

## 9 класс

### Задача 1 (20 баллов)

#### Вариант 1

Элемент бор представлен в природе двумя изотопами –  $^{10}\text{B}$  и  $^{11}\text{B}$  с атомными массами  $1,663 \cdot 10^{-26}$  и  $1,828 \cdot 10^{-26}$  кг, соответственно.

- Определите содержание данных изотопов в природе в массовых долях;
- Массы покоя протона и нейтрона составляют, соответственно,  $1,673 \cdot 10^{-27}$  и  $1,675 \cdot 10^{-27}$  кг, а масса электрона –  $9,110 \cdot 10^{-31}$  кг. Объясните, почему массы атомов бора не равны сумме масс составляющих их элементарных частиц.
- Определите, какая энергия выделяется (поглощается) при синтезе ядра бора-10 из нуклонов.

#### Решение.

1. Средняя атомная масса бора составляет 10,810 а.е.м. Для расчета содержания изотопов в природном боре переведем атомные массы изотопов в а.е.м. Они составят 10,015 и 11,008 а.е.м., соответственно.

Пусть атомная доля бора-11 составляет  $x\%$ . Тогда справедливо соотношение:

$$10,015 \cdot (100 - x) + 11,008 \cdot x = 10,810 \cdot 100$$

$$x = 80,06\%$$

Для определения массовых долей изотопов примем, что общее количество ядер бора составляет 1 моль. Тогда массовая доля бора-11 составит:

$$80,06 \cdot 11,008 / (19,94 \cdot 10,015 + 80,06 \cdot 11,008) = \mathbf{81,53\%}, \text{ соответственно массовая доля бора-10} \\ \text{– } \mathbf{18,47\%}$$

2. Масса атома бора меньше суммы масс нуклонов вследствие дефекта масс.

3. Масса ядра бора-10 составляет  $1,663 \cdot 10^{-26} - 5 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} = 1,663 \cdot 10^{-26}$  кг

Дефект масс составит  $\Delta m = 1,663 \cdot 10^{-26} - 5 \cdot 1,673 \cdot 10^{-27} - 5 \cdot 1,675 \cdot 10^{-27} = -1,1 \cdot 10^{-28}$  кг

$$E = \Delta m c^2 = 1,1 \cdot 10^{-28} \cdot 9 \cdot 10^{16} = \mathbf{9,9 \cdot 10^{-12} \text{ Дж}}$$

#### Вариант 2

Элемент калий представлен в природе двумя изотопами –  $^{39}\text{K}$  и  $^{41}\text{K}$  с атомными массами  $6,470 \cdot 10^{-26}$  и  $6,808 \cdot 10^{-26}$  кг, соответственно.

- Определите содержание данных изотопов в природе в массовых долях;
- Массы покоя протона и нейтрона составляют, соответственно,  $1,673 \cdot 10^{-27}$  и  $1,675 \cdot 10^{-27}$  кг, а масса электрона –  $9,110 \cdot 10^{-31}$  кг. Объясните, почему массы атомов калия не равны сумме масс составляющих их элементарных частиц.
- Определите, какая энергия выделяется (поглощается) при синтезе ядра калия-41 из нуклонов.

**Ответ:** а) 93,08% калия-39 и 6,92% калия-41

б)  $5,0 \cdot 10^{-11}$  Дж

#### Вариант 3

Элемент медь представлен в природе двумя изотопами –  $^{63}\text{Cu}$  и  $^{65}\text{Cu}$  с атомными массами  $1,045 \cdot 10^{-25}$  и  $1,078 \cdot 10^{-25}$  кг, соответственно.

- Определите содержание данных изотопов в природе в массовых долях;
- Массы покоя протона и нейтрона составляют, соответственно,  $1,673 \cdot 10^{-27}$  и  $1,675 \cdot 10^{-27}$  кг, а масса электрона –  $9,110 \cdot 10^{-31}$  кг. Объясните, почему массы атомов меди не равны сумме масс составляющих их элементарных частиц.

- Определите, какая энергия выделяется (поглощается) при синтезе ядра меди-63 из нуклонов.

**Ответ:** а) 68,48% меди-63 и 31,52% меди-65

Б)  $6,7 \cdot 10^{-11}$  Дж

#### Вариант 4

Элемент сурьма представлен в природе двумя изотопами –  $^{121}\text{Sb}$  и  $^{123}\text{Sb}$  с атомными массами  $2,008 \cdot 10^{-25}$  и  $2,041 \cdot 10^{-25}$  кг, соответственно.

- Определите содержание данных изотопов в природе в массовых долях;

- Массы покоя протона и нейтрона составляют, соответственно,  $1,673 \cdot 10^{-27}$  и  $1,675 \cdot 10^{-27}$  кг, а масса электрона –  $9,110 \cdot 10^{-31}$  кг. Объясните, почему массы атомов сурьмы не равны сумме масс составляющих их элементарных частиц.

- Определите, какая энергия выделяется (поглощается) при синтезе ядра сурьмы-121 из нуклонов.

**Ответ:** а) 56,8% сурьмы-121 и 43,2% сурьмы-123

Б)  $1,6 \cdot 10^{-10}$  Дж

#### Задача 2 (20 баллов)

#### Вариант 1

Навеску цинка массой 3,00 г сожгли при  $150^\circ\text{C}$  и давлении 0,8 атм в закрытом сосуде объемом 5,0 л, заполненном газообразным веществом с плотностью паров по *веселящему* газу 5,77. По окончании реакции сосуд охладили до комнатной температуры и внесли в него 1 литр 50% водного раствора азотной кислоты (плотность 1,30 г/мл). Определите мольную долю атомов кислорода в полученном растворе. Приведите уравнения упомянутых реакций.

#### Решение.

1. Определим неизвестное вещество. Его молярная масса составляет:

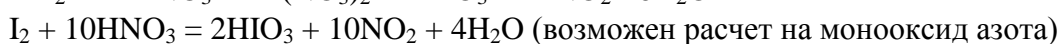
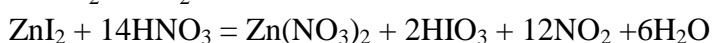
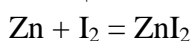
$$M = 5,77 \cdot 44 = 254 \text{ г/моль} - \text{очевидно, искомое вещество иод (I}_2\text{)}$$

Рассчитаем количество вещества иода в сосуде:

$$n = pV/RT = 0,8 \cdot 101325 \cdot 5 \cdot 10^{-3} / (8,31 \cdot 423,15) = 0,115 \text{ моль}$$

Количество вещества цинка составляет  $3/64,5 = 0,047$  моль. Таким образом, иод взят в избытке

Реакции:



По окончании реакций в растворе содержится:

0,047 моль нитрата цинка

0,230 моль иодноватой кислоты

8,980 моль азотной кислоты

36,665 моль воды

Количество вещества отдельных элементов составляет:

Цинка – 0,047 моль

Иода – 0,230 моль

Азота – 9,074 моль

Водорода – 73,56 моль

Кислорода - 64,577 моль

Мольная доля атомов кислорода составляет **43,78%**.

### Вариант 2

Навеску алюминия массой 2,00 г сожгли при 200 °С и давлении 0,5 атм в закрытом сосуде объемом 6,0 л, заполненном газообразным веществом с плотностью паров по *лисьему хвосту* 5,52. По окончании реакции сосуд охладили до комнатной температуры и внесли в него 1,5 литра 40% водного раствора азотной кислоты (плотность 1,25 г/мл). Определите мольную долю атомов кислорода в полученном растворе. Приведите уравнения упомянутых реакций.

**Ответ:**  $2Al + 3I_2 = 2AlI_3$

$AlI_3 + HNO_3 = Al(NO_3)_3 + HIO_3 + H_2O$

$Al + HNO_3$  – пассивация

Мольная доля атомов кислорода 41,25%

### Задача 3 (20 баллов)

#### Вариант 1

В лаборатории есть баллоны с аммиаком, аргоном, водородом, хлороводородом и хлором. Какие пары газов нужно взять и в каких объёмных соотношениях их нужно смешать, чтобы плотность полученной смеси по воздуху была равна: 1.0. Приведите все возможные решения.

**Решение.** Относительные плотности указанных газов по воздуху составляют:

$D_{\text{возд}}(Ar) = 40/29 = 1.38$ ;  $D_{\text{возд}}(NH_3) = 17/29 = 0.59$ ;  $D_{\text{возд}}(H_2) = 2/29 = 0.069$ ;  $D_{\text{возд}}(HCl) = 36.5/29 = 1.26$ ;  $D_{\text{возд}}(Cl_2) = 70/29 = 2.41$ .

Анализ показывает, что для удовлетворения условия задачи это должны быть смеси одного из двух лёгких газов (водород, аммиак) с одним из тяжёлых газов (аргон, хлороводород, хлор). Однако при этом следует исключить пары веществ, между которыми протекает химическая реакция: аммиак и хлороводород (образуется нелетучий хлорид аммония:  $NH_{3(g)} + HCl_{(g)} = NH_4Cl_{(тв)}$ ), аммиак и хлор (образуется азот и хлороводород:  $2NH_{3(g)} + 3Cl_{2(g)} = N_{2(g)} + 6HCl_{(g)}$ ), а также неустойчивая на свету смесь водорода с хлором (образуется хлороводород:  $H_{2(g)} + Cl_{2(g)} = 2HCl_{(g)}$ ).

Таким образом, возможными вариантами остаются смеси: водород – аргон, водород – хлороводород, аммиак – аргон.

Согласно уравнению Менделеева-Клапейрона  $pV = nRT$ , соотношение объёмов газов равно мольному соотношению газов.

Средняя молекулярная масса смеси должна быть равна молекулярной массе воздуха. Пусть мольная доля легкого газа  $x$ , тогда мольная доля тяжелого газа  $(1-x)$ , тогда для смеси водород – аргон:  $29 = 2 \cdot x + (1-x) \cdot 40$ , откуда  $x = (40-29/40-2) = 0.29$ ;  $(1-x) = 0.71$ ; мольное отношение аргон – водород  $(1-x)/x = 2.45$ , тогда соотношение объёмов водорода и аргона 1:2.45.

для смеси водород – хлороводород:  $29 = 2 \cdot x + (1-x) \cdot 36.5$ , откуда получаем объёмное соотношение водород – хлороводород 1:3.6.

для смеси аммиак – аргон:  $29 = 2 \cdot x + (1-x) \cdot 36.5$ , откуда получаем объёмное соотношение аммиак – аргон. 1:1.09.

**Ответ:** объёмное соотношение водород – аргон 1:2.45; водород – хлороводород 1:3.6; аммиак – аргон 1:1.09.

#### *Вариант 2*

В лаборатории есть баллоны с аммиаком, аргоном, водородом, хлороводородом и хлором. Какие пары газов нужно взять и в каких объёмных соотношениях их нужно смешать, чтобы плотность полученной смеси по воздуху была равна: 0.8. Приведите все возможные решения.

**Ответ:** объёмное соотношение водород – аргон 1:1.26; водород – хлороводород 1:1.59; аммиак – аргон 2.71:1.

#### *Вариант 3*

В лаборатории есть баллоны с аммиаком, аргоном, водородом, хлороводородом и хлором. Какие пары газов нужно взять и в каких объёмных соотношениях их нужно смешать, чтобы плотность полученной смеси по воздуху была равна: 1.2. Приведите все возможные решения.

**Ответ:** объёмное соотношение водород – аргон 1:6.31; водород – хлороводород 1:19.3; аммиак – аргон 1:3.42

#### *Вариант 4*

В лаборатории есть баллоны с аммиаком, аргоном, водородом, хлороводородом и хлором. Какие пары газов нужно взять и в каких объёмных соотношениях их нужно смешать, чтобы плотность полученной смеси по воздуху была равна: 0.9. Приведите все возможные решения.

**Ответ:** объёмное соотношение водород – аргон 1:1.73; водород – хлороводород 1:2.32; аммиак – аргон 1.53:1.

### **Задача 4 (20 баллов)**

#### *Вариант 1*

Массовые доли двух растворов щелочи отличаются на 10%. Определите массы этих растворов, если в первом содержится 800 г., во втором 600 г. щелочи, а при их сливании получили раствор массой 10 кг.

**Решение:**

Решение. Обозначим массы растворов за  $x$  и  $y$ . Тогда можно составить два уравнения:

$$x + y = 10$$

$0.8/x - 0.6/y = 0.1$  (в данной ситуации неважно в каком растворе процент содержания кислоты выше).

Решая систему получаем  $x=4$  и  $y=6$ . Другие решения физического смысла не имеют.

**Ответ:** 4 кг и 6 кг

### Вариант 2

Массовые доли двух растворов сульфата натрия отличаются на 5%. Определите массы этих растворов, если в первом содержится 500 г., во втором 300 г. соли, а при их сливании получили раствор массой 4,5 кг.

**Ответ:** 2 кг и 2,5 кг

### Вариант 3

Массовые доли двух растворов хлорида кальция отличаются на 40%. Определите массы этих растворов, если в первом содержится 700 г., во втором 100 г. соли, а при их сливании получили раствор массой 12 кг.

**Ответ:** 7 кг и 5 кг

### Вариант 4

Массовые доли двух растворов серной кислоты отличаются на 10%. Определите массы этих растворов, если в первом содержится 200 г., во втором 300 г. кислоты, а при их сливании получили раствор массой 2 кг.

**Ответ:** 1 кг и 1 кг

## Задача 5 (20 баллов)

### Вариант 1

Эквимольную смесь трех газов с плотностью по воздуху 0,782 разделили на две части. Первую часть пропустили через горячий раствор кислоты, в результате объём смеси уменьшился в 1,5 раза, а ее плотность увеличилась на 5,8 %. Вторую часть пропустили через холодный разбавленный раствор щелочи, в результате объём смеси уменьшился в три раза, а ее плотность изменилась на 82,36 %. Установить качественный и количественный состав газовой смеси (в% по массе) и написать уравнения проведенных реакций. Все газы находились при одинаковых условиях.

#### Решение:

Поскольку смесь эквимольная, то количества и объемы входящих в ее состав газов одинаковы. При пропускании через горячий раствор кислоты поглощается только один газ (объем уменьшается в 1,5 раза), при пропускании через раствор щелочи поглощаются два газа (объем уменьшается в 3 раза).

Молярная масса начальной газовой смеси

$$M(\text{смеси}) = D_{\text{возд}} \cdot M_{\text{возд}} = 0,782 \cdot 29 = 22,678 \text{ г/моль}$$

Таким образом, можно определить молярную массу газа, оставшегося после пропускании через раствор щелочи. Возможно два варианта – плотность газа увеличивается по сравнению с начальной или уменьшается. Если плотность увеличивается, то

$$M(\text{газа 3}) = 22,678 \cdot 1,8236 = 41,35 \text{ г/моль,}$$

такого газа нет. Если плотность уменьшается, то

$$M(\text{газа 3}) = 22,678 \cdot 0,1764 = 4 \text{ г/моль}$$

Этот газ не растворяется ни в воде, ни в растворе щелочи. Таким газом может быть He или водород, содержащий тяжелые изотопы D<sub>2</sub>, HT (подходит любой вариант).

Газовая смесь, оставшаяся после пропускания через горячий раствор кислоты содержит третий газ (He) и еще один газ в эквимольных количествах. Ее молярная масса

$$M(\text{смеси 2х газов}) = 22,678 \cdot 1,058 = 24 \text{ г/моль.}$$

Обозначим молярную массу второго газа за M<sub>2</sub> и составим уравнение:

$$M(\text{смеси 2х газов}) = \frac{M_2 + M_{He}}{2}$$

$$24 = \frac{M_2 + 4}{2}, \quad M_2 = 44 \text{ г/моль}$$

Этот газ растворяется в щелочи, но не растворяется в горячем растворе кислоты, следовательно, это углекислый газ CO<sub>2</sub>.

Обозначив молярную массу первого газа за M<sub>1</sub> и зная молярную массу исходной смеси, можно найти молярную массу первого газа:

$$M(\text{исходной смеси}) = \frac{M_1 + M(CO_2) + M(He)}{3}$$

$$22,678 = \frac{M_1 + 44 + 4}{3}, \quad M_1 = 20 \text{ г/моль}$$

Этот газ растворяется и в горячей кислоте, и в холодном растворе щелочи. Таким газом может быть дейтерированный аммиак ND<sub>3</sub>.

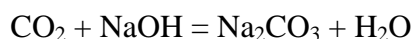
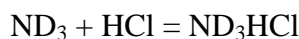
Определим массовые доли газов:

$$\omega(He) = \frac{m(He)}{m(\text{смеси})} = \frac{M(He)}{M(He) + M(CO_2) + M(ND_3)} = 0,0588 \text{ (5,88\%)}$$

$$\omega(CO_2) = \frac{m(CO_2)}{m(\text{смеси})} = \frac{M(CO_2)}{M(He) + M(CO_2) + M(ND_3)} = 0,6471 \text{ (64,71\%)}$$

$$\omega(ND_3) = 0,2941 \text{ (29,41\%)}$$

Уравнения проведенных реакций (в молекулярной или в ионно-молекулярной форме):



### Вариант 2

Эквимольную смесь трех газов с плотностью по воздуху 0,931 разделили на две части. Первую часть пропустили через раствор кислоты, в результате объем смеси уменьшился в 1,5 раза, а ее плотность увеличилась на 18,5 %. Вторую часть пропустили через холодный раствор щелочи, в результате объем смеси уменьшился в три раза, а ее плотность изменилась на 25,9 %. Установить качественный и количественный состав газовой смеси

(в% по массе) и написать уравнения проведенных реакций. Все газы находились при одинаковых условиях

**Ответ:**  $\text{NH}_3$  (20,99%),  $\text{CO}_2$  (54,32%),  $\text{CD}_4$  (24,69%).

#### *Вариант 3*

Эквимольную смесь трех газов с плотностью по воздуху 2,471 разделили на две части. Первую часть пропустили через раствор кислоты, в результате объем смеси уменьшился в 1,5 раза, а ее плотность увеличилась на 36,1 %. Вторую часть пропустили через холодный раствор щелочи, в результате объем смеси уменьшился в три раза, а ее плотность изменилась на 82,8 %. Установить качественный и количественный состав газовой смеси (в% по массе) и написать уравнения проведенных реакций. Все газы находились при одинаковых условиях

**Ответ:**  $\text{ND}_3$  (9,3%),  $\text{SO}_2$  (29,77%),  $\text{Xe}$  (60,93%).

#### *Вариант 4*

Эквимольную смесь трех газов с плотностью по воздуху 1,161 разделили на две части. Первую часть пропустили через раствор кислоты, в результате объем смеси уменьшился в 1,5 раза, а ее плотность увеличилась на 24,7 %. Вторую часть пропустили через холодный раствор щелочи, в результате объем смеси уменьшился в три раза, а ее плотность изменилась на 40,6 %. Установить качественный и количественный состав газовой смеси (в% по массе) и написать уравнения проведенных реакций. Все газы находились при одинаковых условиях

**Ответ:**  $\text{NH}_3$  (16,83%),  $\text{SO}_2$  (63,37%),  $\text{CD}_4$  (19,8%).