

Ответы, решения, критерии оценивания (10 класс)

1. А) Камень бросают вертикально вверх со скоростью $v_0 = 5$ м/с. Определите путь, пройденный камнем за первую секунду полета. Б) Определите начальную скорость камня, брошенного с балкона вертикально вверх, если при трехкратном увеличении этой скорости путь, пройденный камнем за первую секунду полета, остается неизменным. Сопротивлением воздуха пренебречь. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

Ответ:

А) $s = 2,5$ м. Б) $v_0 = gt_0/4 = 2,25$ м/с.

Решение:

А) Из уравнения

$$v_0 - gt_1 = 0.$$

найдем время t_1 движения камня до верхней точки траектории:

$$t_1 = v_0/g = 0,5 \text{ с.}$$

Путь, пройденный за это время, равен:

$$s_1 = v_0 t_1 - gt_1^2/2 = 1,25 \text{ м.}$$

За оставшееся время $t_2 = t_0 - t_1 = 0,5$ с, где $t_0 = 1$ с, камень пролетит путь

$$s_2 = gt_2^2/2 = 1,25 \text{ м.}$$

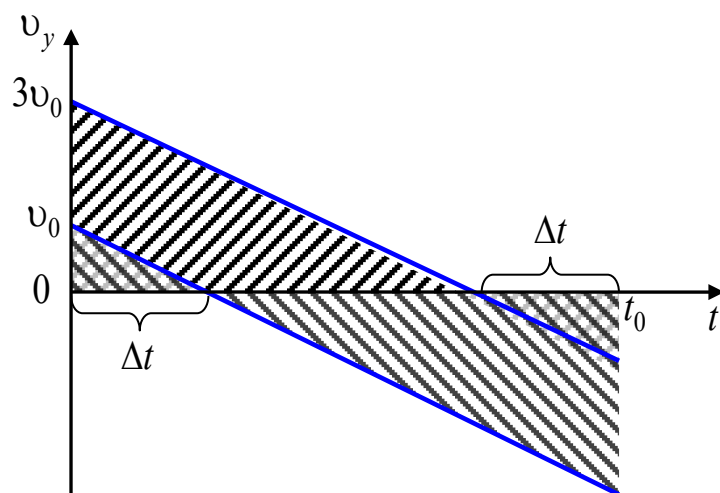
Таким образом, путь камня за первую секунду полета равен $s = s_1 + s_2 = 2,5$ м.

Б) Нарисуем графики зависимости проекции скорости камня на вертикальную ось от времени для значений начальной скорости v_0 и $3v_0$ (см. рис.). Если промежутки времени, обозначенные на рисунке Δt , одинаковые, то за время t_0 камень пройдет одинаковый путь при двух значениях начальной скорости – в этом случае площади под графиками одинаковые. Из уравнения

$$3v_0 - gt_0 = -v_0$$

получим:

$$v_0 = gt_0/4 = 2,25 \text{ м/с.}$$



Критерии оценивания задачи 1

1	Записаны уравнения кинематики и получен правильный ответ п. А задачи	2 балла
2	Приведено графическое или алгебраическое решение п.Б задачи	3 балла
3	Арифметическая ошибка	-1 балл
4	Алгебраическая ошибка	-1 балл
	Максимальный балл	5 баллов

2. Костя Иночкин забежал в кабинет физики и при помощи суперклея закрепил в двух одинаковых ящиках три каких-то предмета. Потом взвесил ящики на пружинных весах - масса каждого из них оказалась равной 3 кг. Костя уронил ящики с нулевой начальной скоростью - один из них начал падать с ускорением g , а другой – с ускорением $1,5g$. Какие предметы и как Костя закрепил в ящиках? Какова масса пустого ящика?

Ответ:

$$M = (2/3)M_0 = 2 \text{ кг.}$$

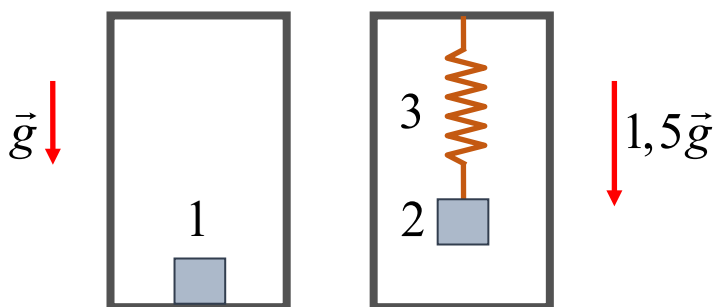
Решение:

В одном ящике Костя приклеил груз 1 массы m , в другом ящике такой же груз 2 подвесил на легкой пружине 3, как показано на рисунке. В момент старта второго ящика:

$$1,5gM = Mg + F,$$

$$0 = mg - F,$$

где $M = M_0 - m$ - масса пустого ящика, $M_0 = 3$ кг, F - сила упругости. Из этих уравнений получим: $M = (2/3)M_0 = 2$ кг.



Критерии оценивания задачи 2

1	Найден правильный вариант размещения предметов, указаны силы, записан второй закон Ньютона, вычислено значение массы пустого ящика	5 баллов
2	Арифметическая ошибка	-1 балл
3	Алгебраическая ошибка	-1 балл
	Максимальный балл	5 баллов

3. По горизонтальным рельсам без трения движется тележка. Дождь увеличивает массу тележки с быстротой $\mu = \Delta m / \Delta t = 2$ кг/с. В начальный момент масса тележки $M = 50$ кг, а ее скорость $v_0 = 5$ м/с. С какой скоростью и с каким ускорением будет двигаться тележка в момент времени, когда ее масса увеличится вдвое? Капли дождя падают вертикально.

Ответ:

$$v(t) = \frac{v_0}{2} = 2,5 \text{ м/с. } a = \frac{\mu v_0}{4M} = 0,05 \text{ м/с}^2$$

Решение:

1) По условию задачи на тележку, наполняемую дождевой водой, в горизонтальном направлении внешние силы не действуют. Поэтому проекция на горизонтальную ось суммарного импульса воды и тележки остается постоянной:

$$Mv_0 = m(t) \cdot v(t), \text{ где } m(t) = M + \mu \cdot t.$$

Скорость тележки в момент времени, когда $m(t) = 2M$, будет равна:

$$v(t) = \frac{Mv_0}{2M} = \frac{v_0}{2} = 2,5 \text{ м/с.}$$

2) Ускорение тележки найдем, записав закон сохранения импульса для двух моментов времени, разделенных малым промежутком времени Δt :

$$mv = (m + \Delta m)(v + \Delta v).$$

Пренебрегая в этом выражении произведением двух малых величин $\Delta m \Delta v$, получим для проекции ускорения на горизонтальную ось:

$$a_x = \frac{\Delta v}{\Delta t} = -\frac{v \Delta m}{m \Delta t} = -\frac{v \mu}{m}.$$

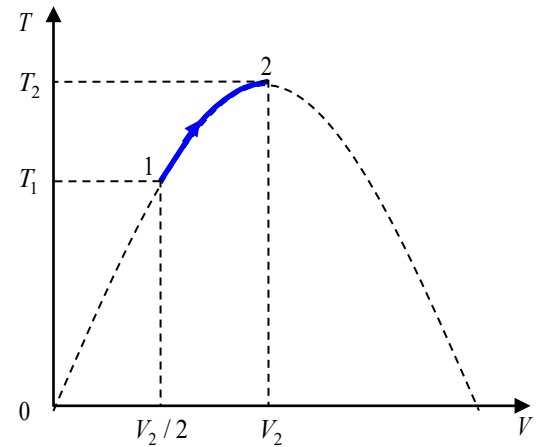
Знак минус означает, что вектор ускорения направлен противоположно вектору скорости – тележка движется замедленно. В рассматриваемый момент времени $m = 2M$, $v = v_0/2$ и величина ускорения тележки

$$a = \frac{\mu v_0}{4M} = 0,05 \text{ м/с}^2.$$

Критерии оценивания задачи 3

1	Правильно найдена скорость на основе закона сохранения импульса системы	2 балла
2	Получено уравнение связи между приращениями скорости и массы тележки. Вычислено ускорение.	3 балла
3	Арифметическая ошибка	-1 балл
4	Алгебраическая ошибка	-1 балл
	Максимальный балл	5 баллов

4. Объем одного моля одноатомного идеального газа медленно увеличили в 2 раза в процессе 1-2. График этого процесса в координатах $T - V$ (T - температура, V - объем) совпадает с участком параболы, проходящей через начало координат и достигающей максимума в точке 2 при температуре $T_2 = 400$ К. Определите: А) температуру T_1 газа в состоянии 1, Б) количество теплоты Q , полученной газом в этом процессе. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(К·моль).



Ответ:

А) $T_1 = 3/4 \cdot T_2 = 300$ К, Б) $Q_{12} = RT_2 = 3,3$ кДж.

Решение:

А) Уравнение параболы, характеризующей процесс, представим формулой:

$$T = \beta V \cdot (2V_2 - V),$$

где β - некоторая постоянная. Из этой формулы для состояний 1 и 2 получим:

$$T_1 = \frac{3}{4} \beta V_2^2,$$

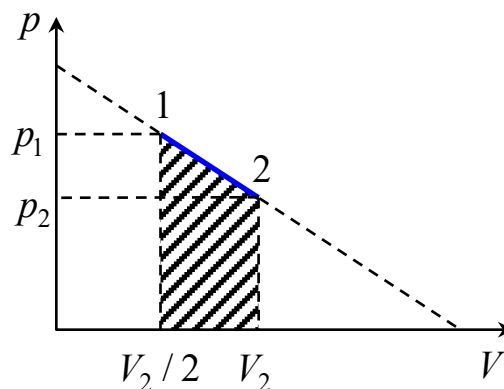
$$T_2 = \beta V_2^2.$$

Следовательно, $T_1 = 3/4 \cdot T_2 = 300$ К.

Б) Подставляя выражение для температуры в уравнение состояния идеального газа, найдем зависимость давления газа от объема:

$$p = \beta R(2V_2 - V).$$

График этой зависимости изображен на рисунке.



Давления в состояниях 1 и 2 определяются формулами:

$$p_1 = \frac{3}{2} \beta R V_2, \quad p_2 = \beta R V_2$$

Работа, совершаемая газом в процессе 1→2, численно равна площади трапеции на pV - диаграмме при расширении газа от $V_2/2$ до V_2 :

$$A_{12} = \left(\frac{p_1 + p_2}{2} \right) \frac{V_2}{2} = \frac{5}{8} \beta R V_2^2 = \frac{5}{8} R T_2$$

Тепло, полученное газом в процессе 1→2, найдем из первого закона термодинамики:

$$Q_{12} = U_2 - U_1 + A_{12} = \frac{3}{2}R(T_2 - T_1) + \frac{5}{8}RT_2 = RT_2 = 3,3 \text{ кДж}$$

Критерии оценивания задачи 4

1	Записано уравнение процесса и получен правильный ответ п. А задачи	2 балла
2	Приведено графическое или алгебраическое решение п.Б задачи на основе уравнения состояния газов и первого закона термодинамики	3 балла
3	Арифметическая ошибка	-1 балл
4	Алгебраическая ошибка	-1 балл
	Максимальный балл	5 баллов

5. В однородном электрическом поле, вектор напряженности которого направлен горизонтально, на двух шелковых нитях, закрепленных в одной точке, висят два маленьких шарика. Заряд каждого шарика q , масса m , одна нить длиннее другой в 2 раза. В положении равновесия длинная нить вертикальна, а короткая отклонена от вертикали на угол $\alpha = 90^\circ$. Определите величину вектора напряженности однородного электрического поля. Ускорение свободного падения g .

Ответ:

$$E = \frac{mg}{2q}.$$

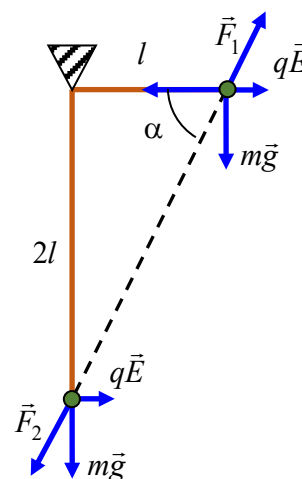
Решение:

Изобразим на рисунке силы, действующие на шарики: $m\vec{g}$ - сила тяжести, $q\vec{E}$ - сила, действующая на каждый шарик со стороны однородного электрического поля напряженностью \vec{E} , $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$ - силы кулоновского взаимодействия шариков, \vec{T}_1 и \vec{T}_2 - силы натяжения нитей. Из четырех уравнений, выражающих условия равновесия шариков, два уравнения определяют силы натяжения нитей, а два других

$$\begin{aligned} qE &= F_2 \cos \alpha, \\ mg &= F_1 \sin \alpha \end{aligned}$$

позволяют найти модуль вектора напряженности:

$$E = \frac{mg}{q} \operatorname{ctg} \alpha = \frac{mg}{2q}.$$



Критерии оценивания задачи 5

1	На рисунке изображены все силы, записаны условия равновесия, получен правильный ответ	5 баллов
2	Арифметическая ошибка	-1 балл
3	Алгебраическая ошибка	-1 балл
	Максимальный балл	5 баллов

6. В основе создания большинства полупроводниковых приборов используются р-п-переходы, которые могут формироваться методом термической диффузии примеси в кремниевую (Si)-подложку (см. рис.). Для создания n-области в качестве примеси используется фосфор (P) или мышьяк (As). Глубину залегания р-п-перехода можно оценить как диффузионную длину примеси (1):

$L = \sqrt{D \cdot t}$, где D – коэффициент диффузии примеси; t – время диффузии. Коэффициент

диффузии примеси зависит от температуры и может быть описан в форме закона Аррениуса (2): $D = D_0 \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{k \cdot T}\right)$, где D_0 - коэффициент; E_a - энергия активации; T – температура диффузии; $k \approx 8,6 \cdot 10^{-5}$ [эВ/К] - постоянная Больцмана.

Параметры D_0 и E_a для основных примесей, используемых в технологии кремниевых интегральных схем, приведены в таблице 1.

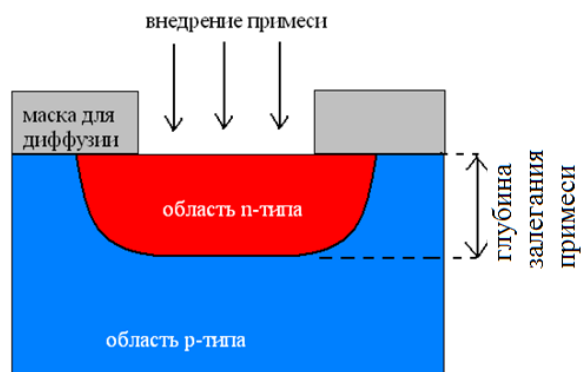


Таблица 1 -Значения параметров коэффициентов диффузии основных примесей

Параметр	Примесь	
	Фосфор (P)	Мышьяк (As)
D_0 , см ² /с	3,85	22,9
E_a , эВ	3,66	4,1

Рассчитайте отношение глубин залегания р-п-переходов при диффузии P и As, если время диффузии одинаково для двух примесей, температура диффузии $T = 1273$ К.

Какая примесь дает большую глубину залегания р-п-перехода при диффузии? Предложите технологические методы увеличения глубины залегания р-п-перехода.

Ответ:

3,059;

фосфор;

увеличение температуры и времени диффузии, выбор примеси с большим коэффициентом диффузии.

Решение:

Отношение глубин залегания р-п-переходов рассчитаем как отношение диффузионных длин примесей. Пусть L_1 – диффузионная длина фосфора (P), а L_2 – диффузионная длина мышьяка (As). Так как по условию задачи время диффузии одинаково для двух примесей, то отношение диффузионных длин запишется в виде:

$$\frac{L_1}{L_2} = \sqrt{\frac{D_{o1} \cdot \exp\left(-\frac{E_{a1}}{k \cdot T}\right)}{D_{o2} \cdot \exp\left(-\frac{E_{a2}}{k \cdot T}\right)}} = \sqrt{\frac{D_{o1}}{D_{o2}} \cdot \exp\left(\frac{E_{a2} - E_{a1}}{k \cdot T}\right)} = \sqrt{\frac{3.85}{22.9} \cdot \exp\left(\frac{4.1 - 3.66}{8.6 \cdot 10^{-5} \cdot 1273}\right)} = 3,059$$

Расчет показал, что диффузионная длина, а значит и глубина залегания, при диффузии фосфора примерно в 3 раза больше чем у мышьяка.

Для увеличения глубины залегания примеси нужно увеличить температуру и время диффузии, а также выбрать примесь с большим коэффициентом диффузии.

Критерии оценивания задачи 6

Записано выражение для расчета отношения диффузионных длин	2 балла
Найдено значение отношения диффузионных длин	1 балл
Сделан вывод о том, какая примесь дает большую глубину залегания р-п-перехода	1 балл
Предложено больше одного технологического метода увеличения глубины залегания р-п-перехода	1 балл
Максимум	5 баллов

7. Для формирования СВЧ-сигналов для высоких плотностей тока используют вакуумные приборы, у которых транспорт носителей обеспечивается пролетом электронов от катода к аноду. Электрон вылетает из катода с начальной энергией $E_c=10$ эВ и попадает в однородное электрическое поле. Определить время пролета t электрона от катода к аноду, если известно, что расстояние катод-анод L составляет $10 \cdot 10^{-2}$ м, а потенциал на аноде V_A равен 1000 В, потенциал катода равен 0. (Примечание 1 эВ= $1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж, масса электрона $m_e=9,11 \cdot 10^{-31}$ кг). Ответ выразить в секундах.

Ответ:

$$9,66 * 10^{-9}c$$

Решение:

1. Определяем кинетическую энергию электрона.

Полная кинетическая энергия электрона после прохождения разности потенциалов составит:

$$E_A = -V_A + \frac{1}{2}mv_0^2 = V_A + E_c[\text{эВ}] = 1000 + 10 = 1010 \text{эВ} = 1.616 \cdot 10^{-19} [\text{Дж}]$$

где v_0 - начальная скорость электрона

2. Определяем начальную скорость электрона v_{0e}

$$E_c = \frac{1}{2}mv_{0e}^2 \Rightarrow v_{0e} = \sqrt{\frac{2E_c}{m_e}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{9,11 \cdot 10^{-31}}} = 1.87 \cdot 10^6 \text{м/сек}$$

3. Определяем конечную скорость электрона

$$E_A = \frac{1}{2}mv_e^2 \Rightarrow v_e = \sqrt{\frac{2E_A}{m_e}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1010 \cdot 1.616 \cdot 10^{-19}}{9.11 \cdot 10^{-31}}} = 1.88 \cdot 10^7 \text{м/сек}$$

4. Определяем время пролета катод-анод:

$$t = \frac{mL(v - v_0)}{eV_A} = 9,66 * 10^{-9}c$$

Критерии оценивания задачи 7

1	Правильно записано выражение для кинетической энергии, получена верная формула для времени пролета	5 баллов
2	Арифметическая ошибка	-1 балл
3	Алгебраическая ошибка	-1 балл
	Максимальный балл	5 баллов

8. Более 50 лет кремний является основой микроэлектроники. Одной из причин такой популярности этого материала является простота получения оксида кремния. Оксид кремния – водонерастворимый материал с отличными диэлектрическими свойствами, широко применяемый для создания изоляции между элементами и уровнями в микросхемах. Для получения оксида кремния, кремниевые пластины (подложки для изготовления микросхем) подвергают воздействию кислородсодержащей среды. В результате кремний соединяется с кислородом и происходит постепенное нарастание слоя оксида на поверхности пластины.

Определите изменение толщины кремниевой пластины (Δh), если слой кремния толщиной $h_1 = 1$ мкм в результате окисления превратится в двуокись кремния SiO_2 . Плотность кремния равна $\rho_1 = 2,27$ г/см³, его молярная масса $M_1 = 28$ г/моль, а плотность и молярная масса двуокиси кремния равны $\rho_2 = 2,33$ г/см³ $M_2 = 60$ г/моль соответственно.

Ответ:

1,12 мкм.

Решение:

Предположим, что количество атомов кремния в исходном и в создаваемом оксиде неизменно, т.е. выполняются условия материального баланса:

$$N_1 = N_2. \quad (1)$$

В общем случае количество атомов определяется молекулярной массой и плотностью вещества:

$$N = \frac{V N_A}{M} \rho, \quad (2)$$

где V – объем, N_A – число Авогадро, ρ – плотность, M – молекулярная масса.

Тогда для участка площадью S и толщиной b количество, получим выражение:

$$N_1 = \frac{S \cdot h_1 \cdot N_A \cdot \rho_1}{M_1} = N_2 = \frac{S \cdot h_2 \cdot N_A \cdot \rho_2}{M_2} \quad (3)$$

После сокращений и преобразований получим:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{M_1 \cdot \rho_2}{M_2 \cdot \rho_1} \quad (4)$$

Изменение толщины подложки при окислении кремния определяется как:

$$\Delta h = h_2 - h_1 \quad (5)$$

Подставив уравнение (4) в уравнение (5), получаем:

$$\Delta h = h_1 \left(\frac{M_2 \cdot \rho_2}{M_1 \cdot \rho_1} - 1 \right). \quad (6)$$

Чтобы вычислить, насколько изменится толщина подложки при окислении слоя кремния в 1 мкм, подставим числовые данные в выведенную формулу:

$$\Delta h = 1 \cdot 10^{-6} \left(\frac{60 \cdot 2,27 \cdot 10^6}{28 \cdot 2,33 \cdot 10^6} - 1 \right) = 1,12 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 1,12 \text{ мкм.}$$

Критерии оценивания задачи 8

Записано выражение, связывающее объем вещества и число молекул в нем	1 балл
Учен закон сохранения массы	1 балл
Получена окончательная формула	2 балла
Получен числовой ответ	1 балл
Максимальный балл	5 баллов