

# Стратегия решения олимпиадных задач по

## ХИМИИ

### Занятие 3. Расчеты с использованием данных о составе и состоянии вещества. Газы и газовые смеси

Воронаев И.Г.  
п.д.о. ЭБЦ  
«Крестовский <sub>1</sub>  
ОСТРОВ»

1. В руде содержится 58% оксида марганца (IV). Каково содержание марганца в руде, если в  $\text{MnO}_2$  оно составляет 63,2%.

1. В руде содержится 58% оксида марганца (IV). Каково содержание марганца в руде, если в  $\text{MnO}_2$  оно составляет 63,2%.

## ✓ РЕШЕНИЕ:

Массовая доля марганца в руде  
равна  $0,58 - 0,632 = 0,366$ , т. е. 36,6%.

2. Чему равны массовые доли (%) изотопов неона  $^{20}\text{Ne}$  и  $^{22}\text{Ne}$  в природном газе, имеющем среднюю относительную атомную массу 20,2 ?

2. Чему равны массовые доли (%) изотопов неона  $^{20}\text{Ne}$  и  $^{22}\text{Ne}$  в природном газе, имеющем среднюю относительную атомную массу 20,2 ?

✓ РЕШЕНИЕ:

Примем за  $x$  число атомов  $^{20}\text{Ne}$  в каждых 100 атомах природного неона, тогда число атомов  $^{22}\text{Ne}$  будет  $(100 - x)$ . Масса атомов  $^{20}\text{Ne}$  равна  $20x$ , а масса атомов  $^{22}\text{Ne} = 22 \cdot (100 - x)$

$$20x + 22(100 - x) = 20,2 \cdot 100.$$

Из уравнения находим  $x = 90$  (атомов  $^{20}\text{Ne}$ ) и  $100 - 90 = 10$  (атомов  $^{22}\text{Ne}$ ). Таким образом, массовая доля  $^{20}\text{Ne}$  составляет 90%, а массовая доля  $^{22}\text{Ne}$  – 10%.

3. Смесь медного купороса  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  и кристаллов соды  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  содержит 38% связанной воды.

Рассчитайте, чему равны массовые доли (%) каждого из веществ смеси.

3. Смесь медного купороса  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  и кристаллов соды  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  содержит 38% связанной воды. Рассчитайте, чему равны массовые доли (%) каждого из веществ смеси.

✓ РЕШЕНИЕ:

Обозначим через  $x$  массовую долю медного купороса в смеси. Тогда в смеси массой  $m$  имеется  $mx$  г медного купороса и  $(m-mx)$  г соды.  $M(\text{H}_2\text{O}) = 18$ ;  $M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 250$ ;  $M(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 286$ . Масса воды в  $m$  г смеси составляет  $(0,38 m)$  г. Масса воды в  $mx$  (г)  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  равна

$$mx \frac{5 \cdot 18}{250}$$

$$(m - mx) \frac{10 \cdot 18}{286}$$

а масса воды в  $(m-mx)$  г  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  равна  $(m-mx)$

Исходя из того, что масса воды в смеси равна сумме масс воды, входящей в состав медного купороса и соды, запишем уравнение

$$0,38 m = \frac{5 \cdot 18}{250} mx + \frac{10 \cdot 18}{286} (m - mx)$$

$$0,38m = 0,36mx + 0,63m - 0,63mx;$$

$$0,63mx - 0,36mx = 0,63m - 0,38m;$$

$$0,27mx = 0,25m;$$

$$x = \frac{0,25m}{0,27m} = 0,925$$

Состав смеси в процентах: 92,5%  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  и  $100 - 92,5 = 7,5\%$   $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

4. В смеси газообразных СО и СО<sub>2</sub> массовое отношение С : О равно 1:2.
- а) Рассчитайте массовые доли газов в процентах.
  - б) Рассчитайте состав смеси по объему в процентах.
  - в) Укажите соотношения С:О, при которых оба газа одновременно не могут присутствовать.

4. В смеси газообразных CO и CO<sub>2</sub> массовое отношение C : O равно 1:2.
- Рассчитайте массовые доли газов в процентах.
  - Рассчитайте состав смеси по объему в процентах.
  - Укажите соотношения C:O, при которых оба газа одновременно не могут присутствовать.

✓ РЕШЕНИЕ:

Пусть  $x$  - число молей CO,  $y$  - число молей CO<sub>2</sub> в 100 г смеси;

$$28x + 44y = 100;$$

$$\frac{12(x + y)}{16(x + 2y)} = \frac{1}{2}$$

$$x = 1,389, y = 1,389$$

$$а) \frac{1,389 \cdot 44}{100} 100 = 61,11\% \text{ CO}_2; \frac{1,389 \cdot 28}{100} 100 = 38,89\% \text{ CO}$$

б)  $x = y$ , 50% CO<sub>2</sub> + 50% CO (по объему);

в) два газа не могут присутствовать в смеси, если

$$\frac{m(C)}{m(O)} = \frac{12}{16}$$

что соответствует чистому CO; 12/31, соответствует чистому CO<sub>2</sub>, т. е.

$$\frac{12}{31} < \frac{m(C)}{m(O)} < \frac{12}{16}$$

5. Кристаллогидрат сульфата марганца (II) содержит 24,66% марганца. Какую формулу имеет кристаллогидрат?

5. Кристаллогидрат сульфата марганца (II) содержит 24,66% марганца. Какую формулу имеет кристаллогидрат?

✓ РЕШЕНИЕ:

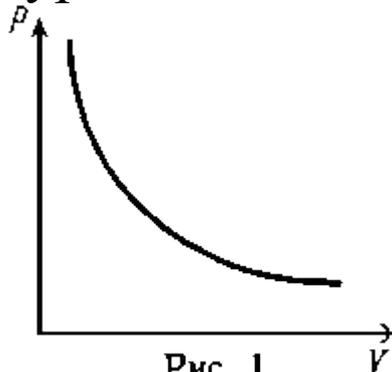
$M(\text{MnSO}_4) = 151$ ;  $M(\text{Mn})=55$ ;  $x$  - число молей  $\text{H}_2\text{O}$  в одном моле кристаллогидрата  $\text{MnSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ .

$$\begin{aligned} 24,66\% & \text{ соответствует } 55 \text{ г,} \\ 100\% & \text{ соответствует } (151 + 18x) \text{ г,} \\ & x = 4. \end{aligned}$$

Формула вещества  $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ .

# Газовые законы

- Зависимость между давлением и объемом идеального газа при постоянной температуре:



- Давление и объем образца газа обратно пропорциональны, т. е. их произведения являются постоянной величиной:  $pV = \text{const}$ . Это соотношение может быть записано в более удобном для решения задач виде:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \text{ (закон Бойля-Мариотта).}$$

- Представим себе, что 50 л газа ( $V_1$ ), находящегося под давлением 2 атм ( $p_1$ ), сжали до объема 25 л ( $V_2$ ), тогда его новое давление будет равно:

$$p_2 = \frac{p_1 V_1}{V_2} = \frac{2 \cdot 50}{25} = 4 \text{ (атм)}$$

# Газовые законы

- Зависимость свойств идеальных газов от температуры определяется законом Гей-Люссака: объем газа прямо пропорционален его абсолютной температуре (при постоянной массе:  $V = kT$ , где  $k$  - коэффициент пропорциональности). Это соотношение записывается обычно в более удобной форме для решения задач:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (p = \text{const})$$

- Например, если 100 л газа, находящегося при температуре 300К, нагревают до 400К, не меняя давления, то при более высокой температуре новый объем газа будет равен

$$V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1} = \frac{100 \cdot 400}{300} = 133,3 \text{ (л)}$$

# Газовые законы

- Запись объединенного газового закона  $pV/T = \text{const}$  может быть преобразована в уравнение Менделеева-Клапейрона:

$$pV = \nu RT,$$

где  $R$  - универсальная газовая постоянная, а  $\nu$  - число молей газа.

- Уравнение Менделеева-Клапейрона позволяет проводить самые разнообразные вычисления. Например, можно определить число молей газа при давлении 3 атм и температуре 400К, занимающих объем 70 л:

$$\nu = \frac{pV}{RT} = \frac{3 \cdot 70}{0,082 \cdot 400} = 6,4 \text{ (МОЛЬ)}$$

# Газовые законы

- Одно из следствий объединенного газового закона: в равных объемах различных газов при одинаковой температуре и давлении содержится одинаковое число молекул. Это закон Авогадро.
- Из закона Авогадро в свою очередь вытекает также важное следствие: массы двух одинаковых объемов различных газов (естественно, при одинаковых давлении и температуре) относятся как их молекулярные массы:

$$m_1/m_2 = M_1/M_2 \text{ (} m_1 \text{ и } m_2 \text{ - массы двух газов);}$$

$M_1/M_2$  представляет собой относительную плотность.

- Закон Авогадро применим только к идеальным газам. При нормальных условиях трудно сжимаемые газы (водород, гелий, азот, неон, аргон) можно считать идеальными. У оксида углерода (IV), аммиака, оксида серы (IV) отклонения от идеальности наблюдаются уже при нормальных условиях и возрастают с ростом давления и понижением температуры.

□ В замкнутом сосуде емкостью 1,5 л находится смесь сероводорода с избытком кислорода при температуре  $27^{\circ}\text{C}$  и давлении 623,2 мм рт. ст. Найдите суммарное количество веществ в сосуде.

- В замкнутом сосуде емкостью 1,5 л находится смесь сероводорода с избытком кислорода при температуре 27°C и давлении 623,2 мм рт. ст. Найдите суммарное количество веществ в сосуде.

✓ **РЕШЕНИЕ:**

$$pV = \nu RT; \quad \nu = \frac{pV}{RT} = \frac{623,2/760 \cdot 1,5}{0,082 \cdot 300} = 0,05 \text{ (МОЛЬ)}$$

- Химик, определявший атомную массу нового элемента X в середине XIX в., воспользовался следующим методом: он получал четыре соединения, содержащие элемент X (А, Б, В и Г), и определял массовую долю элемента (%) в каждом из них. В сосуд, из которого предварительно был откачан воздух, он помещал каждое соединение, переведенное в газообразное состояние при  $250^{\circ}\text{C}$ , и устанавливал при этом давление паров вещества  $1,013 \cdot 10^5$  Па. По разности масс пустого и полного сосудов определялась масса газообразного вещества. Аналогичная процедура проводилась с азотом. В результате можно было составить такую таблицу:

Газ	Общая масса, г	Массовая доля ( ) элемента X в веществе, %
$\text{N}_2$	0,652	-
А	0,849	97,3
Б	2,398	68,9
В	4,851	85,1
Г	3,583	92,2

- Определите вероятную атомную массу элемента X.

# ✓ РЕШЕНИЕ

$$v_2 = \frac{m(\text{N}_2)}{M(\text{N}_2)} = \frac{0,652}{28} = 0,0233 \text{ (моль)}$$

Предположим, что при температуре 250° С вещества А, Б, В, Г являются идеальными газами. Тогда по закону Авогадро

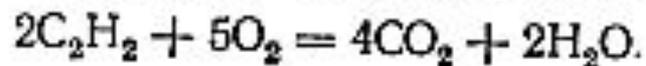
- Масса элемента X в 1 моль вещества А, Б, В и Г (г/моль):
- $M(\text{А}) \cdot 0,973 = 35,45$ ;
- $M(\text{Б}) \cdot 0,689 = 70,91$ ;
- $M(\text{В}) \cdot 0,851 = 177,17$ ;
- $M(\text{Г}) \cdot 0,922 = 141,78$
- Поскольку в молекуле вещества должно быть целое число атомов элемента X, нужно найти наибольший общий делитель полученных величин. Он составляет 35,44 г/моль, и это число можно считать вероятной атомной массой элемента X.

□ К 20 мл смеси ацетилен и азота прибавили 60 мл кислорода. После реакции объем смеси оказался равным 56 мл. Определить процентный состав (по объему) исходной газовой смеси.

- К 20 мл смеси ацетилена и азота прибавили 60 мл кислорода. После реакции объем смеси оказался равным 56 мл. Определить процентный состав (по объему) исходной газовой смеси.

## ✓ РЕШЕНИЕ:

46. Горение ацетилена происходит согласно уравнению:



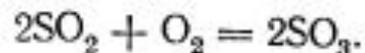
По условию задачи после сжигания ацетилена и конденсации водяного пар из 80 мл ( $20 + 60 = 80$ ) газовой смеси образовалось 56 мл, т. е. объем уменьшился на 24 мл ( $80 - 56 = 24$ ). Из уравнения реакции видно, что при взаимодействии 2 объемов ацетилена с 5 объемами кислорода образуется 4 объема углекислого газа, т. е. объем смеси уменьшается на 3. На 24 мл объем уменьшится в том случае, если прореагирует  $\frac{2 \cdot 24}{3} = 16$  мл ацетилена. Значит, в 20 мл первоначальной смеси было 16 мл, или  $\frac{16 \cdot 100}{20} = 80\%$ , ацетилена и 20% ( $100 - 80 = 20$ ) азота.

□ В контактный аппарат для окисления сернистого газа подают смесь воздуха с 10% сернистого газа. Определить процентный состав газов, выходящих из контактного аппарата, если сернистый газ окисляется полностью.

- В контактный аппарат для окисления сернистого газа подают смесь воздуха с 10% сернистого газа. Определить процентный состав газов, выходящих из контактного аппарата, если сернистый газ окисляется полностью.

## ✓ РЕШЕНИЕ:

55. Реакция окисления сернистого газа происходит по уравнению:



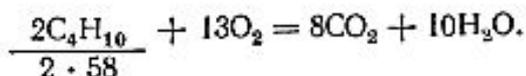
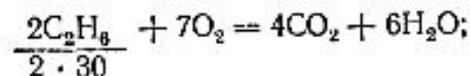
Для решения этой задачи возьмем определенный объем газовой смеси. Если взять 100 объемов поступающей в контактный аппарат смеси, то в ней будет

10 объемов сернистого газа и 90 объёмов воздуха, содержащего 18 объемов (20%) кислорода и 72 объема (80%) азота. Из уравнения реакции окисления сернистого газа кислородом видно, что 2 объема сернистого газа реагируют с 1 объемом кислорода и образуют 2 объема серного ангидрида, а 10 объёмов сернистого газа реагируют с 5 объемами кислорода и образуют 10 объемов серного ангидрида. Из 100 объемов газовой смеси, поступающей в контактный аппарат, образуются 5 объемов газовой смеси, содержащей 10 объёмов, или  $\frac{10 \cdot 100}{95} = 10,52\%$ , серного ангидрида, 13 объемов ( $18 - 5 = 13$ ), или  $\frac{13 \cdot 100}{95} = 13,68\%$ , кислорода и 72 объема, или  $\frac{72 \cdot 100}{95} = 75,80\%$ , азота.

□ В эвдиометре взорвали смесь 500 мл воздуха с 20 мл смеси этана и бутана, плотность по водороду которой равна 17,8. Определить состав образовавшейся смеси. Как изменится давление в эвдиометре, если до реакции условия были нормальными?

## ✓ РЕШЕНИЕ:

74. В результате взрыва этан и бутан прореагируют с кислородом воздуха согласно уравнениям:



По условию задачи взорвали смесь 500 мл воздуха, содержащего 100 мл кислорода и 400 мл азота, с 20 мл смеси этана и бутана, плотность по водороду которой равна 17,8. Средняя молекулярная масса этой смеси равна  $2 \cdot 17,8 = 35,6$ . Если долю бутана в мольном объеме обозначить через  $x$ , то доля этана будет равной  $(1 - x)$ . Отсюда

$$58x + 30(1 - x) = 35,6,$$

$$58x + 30 - 30x = 35,6,$$

$$28x = 5,6,$$

$$x = 0,2.$$

Значит в смеси было 0,2, или 20%, или  $0,2 \cdot 20 = 4$  мл, бутана и 16 мл ( $20 - 4 = 16$ ) этана.

Из уравнений реакций горения этана и бутана видно, что на сжигание 1 мл этана расходуется 3,5 мл кислорода, а на сжигание 1 мл бутана расходуется 6,5 мл кислорода. На сжигание 16 мл этана будет израсходовано  $16 \cdot 3,5 = 56$  мл кислорода, а на сжигание 4 мл бутана —  $4 \cdot 6,5 = 26$  мл кислорода. Из имевшихся до реакции 100 мл кислорода 82 мл ( $56 + 26 = 82$ ) прореагируют с этаном и бутаном, а 18 мл останутся. Из тех же уравнений видно, что из 1 мл этана образуются 2 мл  $\text{CO}_2$ , из 1 мл бутана образуются 4 мл  $\text{CO}_2$ , а из имевшихся в смеси 16 мл этана образуются 32 мл  $\text{CO}_2$  и из 4 мл бутана — 16 мл  $\text{CO}_2$ . При приведении системы к нормальным условиям вода конденсируется и практически на объем и давление влияния оказывать не будет. Таким образом, из 520 мл первоначальной смеси, содержащей 400 мл азота, 100 мл кислорода, 16 мл этана и 4 мл бутана, образовалась газовая смесь, содержащая 400 мл азота, 16 мл кислорода и 48 мл ( $32 + 16 = 48$ ) углекислого газа. Общий объем образовавшейся смеси 464 мл ( $400 + 16 + 48 = 464$ ) и давление в эвдиометре будет равным  $\frac{464 \cdot 760}{520} = 678$  мм рт. ст.

□ После проведения реакции в смеси двух газов (с исходной плотностью по воздуху 1,048) ее плотность по воздуху увеличилась до 1,310. При пропускании продуктов реакции через раствор гидроксида натрия их объем уменьшается вдвое, а плотность остатка по гелию составляет 8,000.

Определите качественный и количественный состав (в объемных %) исходной газовой смеси и состав смеси после реакции.

- После проведения реакции в смеси двух газов (с исходной плотностью по воздуху 1,048) ее плотность по воздуху увеличилась до 1,310. При пропускании продуктов реакции через раствор гидроксида натрия их объем уменьшается вдвое, а плотность остатка по гелию составляет 8,000.

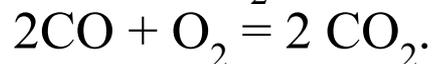
Определите качественный и количественный состав (в объемных %) исходной газовой смеси и состав смеси после реакции.

✓ **РЕШЕНИЕ:**

Молярная масса остатка составляет  $8 \cdot 4 = 32$  (г/моль), что может соответствовать кислороду –  $O_2$ .

Поскольку этот газ составлял ровно половину от продуктов реакции, то для  $x$  – мол. масса второго газа имеем  $(x+32)/2=1,31 \cdot 29$ , откуда  $x = 1,31 \cdot 29 \cdot 2 - 32 = 43,98$  (г/моль), что может соответствовать газам  $CO_2$ ,  $N_2O$ ,  $C_3H_8$ . Раствором щелочи может поглощаться  $CO_2$ . Тогда в смеси после реакции могут быть  $CO_2$  и  $O_2$  – (избыток) (1:1).

Такая смесь может образоваться после взаимодействия  $CO$  и  $O_2$  (в избытке  $O_2$ ):



Тогда исходная газовая смесь –  $CO$  и  $O_2$  в соотношении 2:(1+2=3), или 40%  $CO$  и 60 %  $O_2$ . Состав смеси после реакции :  $CO_2$  (50%),  $O_2$  (50%).

Реакция поглощения  $CO_2$ :  $2NaOH + CO_2 = Na_2CO_3 + H_2O$ .

□ Вычислите относительную плотность по азоту смеси газов, состоящих из пентена и углекислого газа, если в этой смеси на три атома углерода приходится один атом кислорода.

- Вычислите относительную плотность по азоту смеси газов, состоящих из пентена и углекислого газа, если в этой смеси на три атома углерода приходится один атом кислорода.

✓ РЕШЕНИЕ:

Пусть  $x$  моль пентена и  $y$  моль углекислого газа.

Тогда  $(5x + y) - 3$

$2y - 1; 5x + y = 6y; 5x = 5y; x = y$

Допустим, 1 моль пентена и 1 моль углекислого газа.

$M(C_5H_{10}) = 70$  г/моль;  $M(CO_2) = 44$  г/моль;

2 моль смеси – 114 г

1 моль смеси –  $M$ ;

$M(\text{смеси}) = 57$  г/моль Относительная плотность смеси по азоту

$57 : 28 = 2,04$

□ Специальный сосуд по очереди заполняли газами (при н.у.) и взвешивали. Масса сосуда, заполненного углекислым газом, азотом и неизвестным газом А, составляла: 48,8 г; 45,6 г; 48 г. Определите молярную массу неизвестного газа А.

- Специальный сосуд по очереди заполняли газами (при н.у.) и взвешивали. Масса сосуда, заполненного углекислым газом, азотом и неизвестным газом А, составляла: 48,8 г; 45,6 г; 48 г. Определите молярную массу неизвестного газа А.

✓ **РЕШЕНИЕ:**

Обозначим через  $x$  массу сосуда, через  $y$  количество газа в сосуде. Так как газы занимали один и тот же объем, их количества одинаковы. Выразим через  $y$  массы углекислого газа и азота:

$$m(\text{CO}_2) = 44 y$$

$$m(\text{N}_2) = 28 y$$

Составим систему уравнений, учитывая, что масса сосуда, заполненного газом, равна сумме масс сосуда и газа:

$$x + 44 \cdot y = 48,8$$

$$x + 28 \cdot y = 45,6$$

$$x = 40; \quad y = 0,2$$

Вычислим массу неизвестного газа:

$$m(\text{A}) = 48 \text{ г} - 40 \text{ г} = 8 \text{ г} \quad \text{Вычислим молярную массу неизвестного газа:}$$

$$M(\text{A}) = 8 \text{ г} / 0,2 \text{ моль} = 40 \text{ г/моль}$$

□ 118. Газообразная при температуре 25 °С смесь двух гидридов объемом  $V_0$  с одинаковыми объемными долями гидридов была сожжена в кислороде воздуха. При этом объем израсходованного воздуха составил  $22,5 V_0$ . Установить качественный состав смеси, если известно, что среди продуктов сгорания нет газообразных при обычных условиях веществ. Принять, что объемная доля кислорода в воздухе составляет 20 %.

Ответ:  $\text{B}_4\text{H}_{10}$ ;  $\text{Si}_2\text{H}_6$

□ 141. В сосуд объемом 1 л при температуре 25 °С поместили смесь хлорида аммония и гидроксида натрия массой 2 г, в которой масса  $\text{NaOH}$  составляет 1 г. Сосуд герметически закрыли и нагрели до 300 °С. Какое давление установится в сосуде? (Начальное давление  $p = 100$  кПа.)

Ответ:  $\bar{p} = 381$  кПа