

Задания с решениями заключительного этапа Олимпиады «Ломоносов» по инженерным наукам 10-11 классы

Задача 1 (30 баллов). Мы с вами живём в мире, электронное строение атомов в котором описывается следующим набором квантовых чисел:

$n = 1, 2, 3, \dots$ - определяет номер периода в Периодической системе элементов

$l = 0, 1, 2, \dots (n - 1)$ – определяет форму электронной орбитали (s,p,d,f)

$m_l = -2, -1, 0, +1, +2, \dots (-l \dots 0 \dots +l)$ – возможные значения m_l определяют количество орбиталей

$m_s = \pm \frac{1}{2}$ - возможные значения m_s определяют то, сколько электронов может быть на каждой орбитали.

В параллельной вселенной эти правила нарушены и имеются следующие изменения

$n = 1, 2, 3, \dots$

$l = 0, 1, 2, \dots (n - 1)$

$m_l = 0, +1, +2, \dots (0 \dots +l)$

$m_s = \pm \frac{1}{2}$

Нарисуйте первые три периода Периодической таблицы для этой вселенной, если основные закономерности заполнения электронных уровней сохранены. Последовательность элементов в периодической таблице этой вселенной такая же, как и на Земле (H, He, Li...). Последняя группа в новой таблице - инертные газы, предпоследняя – галогены, первая – щелочные металлы. Атом второго периода, имеющий возможность организовать максимальное количество ковалентных связей – аналог «Земного» углерода, справа от него – аналог «Земного» кислорода.

На основе этих данных и полученной периодической таблицы, ответьте на следующие вопросы:

А) чем умываются обитатели этой вселенной?

Б) чем они солят свою еду?

В) что не должен пить обитатель этой вселенной, если после этого ему нужно сесть за штурвал космолёта?

Г) Какой атом будет иметь максимальную степень окисления и чему она будет равна?

Решение: Ввиду того, что квантовое число m_l будет иметь урезанный набор значений, то в параллельной вселенной будет одна s-орбиталь, две p-орбитали, три d-орбитали и т.д.

Поскольку остальные квантовые числа останутся без изменений, то первый период останется без изменений. Второй и третий периоды будут содержать по 6 атомов (2s и 4p –элементы).

Таблица примет следующий вид:

H					He
Li	Be	B	C	N	O
F	Ne	Na	Mg	Al	Si

Наибольшее количество ковалентных связей может образовать элемент, образующий 3 связи – В. Тогда, согласно условиям, аналогом кислорода будет С.

(А) Поскольку атом водорода и его положение останется без изменений, умываться инопланетяне будут H_2C .

(Б) Аналогом поваренной соли (NaCl) будет являться FAl.

(В) Поскольку вся “органическая” химия в данной вселенной будет построена на боре, то аналогом нашего этилового спирта будет соединение $BH_2-BH-CH$.

(Г) Максимальной степенью окисления будет являться (+5). Она будет проявляться по аналогу с хлорной (бромной) кислотой $HClO_4$ у соединения HNC_3 .

Задача 2 (30 баллов). Для очистки кремния от примесей инженер решил воспользоваться методом зонной плавки. Метод заключается в следующем: очищаемый образец перемещают относительно нагревательного элемента, который создает узкую зону расплава в образце. Большая часть примесей остаётся в расплаве, перемещаясь по образцу. Таким образом происходит разделение примесей и Si. Предложите схему устройства для зонной плавки. Каким критериям должны соответствовать установка и образец для наиболее эффективной очистки? Рассмотрите такие критерии как: а) форма и размер образца; б) крепление образца; в) форма нагревательного элемента; г) в какой среде необходимо проводить данный процесс. Как можно повысить степень очистки образца?

Решение: схема такого устройства (рисунок 1) обязательно должна содержать крепление, к которому горизонтально или вертикально будет присоединен образец кремния, или подложку (6). Образец должен иметь возможность перемещаться. Также устройство должно содержать одну или несколько нагревательных зон (1), на ней должен быть показан ток газов (вакуумирование), а также может быть показано распределение примесей (2,3,4,5).

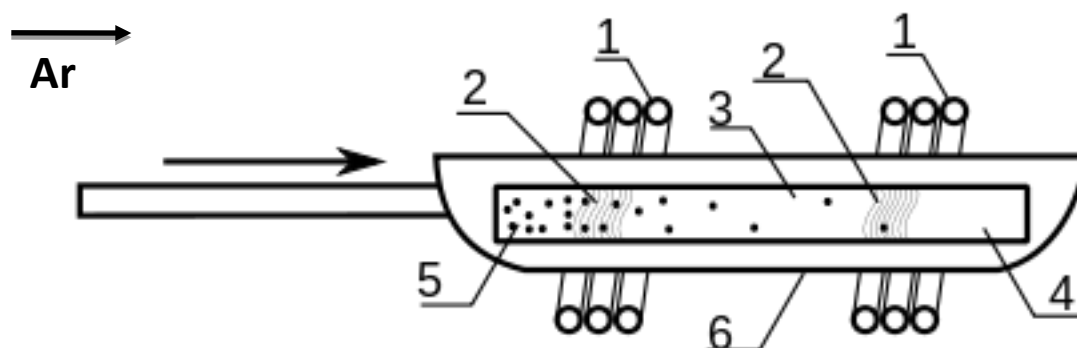


Рисунок 1. Устройство для очистки кремния методом зонной плавки.

Что касается критериев, то

А) Для наиболее эффективного расплавления отдельных участков материала необходимо, чтобы образец был достаточно правильной формы, длина образца должна существенно превышать толщину, наиболее распространенная форма образца – цилиндрическая.

Б) Крепление образца должно быть устойчивым к нагреванию до температуры плавления кремния. Также крепление должно быть инертно по отношению к кремнию даже при высоких температурах.

В) нагревательный элемент должен равномерно прогревать образец – для цилиндрического образца наиболее эффективной является форма кольца, внутри которого мы будем перемещать наш цилиндрический образец.

Г) для предотвращения протекания реакции окисления поверхности образца при нагревании из приборной камеры, в которой находится образец, должен быть выкачан воздух или же в ней должна быть создана инертная атмосфера.

Для повышения эффективности очистки процедуру лучше повторить несколько раз.

Задача 3 (25 баллов). Юные техники сконструировали экологически чистую химическую пушку, которая представляет собой камеру сгорания с затвором и ядром (см. рис.) В качестве топлива решили взять «сухой спирт» - уротропин, который туристы используют как топливо и который при сгорании не образует сажи. Сколько стоит порция уротропина для одного выстрела из такой пушки?

Химическая пушка

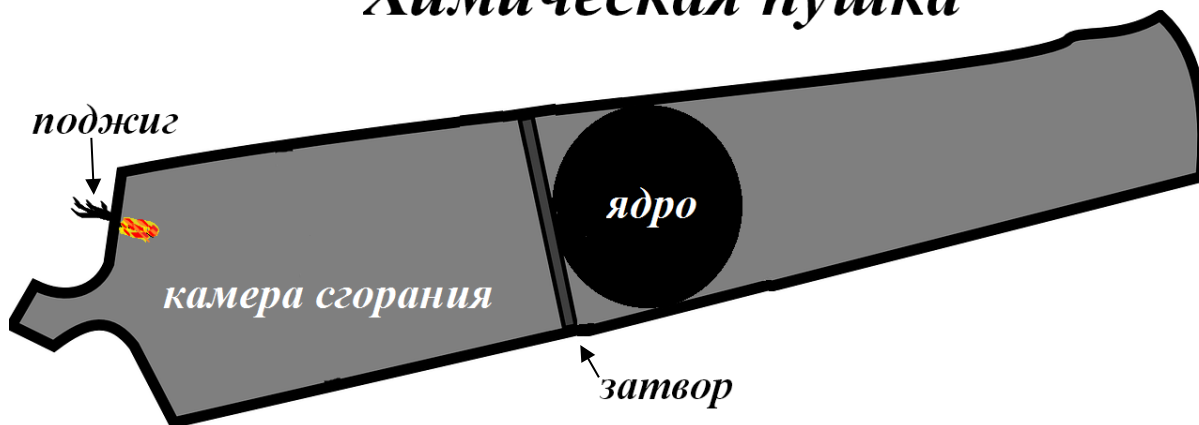


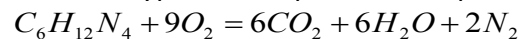
Рис. Принципиальная схема химической пушки.

Для расчёта используйте следующие данные:

1. Брутто-формула уротропина $C_6H_{12}N_4$;
2. Горение происходит в воздушной атмосфере;
3. Считать, что воздух состоит только из кислорода (20%) и азота (80%);
4. Уротропин и кислород в камере сгорания пушки расходуются полностью;
5. Температура газовой смеси в камере после сгорания уротропина составляет $2000\text{ }^\circ\text{C}$;
6. Объём камеры сгорания составляет 100 см^3 ;
7. Давление, создаваемое в камере сгорания в момент выстрела равно 70 атм .
8. Стоимость уротропина составляет 100 рублей за 1 килограмм.

Решение: Для начала нужно определить, какую массу уротропина необходимо использовать для одного выстрела.

Запишем уравнение реакции сгорания уротропина:



Пусть искомая масса уротропина равна $m_{ур.}$. Тогда количество вещества уротропина равно

$\nu_{ур.} = \frac{m_{ур.}}{M_{ур.}}$ моль, где $M_{ур.}$ – его молярная масса, равная 140 г/моль . Из такого количества

уротропина получится $6\nu_{ур.}$ моль CO_2 , $6\nu_{ур.}$ моль H_2O , $2\nu_{ур.}$ моль N_2

Коэффициент перед кислородом в уравнении реакции равен 9 , значит у нас ещё имеется $9 \cdot 4$ (из состава воздуха) дополнительного азота из воздуха, который в реакции не участвовал.

Количество этого азота равно $36\nu_{ур.}$.

Каждый из получившихся в ходе реакции газов, вместе с оставшимся из воздуха азотом будет вносить свой вклад в полное давление, которое можно найти из закона Дальтона:

$$P = P_{CO_2} + P_{H_2O} + P_{N_2} + P_{N_2(\text{воздух})}$$

Каждое из этих давлений можно выразить через уравнение Менделеева – Клапейрона. Тогда получим:

$p = \frac{RT}{V} (v_{CO_2} + v_{H_2O} + v_{N_2} + v_{N_2(\text{воздух})})$, поскольку температура и занимаемый объем для всех газов одни и те же.

$$p = \frac{RT}{V} (6v_{yp.} + 6v_{yp.} + 2v_{yp.} + 36v_{yp.}) = 50 \frac{RT}{V} v_{yp.} = 50 \frac{RT}{V} \frac{m_{yp.}}{M_{yp.}}$$

Выразим из этого выражения $m_{yp.}$.

$$m_{yp.} = \frac{pVM_{yp.}}{50RT} = \frac{70 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 140 \frac{\text{м}^3}{\text{моль}} \cdot 10^{-4} \text{ м}^3}{50 \cdot 8.31 \frac{\text{Па} \cdot \text{м}^3}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 2300 \text{ К}} \approx 0,12$$

Таким образом, получается, что на один выстрел из химической пушки потребляется 0.1 граммов уротропина. Определим стоимость такой массы вещества.

$$Q = m_{yp.} \frac{100 \text{ рублей}}{1000 \text{ граммов}} = 0,01 \text{ рублей} = 1 \text{ копейка}$$

Ответ: один выстрел из экологически чистой химической пушки на уротропине стоит 1 копейку.

Задача 4 (15 баллов). Конструктору радиоэлектронной аппаратуры требуется обеспечить прохождение постоянного тока не менее $I = 2 \text{ А}$ через нагрузку, сопротивление которой равно $R = 2 \text{ Ом}$. У него есть неограниченное количество дешевых источников тока S с ЭДС $E = 1 \text{ В}$ и внутренним сопротивлением $r = 1 \text{ Ом}$. Предложите схему соединения таких источников тока, которая позволит добиться нужного тока через нагрузку.

Решение. Если соединить параллельно m источников тока S , то получится источник тока S_1 с той же ЭДС $E_1 = E = 1 \text{ В}$ и внутренним сопротивлением $r_1 = r/m$. Если теперь соединить последовательно n источников тока S_1 то получится источник тока S_2 с ЭДС $E_2 = nE$ и внутренним сопротивлением $r_2 = nr_1$. При замыкании такого источника на нагрузку с сопротивлением R в цепи потечет ток $I = E_2/(r_2 + R) = nE/(nr/m + R) = E/(r/m + R/n)$. Отсюда видно, что при достаточно больших n и m ток I может быть сделан сколь угодно большим; в частности, при $m = 2$, $n = 4$ получаем $I = 2 \text{ А}$.