

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 ₁
ОСТРОВ»

1. В руде содержится 58% оксида марганца (IV). Каково содержание марганца в руде, если в MnO_2 оно составляет 63,2%.

1. В руде содержится 58% оксида марганца (IV). Каково содержание марганца в руде, если в 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}Ne и ^{22}Ne в природном газе, имеющем среднюю относительную атомную массу 20,2 ?

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

✓ РЕШЕНИЕ:

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

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

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

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

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

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

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

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

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 СОг 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 CO₂ массовое отношение C : O равно 1:2.
- а) Рассчитайте массовые доли газов в процентах.
 - б) Рассчитайте состав смеси по объему в процентах.
 - в) Укажите соотношения C:O, при которых оба газа одновременно не могут присутствовать.

✓ РЕШЕНИЕ:

Пусть x - число молей CO, y - число молей CO₂ в 100 г смеси;

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

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

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

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

$$\text{б) } x = y, 50\% \text{ CO}_2 + 50\% \text{ CO (по объему);}$$

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 CO₂, 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:

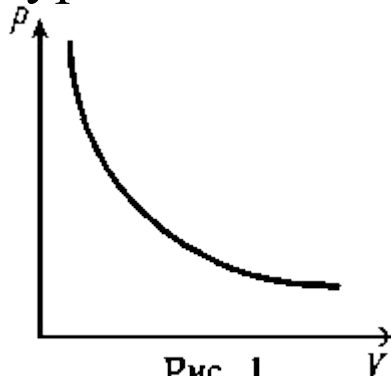
$M(\text{MnSO}_4) = 151$; $M(\text{Mn}) = 55$; x - число молей H_2O в одном моле кристаллогидрата $\text{MnSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$.

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

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 ν - 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°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°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, %
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

$$\nu_2 = \frac{m(\text{N}_2)}{M(\text{N}_2)} = \frac{0,652}{28} = 0,0233 \text{ (моль)}$$

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

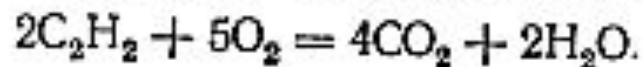
- Масса элемента X в 1 моль вещества А, Б, В и Г (г/моль):
- $M(\text{А}) \cdot 0,973 = 35,45$;
- $M(\text{Б}) \cdot 0,689 = 70,91$;
- $M(\text{В}) \cdot 0,851 = 177,17$;
- $M(\text{Г}) \cdot 0,922 = 141,78$
- Поскольку в молекуле вещества должно быть целое число атомов элемента X, нужно найти наибольший 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:



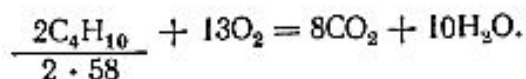
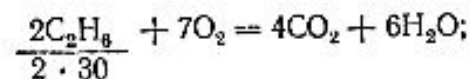
Для решения этой задачи возьмем определенный объем газовой смеси. Если взять 100 объемов поступающей в контактный аппарат смеси, то в ней будет

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 10 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 CO_2 , из 1 мл бутана образуются 4 мл CO_2 , а из имевшихся в смеси 16 мл этана образуются 32 мл CO_2 и из 4 мл бутана — 16 мл 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.

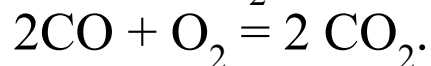
Определите качественный и количественный состав (в объемных %) исходной газовой смеси и состав смеси после реакции.

✓ **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:

$$m(\text{A}) = 48 \text{ г} - 40 \text{ г} = 8 \text{ г}$$

Вычислим молярную массу неизвестного газа:

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

118. Газообразная при температуре 25°C 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: B_4H_{10} ; Si_2H_6

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

Ответ: $\bar{p} = 381$ кПа