



**ФГБОУ ВО «АЛТАЙСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»**

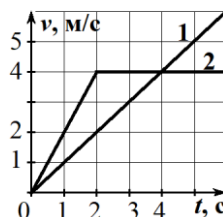
**ИНСТИТУТ ЦИФРОВЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ, ЭЛЕКТРОНИКИ
И ФИЗИКИ**

Пробный вариант для проведения
в 2020 году ЕГЭ по ФИЗИКЕ

ОТВЕТЫ И РЕШЕНИЯ

Часть 1

- 1 Из одной точки одновременно вылетели две частицы в противоположных направлениях. График зависимости модулей скорости частиц от времени показан на рисунке. Каким стало расстояние между ними через 5 секунд после старта?



Решение.

Площадь под графиком зависимости скорости от времени численно равна пройденному расстоянию. Определим площадь под каждой из линий на интервале от 0 с до 5 с: $s_1 = 12,5$ м (прямоугольный треугольник) и $s_2 = 16$ м (трапеция). Тогда искомое расстояние между частицами равно: $s = s_1 + s_2 = 28,5$ м.

Ответ: 28,5 м

- 2 После толчка брусок массой 350 г движется по горизонтальному полу. Коэффициент трения между бруском и полом равен 0,28. Определите модуль ускорения бруска.

Решение.

После толчка груз движется по инерции под действием трех сил: тяжести, нормальной реакции опоры и трения (скольжения). При движении по горизонтальной поверхности $N = mg$, $F_{\text{тр}} = \mu N = \mu mg$. Спроецируем II закон Ньютона на направление движения: $ma_x = -F_{\text{тр}}$, искомый модуль ускорения: $a = |a_x| = \mu g = 2,8$ м/с².

Ответ: 2,8 м/с²

- 3 Шарик бросили с высоты $h = 1,4$ м под некоторым углом к горизонту. В момент падения скорость шарика равна $v = 8$ м/с. С какой начальной скоростью бросили шарик? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Решение.

По закону сохранения полной механической энергии можно записать: $\frac{mv_0^2}{2} + mgh = \frac{mv^2}{2} + 0$. Тогда искомая начальная скорость: $v_0 = \sqrt{v^2 - 2gh} = 6$ м/с.

Ответ: 6 м/с

- 4 Волна за время $t = 2$ с проходит расстояние $s = 100\lambda$, где λ – длина волны. Какова частота колебаний в волне?

Решение.

Скорость распространения волны равна $c = s/t$. По определению длины волны – это расстояние, которое она проходит за один период колебаний. Значит, $\lambda = cT = sT/t$.

Частота колебаний: $\nu = \frac{1}{T} = \frac{s}{\lambda t} = 50$ Гц.

Ответ: 50 Гц

- 5 На наклонную плоскость положили брусок и он начал соскальзывать. В таблице представлены данные о координате бруска, измеряемой вдоль линии движения, в некоторые моменты времени. Из приведённого ниже списка выберите **два правильных** утверждения относительно этого движения.

x , см	12	15	20	36	60
t , с	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8

- 1) Брусок начал движение в момент времени $t_0 = 0$ с.
- 2) Модуль ускорения движения равен 2 м/с².
- 3) Начальная координата бруска равна $x_0 = 10$ см.
- 4) В момент времени $t = 0,5$ с скорость бруска равна $0,8$ м/с.
- 5) В момент времени $t = 0,5$ с координата бруска равна 28 см.

Решение.

Пусть начальная координата x_0 , а момент начала движения t_0 . Тогда для любой пары данных из таблицы в условии верно: $x = x_0 + \frac{a(t-t_0)^2}{2}$. Если взять две пары и вы-

честь их друг из друга, то $2(x_2 - x_1) = a(t_2 - t_1)(t_2 + t_1 - 2t_0)$. Если взять первую и вторую пары, а затем поделить их друг на друга, то получим выражение для t_0 :

$\frac{x_2 - x_1}{x_3 - x_2} = \frac{t_2 + t_1 - 2t_0}{t_3 + t_2 - 2t_0}$, откуда $\frac{3}{5} = \frac{0,5 - 2t_0}{0,7 - 2t_0}$ и находим $t_0 = 0,1$ с. Значит первый (1)

ответ неверный.

Подставляя найденное начальное время обратно, получим ускорение движения

$a = \frac{2(x_2 - x_1)}{(t_2 - t_1)(t_2 + t_1 - 2t_0)} = 2$ м/с². Значит второй (2) ответ верный.

Возвращаясь к исходному уравнению, находим начальную координату:

$x_0 = x_1 - \frac{a(t_1 - t_0)^2}{2} = 11$ см. Следовательно, третий (3) ответ верный.

Для скорости движения можно записать: $v = a(t - t_0)$, откуда легко находим величину скорости момент времени $t = 0,5$ с: $v = 0,8$ м/с, тогда четвертый (4) ответ верный. И координата (по самой первой формуле решения) в тот же момент: $x = 27$ см. Последний пятый (5) ответ неверный.

Ответ: 24 или 42

- 6 Груз массы $4m$ колеблется на пружине жесткости k с амплитудой A . Как изменятся период колебаний и максимальная скорость груза, если на пружине той же жесткости k будет колебаться груз массы m с амплитудой $A/2$? 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.

Период колебаний	Максимальная скорость груза

Решение.

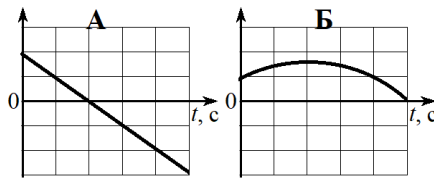
Запишем формулы из кодификатора для расчета периода колебаний и максимальной скорости груза: $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$, $v_m = A\omega$, где $\omega = \frac{2\pi}{T}$ – циклическая или круговая частота колебаний. При уменьшении массы в 4 раза и неизменной жесткости пружины период колебаний уменьшится в два раза: $T = T_0/2$, значит в первом столбце ответ 2.

Частота колебаний в 2 раза увеличится: $\omega = 2\omega_0$. Следовательно, если амплитуда колебаний уменьшится в два раза, то максимальная скорость груза (их произведение) не изменится – это ответ 3 во втором столбце.

Ответ: 23

- 7 Тело бросили с башни высотой h под углом α к горизонту в момент времени $t = 0$. Графики А и Б отображают изменение с течением времени физических величин, характеризующих движение тела. Установите соответствие между графиками и физическими величинами, изменение которых со временем эти графики могут отображать. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ГРАФИКИ



ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- 1) проекция скорости на вертикальную ось v_y
- 2) кинетическая энергия тела E_k
- 3) проекция скорости на горизонтальную ось v_x
- 4) потенциальная энергия тела E_p

Решение.

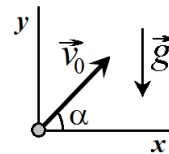
Приведем сначала строгое математическое объяснение. Запишем стандартные выражения для физических величин, которые следует выбрать. Проекции скорости на оси:

$v_x = v_0 \cdot \cos \alpha$ – прямой отрезок, параллельный оси абсцисс (времени);

$v_y = v_0 \cdot \sin \alpha - gt$ – прямой отрезок, ордината точек которого убывает с ростом абсциссы и пересекающий в некоторой точке ось абсцисс (времени) – это график А;

Компоненты механической энергии тела:

$E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{m(v_x^2 + v_y^2)}{2} = \frac{mv_0^2}{2} - mv_0gt \sin \alpha + \frac{mg^2t^2}{2}$ – участок параболы, ветви которой направлены вверх;



$E_p = mgy = mv_0gt \sin \alpha - \frac{mg^2t^2}{2}$ – участок параболы, ветви которой направлены вниз – это график В.

Эти же верные ответы можно было выбрать и качественно. Проекция скорости на ось Ox не меняется, поскольку единственная сила (сила тяжести) направлена вертикально вниз. Ее величина постоянна, поэтому вдоль оси Oy движение равноускоренное и тело при подъеме до верхней точки снижает проекцию скорости v_y до нуля, а затем она отрицательна (график А). После броска тело сначала летит вверх, а потом вниз. Поэтому кинетическая энергия сначала уменьшается, а потом возрастает, принимая в верхней точке минимальное значение. А потенциальная энергия наоборот сначала растет, достигает максимума в верхней точке траектории, а затем снижается (график В).

Ответ: 14

- 8 В закрытом сосуде находится идеальный газ. Температура газа выросла от -13°C до $+26^\circ\text{C}$. На сколько процентов увеличилось давление в сосуде?

Решение.

Запишем два раза (для начального и конечного состояний) уравнение Менделеева-Клапейрона: $p_0V = \nu RT_0$, $pV = \nu RT$, с учетом того, что объем и количество газа не изменились. Разделив второе уравнение на первое получим отношение давлений:

$\frac{p}{p_0} = \frac{T}{T_0}$. Теперь перейдем от градусов Цельсия к градусам Кельвина: $T = t + 273$. И

вычислим: $\frac{p}{p_0} = \frac{299}{260} = 1,15$. Переходим от долей к процентам и получаем, что давление

в сосуде возросло на 15%.

Ответ: 15 %

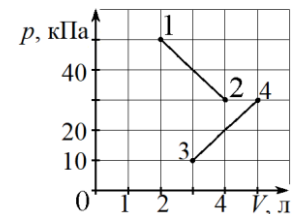
- 9 На рисунке показано расширение аргона двумя способами: 1–2 и 3–4. Найдите разность работ ($A_{12} - A_{34}$) газа на этих участках.

Решение.

Работа по графику в координатах p от V находится как площадь под линией процесса. Считать удобнее всего в клетках. Размер одной клетки $10 \text{ кПа} \cdot 1 \text{ л} = 10 \text{ Дж}$. Площадь под каждым из участков имеет вид трапеции, а разность этих площадей составляет ровно 4 клетки. Значит $A_{12} - A_{34} = 4 \cdot 10 = 40 \text{ Дж}$.

Ответ: 40 Дж

- 10 В цилиндре под поршнем находится пар массой $m = 9 \text{ г}$ влажностью 60%. Поршень вдвигают при постоянной температуре, уменьшая объем пара в 2 раза. Сколько грамм пара сконденсируется?



Решение.

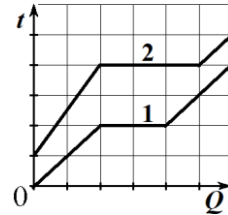
Относительная влажность пара $\varphi = \frac{\rho}{\rho_{\text{нас}}} \cdot 100\%$, плотность $\rho = \frac{m}{V}$. Тогда начальная

масса пара $m_0 = 0,6\rho_{\text{нас}}V$. Если объем уменьшить в два раза, то влажность достигнет 100%, пар станет насыщенным и часть его сконденсируется. Для насыщенного пара масса равна: $m_0 = \rho_{\text{нас}}V/2 = 0,5\rho_{\text{нас}}V$. Значит искомая масса конденсата: $m_k = m_0 - m = 0,1\rho_{\text{нас}}V = m_0/6 = 1,5\text{ г}$.

Ответ: 15 г

11 На рисунке представлены графики зависимости температуры t двух тел разной массы ($m_2 = 2m_1$) от сообщенного количества теплоты Q . Первоначально тела находились в твердом агрегатном состоянии. Используя данные графиков, выберите из предложенного перечня два верных утверждения и укажите их номера.

- 1) Температура плавления у первого тела в 2 раза больше, чем у второго.
- 2) Тела имеют одинаковую удельную теплоёмкость в твердом агрегатном состоянии.
- 3) Тела имеют одинаковую удельную теплоёмкость в жидком агрегатном состоянии.
- 4) Удельная теплоёмкость второго тела в твердом агрегатном состоянии в 3 раза меньше, чем у первого.
- 5) Удельная теплота плавления у первого тела больше, чем у второго.



Решение.

Плавление на графике соответствует горизонтальным участкам и у второго тела он находится при более высокой температуре, значит первый (1) ответ неверный.

Наклонные участки соответствуют нагреву и с учетом формулы $Q = cm\Delta t$, получим следующие результаты, взяв значения величин в клетках:

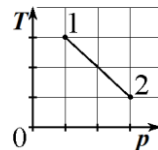
$$c_{1\text{тв}}m_1 \cdot 2 = 2, \quad c_{2\text{тв}}m_2 \cdot 3 = 2, \quad c_{1\text{ж}}m_1 \cdot 2 = 2, \quad c_{2\text{ж}}m_2 \cdot 1 = 1.$$

Из этих четырех равенств с учетом соотношения масс (в условии $m_2 = 2m_1$) находим: $c_{1\text{тв}} = 3c_{2\text{тв}}$, $c_{1\text{ж}} = 2c_{2\text{ж}}$. Значит второй (2) и третий (3) ответы неверные, а четвертый (4) ответ – правильный.

Аналогично проведем сравнение участков плавления, используя формулу $Q = \lambda m$: $\lambda_1m_1 = 2$, $\lambda_2m_2 = 3$. Откуда $3\lambda_1 = 4\lambda_2$. Значит, пятый (5) ответ верный.

Ответ: 45 или 54

12 На рисунке показан график некоторого процесса в координатах температуры и давления для некоторого количества идеального одноатомного газа. Зависимость представляет собой прямой отрезок. Как изменяются в ходе этого процесса объем и внутренняя энергия газа? 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.



Объем	Внутренняя энергия

Решение.

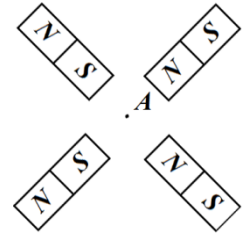
По данному графику можно сделать вывод, что в ходе процесса 1-2 давление газа возрастает ($p \uparrow$), а температура падает ($T \downarrow$).

Выразим объем из уравнения Менделеева-Клапейрона: $V = \frac{\nu RT}{p}$. Знаменатель дроби растет, а числитель уменьшается, значит, объем уменьшается (2, $V \downarrow$).

Внутренняя энергия одноатомного идеального газа равна: $U = \frac{3}{2}\nu RT$ и при постоянном количестве газа прямо пропорционально температуре. Следовательно, внутренняя энергия газа уменьшается (2, $U \downarrow$).

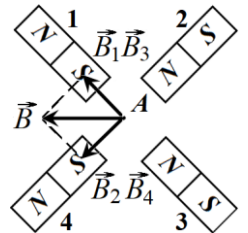
Ответ: 22

13 На рисунке показаны четыре одинаковых полосовых магнита. Определите направление вектора магнитной индукции в точке А (вправо, влево, вверх, вниз, к наблюдателю, от наблюдателя).



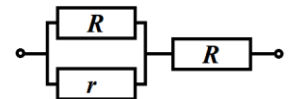
Решение.

Вектор магнитной индукции $\vec{B}$ направлен по касательной к силовым линиям, которые выходят из северного полюса и входят в южный полюс. По условию у нас 4 одинаковых магнита. Их результирующее поле в точке А может быть найдено по принципу суперпозиции, как геометрическая (векторная сумма) четырех векторов. Построим рисунок. Точка А расположена одинаково по отношению к магнитам, поэтому все 4 вектора имеют одинаковую длину. Тогда верный ответ: влево.



Ответ: влево

14 К резистору сопротивлением $r = 60$ Ом подсоединили параллельно резистор сопротивлением R , а затем еще один такой же резистор сопротивлением R последовательно. Чему равно R , если сопротивление участка цепи из трех резисторов стало равно 64 Ом?



Решение.

При параллельном соединении резисторов r и R сопротивление находится по формуле $R_{12} = \frac{Rr}{R+r}$. Если к ним последовательно присоединить еще один резистор, то

общее сопротивление станет равно: $R_{\text{общ}} = R + R_{12} = R + \frac{Rr}{R+r}$. Перейдем к числовым значениям: $64 = R + \frac{60R}{R+60}$. После преобразований получаем квадратное уравнение

вида: $R^2 + 56R - 3840 = 0$. Положительный корень этого уравнения дает ответ на вопрос о величине сопротивления: $R = 40$ Ом.

Ответ: 40 Ом

- 15] По катушке индуктивности $L = 4$ мГн протекает электрический ток. Определите силу тока, если магнитная энергия катушки оказалась равна $W = 18$ мДж.

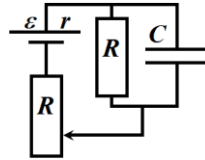
Решение.

При протекании тока по катушке в ней запасается магнитная энергия величиной:

$$W = \frac{LI^2}{2}. \text{ Перегруппируем это выражение: } I = \sqrt{\frac{2W}{L}} = 3 \text{ А.}$$

Ответ: 3 А.

- 16] На рисунке приведена схема электрической цепи. В начальный момент конденсатор заряжен и ток в его ветви отсутствует, а ползунок реостата стоит в среднем положении. Ползунок передвинули вниз и подождали. Выберите два верных утверждения об изменении величин в опыте.



- 1) Ток через источник увеличился.
- 2) Заряд конденсатора уменьшился.
- 3) Энергия конденсатора возросла.
- 4) Напряжение на резисторе R не изменилось.
- 5) Напряжение на реостате увеличилось.

Решение.

Сопротивление реостата (R_p) определяется длиной его части между подвижным и неподвижным контактами. Поэтому при смещении ползунка вниз сопротивление реостата возрастет ($R_p \uparrow$). Это приведет к нарушению равновесия в цепи и заряд конденсатора постепенно изменится. Поэтому, если подождать, ток в ветви конденсатора снова прекратится.

Сила тока в цепи по закону Ома для полной цепи равна: $I = \frac{\varepsilon}{R + r + R_p}$. Знамена-

тель дроби возрос, тогда сила тока уменьшилась ($I \downarrow$) и первый (1) ответ неверный.

По закону Ома для участка цепи напряжение на резисторе: $U = IR$. Поскольку ток уменьшился, то напряжение и на резисторе, и на параллельном с ним включенном конденсаторе, уменьшилось ($U \downarrow$). Значит, четвертый (4) ответ неверный.

Для заряда конденсатора справедливо $q = CU$, следовательно, заряд конденсатора уменьшился ($q \downarrow$) и второй (2) ответ верный, а третий (3) нет, поскольку энергия конденсатора может быть найдена по формуле: $W = \frac{q^2}{2C}$ и она уменьшилась ($W \downarrow$).

Напряжение на реостате можно найти по формуле: $U_p = \varepsilon - I(R + r)$. Поскольку сила тока уменьшилась, то оно возросло ($U_p \uparrow$) и пятый (5) ответ верный.

Ответ: 25 или 52

- 17] Протон разгоняется из состояния покоя электрическим полем напряженности E на участке длины L , а затем влетает в магнитное поле с индукцией B перпендикулярно силовым линиям. Как изменятся ускорение разгона и период обращения в магнитном поле, если вместо протона запустить таким же образом α -частицу? Для каждой величины определите характер изменения: 1) увеличится, 2) уменьшится, 3) не изменится. За-

пишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Ускорение разгона	Период обращения

Решение.

Протон и α -частица часто пишут в виде: ${}_1^1p$ и ${}_2^4He$. Заряды частиц $q_p = e$, $q_\alpha = 2e$, а массы $m_p = 1$ а.е.м., $m_\alpha = 4$ а.е.м. Ускорение при разгоне можно определить по II закону Ньютона: $ma = F$, где $F = qE$ – действующая сила. Тогда $a = \frac{qE}{m}$ и оно уменьшится, поскольку удельный заряд у протона выше.

При вращении по окружности в магнитном поле период обращения находится по формуле $T = \frac{2\pi m}{qB}$. Тогда он увеличится, поскольку в этой формуле удельный заряд находится в знаменателе.

Ответ: 12

- 18] Релятивистская частица с массой покоя m_0 разогналась до скорости $0,6c$. 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) Полная энергия частицы	1) $0,18m_0c^2$
Б) Кинетическая энергия частицы	2) $0,25m_0c^2$
	3) m_0c^2
	4) $1,25m_0c^2$

Решение.

Полная энергия частицы и ее кинетическая энергия могут быть найдены по формулам: $E = mc^2$ и $E_k = (m - m_0)c^2$, где m_0 – масса покоя, а $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ – релятивист-

ская масса. При заданной скорости она будет равна: $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (0,6)^2}} = 1,25m_0$. Тогда

искомые величины окажутся равными $E = 1,25m_0c^2$ и $E_k = 0,25m_0c^2$. Это ответы 4 и 2.

Ответ: 42

- 19] В ходе реакции ядерного распада было получено ядро X . Определите число нейтронов и число нуклонов этого ядра: ${}_{92}^{235}U + {}_0^1n \rightarrow {}_{56}^{144}Ba + {}_Z^AX + 3{}_0^1n$

Число нейтронов	Число нуклонов

Решение.

Запишем законы сохранения массового числа и зарядового числа для данной по условию ядерной реакции (для ряда верхних чисел и ряда нижних чисел):

$$\begin{cases} 235 + 1 = 144 + A + 3 \cdot 1, \\ 92 + 0 = 56 + Z + 3 \cdot 0, \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} A = 89, \\ Z = 36. \end{cases}$$

Число нуклонов – это массовое число 89. А число нейтронов: $N = A - Z = 53$.

Ответ: 5389

- 20) Энергия электрона в атоме водорода задается формулой $E_n = -13,6/n^2$ (эВ), где $n = 1, 2, 3, \dots$ – номер уровня. Атом, у которого электрон находится на втором энергетическом уровне, поглощает фотон с длиной волны 410 нм. На какой уровень перешел электрон?

Решение.

По закону сохранения энергии для фотона имеем: $E_{\text{ф}} = E_n - E_2$, где E_n – энергия уровня на который произошел переход. С другой стороны эту энергию можно найти по формуле: $E_{\text{ф}} = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{410 \cdot 10^{-9}} = 4,83 \cdot 10^{-19}$ Дж = 3,02 эВ.

$$E_{\text{ф}} = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{410 \cdot 10^{-9}} = 4,83 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 3,02 \text{ эВ.}$$

Тогда искомое число n можно найти из уравнения: $3,02 = \frac{13,6}{4} - \frac{13,6}{n^2}$. Поскольку ответом может быть только целое число, то $n = 6$.

Ответ: 6

- 21) На дифракционную решетку падает красный свет, при этом на экране позади решетки наблюдают дифракционную картину. Затем на ту же решетку направили излучение зеленого цвета. Как изменились частота излучения и число дифракционных максимумов на экране? 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 дифракционных максимумов

Решение.

По шкале электромагнитных волн (можно использовать какую-нибудь из считалок КОЖЗГСФ) при переходе от красного цвета к зеленому уменьшается длина волны и возрастает частота излучения. Поэтому в первом столбце ответ 1.

Для дифракционной решетки справедливо: $d \cdot \sin \alpha_k = k\lambda$, где k – номер или порядок дифракционного максимума, наблюдаемого под углом α_k для длины волны λ . Количество максимумов, таким образом, определяется углами отклонения. Если экран неподвижен, то максимальный угол падения света на него после дифракционной решетки останется прежним и отношение максимальных значений порядка спектра:

$$\frac{k_2}{k_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} > 1. \text{ Значит, число дифракционных максимумов на экране увеличится (ответ 1).}$$

Ответ: 11

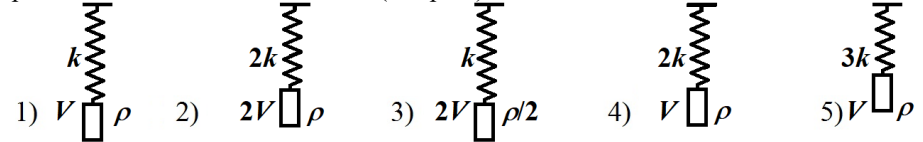
- 22) Чтобы определить объём монетки 1 рубль, в мензурку погружают $N = 40$ таких монеток. Измерение показало, что объём воды изменился относительно первоначального уровня на $V = (20 \pm 1) \text{ см}^3$. Чему равен объём одной монеты? В бланк ответов №1 перенесите только числа, не разделяя их пробелом или другим знаком.

Решение.

Поскольку монеток 40, то объём одной из них найдем простым делением. Кроме этого надо перевести объём в мм^3 , поэтому умножим получаемый результат на 1000. Итоговая величина $V_1 = (500 \pm 25) \text{ мм}^3$. Ответ запишем в виде числа 50025.

Ответ: 50025

- 23) Для экспериментальной проверки зависимости периода колебаний пружинного маятника от массы груза провели эксперимент, подвесив к разным пружинам грузы разного размера и разной плотности. Какие **две** установки следует использовать для проведения такого исследования (см. рис.)?



Решение.

Поскольку проверяем зависимость периода колебаний пружинного маятника от массы груза, то жесткость пружины выбранных установок должна быть одинаковой, а масса грузов (то есть произведение плотности на объём) разной. Из пяти предложенных установок пара по первому критерию подходят две пары: 13 и 24. Однако у пары 13 грузы имеют одинаковую массу. Поэтому правильный ответ 42.

Ответ: 24 или 42

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

Наименование звезды	Температура поверхности, К	Масса (в массах Солнца)	Радиус (в радиусах Солнца)
Вега	9600	2	3
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

Выберите **все верные** утверждения, которые соответствуют характеристикам звезд.

- 1) Средняя плотность Солнца примерно в 3,8 раза больше, чем плотность Сириус А.
- 2) Звезда Вега является сверхгигантом.
- 3) Звезда Сириус В относится к белым карликам.
- 4) Звезда Ригель относится к звёздам главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга – Рассела.

5) Звёзды Ригель и Солнце относятся к разным спектральным классам.

Решение.

Плотность – это отношение массы к объёму (кубу радиуса). Поделив плотности

звезд друг на друга, получим соотношение: $\frac{\rho_C}{\rho_{C-A}} = \frac{M_C}{M_{C-A}} \cdot \left(\frac{R_{C-A}}{R_C}\right)^3 = \frac{1,0}{2,1} \cdot \left(\frac{2,0}{1,0}\right)^3 = 3,8$.

То есть 1-ый ответ – правильный.

Радиус звезды Вега всего в 3 раза превышает радиус Солнца, поэтому данная звезда не может быть сверхгигантом. Следовательно, 2-ой ответ – неверный.

Радиус звезды Сириус В в 100 раз меньше радиуса Солнца, поэтому данная звезда является карликом. Тогда 3-ий 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, 4-ый ответ – неверный.

Температуры звезд Ригель и Солнце отличаются почти в 2 раза, поэтому они не могут относиться к одному спектральному классу. Значит, 3-ий ответ – неверный.

Ответ: 135 (в любом порядке)

Часть 2

25 По проводу массой $m = 10$ г и длиной $l = 20$ см, лежащему на горизонтальном столе, пропускают электрический ток. В пространстве вокруг провода создано вертикальное однородное магнитное поле с индукцией $B = 40$ мТл. Если ток не превышает величину 1 А, провод лежит неподвижно, а при больших токах приходит в движение. С каким ускорением будет двигаться провод, если пропускать по нему ток 2,5 А?

Решение.

На провод действуют следующие силы: сила тяжести ($m\vec{g}$), нормальная реакция опоры ($\vec{N}$), сила Ампера ($\vec{F}_A$) и сила трения ($\vec{F}_{тр}$). Стол расположен горизонтально, значит, $mg = N$. Магнитное поле направлено вертикально, а провод расположен горизонтально, следовательно, сила Ампера будет направлена горизонтально ($\perp$ к проводу) и толкать провод, а сила трения будет препятствовать этому. Если ток небольшой, то провод неподвижен и $F_A = F_{тр}$. При силе тока $I_0 = 1$ А наступает пограничное состояние, когда для величины силы трения скольжения верно $F_{тр} = \mu N$. Тогда получаем соотношение $I_0 Bl = \mu mg$.

При другой силе тока провод будет двигаться с ускорением и по II закону Ньютона: $ma = F_A - F_{тр}$. Подставляя вместо силы трения полученное чуть ранее соотношение: $ma = IBl - I_0 Bl = (I - I_0)Bl$. Искомое ускорение равно:

$$a = \frac{(I - I_0)Bl}{m} = \frac{(2,5 - 1) \cdot 0,04 \cdot 0,2}{0,01} = 1,2 \text{ м/с}^2.$$

Ответ: 1,2 м/с²

26 На металлическую поверхность падает монохроматическое излучение. Электроны, выбитые в результате фотоэффекта, полностью задерживаются напряжением $U = 1,1$ В. Какова длина волны излучения, если работа выхода в полтора раза меньше энергии падающих фотонов? Ответ округлить до целого.

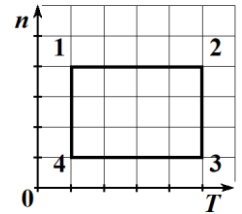
Решение.

По закону фотоэффекта Эйнштейна: $E_{\phi} = A_{\text{вых}} + E_k$, где $E_{\phi} = \frac{hc}{\lambda}$ – энергия фотона в падающем излучении, $A_{\text{вых}}$ – работа выхода, причем, $E_{\phi} = 1,5A_{\text{вых}}$. Для кинетической энергии выбитых электронов верно: $E_k = eU$.

Составим все слагаемые вместе и перегруппируем: $\frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{1,5\lambda} + eU$, откуда выражаем искомую длину волны: $\lambda = \frac{hc}{3eU} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,1} = 3,75 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 375 \text{ нм}$.

Ответ: 375 нм

27 Постоянная масса идеального газа совершает круговой процесс, имеющий на графике зависимости концентрации от температуры вид прямоугольника (см. рис.). Постройте график цикла в координатах p – V , где p – давление газа, V – объём газа. Опираясь на законы молекулярной физики и термодинамики, объясните построение графика. Определите, во сколько раз работа газа за цикл по модулю больше работы внешних сил на участке 4–1.



Решение.

Рассмотрим каждый участок цикла по отдельности. Данные берем из графика. 1-2: $n = \text{const}$, $T_2 = 5T_1$. Это изохора $V = \text{const}$ и из уравнения Менделеева-Клапейрона $pV = \nu RT$ имеем $p_2 = 5p_1$, $V_2 = V_1$.

2-3: $T = \text{const}$, $n_2 = 4n_3$. Это изотерма $T = \text{const}$ и из определения концентрации $n = N/V$ имеем $V_3 = 4V_2 = 4V_1$, $p_3 = p_2/4 = 1,25p_1$, $T_3 = T_2 = 5T_1$.

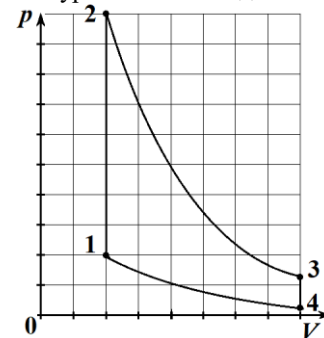
3-4: $n = \text{const}$, $T_4 = T_1$. Это изохора $V = \text{const}$ и из уравнения Менделеева-Клапейрона $pV = \nu RT$ имеем $p_4 = p_3/5 = 0,25p_1$, $V_4 = V_3 = 4V_1$.

4-1: $T = \text{const}$, $n_1 = 4n_4$. Это изотерма $T = \text{const}$.

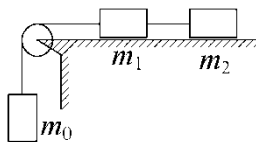
По найденным значениям ставим точки и проводим четыре плавные линии, соответствующие указанным процессам.

Работа за цикл равна площади, охваченной линией цикла. Работа внешних сил на участке 4-1 равна площади под участком. Выделим на построенной диаграмме тонкую полоску параллельно оси ординат (давления p) ширины ΔV . Отношение расстояний на этой полоске от оси абсцисс (объема V) до линии 4-1 и между линиями 1-4 и 2-3 равно четырем. Поскольку площади фигур равны суммам площадей таких полосок и для любой пары соотношение одинаковое (4), то искомое отношение работ: $A_{\text{цикл}}/A_{1-4} = 4$.

Ответ: $A_{\text{цикл}}/A_{1-4} = 4$



- 28 В установке, показанной на рисунке, массы тел равны $m_0 = 5$ кг, $m_1 = 3$ кг и $m_2 = 2$ кг, массы блока и нитей пренебрежимо малы и трения в блоке нет. Найдите ускорение, с которым опускается тело m_0 и натяжение нити, связывающей тела m_1 и m_2 , если коэффициент трения между этими телами и горизонтальной поверхностью $\mu = 0,3$.



Решение.

Покажем силы, действующие на каждое из тел. Учитывая, что движение тел происходит совместно, запишем уравнения связи: $a_{0y} = a_{1x} = a_{2x} = a$, $T_{01} = T_{10}$, $T_{12} = T_{21}$.

Направим силы и запишем II закон Ньютона в проекциях на оси координат:

$$\begin{cases} m_0 a = m_0 g - T_{10} \\ m_1 a = T_{10} - T_{12} - F_{\text{тр}1} \\ m_2 a = T_{12} - F_{\text{тр}2} \\ 0 = m_1 g - N_1 \\ 0 = m_2 g - N_2 \end{cases}$$

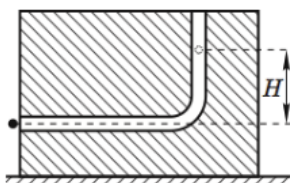
Для сил трения скольжения можно записать: $F_{\text{тр}1} = \mu N_1$, $F_{\text{тр}2} = \mu N_2$. Сложив первые три уравнения системы, и подставив выражения для реакций опор, найдем искомое ускорение:

$$a = g \cdot \frac{m_0 - \mu(m_1 + m_2)}{m_0 + m_1 + m_2} = 3,5 \text{ м/с}^2.$$

Натяжение нити, связывающей тела m_1 и m_2 , найдем подставив полученное ускорение в третье уравнение системы: $T_{12} = m_2(a + \mu g) = 13 \text{ Н}$.

Ответ: 3,5 м/с²; 13 Н

- 29 Брусок массой M покоится на гладкой горизонтальной поверхности. В бруске просверлен тонкий канал, состоящий из трёх участков: горизонтального, вертикального и плавного их соединяющего изогнутого участка (см. рисунок). В канал влетает с некоторой горизонтальной скоростью маленький шарик массой m . В процессе движения шарик поднимается до максимальной высоты H в вертикальном канале. Определите скорости v_1 шарика и v_2 бруска сразу после того как шарик выскользнет из канала. Трение не учитывайте.



Решение.

По условию трения нет, значит, на систему «шарик+брусок» не действует внешних горизонтальных сил и можно записать два закона сохранения: энергии и импульса: $p_x^{\text{до}} = p_x^{\text{после}}$ и $E_{\text{мех}}^{\text{до}} = E_{\text{мех}}^{\text{после}}$. Пусть v_0 – начальная скорость шарика, v – скорость бруска и шарика в момент нахождения шарика в верхней точке движения. Тогда

$$mv_0 + 0 = (M + m)v = -mv_1 + Mv_2 \quad \text{и} \quad \frac{mv_0^2}{2} + 0 = \frac{(M + m)v^2}{2} + mgH = \frac{Mv_2^2}{2} + \frac{mv_1^2}{2}.$$

Перегруппируем уравнения, а затем разделим их друг на друга:

$$\begin{cases} m(v_0^2 - v_1^2) = Mv_2^2, \\ m(v_0 + v_1) = Mv_2, \end{cases} \Rightarrow v_0 = v_1 + v_2.$$

Теперь несложно выразить все скорости тел через начальную скорость шарика:

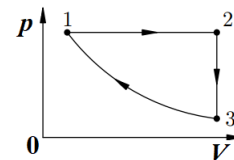
$$v = \frac{mv_0}{M + m}, \quad v_1 = \frac{2mv_0}{M + m} \quad \text{и} \quad v_2 = v_0 \cdot \frac{M - m}{M + m}.$$

Подставив эти выражения в закон сохранения энергии, находим искомое:

$$v_1 = \sqrt{2gH} \cdot \frac{2m}{\sqrt{M(M + m)}} \quad \text{и} \quad v_2 = \sqrt{2gH} \cdot \frac{M - m}{\sqrt{M(M + m)}}.$$

Ответ: $v_1 = \sqrt{2gH} \cdot \frac{2m}{\sqrt{M(M + m)}}, \quad v_2 = \sqrt{2gH} \cdot \frac{M - m}{\sqrt{M(M + m)}}$

- 30 Тепловая машина работает по циклу, состоящему из изобары 1–2, изохоры 2–3 и адиабаты 3–1 (см. рисунок). Найти КПД этого цикла, если объём на изобаре изменяется в 8 раз. Рабочее вещество – идеальный одноатомный газ. Известно, что в адиабатическом процессе для данного газа температура T и объём V связаны уравнением $T^3 \cdot V^2 = \text{const}$.



Решение.

Проанализируем участки.

1-2: изобарное расширение. Объем возрастает в 8 раз, поэтому из уравнения Менделеева-Клапейрона $pV = \nu RT$ следует, что температура тоже увеличивается в 8 раз. Тогда изменение внутренней энергии одноатомного идеального газа:

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R(T_2 - T_1) = 10,5 \nu R T_1. \quad \text{Работа газа равна} \quad A_{12} = p_1(V_2 - V_1) = \nu R(T_2 - T_1) = 7 \nu R T_1.$$

По первому закону термодинамики следует: $Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12} = 17,5 \nu R T_1 > 0$. Тепло подводится к газу.

2-3: изохорное охлаждение. Тогда $A_{23} = 0$ и для изменения внутренней энергии и количества теплоты: $Q_{23} = \Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R(T_3 - T_2) < 0$. Тепло отводится от газа.

3-1: адиабатическое сжатие – процесс без теплообмена с окружающей средой. Из уравнения процесса можно записать: $T_1^3 V_1^2 = T_3^3 V_2^2$. Если объем уменьшится в 8 раз: $V_2 = 8V_1$, то связь температур: $T_3 = 0,25 T_1$. Тогда $Q_{23} = -11,625 \nu R T_1$.

Из анализа участков находим, что $Q_{12} = Q_{\text{нагр}}$ – теплота, полученная от нагревателя, а $|Q_{23}| = Q_{\text{хол}}$ – теплота, отданная холодильнику.

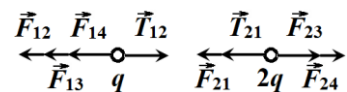
$$\text{Запишем выражение для КПД: } \eta = \frac{Q_{\text{нагр}} - Q_{\text{хол}}}{Q_{\text{нагр}}} \cdot 100\% = \frac{5,875}{17,5} \cdot 100\% = 33,6\%.$$

Ответ: $\eta = 33,6\%$.

- 31] Четыре маленьких одинаковых шарика, связаны нерастяжимыми нитями одинаковой длины. Заряды шариков равны q , $2q$, $3q$ и $4q$. Сила натяжения нити, связывающей первый и второй шарик, равна $T = 11,5$ Н. Найдите силу натяжения нити, связывающей второй и третий шарик.

Решение.

На каждый из шариков действуют только силы Кулона ($\vec{F}_{ij}$) и силы натяжения нитей ($\vec{T}_{ij}$). Пронумеруем шарики слева направо и покажем отдельно системы сил, действующих на первый и второй шарик.



Запишем для каждого из них условие равновесия сил в проекции на линию, вдоль которой расположены шарики:

$$F_{12} + F_{13} + F_{14} - T_{12} = 0 \text{ и } F_{23} + F_{24} + T_{21} - F_{21} - T_{23} = 0, \text{ причем } T_{12} = T_{21} = T.$$

$$\text{Для модуля силы Кулона справедливо: } F_{ij} = \frac{k|q_i q_j|}{r^2}.$$

Тогда из каждого уравнения, приняв расстояние между соседними зарядами равным a , получаем для первого уравнения следующее:

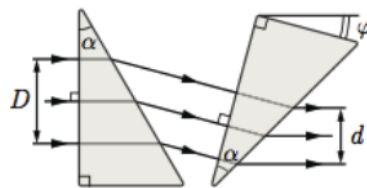
$$T = \frac{2kq^2}{a^2} + \frac{3kq^2}{4a^2} + \frac{4kq^2}{9a^2} = \frac{115kq^2}{36a^2}.$$

Теперь рассмотрим второе уравнение:

$$T_{23} = \frac{6kq^2}{a^2} + \frac{8kq^2}{4a^2} + T - \frac{2kq^2}{a^2} = \frac{6kq^2}{a^2} + \frac{115kq^2}{36a^2} = \frac{331kq^2}{36a^2} = \frac{331}{115}T = 33,1 \text{ Н}.$$

Ответ: $T_{23} = 33,1 \text{ Н}$

- 32] Две одинаковые призмы с углом при вершине $\alpha = 30^\circ$ (см. рисунок) изготовленные из материала с показателем преломления $n = 1,73$ используют для изменения поперечного размера пучка параллельных лучей. Найдите угол φ между основаниями призм и отношение сечений пучка d/D .



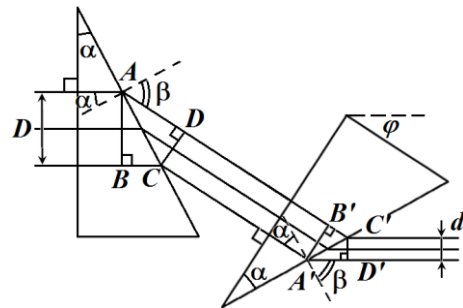
Решение.

Свет при прохождении через систему четыре раза пересекает границу воздух-стекло. На первой и третьей границах это не приводит к преломлению, поскольку луч падает на границу раздела нормально.

Покажем на рисунке с ходом лучей для второй и четвертой преломляющих поверхностей углы падения и преломления.

При рассмотрении легко заметить, что в обоих случаях угол падения равен α . Пусть угол преломления β , тогда по закону преломления получим: $n \cdot \sin \alpha = \sin \beta$.

Искомый угол φ тоже легко находится: $\varphi = \beta - \alpha$. Вычислим его:



$$\beta = \arcsin(1,73 \cdot 0,5) \approx 60^\circ. \text{ Тогда } \varphi = 60^\circ - 30^\circ = 30^\circ.$$

Рассмотрим два треугольника: $\triangle ABC$ и $\triangle ADC$. Они равны друг другу, поскольку гипотенуза AC у них общая, они прямоугольные и $\angle BAC = \angle DAC = 30^\circ$. Тогда ширина пучка после прохождения через первую призму равна: $DC = AB \cdot \tan 30^\circ$.

Аналогично и во второй призме. Рассмотрим два треугольника: $\triangle A'B'C'$ и $\triangle A'D'C'$. Они равны друг другу, поскольку гипотенуза $A'C'$ у них общая, они прямоугольные и $\angle B'A'C' = \angle D'A'C' = 30^\circ$. Тогда ширина пучка после прохождения через вторую призму равна: $D'C' = A'B' \cdot \tan 30^\circ$.

Поскольку $AB = D$, $DC = A'B'$ и $D'C' = d$, то $d = D \cdot \tan^2 30^\circ$ или $d/D = 3$.

Ответ: $\varphi = 30^\circ, d/D = 3$