



**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/с².

- 2 К потолку прикреплен 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.

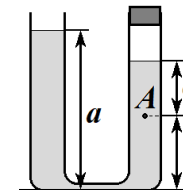
Решение.

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.

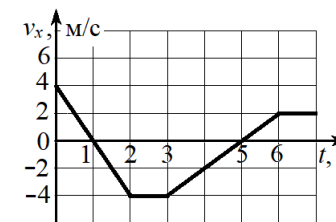


Решение.

Давление внутри жидкости на глубине h можно найти по формуле: $p = p_0 + \rho gh$, где p_0 – давление воздуха над жидкостью, ρ – 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 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 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 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.

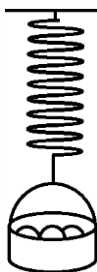
Итого: 3-ий ответ правильный.

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

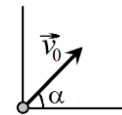
Решение.

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°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°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°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°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

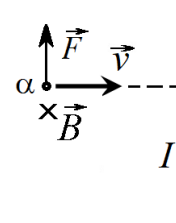
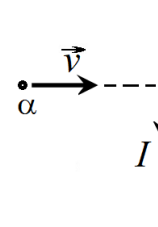
Решение.

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 α -частица. Как направлена относительно рисунка (*вправо, влево, вверх, вниз, к наблюдателю, от наблюдателя*) сила Лоренца, действующая на α -частицу? Ответ запишите словом (словами).

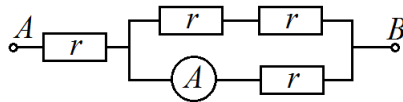


Решение.

По правилу буравчика (правой руки) направим вектор магнитной индукции в месте нахождения α -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 ?

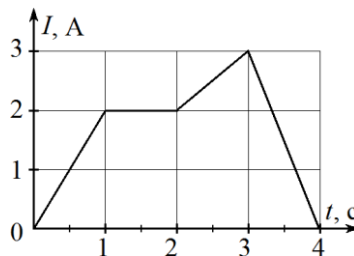


Решение.

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.

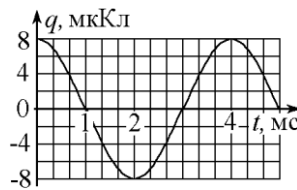


Решение.

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.

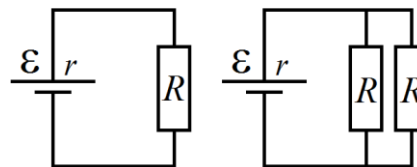
В момент времени 2 мс заряд конденсатора равен: $q = -q_m = -8$ мкКл. Энергия конденсатора может быть найдена как: $W = \frac{q^2}{2C}$, поэтому она не минимальна, а максимальна. Тогда 4-ый ответ – неверный.

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 батарейке 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 Δm – 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

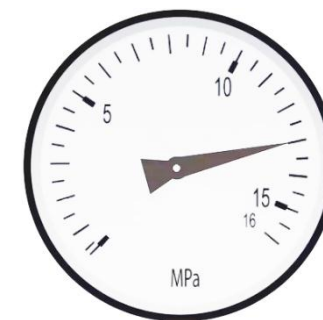
Решение.

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.

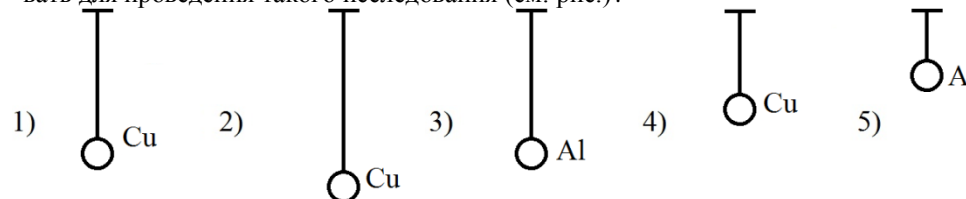


Решение.

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 – Рассела.

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.

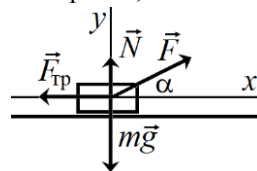
Радиус звезды Сириус В в 100 раз меньше радиуса Солнца, поэтому данная звезда является карликом. Тогда 4-ый ответ верный.

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 α 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 α -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: $ma_{ц} = qvB$, 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 α -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.

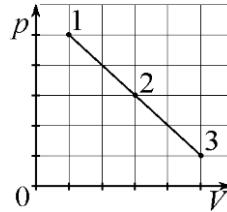
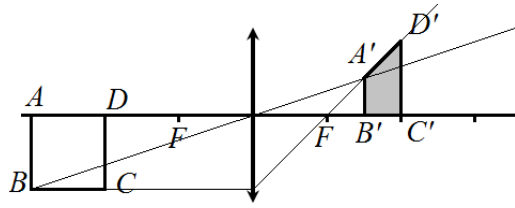
27) Квадрат расположен так, что две его соседние вершины лежат на главной оптической оси линзы с фокусным расстоянием F : одна на расстоянии $d_1 = 2F$ от линзы, а

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: $S = \frac{a+b}{2} \cdot h = 24$ см².

Ответ: 24 см².



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

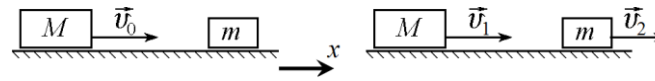
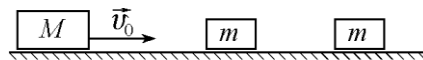
и выразим температуру в виде: $T = \frac{p_0 V_0}{\nu R} \cdot \frac{VV_0 - V^2}{V_0^2}$. Пусть $T_0 = \frac{p_0 V_0}{\nu R}$ и $x = V/V_0$, тогда

$T = T_0 \cdot (x - x^2)$. 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

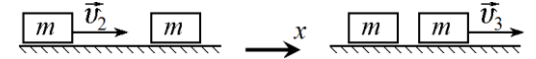
$$Mv_0 + 0 = Mv_1 + mv_2 \text{ и } \frac{Mv_0^2}{2} + 0 = \frac{Mv_1^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2}.$$

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.): $v_2' = 0, v_3 = v_2$.



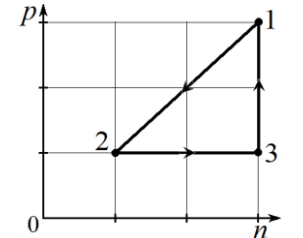
После этого левый брусок (M) снова ударит средний. Но эту задачу мы уже решили и находим их конечные скорости:

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

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).

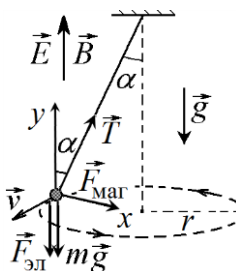
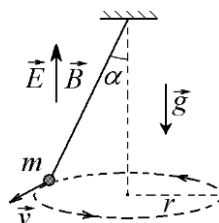
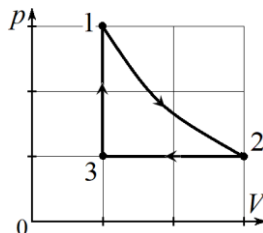
Из рассуждений следует, что минимальная температура в цикле будет в точке 3: $T_3 = T = 200$ К. А на участке 2-3 постоянна и (из значений в клетках на исходной диаграмме): $T_1 = T_2 = 3T = 600$ К. Также покажем (хотя это не требуется) диаграмму данного цикла в координатах p от V .

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

Перегруппируем выражение и выразим сначала модуль заряда, а потом, умножив

полученное на минус, и саму величину заряда (с учетом знака): $q = \frac{m \cdot (v^2 - gr \cdot tg\alpha)}{r \cdot (E \cdot tg\alpha + vB)}$.

Ответ:

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

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

$$I_{\text{нас}} = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{\Delta N_{\text{эл}} \cdot e}{\Delta t}, \text{ где } \Delta N_{\text{эл}} - \text{ количество электронов, выбитых за время } \Delta t, e - \text{ элементарный заряд (модуль заряда электрона).}$$

Не все поглощенные фотоны приводят к вылету электронов, поэтому связь между ними: $\Delta N_{\text{эл}} = \eta \cdot \Delta N_{\phi}$, где η – 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: $P = 2,4 \text{ мкВт}$.