

7. Среди приведенных формул веществ укажите вещества с ионными, ковалентными полярными и ковалентными неполярными связями: BaCl_2 , H_2S , CaCl_2 , HBr , CO_2 , Cl_2 , NaI .
8. В чем состоит различие атомных, ионных, металлических и молекулярных кристаллических решеток? Как это сказывается на свойствах веществ с соответствующим типом решетки?

§ 4. Окислительно-восстановительные реакции

В курсе химии 8-го класса вы впервые познакомились с особой группой химических процессов — с окислительно-восстановительными реакциями (ОВР). Поскольку такие реакции очень важны в природе и жизни человека, вам необходимо научиться составлять их химические уравнения. Для этого нужно вспомнить, что такое степень окисления и в чем заключается суть процессов окисления и восстановления.

Степень окисления

Как вы уже знаете, при образовании ковалентной полярной или ионной химической связи происходит смещение электронов от атомов с меньшей электроотрицательностью к атомам, у которых она больше. Поскольку при этом электроны смещаются не полностью, на атомах возникают частичные положительные и отрицательные заряды $\delta+$ и $\delta-$. Для характеристики такого состояния атомов в химических соединениях условились считать эти заряды не частичными, а целыми. Такой условный целочисленный заряд атома называют *степенью окисления*. Для ее обозначения в формуле вещества над символом химического элемента сначала ставится знак «+» или «-», а затем — целое число, например: $\overset{+4}{\text{C}}\overset{-2}{\text{O}_2}$.

При определении величины степени окисления атомов в веществе условно допускают, что все электроны, участвующие в образовании химических связей, полностью смещаются к атомам более электроотрицательного элемента и, следовательно, вещество состоит из положительно и отрицательно заряженных ионов.



Степень окисления атома — это его условный заряд в химическом соединении, если предполагать, что соединение состоит из ионов.

Степень окисления может принимать значения от -4 до $+8$. Она равна нулю у атомов, входящих в состав только простых веществ — всех металлов и неметаллов. Для атомов некоторых элементов, входящих в состав

сложных веществ, характерны постоянные степени окисления. Они приведены в таблице 9.

Таблица 9. Элементы с постоянными степенями окисления атомов

Значение степени окисления	Элементы	Значение степени окисления	Элементы
+1	Li, Na, K, Rb, Cs, Ag	+3	Al
+2	Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Zn	-1	F

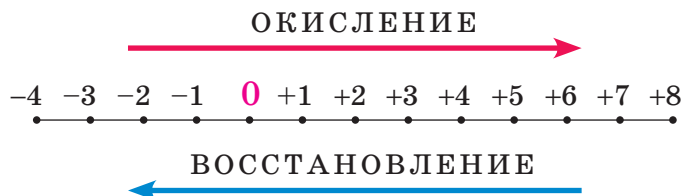
Кислород в большинстве соединений (оксиды, кислоты, основания, соли) проявляет степень окисления, равную -2 . В пероксиде водорода H_2O_2 она равна -1 , а во фториде кислорода OF_2 — $+2$ (так как электроотрицательность у фтора выше, чем у кислорода). Степень окисления водорода в большинстве сложных веществ равна $+1$, и только в соединениях с металлами она принимает значение, равное -1 .

Что касается других элементов, то в сложных веществах для них характерны переменные степени окисления. Они рассчитываются исходя из того, что *алгебраическая сумма степеней окисления всех атомов в веществе равна нулю*. Определим степень окисления атома марганца (x) в формульной единице перманганата калия KMnO_4 . Исходим из того, что число содержащихся в ней атомов калия, марганца и кислорода равно 1, 1 и 4, а степени окисления атомов калия и кислорода равны соответственно $+1$ и -2 . Составим алгебраическое уравнение и, решив его, найдем величину x — искомую степень окисления атома марганца:

$$1 \cdot (+1) + 1 \cdot x + 4 \cdot (-2) = 0, \text{ откуда } x = +7.$$

Процессы окисления и восстановления

Вы уже знаете, что в ходе любой ОВР одни атомы отдают электроны (окисление), а другие атомы их принимают (восстановление). Эти процессы всегда протекают одновременно. В результате окисления степень окисления атомов повышается, а в результате восстановления — понижается:



Атомы, которые отдают электроны, называются *восстановителями*. Вещества, в состав которых входят такие атомы, также называются *восстановителями*. К ним относятся простые вещества металлы, водород H_2 , углерод C , кремний Si , некоторые сложные вещества (CO , SO_2 и др.). Атомы, присоединяющие электроны, называются *окислителями*. Так же называются и вещества, в состав которых входят эти атомы. К окислителям относится большинство простых веществ неметаллов (F_2 , Cl_2 , Br_2 , I_2 , O_2 , O_3 , S), а также некоторые сложные вещества ($KMnO_4$, HNO_3 и др.).

Электронный баланс в окислительно-восстановительных реакциях

Как вам уже известно, в ходе любой окислительно-восстановительной реакции общее число электронов, отданных восстановителем, всегда равно общему числу электронов, принятых окислителем:

$$N(e^-)_{\text{отд.}} = N(e^-)_{\text{прин.}}$$

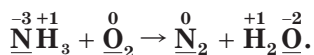
Это равенство, называемое *электронным балансом*, лежит в основе метода расстановки коэффициентов в уравнениях ОВР, который называется *методом электронного баланса*. Рассмотрим его на примерах.

Пример 1. Составить уравнение ОВР, протекающей по схеме:



Выполнение

1. Расставим степени окисления атомов в формулах всех веществ и подчеркнем символы элементов, у атомов которых изменились степени окисления:



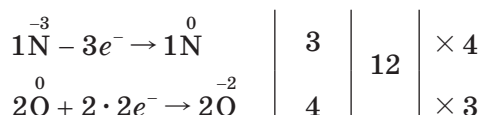
2. Определим атомы-восстановители и атомы-окислители. Поскольку в ходе реакции степень окисления атомов азота повышается, они окисляются (отдают электроны) и являются восстановителями. В то же время степень окисления атомов кислорода понижается, следовательно, они восстанавливаются (принимают электроны) и являются окислителями.

3. Составим схему электронного баланса. Для этого запишем одно под другим уравнения процессов окисления атомов азота и восстановления атомов кислорода (см. с. 32).

Запомните!

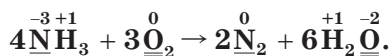
В этих уравнениях число атомов каждого элемента такое же, как в формуле соответствующих *исходных* веществ.

Учитывая, что в молекуле NH_3 один атом азота, а в молекуле O_2 два атома кислорода, схема электронного баланса имеет вид:



Из этих уравнений видно, что один атом азота отдает 3 электрона, а два атома кислорода принимают 4 электрона. Эти числа (3 и 4) записываются напротив соответствующих уравнений за первой вертикальной чертой. Далее находится *наименьшее общее кратное* (НОК)¹ указанных чисел — число 12, которое записывается посередине за второй вертикальной чертой. После этого наименьшее кратное поочередно делится на число электронов, отданных одним атомом азота, т. е. на 3 ($12 : 3 = 4$), и на число электронов, принятых двумя атомами кислорода, т. е. на 4 ($12 : 4 = 3$). Полученные цифры — 4 и 3 записываются напротив соответствующих уравнений за третьей вертикальной чертой со знаком «×» (умножить). *Эти цифры представляют собой множители, показывающие, во сколько раз нужно увеличить числа атомов в записанных уравнениях окисления и восстановления для достижения электронного баланса.* Следовательно, число 1, записанное перед символами N, нужно умножить на 4 ($1 \times 4 = 4$ атома N), а число 2, записанное перед символами O, нужно умножить на 3 ($2 \times 3 = 6$ атомов O). Таким образом, получается электронный баланс: число электронов (12), отданных четырьмя атомами азота, равно числу электронов (12), принятых шестью атомами кислорода.

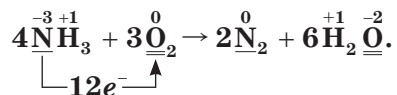
4. Учитывая, что в обеих частях уравнения должно быть *по четыре атома азота и по шесть атомов кислорода*, расставим соответствующие коэффициенты перед формулами веществ в исходной схеме реакции и получим искомое уравнение:



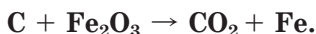
Из курса химии 8-го класса вы помните, что в уравнениях ОВР под формулами исходных веществ располагались поясняющие слова «восстановитель» и «окислитель», а стрелка, показывающая переход электронов, изображалась сверху, над формулами этих веществ. Поскольку теперь

¹ НОК — наименьшее число, которое одновременно делится на каждое из указанных чисел.

нет необходимости в поясняющих словах, *переход электронов впредь будем показывать стрелкой, расположенной под формулами исходных веществ:*

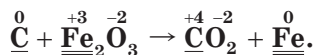


Пример 2. Составить уравнение ОВР, протекающей по схеме:



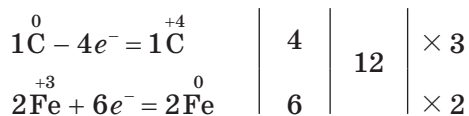
Выполнение

1. Расставим степени окисления атомов в формулах всех веществ и подчеркнем символы элементов, у атомов которых изменились степени окисления:



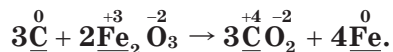
2. Определим атомы-восстановители и атомы-окислители в данной ОВР. Поскольку в ходе реакции степень окисления атомов углерода повышается, следовательно, они окисляются (отдают электроны) и являются восстановителями. В то же время степень окисления атомов железа понижается, они восстанавливаются (принимают электроны) и являются окислителями.

3. Составим схему электронного баланса. Для этого запишем одно под другим уравнения процессов окисления атомов углерода и восстановления атомов железа:



Из этих уравнений видно, что один атом углерода отдает 4 электрона, а два атома железа принимают 6 электронов. Эти числа (4 и 6) записываются напротив соответствующих уравнений за первой вертикальной чертой. Наименьшее общее кратное указанных чисел — число 12, записанное за второй вертикальной чертой, поочередно делится на число электронов, отданных одним атомом углерода, т. е. на 4 ($12 : 4 = 3$), и на число электронов, принятых двумя атомами железа, т. е. на 6 ($12 : 6 = 2$). Полученные цифры — 3 и 2 записываются напротив соответствующих уравнений за третьей вертикальной чертой. Они показывают, что число 1,

4. Расставим соответствующие коэффициенты перед формулами веществ:


$$\overset{0}{3}\underline{\text{C}} + \overset{+3}{2}\underline{\text{Fe}}\overset{-2}{\text{O}}_3 \rightarrow \overset{+4}{3}\underline{\text{C}}\overset{-2}{\text{O}}_2 + \overset{0}{4}\underline{\text{Fe}}.$$

- $$\text{SeO}_a^{+4}, \text{K}_2\text{MnO}_b^{+6}, \text{NaAlO}_c, \text{CaFeO}_d^{+6}, \text{Ba}_3(\text{AsO}_e)_2^{+5}.$$

- а) $\overset{+2}{\text{Mn}} \rightarrow \overset{+4}{\text{Mn}}$, б) $\overset{+3}{\text{Fe}} \rightarrow \overset{+2}{\text{Fe}}$, в) $\overset{-3}{\text{N}} \rightarrow \overset{0}{\text{N}}$, г) $\overset{+5}{\text{P}} \rightarrow \overset{-3}{\text{P}}$, д) $\overset{-2}{\text{S}} \rightarrow \overset{+4}{\text{S}}$.

- а) $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 = 2\text{SO}_3$;
б) $\text{SO}_2 + 2\text{C} = \text{S} + 2\text{CO}$;
в) $2\text{H}_2\text{S} + 3\text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{SO}_2$;
г) $\text{H}_2 + \text{S} = \text{H}_2\text{S}$;
д) $2\text{SO}_3 = 2\text{SO}_2 + \text{O}_2$.

6. На одной из стадий производства азотной кислоты аммиак окисляют кислородом в присутствии катализатора платины, в результате чего образуются оксид азота(II) и вода. Методом электронного баланса составьте уравнение данной реакции, укажите восстановитель и окислитель.

7. Методом электронного баланса расставьте коэффициенты в схеме реакции: $\text{P} + \text{NO}_2 \rightarrow \text{P}_2\text{O}_5 + \text{NO}$. Укажите окислитель и восстановитель в данном процессе.

Готовимся к олимпиадам

1. Одним из веществ шероховатой темно-коричневой полоски на спичечном коробке является красный фосфор. Главный компонент спичечной головки — вещество KClO_3 («бертолетова соль»). При трении головки спички о боковую поверхность коробка указанные вещества вступают в бурную реакцию, продуктами которой являются оксид фосфора(V) и хлорид калия. Эта реакция сопровождается образованием пламени, от которого загорается спичка. Пользуясь методом электронного баланса, составьте уравнение окислительно-восстановительной реакции, лежащей в основе воспламенения спички.

2. Если в сосуд с сероводородом влить горячую азотную кислоту, происходит яркая вспышка и из сосуда вырывается синее пламя. Продуктами этого бурного процесса являются серная кислота, оксид азота(IV) и вода. Методом электронного баланса составьте уравнение данной реакции, укажите восстановитель и окислитель.

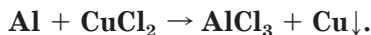
§ 5. Примеры расчетов по уравнениям окислительно-восстановительных реакций

Вам уже известно, что по уравнениям химических реакций можно проводить различные расчеты. Например, зная массу одного вещества, по уравнению реакции можно найти массу другого вещества, которое с ним прореагировало или которое образовалось в результате данной реакции. Аналогичные расчеты можно выполнять и с объемами газообразных веществ. Для закрепления приобретенных ранее навыков разберем примеры расчетов по уравнениям окислительно-восстановительных реакций. Это особенно важно потому, что реакции этого типа лежат в основе промышленных методов получения металлов, большинства неметаллов, оксидов, кислот и других важных веществ.

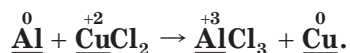
Пример 1. *Рассчитайте массу алюминия, при взаимодействии которого с хлоридом меди(II) образуется медь массой 28,8 г.*

Решение

1. Запишем схему данной окислительно-восстановительной реакции:

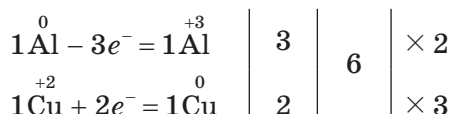


2. Расставим степени окисления атомов в формулах всех веществ и подчеркнем символы элементов, у атомов которых изменились степени окисления:

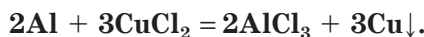


3. Поскольку в ходе реакции степень окисления атомов алюминия увеличивается от 0 до +3, они отдают электроны, окисляются и являются восстановителями. Так как степень окисления атомов меди уменьшается от +2 до 0, они принимают электроны, восстанавливаются и являются окислителями.

4. Составим схему электронного баланса:



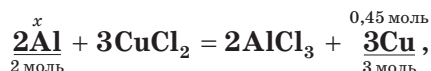
5. Расставим в схеме коэффициенты и получим уравнение химической реакции:



6. Рассчитаем химическое количество меди, которая должна образоваться в результате реакции:

$$n(\text{Cu}) = \frac{m(\text{Cu})}{M(\text{Cu})} = \frac{28,8\text{ г}}{64\text{ г/моль}} = 0,45\text{ моль}.$$

7. Зная химическое количество меди, по уравнению реакции определим химическое количество (x) исходного алюминия:



откуда найдем $x = 0,3$ моль (Al).

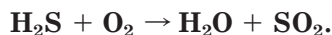
8. Рассчитаем искомую массу алюминия:

$$m(\text{Al}) = n(\text{Al}) \cdot M(\text{Al}) = 0,3\text{ моль} \cdot 27\text{ г/моль} = 8,1\text{ г}.$$

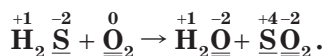
Пример 2. Рассчитайте объем (н. у.) кислорода, необходимого для полного сгорания сероводорода объемом 56 дм³ (н. у.), если известно, что при этом образуются оксид серы(IV) и вода.

Решение

1. Запишем схему данной окислительно-восстановительной реакции:

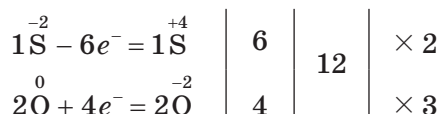


2. Расставим степени окисления атомов в формулах всех веществ и подчеркнем символы элементов, у атомов которых изменились степени окисления:

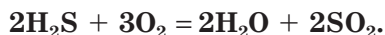


3. Поскольку в ходе реакции степень окисления атомов серы увеличивается от -2 до $+4$, они отдают электроны, окисляются и являются восстановителями. Так как степень окисления атомов кислорода уменьшается от 0 до -2 , они принимают электроны, восстанавливаются и являются окислителями.

4. Составим схему электронного баланса:



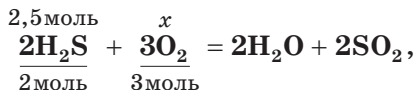
5. Расставим в схеме коэффициенты и получим уравнение химической реакции:



6. Рассчитаем химическое количество исходного сероводорода:

$$n(\text{H}_2\text{S}) = \frac{V(\text{H}_2\text{S})}{V_m} = \frac{56 \text{ дм}^3}{22,4 \text{ дм}^3/\text{моль}} = 2,5 \text{ моль}.$$

7. Зная химическое количество сероводорода, по уравнению реакции определим химическое количество (x) прореагировавшего с ним кислорода:



откуда найдем $x = 3,75 \text{ моль } (\text{O}_2)$.

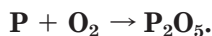
8. Рассчитаем искомый объем (н. у.) кислорода:

$$V(\text{O}_2) = n(\text{O}_2) \cdot V_m = 3,75 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ дм}^3/\text{моль} = 84 \text{ дм}^3.$$

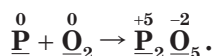
Пример 3. *Рассчитайте объем (н. у.) воздуха, необходимого для полного сгорания фосфора массой 74,4 г, если известно, что в результате реакции образуется оксид фосфора(V), а объемная доля кислорода в воздухе составляет 21 %.*

Решение

1. Запишем схему данной окислительно-восстановительной реакции:

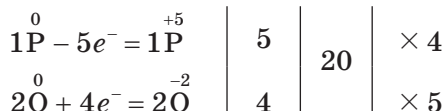


2. Расставим степени окисления атомов в формулах всех веществ и подчеркнем символы элементов, у атомов которых изменились степени окисления:

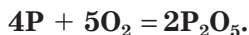


3. Поскольку в ходе реакции степень окисления атомов фосфора увеличивается от 0 до +5, они отдают электроны, окисляются и являются восстановителями. Так как степень окисления атомов кислорода уменьшается от 0 до -2, они принимают электроны, восстанавливаются и являются окислителями.

4. Составим схему электронного баланса:



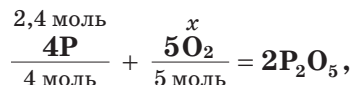
5. Расставим в схеме коэффициенты и получим уравнение химической реакции:



6. Рассчитаем химическое количество исходного фосфора:

$$n(\text{P}) = \frac{m(\text{P})}{M(\text{P})} = \frac{74,4\text{г}}{31\text{ г/моль}} = 2,4\text{ моль}.$$

7. Зная химическое количество фосфора, по уравнению реакции определим химическое количество (x) вступившего в реакцию кислорода:



откуда найдем $x = 3$ моль (O_2).

8. Рассчитаем объем (н. у.) кислорода:

$$V(\text{O}_2) = n(\text{O}_2) \cdot V_m = 3\text{ моль} \cdot 22,4\text{ дм}^3/\text{моль} = 67,2\text{ дм}^3.$$

9. Найдем объем (н. у.) воздуха, в котором содержится кислород объемом 67,2 дм³:

$$\varphi(\text{O}_2) = \frac{V(\text{O}_2)}{V(\text{возд.})}; \quad V(\text{возд.}) = \frac{V(\text{O}_2)}{\varphi(\text{O}_2)} = \frac{67,2\text{ дм}^3}{0,21} = 320\text{ дм}^3.$$



Вопросы и задания

1. Методом электронного баланса расставьте коэффициенты в уравнении реакции железа с нитратом серебра, если известно, что одним из продуктов этой реакции является нитрат железа(III). Рассчитайте массу железа, необходимого для получения с помощью данной реакции серебра массой 21,6 г.

2. Металл марганец получают нагреванием смеси оксида марганца(IV) с алюминием, в результате чего образуются указанный металл и оксид алюминия. Методом электронного баланса расставьте коэффициенты в уравнении данной реакции и рассчитайте массу алюминия, который прореагирует с оксидом марганца(IV) массой 125 кг.
3. Фосфор самовоспламеняется в атмосфере хлора. Продуктом данной реакции является хлорид фосфора(V) PCl_5 , масса которого в одном из опытов составила 41,7 г. Методом электронного баланса расставьте коэффициенты в уравнении данной реакции и рассчитайте объем (н. у.) прореагировавшего хлора.
4. В военном деле для передачи команд и оповещения используются сигнальные ракеты, горящие ярким белым пламенем. Оно появляется в результате реакции порошкообразных алюминия и вещества KClO_3 . Продуктами этого превращения являются оксид алюминия и хлорид калия. Методом электронного баланса расставьте коэффициенты в уравнении данной реакции и рассчитайте массу алюминия, который прореагирует с веществом KClO_3 массой 24,5 г.
5. При горении бенгальского огня одновременно протекают несколько разных реакций. В ходе одной из них магний реагирует с нитратом калия, в результате чего образуются оксид магния и вещество состава KNO_2 . Методом электронного баланса расставьте коэффициенты в уравнении данной реакции и рассчитайте общую массу исходной смеси, при горении которой образуется оксид магния массой 80 г.

Готовимся к олимпиадам

Сера растворяется в горячей концентрированной азотной кислоте с образованием серной кислоты, оксида азота(IV) и воды. Рассчитайте объем раствора азотной кислоты с массовой долей HNO_3 , равной 70 % ($\rho = 1,42 \text{ г/см}^3$), необходимый для получения серной кислоты H_2SO_4 массой 100 г.

§ 6. Растворы

В курсе химии 8-го класса вы познакомились с многокомпонентными системами, которые называются *растворами*. Они образуются в результате смешивания двух, трех, а иногда и большего числа веществ.

Нас окружает мир растворов. Мы живем на дне «воздушного океана» — *газообразного раствора* кислорода и других газов в азоте. Все важнейшие процессы на Земле, протекающие в неживой и живой природе, осуществляются в *жидких растворах*, в которых растворителем является вода. К таким процессам относятся, например, почвообразование, питание и развитие растений, пищеварение и обмен веществ у животных и др.