



ФГБОУ ВО «АЛТАЙСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

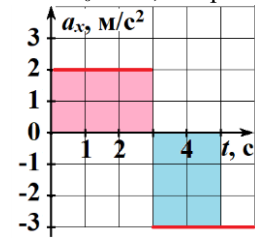
ИНСТИТУТ ЦИФРОВЫХ ТЕХНО-
ЛОГИЙ, ЭЛЕКТРОНИКИ И ФИЗИКИ

Пробный вариант для проведения
в 2026 году ЕГЭ по ФИЗИКЕ

ОТВЕТЫ И РЕШЕНИЯ

Часть 1

- 1) На рисунке приведен график зависимости проекции a_x ускорения тела от времени t . Определите модуль скорости тела в момент времени $t = 5$ с, если в начальный момент времени $t_0 = 0$ с, её проекция была равна $v_{0x} = 4$ м/с.



Решение.

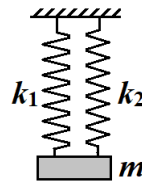
Есть два способа получить ответ в данной задаче.

1) Графический способ. Площадь под графиком зависимости ускорения от времени точно равна изменению скорости тела. Закрасим площадь, соответствующую движению за первые 5 с. Изменения скорости разного знака отметим разным цветом: $\Delta v_1 = 6$ м/с – за первые три секунды, и $\Delta v_2 = -6$ м/с – за следующие две. Итоговая скорость: $v_x = v_{0x} + \Delta v_1 + \Delta v_2 = v_{0x} = 4$ м/с.

2) Аналитический способ. Первый отрезок движения ($t_1 = 3$ с) происходит с ускорением $a_{1x} = 2$ м/с². Скорость в конце первого отрезка для второго будет являться начальной и равна: $v_{1x} = v_{0x} + a_{1x}t_1 = 4 + 2 \cdot 3 = 10$ м/с. Второй отрезок движения ($t_2 = 2$ с) происходит с ускорением $a_{2x} = -3$ м/с², скорость в конце второго отрезка (искомая скорость): $v_{2x} = v_{1x} + a_{2x}t_2 = 10 + (-3) \cdot 2 = 4$ м/с.

Ответ: 4 м/с.

- 2) На двух параллельно соединённых невесомых пружинах одинаковой длины с жёсткостями $k_1 = 20$ Н/м и $k_2 = 40$ Н/м подвешен груз. Определите массу груза, если обе пружины растянуты на одинаковую величину $\Delta l = 5$ см.



Решение.

Груз находится в состоянии равновесия под действием приложенных сил (силы тяжести и двух сил упругости), значит, векторная сумма сил равна нулю. В проекции на вертикальную ось: $F_{уп1} + F_{уп2} - mg = 0$. Искомая масса груза равна:

$$m = \frac{(k_1 + k_2)\Delta l}{g} = \frac{(20 + 40) \cdot 0,05}{10} = 0,3 \text{ кг.}$$

Ответ: 0,3 кг.

- 3) Парашютист опускается с постоянной скоростью вертикально вниз. Какую работу совершают силы сопротивления воздуха при снижении парашютиста на $h = 40$ м? Суммарная масса парашютиста и парашюта равна $m = 90$ кг.

Решение.

При опускании парашютиста с постоянной скоростью его кинетическая энергия не изменяется. Следовательно, сумма работ силы тяжести и сил сопротивления равна нулю: $A_{тяж} + A_{сопр} = 0$. Работа силы тяжести равна убыли потенциальной энергии (разности начального и конечного значений): $A_{тяж} = E_{p0} - E_p = mgh$. Тогда искомая работа равна: $A_{сопр} = -A_{тяж} = -mgh = -90 \cdot 10 \cdot 40 = -36000$ Дж = -36 кДж.

Ответ: -36 кДж. (ответ засчитывался и со знаком и по модулю)

- 4) Массивный груз небольшого размера, подвешен на невесомой нерастяжимой нити длины $l = 81$ см. Насколько надо увеличить длину нити, чтобы частота малых колебаний уменьшилась на 10%?

Решение.

Если частота уменьшилась на 10%, значит, $\nu = 0,9\nu_0$ или $T_0 = 0,9T$, где T – период колебаний. Для малых колебаний математического маятника справедливо: $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$.

Тогда, после возведения в квадрат: $l = 0,81 \cdot (l + \Delta l)$. Окончательно: $\Delta l = 19$ см.

Ответ: 19 см.

- 5) Автомобиль массы $m = 1,2$ т движется по горизонтальной кольцевой дороге радиуса $R = 100$ м с постоянной скоростью $v = 54$ км/ч. Из приведённого ниже списка выберите все верные утверждения, характеризующие движение автомобиля. На автомобиль действует сила сопротивления воздуха величиной $F = 1$ кН.

- 1) Вес автомобиля равен 1,2 кН и направлен вертикально вниз.
- 2) Векторная сумма сил, действующих на автомобиль, равна по модулю 2,7 кН и направлена перпендикулярно вектору скорости автомобиля.
- 3) Центробежное ускорение автомобиля равно 29,16 м/с².
- 4) Полезная мощность двигателя автомобиля равна 15 кВт.
- 5) Угол между направлением силы трения, действующей на автомобиль со стороны дороги, и направлением скорости автомобиля – острый.

Решение.

Весом тела называется сила, с которой тело действует на опору или подвес вследствие притяжения к Земле. В данной ситуации вес точно равен по величине силе тяжести: $P = mg = 12000$ Н = 12 кН. Значит, 1 утверждение – неверно.

На автомобиль действует 4 силы: тяжести, нормальной реакции опоры, сопротивления воздуха и сцепления колёс с дорогой. Поскольку скорость постоянна по модулю и движение происходит по окружности, то векторная сумма сил направлена к центру этой

окружности (перпендикулярно к скорости) и равна по модулю $ma_{цс}$, где $a_{цс} = v^2/R = 15^2/100 = 2,25 \text{ м/с}^2$ – центростремительное ускорение. Значит, ответ 3 – неверный.

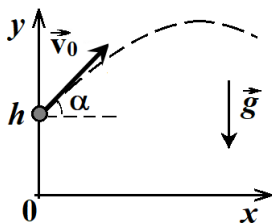
$F_{сумм} = ma_{цс} = 1200 \cdot 2,25 = 2700 \text{ Н} = 2,7 \text{ кН}$. Утверждение 2 – верное.

Энергия автомобиля расходуется на преодоление сопротивления воздуха. Поэтому полезная мощность равна: $P_{полез} = F_{сопр}v = 1000 \cdot 15 = 15000 \text{ Вт} = 15 \text{ кВт}$. Утверждение 4 – верное.

Сила сопротивления, действующая на автомобиль, направлена противоположно скорости. Векторная сумма сил направлена перпендикулярно скорости. Сила тяжести в сумме с нормальной реакцией опоры даёт ноль. Это означает, что сила трения покоя – сцепления колёс с дорогой – должна быть направлена под острым углом к скорости. Утверждение 5 является верным.

Ответ: 245.

- 6 В момент времени $t_0 = 0$ мячик бросают под углом α к горизонту с начальной скоростью v_0 с некоторой высоты h . Графики А и Б отображают изменение с течением времени физических величин, характеризующих полёт тела. Установите соответствие между графиками и физическими величинами, изменения которых со временем эти графики могут отображать. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в ответ по порядку. Сопротивление воздуха не учитывать. Начальные координаты тела $(0, h)$.



ГРАФИКИ		ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ
		1) координата мячика y по оси Oy 2) проекция перемещения s_y на ось Oy 3) проекция скорости v_y на ось Oy 4) проекция ускорения a_y на ось Oy

Решение.

Выпишем четыре формулы, которые соответствуют приведенным в вопросе физическим величинам. Для тела, брошенного с высоты h под углом к горизонту:

$y = h + v_{0y}t - gt^2/2$ (парабола с ветвями направленными вниз не проходящая через начало координат),

$s_y = v_{0y}t - gt^2/2$ (парабола с ветвями направленными вниз проходящая через начало координат),

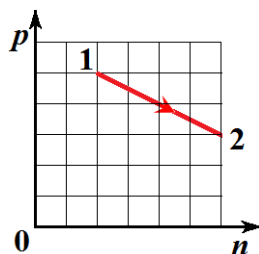
$v_y = v_{0y} - gt$ (наклонная убывающая прямая линия),

$a_y = -g$ (горизонтальная прямая).

Под это описание подходят: график А – вариант 3, график Б – вариант 2.

Ответ: 32.

- 7 Один моль идеального газа совершает термодинамический процесс. Зависимость давления газа от концентрации показана на диаграмме. Во сколько раз уменьшилась абсо-



лютная температура газа при его переходе из состояния 1 в состояние 2?

Решение.

Применим для решения задачи уравнение состояния идеального газа в форме: $p = nkT$. Из рисунка определяем непосредственно в клетках значения давления и концентрации: $p_1 = 5$, $n_1 = 2$ и $p_2 = 3$, $n_2 = 6$. Тогда искомое отношение температур: $T_1/T_2 = (5/2):(3/6) = 5$.

Ответ: в 5 раз.

- 8 Идеальная тепловая машина работает при температурах нагревателя и холодильника $t_1 = 227^\circ\text{C}$ и $t_2 = 77^\circ\text{C}$. Какую работу совершает машина за один цикл, если холодильник в цикле получает теплоту величиной $Q_2 = 70 \text{ Дж}$?

Решение.

Преобразуем температуры к абсолютной шкале: $T_1 = t_1 + 273 = 500 \text{ К}$, $T_2 = t_2 + 77 = 350 \text{ К}$. Для идеальной тепловой машины теплоты пропорциональны абсолютным температурам: $Q_1/T_1 = Q_2/T_2$, где Q_1 и Q_2 – теплота полученная от нагревателя и отданная холодильнику соответственно. Тогда $Q_1 = 70 \cdot 500/350 = 100 \text{ Дж}$. Искомая работа равна: $A = Q_1 - Q_2 = 30 \text{ Дж}$.

Ответ: 30 Дж.

- 9 Свинцовый брусок массой $m = 1 \text{ кг}$, находящийся в твёрдом агрегатном состоянии поместили в печь постоянной мощности. Зависимость температуры от времени приведена в таблице. Используя данные таблицы, выберите из предложенного перечня все верные утверждения.

$t, ^\circ\text{C}$	20	100	180	260	328	328	328	350	415	480	545
$\tau, \text{мин}$	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20

1) В конце процесса свинец находится и в твёрдом, и в жидком состоянии.

2) Температура плавления свинца составляет 328°C .

3) Удельная теплоемкость свинца в твёрдом состоянии больше удельной теплоемкости свинца в жидком состоянии ($c_{тв} > c_{ж}$).

4) Тепловая мощность печи, передаваемая свинцу, составляет 500 Вт .

5) Нагревание свинца до температуры плавления заняло не менее 7 минут.

Решение.

Из таблицы несложно заметить, что температура сначала возрастает, потом остаётся постоянной, потом снова возрастает. Это означает, что вещество дошло до температуры плавления, расплавилось, а полученная жидкость далее нагревалась. Значит, утверждение 1 – ошибочно.

Поскольку горизонтальный участок имеет место при температуре 328°C , то это температура плавления свинца. Утверждение 2 – верное.

Рассмотрим изменение температуры, которое происходило у исследуемого объекта в твёрдом и жидком состояниях за одинаковое время. За 2 минуты у твёрдого возрасла температура на 80°C , а у жидкого на 65°C . Поскольку мощность нагрева постоянная, то теплоёмкость в жидком состоянии выше. Утверждение 3 – неверное.

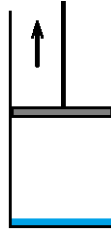
В данных в начале КИМа присутствует удельная теплота плавления свинца: $\lambda = 25 \text{ кДж/кг}$. Это означает, что плавление $m = 1 \text{ кг}$ вещества при температуре плавления

при мощности $P = 500$ Вт должно занимать время: $\tau = m\lambda/P = 1.25/0.5 = 50$ с. По таблице же видно, что процесс плавки занял не менее 4 минут. Следовательно, утверждение 4 – неверное.

В момент времени 6 мин температура свинца была равна 260°C . Значит, учитывая темп нагрева, в 7 мин она была равна 300°C . Температура плавления равна 328°C , тогда утверждение 5 – верное. Итак, правильный ответ: 25 или 52.

Ответ: 25.

- 10) Под поршнем в высоком цилиндрическом сосуде длительное время находится жидкость и её насыщенный пар. Массы пара и жидкости равны. Не изменяя температуры содержимого, поршень медленно переместили вверх, так, что объём занимаемый паром увеличился в три раза. Как изменились относительная влажность пара и его масса в ходе процесса. Для каждой величины определите соответствующий характер изменения: 1) увеличивается, 2) уменьшается, 3) не изменяется. Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.



Решение.

По условию жидкость и её насыщенный пар в высоком цилиндрическом сосуде длительное время находятся **долгое время**. Значит, пар является насыщенным и относительная влажность в начале процесса равна 100%. Если увеличить объём под поршнем в 3 раза, то жидкость начёт испаряться, но имеющегося количества жидкости недостаточно, чтобы пар остался насыщенным. Масса пара при этом возрастёт в 2 раза, но пар станет ненасыщенным, то есть его относительная влажность уменьшится. Ответ 21.

Относительная влажность пара	Масса пара
2	1

- 11) Два одноимённых заряда отталкиваются с силами равными по модулю $F = 18$ мН. Каким станет модуль этих сил, если расстояние между зарядами увеличить в 1,5 раза?

Решение.

Применим для решения задачи закон Кулона: $F = \frac{k|q_1q_2|}{r^2}$, где q_1 и q_2 – взаимодействующие заряды, k – постоянная закона Кулона, r – расстояние между зарядами. При изменении расстояния заряды останутся прежними, тогда для новых значений силы и расстояния справедливо: $F'r'^2 = Fr^2 = k|q_1q_2|$. Если расстояние возросло в 1,5 раза, то сила взаимодействия (отталкивания) уменьшилась в 2,25 раза: $F' = F/2.25 = 8$ Н.

Ответ: 8 мН.

- 12) В постоянном однородном магнитном поле расположена замкнутая плоская рамка. Магнитный поток, пронизывающий рамку, монотонно уменьшился от $\Phi_1 = 4.0 \cdot 10^{-5}$ Вб до $\Phi_2 = 1.2 \cdot 10^{-5}$ Вб. При этом через поперечное сечение провода рамки прошёл заряд величиной $q = 3.5 \cdot 10^{-6}$ Кл. Каково электрическое сопротивление рамки?

Решение.

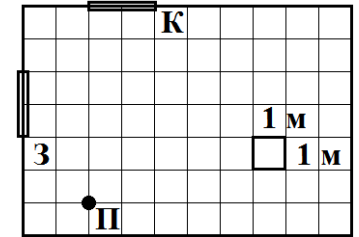
Совместим закон электромагнитной индукции Фарадея ($\varepsilon = -\Delta\Phi/\Delta t$) и закон Ома для

замкнутой цепи ($\varepsilon = I(R + r)$). По определению силы тока: $I = \Delta q/\Delta t$. В данном явлении источником вихревого электрического поля является изменяющийся магнитный поток, поэтому $r = 0$. Тогда, сокращая время, получим: $-\Delta\Phi = \Phi_1 - \Phi_2 = R\Delta q$. Искомое сопротивление рамки будет равно (с учётом того, что по условию $\Delta q = q$):

$$R = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{q} = 8 \text{ Ом.}$$

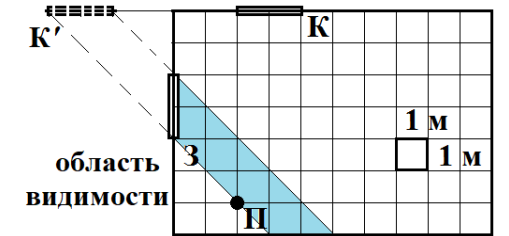
Ответ: 8 Ом.

- 13) На одной из стен выставочного зала висит плоское зеркало (З), а на соседней стене – картина (К) (см. рис.). Посетитель (П) стоит вблизи третьей стены – почти напротив картины и видит как саму картину, так и целиком её изображение в зеркале. На какое максимальное расстояние он может перейти строго вправо, чтобы по-прежнему видеть изображение картины целиком?



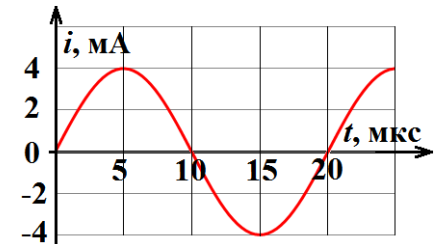
Решение.

Покажем изображение картины в зеркале (K') и область её видимости – такие точки пространства комнаты, из которых картина видна целиком. Область видимости получаются между лучами, идущими из крайних точек изображения через края картины (на рисунке голубая полоса). По рисунку несложно заметить, что сейчас посетитель стоит на левом краю этой полосы и, чтобы не выйти за её пределы, может сместиться строго вправо не более чем на 2 клетки, то есть 2 м.



Ответ: 2 м.

- 14) В идеальном колебательном контуре, состоящем из катушки индуктивности и конденсатора, происходят свободные электромагнитные колебания. Зависимость тока в контуре от времени показана на рисунке. Из приведённого ниже списка выберите все верные утверждения о процессах, происходящих в контуре.



- 1) Период колебаний энергии в контуре равен 10 мкс.
- 2) В момент времени $t = 15$ мкс модуль ЭДС индукции в катушке максимален.
- 3) В момент времени $t = 30$ мкс энергия конденсатора была максимальной.
- 4) За интервал времени $\Delta t = 1$ с в контуре произойдет 5000 колебаний тока.
- 5) В момент времени $t = 10$ мкс напряжённость электрического поля внутри конденсатора максимальна.

Решение.

Проанализируем для начала график зависимости силы тока в контуре от времени. Максимальный ток по величине (амплитуда колебаний) равен: $i_m = 4$ мА, период колебаний (время совершения одного полного колебания) равен $T = 20$ мкс. Сразу находим, что 4 утверждение – неверное, поскольку $5000T = 0.1$ с.

Энергия колеблется с удвоенной частотой, поэтому её период в 2 раза меньше. Тогда $T_E = T/2 = 10$ мкс: утверждение 1 – верное.

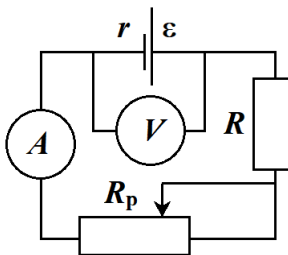
Колебания напряжения на катушке (и ЭДС индукции в ней) сдвинуты по фазе относительно тока на $\pi/2$ (или 90°). То есть, ЭДС максимальна при токе равном нулю и наоборот. В момент времени $t = 15$ мкс ток максимален (по величине), значит ЭДС нулевая. Утверждение 2 – неверное.

В момент времени $t = 30$ мкс сила тока обращается в нуль, а вместе с ней и энергия катушки. Следовательно, в этот момент времени вся энергия колебаний в контуре находится в конденсаторе: утверждение 3 – верное.

Аналогично, в момент времени $t = 10$ мкс напряжённость электрического поля внутри конденсатора максимальна, поскольку напряжение на конденсаторе максимальное и $U = Ed$. Утверждение 5 – верное. Итак: 135.

Ответ: 135 (в любом порядке).

15) Источник тока, резистор, амперметр и реостат образуют замкнутую цепь (см. рис.). Параллельно источнику подключен вольтметр. Ползунок реостата переместили влево. Как изменились показания измерительных приборов? Для показаний каждого прибора определите соответствующий характер изменения: 1) увеличивается, 2) уменьшается, 3) не изменяется. Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.



Решение.

При перемещении ползунка реостата влево уменьшается длина рабочей части реостата, а, значит, и его сопротивление (поскольку $R_p = \rho l/S$, а l – уменьшается). Тогда снижается общее сопротивление цепи ($R_{\text{общ}} = R + R_p$), и следовательно, возрастает сила тока по закону Ома для замкнутой цепи: $\varepsilon = I(r + R_{\text{общ}})$. Показания амперметра увеличиваются.

Вольтметр показывает напряжение на источнике, которое получается с учётом закона Ома для участка цепи: $U = IR_{\text{общ}} = \varepsilon - Ir$. Параметры источника (ЭДС и внутреннее сопротивление) неизменны, поэтому при увеличении тока напряжение уменьшится: показания вольтметра снизятся. Итого: 12.

Показания амперметра	Показания вольтметра
1	2

16) В результате цепочки последовательных распадов радиоактивное ядро изотопа тория ${}^{232}_{90}\text{Th}$ превращается в стабильное ядро изотопа свинца ${}^{208}_{82}\text{Pb}$. Сколько β -распадов произошло при этом превращении?

Решение.

Запишем уравнение радиоактивного распада, предполагая, что произошло x α -распадов и y β -распадов: ${}^{232}_{90}\text{Th} \rightarrow {}^{208}_{82}\text{Pb} + x \cdot {}^4_2\alpha + y \cdot {}^0_{-1}\beta$.

Запишем законы сохранения массового числа и зарядового числа:

$232 = 208 + 4x$ и $90 = 82 + 2x - y$, откуда несложно находится правильный ответ: $y = 4$.

Ответ: 4.

17) Белый свет после прохождения через светофильтр падает на поверхность металлической пластины, вызывая фотоэффект. Не меняя светофильтра, увеличивают яркость источника белого света. Как при этом изменились ток насыщения и запирающее напряжение? Для каждой величины определите соответствующий характер изменения: 1) увеличилось, 2) уменьшилось, 3) не изменилось. Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Решение.

Если яркость источника увеличили, но светофильтр остался прежним, то энергия фотонов не изменилась, а возросло их число, падающее на поверхность пластины за единицу времени.

Это означает, что электронов станет в единицу времени вылетать также больше и ток насыщения возрастёт. При этом запирающее напряжение не изменится, поскольку энергия фотонов та же, что и раньше. Итого: 13.

Ток насыщения	Запирающее напряжение
1	3

18) Выберите все верные утверждения о физических явлениях, величинах и закономерностях. Запишите цифры, под которыми они указаны.

- 1) Работы силы упругости пружины при растяжении на Δl и при сжатии на Δl одинаковы по модулю и противоположны по знаку.
- 2) При соединении двух изолированных проводящих тел проводником их потенциалы выравниваются.
- 3) Колебания математического маятника при больших амплитудах остаются периодическими, но перестают быть гармоническими.
- 4) При переходе электрона внутри атома с одного уровня на другой всегда либо излучается фотон, либо поглощается.
- 5) Скорость диффузии в жидкостях не зависит от температуры.

Решение.

Как при сжатии пружины, так и при её растяжении, сила упругости направлена противоположно направлению деформации, следовательно, в обоих случаях эта работа отрицательна и равна $A = -E_p$, где $E_p = kx^2/2$ – конечная потенциальная энергия деформированной пружины. 1 утверждение неверно.

Утверждение 2 – верное, поскольку это особенность именно проводящих тел.

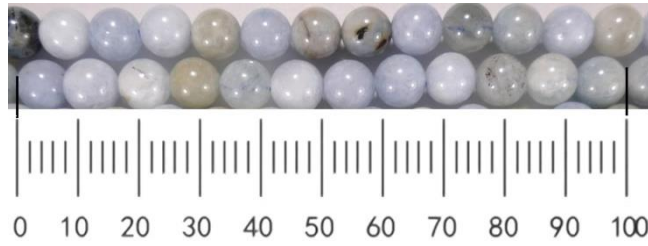
Утверждение 3 – верное, поскольку для больших углов отклонения уравнение движения груза математического маятника становится более сложным и нельзя пользоваться соотношением $\sin \alpha = \alpha$, справедливым только для малых углов (обычно при условии $|\alpha| < 5^\circ$).

Утверждение 4 – верное, поскольку по закону сохранения энергии, она должна куда-то выделиться (при переходе на более низкий уровень) или откуда взяться (при переходе на более высокий уровень).

С ростом температуры скорость хаотического движения молекул, а, следовательно, и интенсивность диффузионных процессов возрастают. Утверждение 5 – ошибочное. Итого ответ: 234.

Ответ: 234 (в любом порядке).

19] При использовании метода рядов для определения размеров малых тел, небольшие бусины выложили вдоль линейки. Длина линии из нескольких бусин оказалась ровно 100 мм. Погрешность линейки равна цене деления. Определите и запишите в ответе диаметр одной бусины с погрешностью. Оба числа в ответе округлите до сотых.



Решение.

По рисунку несложно определить, что 12 бусин занимают указанный промежуток. По фотографии определяем цену деления: 2 мм (поскольку ровно 5 делений приходится на интервал в 10 мм). Следовательно, $12D = (100 \pm 2)$ мм. Разделив обе стороны последнего выражения на 12 и округлив по правилам округления оба числа до сотых, находим: $D = (8,33 \pm 0,17)$ мм.

Ответ: $(8,33 \pm 0,17)$ мм.

20] Ученику необходимо на опыте обнаружить зависимость индуктивности катушки от числа витков. У него имеется пять катушек, характеристики которых приведены в таблице. Какие две катушки необходимо взять ученику, чтобы провести исследование? В ответе запишите номера выбранных сосудов.

№ катушки	Число витков, ед.	Диаметр провода, мм	Сердечник
1	1000	0,8	пермаллой
2	1000	0,8	альсифер
3	1000	0,6	пермаллой
4	2000	0,6	альсифер
5	2000	0,8	пермаллой

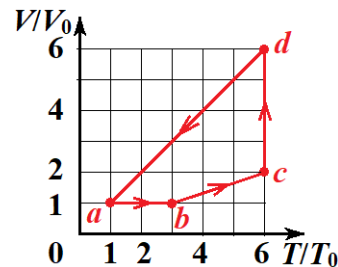
Решение.

Для того чтобы обнаружить зависимость индуктивности катушки от числа витков, необходимо чтобы в используемой паре катушек отличалось только это число (витков), а все остальные характеристики были одинаковыми. Видно из таблицы, что два примера с сердечником из альсифера не подходят, поскольку намотаны проводом разного диаметра. А сердечники из пермаллоя имеют намотку одинаковым проводом в случаях 1 и 5, и как раз подходящее (различное для катушек) число витков.

Ответ: 15.

Часть 2

21] Один моль одноатомного идеального газа совершает круговой процесс, состоящий из четырёх последовательных участков, показанных на диаграмме в координатах $V/V_0 - T/T_0$. Перестройте диаграмму цикла в $p/p_0 - V/V_0$ координатах. Опираясь на законы молекулярной физики и термодинамики определите, на каком из



участков цикла ($a-b$, $b-c$, $c-d$, $d-a$) модуль работы газа является наибольшим.

Решение.

Рассмотрим каждый из участков по отдельности. Динамику объёма и температуры определим по графику, а, затем, давление определим с помощью уравнения Менделеева-Клапейрона: $pV = \nu RT$ или в более удобном виде: $pV/T = p_0V_0/T_0$.

$a-b$: объём постоянный температура возрастает от $T_a = T_0$ до $T_b = 3T_0$. Следовательно, давление возрастает от p_0 до $3p_0$. Работа на данном (изохорном) участке не совершается. В $p/p_0 - V/V_0$ координатах участок является прямым отрезком параллельным оси ординат.

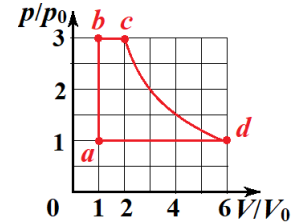
$b-c$: объём и температура возрастают прямо пропорционально в два раза, до значений: $2V_0$ и $6T_0$. Давление при этом остаётся постоянным и равным $3p_0$: изобарный процесс. Работа газа может быть найдена по формуле: $A_{bc} = p_{bc}(V_b - V_c) = 3p_0V_0$. В $p/p_0 - V/V_0$ координатах участок является прямым отрезком параллельным оси абсцисс.

$c-d$: объём возрастает от $2V_0$ до $6V_0$, температура остаётся постоянной: изотермический процесс. Давление снижается от $3p_0$ до p_0 . В $p/p_0 - V/V_0$ координатах участок является криволинейным участком гиперболы $pV = 6p_0V_0$. Работу газа по модулю (работу над газом) определим после построения графика, как площадь под кривой.

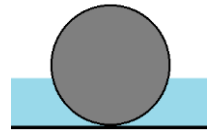
$d-a$: объём и температура убывают прямо пропорционально в шесть раз, до значений: V_0 и T_0 . Давление при этом остаётся постоянным и равным p_0 : изобарный процесс. Модуль работы газа (работа над газом) может быть найдена по формуле: $A_{da} = p_{da}(V_d - V_a) = 5p_0V_0$. В $p/p_0 - V/V_0$ координатах участок является прямым отрезком параллельным оси абсцисс.

Строим цикл в требуемых координатах с учётом найденного. Для нахождения участка с максимальным модулем работы газа сравним участки $c-d$ и $d-a$. Несложно определить, что, учитывая только полные клетки, получим: $A_{cd} > 5,5 p_0V_0$. Очевидно, что $A_{cd} > A_{da}$. Следовательно, модуль работы газа максимален на участке $c-d$.

Ответ: участок $c-d$.

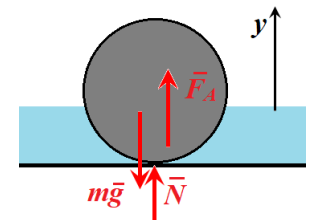


22] На горизонтальном дне сосуда лежит шар, и давит на дно с силой $F_0 = 1,5$ Н. В сосуд начали медленно наливать воду. Когда шар оказался на $n = 1/3$ объёма погружен в воду, сила давления уменьшилась до величины $F_1 = 1,3$ Н. Какова плотность материала шара? Сделайте схематичный рисунок с указанием действующих на шар сил в состоянии, показанном на рисунке.



Решение.

Сила давления шара на дно по 3 закону Ньютона равна по модулю силе нормальной реакции, с которой дно действует на шар: $N = F$. Поскольку шар находится в состоянии равновесия, то приложенные к нему силы (N , mg (сила тяжести) и F_A (сила Архимеда)) уравновешивают друг друга: $\vec{N} + m\vec{g} + \vec{F}_A = 0$.



В проекции на ось Oy уравнение примет вид: $F_0 - mg = 0$ (до того как налили воду) и $F_1 - mg + \rho_0 gnV = 0$ (в конечном состоянии), где ρ_0 – плотность воды, а nV – объём погруженной части. Для массы тела справедливо: $m = \rho V$. Тогда искомая плотность:

$$\rho = \frac{n\rho_0 F_0}{F_0 - F_1} = \frac{1,5 \cdot 1000}{3 \cdot (1,5 - 1,3)} = 2500 \text{ кг/м}^3.$$

Ответ: 2500 кг/м³.

23 В идеальном колебательном контуре совершаются свободные гармонические колебания. Максимальное напряжение на конденсаторе $U_{\max} = 4,0$ В. Сила тока в контуре (в мА) изменяется по закону: $i(t) = 2 \cdot \cos(10^4 t + \pi/3)$. Определите ёмкость конденсатора.

Решение.

Из формулы для тока, которая при гармонических колебаниях имеет стандартный вид ($i(t) = i_m \cdot \cos(\omega t + \varphi_0)$), находим: амплитуду колебаний тока ($i_m = 2$ мА) и циклическую частоту колебаний ($\omega = 10^4$ рад/с). Поскольку сила тока – это производная заряда по времени, то $i_m = q_m \omega$.

Связь заряда и напряжения: $q = CU$, откуда $C = \frac{i_m}{\omega U_{\max}} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^4} = 5 \cdot 10^{-8} = 50$ нФ.

Ответ: 50 нФ.

24 Воздушный шарик, находившийся в тёплой комнате ($t_1 = 27^\circ\text{C}$) и вынесенный из неё на мороз ($t_2 = -23^\circ\text{C}$), некоторое время свободно плавает в воздухе. Определите массу резиновой оболочки шарика. Форму шарика считайте сферической с диаметром $d = 40$ см. Упругостью оболочки можно пренебречь, атмосферное давление считайте нормальным.

Решение.

По условию шарик свободно плавает в воздухе. Следовательно, сила Архимеда (F_A), действующая на шар со стороны холодного воздуха, равна суммарной силе тяжести тёплого воздуха внутри шара (Mg) и его резиновой оболочки (mg): $F_A = (M + m)g$.

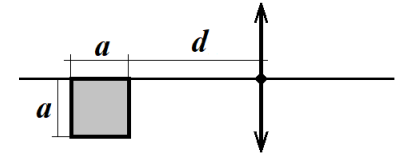
Шар имеет форму сферы, значит, его объём: $V = \pi d^3/6$, d – диаметр шара. Для массы воздуха справедливо: $M = \rho V$, для силы Архимеда: $F_A = \rho_0 g V$, где ρ и ρ_0 – плотности тёплого и холодного воздуха, соответственно.

Из уравнения Менделеева-Клапейрона ($p = \rho RT/\mu$) выражаем плотности. Давление внутри шара считаем таким же как и снаружи, поскольку упругостью оболочки можно пренебречь. Итак: $\frac{\rho \mu d^3}{6RT_0} = \frac{\rho_0 \mu d^3}{6RT} + m$. Искомая масса резиновой оболочки равна:

$$m = \frac{\rho \mu d^3 (T - T_0)}{6RTT_0} = \frac{10^5 \cdot 0,029 \cdot (0,4)^3 \cdot (27 + 23)}{6 \cdot 8,31 \cdot 250 \cdot 300} = 2,5 \text{ г.}$$

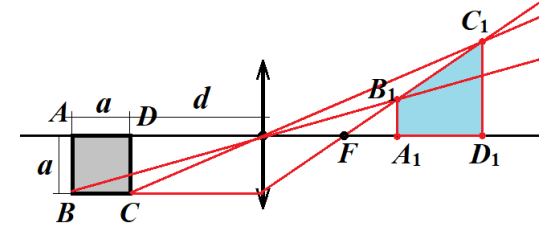
Ответ: 2,5 г.

25 Источник света имеет форму квадрата со стороной $a = 12$ см. Одна сторона квадрата лежит на главной оптической оси тонкой собирающей линзы с оптической силой $D = 4$ дптр (см. рис.). Расстояние от ближней стороны квадрата до плоскости линзы равно $d = 60$ см. Определите площадь изображения квадрата в линзе. Сделайте рисунок, на котором постройте это изображение, указав ход всех необходимых для построения лучей.



Решение.

Пусть луч вдоль нижней стороны квадрата (BC). После преломления в линзе он пойдёт через фокус (F). Из каждой вершины на нижней стороне (тех же B и C) проведём лучи через центр линзы – эти лучи не преломляются. Отметим точки пересечения первого луча и двух последующих (B_1 и C_1). Из обеих точек проведём прямые отрезки параллельно плоскости линзы до главной оптической оси (ГОО). Конечные точки отрезков, лежащие на ГОО (A_1 и D_1) – изображения точек A и D , причём сами отрезки являются изображениями вертикальных сторон квадрата, поскольку отрезок параллельный плоскости линзы изображается подобным отрезком. Итак, изображением квадрата $ABCD$ в линзе является трапеция $A_1B_1C_1D_1$.



Применим для решения задачи формулы тонкой линзы и её увеличения:

$$D = \frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \quad \text{и} \quad \Gamma = \frac{f}{d}.$$

Из этих формул, умножив первую на d несложно получить: $\Gamma = 1/(Dd - 1)$ и $f = \Gamma d$. Тогда основания трапеции: $A_1B_1 = a\Gamma_{AB} = a/(D(d + a) - 1)$ и $C_1D_1 = a\Gamma_{CD} = a/(Dd - 1)$.

Высота трапеции: $A_1D_1 = d\Gamma_{CD} - (a + d)\Gamma_{AB}$, откуда: $A_1D_1 = \frac{a}{(Dd - 1)(D(d + a) - 1)}$.

По формуле площади трапеции находим искомую площадь изображения $S_1 = A_1D_1 \cdot \frac{A_1B_1 + C_1D_1}{2}$:

$$S_1 = \frac{a^2 (D(d + a/2) - 1)}{(Dd - 1)^2 (D(d + a) - 1)^2} = \frac{12^2 \cdot (4 \cdot (0,6 + 0,12/2) - 1)}{(4 \cdot (0,6 + 0,12) - 1)^2 (4 \cdot 0,6 - 1)^2} = 34 \text{ см}^2.$$

Отметим, что в задаче не просили получать ответ в общем виде, поэтому после записи двух исходных формул можно (и, наверное, даже надёжнее!) было перейти к числам.

Ответ: 34 см².

26 Пушка находится на горизонтальной поверхности и может стрелять только вертикально вверх снарядами с начальной скоростью $v_0 = 200$ м/с. Снаряд, выпущенный из пушки, разорвался в верхней точке своего полёта на три осколка одинаковой массы. Два осколка после взрыва полетели горизонтально, так что векторы их скоростей сра-

зу после разрыва были направлены перпендикулярно друг другу. Эти два осколка упали на расстояниях $s_1 = 6$ км и $s_2 = 8$ км от пушки. Найдите величину скорости третьего осколка. Сопротивлением воздуха и изменением массы при взрыве пренебечь.

Решение.

По условию задачи снаряд разрывается в верхней точке своего полета, следовательно, его скорость в момент взрыва равна нулю. Тогда, по закону сохранения импульса, векторная сумма импульсов трёх осколков на которые разорвался снаряд, равна нулю: $\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 = 0$.

Высота, на которой взорвался снаряд, легко находится из закона сохранения энергии: $E_{k0} + E_{p0} = E_k + E_p$, откуда: $mv_0^2/2 + 0 = mgH$ и $H = v_0^2/(2g)$.

По определению импульса $\vec{p} = m\vec{v}$, а массы у осколков равные. Следовательно, векторная сумма скоростей осколков равна нулю ($\vec{v}_1 + \vec{v}_2 + \vec{v}_3 = 0$), то есть при построении они образуют прямоугольный треугольник (т.к. $\vec{v}_1 \perp \vec{v}_2$). Применим теорему Пифагора: $v_1^2 + v_2^2 = v_3^2$. Два осколка полетели горизонтально, а векторы всех трёх скоростей лежат в одной плоскости, значит, и третий осколок полетел горизонтально.

Для перемещения вдоль горизонтального направления для каждого из трёх осколков справедливо: $S_i = v_i T$, где $i = 1, 2$ или 3 , а T – время полёта. Также для движения по вертикали выполнено: $H = gT^2/2$. Время полёта равно: $T = \sqrt{2H/g} = v_0/g = 20$ с.

После группировки уравнений получаем: $v_i v_0 = gS_i$. Тогда из теоремы Пифагора получаем связь расстояний: $S_1^2 + S_2^2 = S_3^2$:

$$S_3 = \sqrt{S_1^2 + S_2^2} = \sqrt{6^2 + 8^2} = 10 \text{ км.}$$

$$\text{Окончательно: } v_3 = S_3/T = 10000/20 = 500 \text{ м/с.}$$

Ответ: 500 м/с.

Обоснуйте применимость законов, используемых при решении задачи.

Обоснование.

1. Задачу решим в системе отсчёта, связанной с поверхностью Земли, которую будем считать инерциальной.
2. Будем считать все тела материальными точками. Трением снаряда и осколков о воздух пренебрежём.
3. Поскольку время разрыва снаряда мало, импульсом внешних сил (сил тяжести) можно пренебечь, а значит, для решения задачи можно воспользоваться законом сохранения импульса.
4. Поскольку работой силы трения мы пренебрежём (сопротивлением можно пренебечь), то в законе сохранения полной энергии для снаряда до взрыва будем учитывать только механическую энергию.