, вниз, к наблюдателю, от наблюдателя*) сила Лоренца, действующая на  $\alpha$ -частицу? Ответ запишите словом (словами).

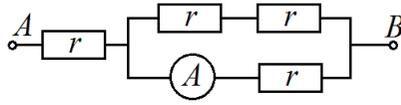


**Решение.**

По правилу буравчика (правой руки) направим вектор магнитной индукции в месте нахождения  $\alpha$ -частицы (вектор  $\vec{B}$  направлен по рисунку от наблюдателя). Затем применяем правило левой руки: сила Лоренца направлена вверх.

**Ответ:**     вверх    .

14] В схеме, состоящей из одинаковых резисторов сопротивлением  $r = 3$  Ом каждый (см. рис.), идеальный амперметр показал ток  $I = 2$  А. Какое напряжение приложено к точкам  $A$  и  $B$ ?

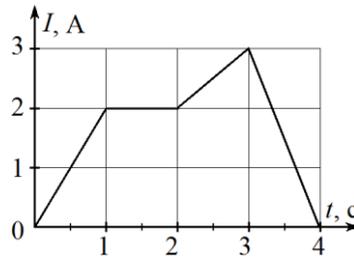


**Решение.**

Напряжение участка, на котором включен амперметр, можно найти по закону Ома:  $U_1 = I_1 r = 6$  В. Тогда по параллельному с ним участку течет ток  $I_2 = U/2r = 1$  А. Тогда по цепи идет ток:  $I = I_1 + I_2 = 3$  А. Общее сопротивление цепи находим через формулы для последовательного и параллельного соединения:  $R_{AB} = 5r/3 = 5$  Ом. Тогда искомое напряжение:  $U_{AB} = I \cdot R_{AB} = 3 \cdot 5 = 15$  В.

**Ответ:** 15 В.

15] По катушке индуктивности протекает электрический ток. График зависимости силы тока от времени показан на рисунке. Определите индуктивность контура, если максимальная (по модулю) ЭДС в процессе наблюдений оказалась  $\varepsilon_{\max} = 6$  мВ.

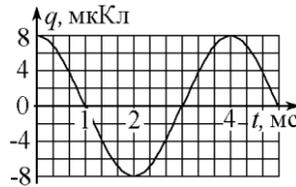


**Решение.**

По определению ЭДС самоиндукции:  $\varepsilon_{\text{сн}} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$ . Сравнивая отдельные участки графика можно заметить, что самый резкий перепад тока происходит на интервале от 3 с до 4 с:  $\Delta I = -3$  А за время  $\Delta t = 1$  с. Тогда искомая индуктивность контура будет равна:  $L = \frac{\varepsilon_{\max} \Delta t}{|\Delta I|} = \frac{6 \cdot 1}{3} = 2$  мГн.

**Ответ:** 2 мГн.

16] На рисунке приведен график зависимости заряда конденсатора от времени для идеального колебательного контура. Емкость конденсатора  $C = 4$  мкФ. Выберите **два верных** утверждения на основании данных графика.



- 1) Частота колебаний тока в катушке 500 Гц.
- 2) Амплитуда напряжения на конденсаторе равна 32 В.
- 3) Максимальный ток в катушке не превышает 15 мА.
- 4) В момент времени 2 мс энергия конденсатора минимальна.
- 5) В момент времени 3 мс энергия тока в катушке равна 8 мкДж.

**Решение.**

Период колебаний находим из графика:  $T = 4$  мс. Частота колебаний равна:  $\nu = 1/T = 10^3/4 = 250$  Гц. Следовательно, 1-ый ответ – неверный.

Из графика легко найти амплитуду колебаний заряда:  $q_m = 8$  мкКл, Поскольку связь заряда и напряжения  $q = CU$ , то амплитуда напряжения на конденсаторе равна:  $U_m = q_m/C = 8/4 = 2$  В. Значит, 2-ой ответ – неверный.

Амплитуда колебаний тока в катушке (это его максимальное значение) может быть найдена по формуле:  $I_m = q_m \omega = \frac{2\pi q_m}{T} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 8 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 10^{-3}} = 12,56$  мА. Это действительно не превышает 15 мА, тогда 3-ий ответ – верный.

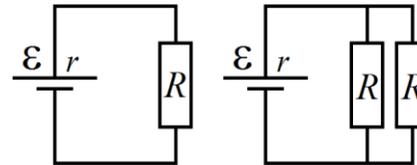
В момент времени 2 мс заряд конденсатора равен:  $q = -q_m = -8$  мкКл. Энергия конденсатора может быть найдена как:  $W = \frac{q^2}{2C}$ , поэтому она не минимальна, а максимальна. Тогда 4-ый ответ – неверный.

В момент времени 3 мс заряд конденсатора равен нулю. Следовательно, вся энергия находится в катушке и она равна:  $W_L = \frac{LI_m^2}{2} = \frac{q_m^2}{2C} = \frac{(8 \cdot 10^{-6})^2}{2 \cdot 4 \cdot 10^{-6}} = 8$  мкДж. Значит 5-ый ответ – верный.

**Ответ:** 35 или 53.

17] К батарее подключен резистор сопротивлением  $R$ . Как изменятся сила тока через источник и тепловая мощность, выделяемая в этом резисторе, если параллельно ему подключить еще один такой же резистор? Для каждой величины определите характер изменения: 1) увеличится, 2) уменьшится, 3) не изменится. Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Сила тока через источник	Тепловая мощность в резисторе $R$



**Решение.**

Покажем на рисунке схему до (слева) и после (справа) изменений. Сила тока через источник, как следует из закона Ома для полной цепи, возросла:  $I_{\text{до}} = \frac{\varepsilon}{R+r}$  и  $I_{\text{после}} = \frac{\varepsilon}{R/2+r}$  ( $I \uparrow$ ).

Тогда напряжение на резисторе  $U = \varepsilon - Ir$  – уменьшилось ( $U \downarrow$ ), а вместе с ним уменьшилась и тепловая мощность ( $P \downarrow$ ), выделяемая в резисторе:  $P = \frac{U^2}{R}$ .

**Ответ:** 12.

18] На проводящем шаре с центром в точке  $O$  и радиусом  $R$  находится заряд  $q$ . Точки  $B$  и  $C$  находятся на расстояниях  $OB = 0,5R$  и  $OC = 2R$  от центра. Напряженность поля вблизи поверхности шара равна  $E_0$ . Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно вычислить. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

ФОРМУЛЫ

А) Напряженность электростатического поля шара в точке  $B$

1)  $4E_0$

2)  $E_0$

- Б) Напряженность электростатического поля шара в точке  $C$
- 3)  $0,25E_0$   
4) 0

**Решение.**

Точка  $B$  находится внутри проводящего шара, значит поле в ней равно нулю:  $E_B = 0$ . Снаружи поле равномерно заряженного шара соответствует полю точечного заряда. Тогда для точек вблизи поверхности:  $E_0 = \frac{k|q|}{R^2}$ , а для точки  $C$  на расстоянии  $OC = 2R$  от центра:  $E_C = \frac{k|q|}{(2R)^2} = \frac{E_0}{4}$ .

**Ответ:** 43.

- 19) Удельная энергия связи нуклонов в ядре атома неона равна 8 МэВ/нуклон. Известно, что в нейтральном атоме неона 10 электронов. Определите число нуклонов и число нейтронов в ядре атома неона, если дефект массы ядра  $2,84 \cdot 10^{-28}$  кг. В бланк ответов №1 перенесите только числа, не разделяя их пробелом или другим знаком.

Число нейтронов	Число нуклонов

**Решение.**

Удельная энергия связи нуклонов в ядре атома:  $E_{св}^{уд} = \frac{\Delta mc^2}{A}$ , где  $\Delta m$  – дефект массы,  $A$  – массовое число (число нуклонов в ядре). Найдем это число:  $A = \frac{\Delta mc^2}{E_{св}^{уд}} = \frac{2,84 \cdot 10^{-28} \cdot (3 \cdot 10^8)^2}{8 \cdot 1,6 \cdot 10^{-13}} = 20$  – нуклонов.

У нейтрального атома число протонов в ядре и число электронов на оболочках одинаково, тогда протонов:  $Z = 10$ , а число нейтронов  $(A - Z) = 10$ .

**Ответ:** 1020.

- 20) В ходе радиоактивного распада активность, измеряемая специальным счетчиком, снизилась в 5 раз. Какое количество радиоактивного вещества распалось, если в начале опыта его было 16 моль?

**Решение.**

Активность (число распадов за единицу времени) пропорциональна количеству радиоактивного вещества. Поэтому, если активность уменьшилась в 5 раз, то и количество радиоактивного вещества уменьшилось также:  $\nu = \nu_0/5 = 3,2$  моль. Значит, распалось:  $|\Delta \nu| = \nu_0 - \nu = 16 - 3,2 = 12,8$  моль.

**Ответ:** 12,8 моль.

- 21) На дифракционную решетку падает зеленый свет, при этом на экране позади решетки наблюдают дифракционную картину. Затем на ту же решетку направили излу-

чение другого цвета той же интенсивности, и число наблюдаемых максимумов возросло. Как изменились частота излучения и число фотонов, падающих на решетку за 1 секунду? Для каждой величины определите соответствующий характер изменения: 1) увеличится, 2) уменьшится, 3) не изменится. Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Частота излучения	Число падающих фотонов

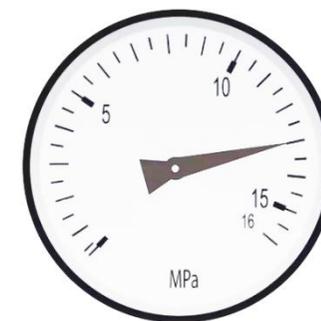
**Решение.**

Для дифракционной решетки справедливо:  $d \cdot \sin \alpha_k = k\lambda$ . Количество максимумов не превышает величины:  $k_{\max} \leq \frac{d}{\lambda}$ . Если число наблюдаемых максимумов возросло, значит, уменьшилась длина волны излучения, а частота (а вместе с ней и энергия отдельных фотонов) наоборот возросла ( $\nu \uparrow$ ).

Интенсивность излучения – это количество энергии, падающее на единицу площади за единицу времени. Если она не изменилась, то число фотонов должно уменьшиться, поскольку:  $I = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{\Delta N_{\phi} \cdot E_{\phi}}{\Delta t}$ .

**Ответ:** 12.

- 22) Справа показана шкала манометра, которым измеряли давление. Определите его показания. Погрешность принять равной цене деления. В бланк ответов №1 перенесите только числа, не разделяя их пробелом или другим знаком.

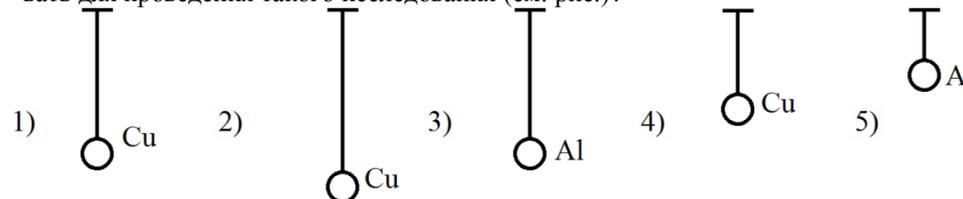


**Решение.**

По фрагменту шкалы манометра легко определить его показания:  $p = 13$  МПа. Цена деления (равная погрешности измерения) составляет 0,5 МПа. Итоговая величина  $p = (13,0 \pm 0,5)$  Мпа. Число записывается в виде 13,0 поскольку количество знаков после запятой и у величины, и у ее погрешности должны совпадать.

**Ответ:** 13,00,5.

- 23) Для экспериментальной проверки зависимости периода колебаний математического маятника от массы тела провели эксперимент, подвешивая на разных нитях шарики одинакового размера из разных материалов. Какие **две** установки следует использовать для проведения такого исследования (см. рис.)?



**Решение.**

Поскольку проверяем зависимость периода колебаний математического маятника от массы тела, то длина нити у выбранных установок должна быть одинаковой, а масса грузов разной. Из пяти предложенных установок такая пара всего одна: 1 и 3.

**Ответ:** 13 или 31.

24) Рассмотрите таблицу, содержащую сведения о некоторых ярких звёздах.

Наименование звезды	Температура поверхности, К	Масса (в массах Солнца)	Радиус (в радиусах Солнца)
Альдебаран	3600	5,0	45,0
ε Возничего В	11000	10,2	3,5
Ригель	11200	40,0	138,0
Сириус А	9250	2,1	2,0
Сириус В	8200	1,0	0,01
Солнце	6000	1,0	1,0
α Центавра А	5730	1,02	1,2

Выберите **два верных** утверждения, которые соответствуют характеристикам звезд.

- 1) Звезда α Центавра А является сверхгигантом.
- 2) Средние плотности звезд ε Возничего В и Сириус А отличаются в пределах 10%.
- 3) Звезда Альдебаран соответствует спектральному классу А.
- 4) Звезда Сириус В относится к белым карликам.
- 5) Звезда Ригель относится к звёздам главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга – Рессела.

**Решение.**

Радиус звезды α Центавра А всего в 1,2 раза превышает радиус Солнца, поэтому данная звезда не может быть сверхгигантом. Следовательно, 1-ый ответ – неверный.

Плотность – это отношение массы к объему (кубу радиуса). Поделив плотности звезд друг на друга, получим соотношение:  $\frac{\rho_B}{\rho_A} = \frac{M_B}{M_A} \cdot \left(\frac{R_A}{R_B}\right)^3 = \frac{10,2}{2,1} \cdot \left(\frac{2,0}{3,5}\right)^3 = 0,906$

или 90,6%. То есть 2-ой ответ – правильный.

Спектральному классу А соответствуют температуры 7500 – 10000 К (белый цвет). Значит, 3-ий ответ – неверный.

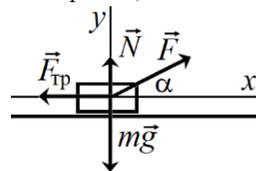
Радиус звезды Сириус В в 100 раз меньше радиуса Солнца, поэтому данная звезда является карликом. Тогда 4-ый ответ верный.

Радиус звезды Ригель в 138 раз превышает радиус Солнца, поэтому данная звезда является сверхгигантом и не может относиться к звездам главной последовательности. Следовательно, 5-ый ответ – неверный.

**Ответ:** 24 или 42.

**Часть 2**

25) На горизонтальном столе лежит брусок массой  $m = 1$  кг. Его равномерно тянут по столу силой  $F = 6$  Н, направленной под углом  $\alpha$  к горизонту. Определите коэффициент трения, если  $\cos \alpha = 0,8$ .



**Решение.**

Покажем действующие силы: силу тяжести ( $m\vec{g}$ ), силу трения ( $\vec{F}_{тр}$ ), нормальную реакцию опоры ( $\vec{N}$ ) и силу  $\vec{F}$ . По условию тело движется равномерно, значит:  $m\vec{g} + \vec{F}_{тр} + \vec{N} + \vec{F} = 0$ . Для величины силы трения скольжения верно  $F_{тр} = \mu N$ . Спроецируем векторное уравнение на оси координат (и перегруппируем):

$$\begin{cases} O_x: 0 = 0 - F_{тр} + 0 + F \cos \alpha \\ O_y: 0 = -mg + 0 + N + F \sin \alpha \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \mu N = F \cos \alpha, \\ N = mg - F \sin \alpha. \end{cases}$$

Если теперь разделить эти уравнения друг на друга, то получим искомое (с учетом основного тригонометрического тождества  $\sin \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} = 0,6$ ):

$$\mu = \frac{F \cos \alpha}{mg - F \sin \alpha} = \frac{6 \cdot 0,8}{1 \cdot 10 - 6 \cdot 0,6} = 0,75.$$

**Ответ:** 0,75.

26) Протон, ускоренный разностью потенциалов  $U$ , движется по круговой орбите радиуса  $R = 1$  мм в однородном магнитном поле с индукцией  $B$ . Каким будет радиус круговой орбиты  $\alpha$ -частицы в этом поле, если ее ускорить разностью потенциалов  $4U$ ? Ответ округлить до десятых.

**Решение.**

При разгоне частицы работа электрического поля идет на увеличение кинетической энергии:  $\frac{mv^2}{2} = qU$ . Движение по окружности под действием силы Лоренца можно

описать по 2 закону Ньютона:  $ma_{цс} = qvB$ , где  $a = \frac{v^2}{R}$  – центростремительное ускорение, откуда  $mv = qBR$ . Исключая скорость из двух уравнений, находим:  $2mU = qB^2 R^2$ . У протона масса и заряд по единице ( ${}^1_1p$ ), а у  $\alpha$ -частицы масса четыре и заряд два ( ${}^4_2He$ ). Тогда квадраты их радиусов соотносятся как:  $R_\alpha^2 = 8R_p^2$ , а сами радиусы:  $R_\alpha = 2\sqrt{2}R_p \approx 2,8$  мм.

**Ответ:** 2,8 мм.

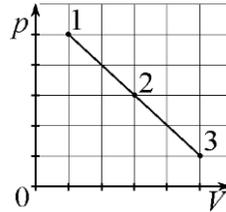
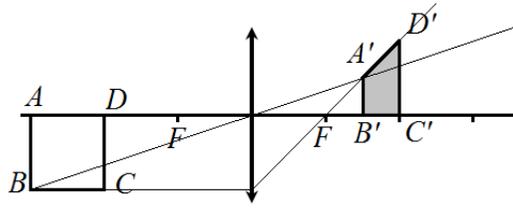
27) Квадрат расположен так, что две его соседние вершины лежат на главной оптической оси линзы с фокусным расстоянием  $F$ : одна на расстоянии  $d_1 = 2F$  от линзы, а

другая на расстоянии  $d_2 = 3F$ . Определите площадь изображения квадрата, если оптическая сила линзы равна  $D = 12,5$  дптр.

**Решение.**

Фокусное расстояние линзы равно  $F = 1/D = 8$  см (оно равно стороне квадрата). Строим изображение квадрата и получаем прямоугольную трапецию с основаниями  $a = 4$  см и  $b = 8$  см и высотой  $h = 4$  см. Найдём искомую площадь по известной формуле:  $S = \frac{a+b}{2} \cdot h = 24 \text{ см}^2$ .

**Ответ:** 24 см<sup>2</sup>.



**28** Постоянная масса идеального газа совершает процесс, имеющий на зависимости давления от объема вид прямого отрезка (см. рис.). Объясните, как изменяется внутренняя энергия газа в ходе процесса, указав, какие физические явления и законы Вы при этом использовали.

**Решение.**

Зададим масштаб по осям графика: 6 клеток по оси абсцисс равно  $p_0$ , 6 клеток по оси ординат равно  $V_0$ . Тогда уравнение прямой, на которой лежит отрезок 1-2-3, имеет вид:  $\frac{p}{p_0} + \frac{V}{V_0} = 1$ . В уравнении Менделеева-Клапейрона ( $pV = \nu RT$ ) заменим давление

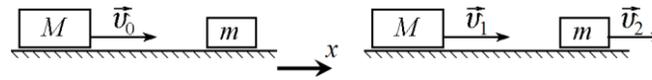
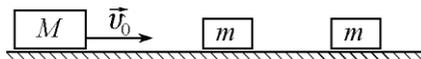
и выразим температуру в виде:  $T = \frac{p_0 V_0}{\nu R} \cdot \frac{VV_0 - V^2}{V_0^2}$ . Пусть  $T_0 = \frac{p_0 V_0}{\nu R}$  и  $x = V/V_0$ , тогда

$T = T_0 \cdot (x - x^2)$ . Из этого уравнения легко заметить, что при изменении  $x$  от  $x_1 = 0$  до  $x_2 = 0,5$  температура возрастает, а затем убывает. Значение  $x_2 = 0,5$  ( $V = V_0/2 = V_2$ ) соответствует максимуму температуры – это точка 2.

Внутренняя энергия идеального газа прямо пропорциональна температуре (например, для идеального одноатомного газа  $U = \frac{3}{2} \nu RT$ ). Следовательно, на участке 1-2 внутренняя энергия возрастает, а на участке 2-3 – уменьшается.

**Ответ:** на 1-2 внутренняя энергия газа увеличивается, на 2-3 – уменьшается.

**29** На гладкой плоскости лежат два одинаковых бруска массой  $m$  каждый. На них налетает брусок массы  $M = 3m$  с начальной скоростью  $v_0 = 4$  м/с и происходит несколько последовательных упругих ударов. Определите конечные скорости тел, считая, что все они движутся вдоль одной прямой.



**Решение.**  
Рассмотрим первый удар бруска  $M$ .

По условию все удары упругие и можно записать два закона сохранения: энергии и импульса:  $p_x^{\text{до}} = p_x^{\text{после}}$  и  $E_{\text{мех}}^{\text{до}} = E_{\text{мех}}^{\text{после}}$  или

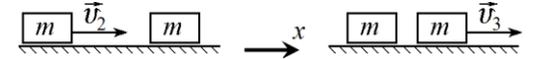
$$Mv_0 + 0 = Mv_1 + mv_2 \text{ и } \frac{Mv_0^2}{2} + 0 = \frac{Mv_1^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2}.$$

Перегруппируем уравнения, а затем разделим их друг на друга:

$$\begin{cases} M(v_0^2 - v_1^2) = mv_2^2, \\ M(v_0 - v_1) = mv_2. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} v_0 + v_1 = v_2, \\ M(v_0 - v_1) = mv_2. \end{cases}$$

Теперь несложно найти скорости тел:  $v_1 = v_0 \cdot \frac{M-m}{M+m} = \frac{v_0}{2}$  и  $v_2 = v_0 \cdot \frac{2M}{M+m} = \frac{3v_0}{2}$ .

Далее рассмотрим второй по счету удар (брусков массами  $m$ ). Можно заметить из тех же уравнений, что из-за равенства масс бруски «поменяются местами»: средний брусок остановится, а крайний правый продолжит движение с его скоростью (см. рис.):  $v_2' = 0, v_3 = v_2$ .



После этого левый брусок ( $M$ ) снова ударит средний. Но эту задачу мы уже решили и находим их конечные скорости:

$$v_1' = v_1 \cdot \frac{M-m}{M+m} = \frac{v_1}{2} = \frac{v_0}{4} \text{ и } v_2'' = v_1 \cdot \frac{2M}{M+m} = \frac{3v_1}{2} = \frac{3v_0}{4}.$$

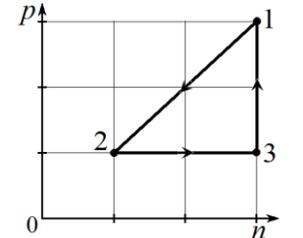
Переходя к числовым значениям запишем конечные скорости тел:  $v_1' = 1$  м/с,  $v_2'' = 3$  м/с и  $v_3 = 6$  м/с.

**Ответ:**  $v_1' = 1$  м/с (левый),  $v_2'' = 3$  м/с (средний) и  $v_3 = 6$  м/с (правый).

**30** Один моль идеального одноатомного газа участвует в цикле, показанном на рисунке. На участке 1-2 к газу подводится  $Q_{12} = 5478$  Дж теплоты. Минимальная температура в цикле равна  $T = 200$  К. Определите КПД цикла.

**Решение.**

Проанализируем участки. 1-2: давление прямо пропорционально температуре и понижается, значит из уравнения  $p = nkT$ , следует, что это изотермическое расширение (концентрация  $n = N/V$ ). Тогда внутренняя энергия не изменяется:  $\Delta U_{12} = 0$ , а из 1 закона термодинамики следует:  $Q_{12} = A_{12}$ .



2-3: давление постоянно, а концентрация растет (объем уменьшается) – это изобарное сжатие. Тогда  $A_{23} = p_2(V_3 - V_2)$  или с учетом уравнения Менделеева-Клапейрона ( $pV = \nu RT$ ) будет:  $A_{23} = \nu R(T_3 - T_2)$ . Для изменения внутренней энергии и количества теплоты:  $\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R(T_3 - T_2)$  и  $Q_{23} = A_{23} + \Delta U_{23} = \frac{5}{2} \nu R(T_3 - T_2) < 0$ , значит, тепло отводится от газа.

3-1: давление растет, а концентрация не изменяется (постоянный объем) – это изохорное нагревание, поскольку из уравнения  $p = nkT$ , следует, что температура растет.

Тогда  $A_{31} = 0$  и  $Q_{31} = \Delta U_{31} = \frac{3}{2} \nu R(T_1 - T_3) > 0$  (тепло подводится).

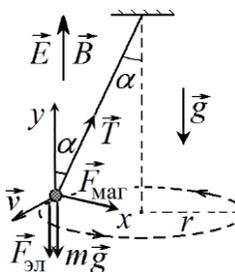
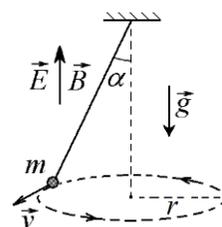
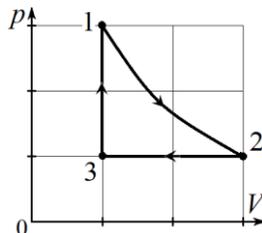
Из рассуждений следует, что минимальная температура в цикле будет в точке 3:  $T_3 = T = 200$  К. А на участке 2-3 постоянна и (из значений в клетках на исходной диаграмме):  $T_1 = T_2 = 3T = 600$  К. Также покажем (хотя это не требуется) диаграмму данного цикла в координатах  $p$  от  $V$ .

Рассчитаем количество теплоты на участках:  $Q_{23} = 2,5 \cdot 1 \cdot 8,31 \cdot (200 - 600) = -8310$  Дж,  $Q_{31} = 1,5 \cdot 1 \cdot 8,31 \cdot (600 - 200) = 4986$  Дж. Получено от нагревателя:

$Q_{\text{нагр}} = Q_{31} + Q_{12} = 4986 + 5478 = 10464$  Дж, отдано холодильнику:  $Q_{\text{хол}} = |Q_{23}| = 8310$  Дж. Тогда искомое КПД:

$$\eta = \frac{Q_{\text{нагр}} - Q_{\text{хол}}}{Q_{\text{нагр}}} \cdot 100\% = \frac{10464 - 8310}{10464} \cdot 100\% = 20,6\%$$

**Ответ:**  $\eta = 20,6\%$ .



**31** В пространстве созданы однородные и направленные вертикально вверх электрическое (напряженность  $E$ ) и магнитное (индукция  $B$ ) поля. На легкой нити подвешен отрицательно заряженный шар массой  $m$ , который движется в горизонтальной плоскости по окружности радиуса  $r$  со скоростью  $v$  (см. рис.). При этом нить составляет угол  $\alpha$  с вертикалью. Сделайте рисунок с указанием всех сил, действующих на шар, и найдите величину заряда  $q$ .

**Решение.**

Покажем силы, действующие на шар: сила тяжести ( $m\vec{g}$ ) и сила со стороны электростатического поля ( $\vec{F}_{\text{эл}} = q\vec{E} = -|q|\vec{E}$ ) – направлены вертикально вниз, сила натяжения нити ( $\vec{T}$ ) – направлена вдоль нити к точке подвеса, сила со стороны магнитного поля ( $F_{\text{маг}} = |q|vB$ ) – направлена к центру окружности, по которой двигается шар. По 2 закону Ньютона:  $m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{F}_{\text{эл}} + \vec{T} + \vec{F}_{\text{маг}}$ . Спроецируем на оси координат:

$$\begin{cases} O_x: ma_{\text{ц}} = 0 + 0 + T \sin \alpha + |q|vB \\ O_y: 0 = -mg - |q|E + T \cos \alpha + 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} T \sin \alpha = ma_{\text{ц}} - |q|vB, \\ T \cos \alpha = mg + |q|E. \end{cases}$$

Подставим выражение для центростремительного ускорения:  $a_{\text{ц}} = \frac{v^2}{r}$ , затем

умножим 2-ое уравнение на  $\text{tg}\alpha$  и приравняем их:  $m \frac{v^2}{r} - |q|vB = mg \cdot \text{tg}\alpha + |q|E \cdot \text{tg}\alpha$ .

Перегруппируем выражение и выразим сначала модуль заряда, а потом, умножив полученное на минус, и саму величину заряда (с учетом знака):  $q = \frac{m \cdot (v^2 - gr \cdot \text{tg}\alpha)}{r \cdot (E \cdot \text{tg}\alpha + vB)}$ .

**Ответ:**

$$q = \frac{m \cdot (v^2 - gr \cdot \text{tg}\alpha)}{r \cdot (E \cdot \text{tg}\alpha + vB)}$$

**32** На поверхность фотокатода с работой выхода  $A_{\text{вых}} = 2,3$  эВ падает монохроматическое излучение. Ток насыщения равен  $I_{\text{нас}} = 0,10$  мкА, а запирающее напряжение составляет  $U_{\text{зап}} = 1,3$  В. Принимая, что только  $\eta = 15\%$  энергии падающего излучения приводит к выбиванию фотоэлектронов, определите его мощность.

**Решение.**

Запишем уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:  $E_{\phi} = A_{\text{вых}} + E_{\text{к}}^{\text{max}}$ . Кинетическая энергия выбитых электроном может быть найдена с помощью запирающего напряжения:  $E_{\text{к}}^{\text{max}} = eU_{\text{зап}}$ . Тогда  $E_{\phi} = A_{\text{вых}} + eU_{\text{зап}}$ .

Мощность излучения (энергия света, падающего на фотокатод за единицу времени):

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{\Delta N_{\phi} \cdot E_{\phi}}{\Delta t}, \text{ где } \Delta N_{\phi} - \text{количество фотонов, упавших за время } \Delta t.$$

Ток насыщения соответствует случаю, когда все выбитые электроны попадают на анод. Тогда  $I_{\text{нас}} = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{\Delta N_{\text{эл}} \cdot e}{\Delta t}$ , где  $\Delta N_{\text{эл}}$  – количество электронов, выбитых за время  $\Delta t$ ,  $e$  – элементарный заряд (модуль заряда электрона).

Не все поглощенные фотоны приводят к вылету электронов, поэтому связь между ними:  $\Delta N_{\text{эл}} = \eta \cdot \Delta N_{\phi}$ , где  $\eta$  – выражена в долях (0,15).

$$\text{Поделим мощность на силу тока: } \frac{P}{I_{\text{нас}}} = \frac{\Delta N_{\phi} \cdot E_{\phi}}{\Delta t} : \frac{\Delta N_{\text{эл}} \cdot e}{\Delta t} = \frac{E_{\phi}}{e\eta}$$

Если теперь подставить выражение для энергии фотона, получим искомое:

$$P = \frac{I_{\text{нас}}}{\eta} \cdot \left( \frac{A_{\text{вых}}}{e} + U_{\text{зап}} \right) = \frac{0,10 \cdot 10^{-6}}{0,15} \cdot (2,3 + 1,3) = 2,4 \text{ мкВт.}$$

**Ответ:**  $P = 2,4 \text{ мкВт}$ .