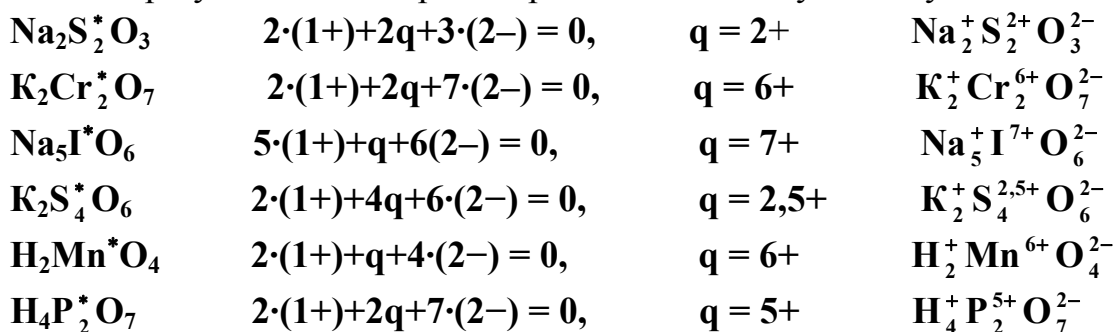


ПРАКТИКУМ

По окислительно–восстановительным процессам

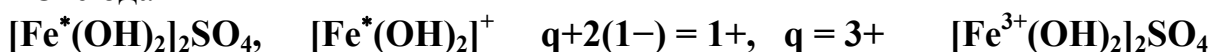
1. Определите степень окисления атомов (q), отмеченных звёздочкой, в соединениях: $\text{Na}_2\text{S}_2^*\text{O}_3$, $\text{C}_8^*\text{H}_{18}$, $\text{K}_2\text{Cr}_2^*\text{O}_7$, $\text{Na}_5\text{I}^*\text{O}_6$, $\text{K}_2\text{S}_4^*\text{O}_6$, $\text{H}_2\text{Mn}^*\text{O}_4$, $\text{H}_4\text{P}_2^*\text{O}_7$, $[\text{Fe}^*(\text{OH})_2]_2\text{SO}_4$.

Несложное задание, если помнить, что степень окисления атомов щелочных металлов в соединениях постоянна и равна +1, степень окисления атомов водорода равна, как правило, +1. Степень окисления атомов кислорода в соединениях обычно равна –2. При условии электронейтральности молекулы получается:



В ситуации $[\text{Fe}^*(\text{OH})_2]_2\text{SO}_4$ увидим, что заряд катиона этой основной соли равен “1+”, так как заряд сульфат–аниона равен “2–”. Предыдущие упражнения позволяют сказать, что заряд гидроксильной группы “1–”.

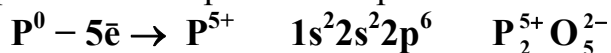
Отсюда –



2. Напишите формулы двух веществ, в молекулах одного из которых атомы фосфора могут быть только восстановителем, а в молекулах другого – только окислителем.

Здесь как раз понадобятся известные нам элементарные сведения о строении атомов, о том, что перенос электронов ($\pm n\bar{e}$) возможен во внешнем валентном слое атома. И о том, что все атомные системы в реакциях с переносом электронов проявляют тенденции к образованию “снаружи” устойчивого октета – как у инертных газов:

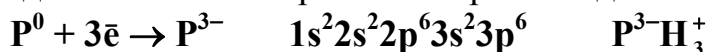
Конкретно о фосфоре. Элемент № 15 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$. На внешнем валентном слое атома фосфора пять электронов. “Сбросим” все пять:



В таком состоянии атом фосфора больше не отдаст ни одного электрона. Остаётся одна возможность – только принимать.

Следовательно, P^{5+} в P_2O_5 – окислитель.

С другой стороны, внешний валентный слой атома фосфора в основном состоянии может быть дополнен извне тремя электронами до полного октета:

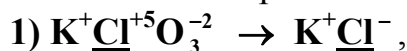


В таком состоянии атом фосфора может только отдавать электроны, поэтому P^{3-} в фосфине PH_3 – только восстановитель.

Иной раз необходимо проявлять особенную осторожность. Например, у атомов фтора узкий интервал изменения степеней окисления: F_2^0 – только окислитель, F^- в HF и других фторидах – только восстановитель. Или, к примеру, металл цинк. Здесь два варианта: свободный цинк Zn^0 – только восстановитель. В оксиде цинка $Zn^{2+}O^{2-}$ цинк будет только окислителем.

3. Окислением или восстановлением атомов хлора сопровождаются следующие превращения молекул: 1) $KClO_3 \rightarrow KCl$, 2) $HCl \rightarrow Cl_2$, 3) $HCl \rightarrow AlCl_3$? Определите число электронов, участвующих в этих процессах. Окислительные или восстановительные свойства проявляют в этих превращениях атомы хлора?

Определим степени окисления атомов хлора в молекулах:



степень окисления атома хлора уменьшается, процесс – **восстановление** (присоединение электронов):



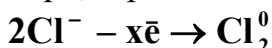
$$+5 + x(-1) = -1 \Rightarrow \underline{x = 6}$$



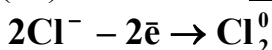
атом Cl^{+5} в $KClO_3$ – **окислитель** (проявляет окислительные свойства).



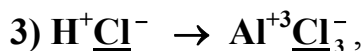
степень окисления атома хлора увеличивается, процесс – **окисление** (потеря электронов). Уравниваем число атомов хлора, и рассчитываем число электронов:



$$2(-1) - x(-1) = 2 \cdot 0 \Rightarrow \underline{x = 2}$$



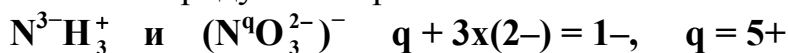
атом Cl^{-} в HCl – **восстановитель** (проявляет восстановительные свойства).



степень окисления атома хлора не изменяется, поэтому **ни окисления, ни восстановления** (передачи электронов) не происходит.

4. Что происходит с азотом – восстановление или окисление – в процессе $NH_3 \longrightarrow NO_3^{-}$?

И в этом случае для ответа достаточно подсчитать степень окисления атома азота в исходном аммиаке и в продукте нитрат–анионе:

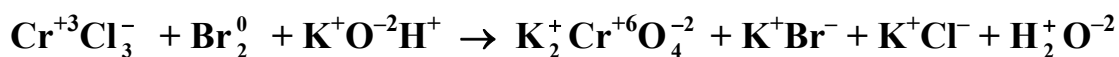


Поэтому здесь $N^{3-} - 8\bar{e} \rightarrow N^{5+}$ – окисление азота.

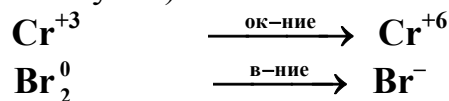
5. Проанализируйте реакцию – укажите окислитель, восстановитель, окисление, восстановление и расставьте коэффициенты в уравнении:



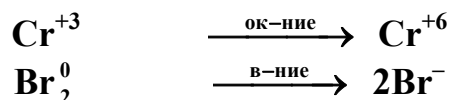
1. Рассчитаем степени окисления всех атомов во всех молекулах:



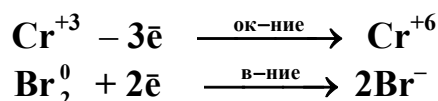
2. Выпишем атомы, изменяющие степени окисления (с учётом их числа в исходных и конечных молекулах):



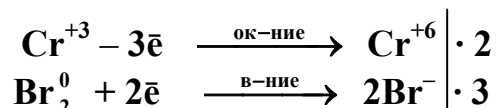
3. Уравняем число выписанных атомов (они не могут ни исчезнуть, ни появиться):



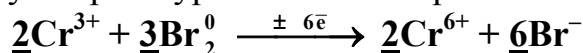
4. Определим число электронов, участвующих в процессах окисления и восстановления:



5. Уравняем число отданных и принятых электронов до наименьшего общего кратного, умножая уравнения окисления и восстановления на соответствующие коэффициенты:



6. Составим суммарное уравнение электронного баланса:



7. Перенесём коэффициенты в исходную схему реакции:

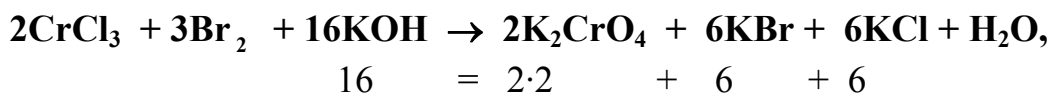


(эти коэффициенты больше менять нельзя, иначе нарушится электронный баланс)

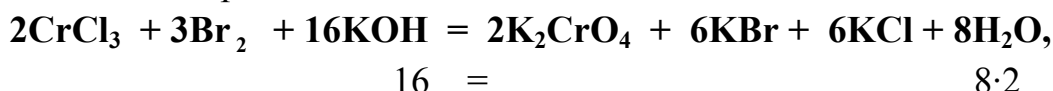
8. Подбором коэффициентов уравняем числа оставшихся атомов: сначала – атомы хлора:



затем – атомы калия:



теперь – атомы водорода:



Осталось проверить баланс по атомам кислорода: $16 = 2 \cdot 4 + 8$.

Всё верно!

9. Обозначим:

окислитель (присоединяет электроны) – атомы Br^0 (и содержащий их Br_2),
восстановитель (отдаёт электроны) – атомы Cr^{+3} (и содержащий их CrCl_3)

$$\text{HCl} + \text{KMnO}_4 \rightarrow \text{Cl}_2 + \text{MnCl}_2 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$$
$$\text{H}^+ \underline{\text{Cl}}^- + \text{K}^+ \underline{\text{Mn}}^{7+} \text{O}_4^{2-} \rightarrow \underline{\text{Cl}}_2^0 + \underline{\text{Mn}}^{2+} \text{Cl}_2^- + \text{K}^+ \text{Cl}^- + \text{H}_2 \text{O}^{2-}$$
$$\begin{array}{l}
 \begin{array}{l}
 \text{В-ЛБ} \\
 \text{ОК-ЛБ}
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 2\text{Cl}^- - 2\bar{\text{e}} \xrightarrow{\text{ОК-ниг}} \text{Cl}_2^0 \\
 \text{Mn}^{7+} + 5\bar{\text{e}} \xrightarrow{\text{В-ниг}} \text{Mn}^{2+}
 \end{array}
 \left| \begin{array}{l}
 \times 5 \\
 \times 2
 \end{array} \right. \\
 \hline
 10\text{Cl}^- + 2\text{Mn}^{7+} \rightarrow 5\text{Cl}_2^0 + 2\text{Mn}^{2+}
 \end{array}$$
$$10 \text{HCl}^{\ominus} + 2\text{KMn}^{7+}\text{O}_4 \rightarrow 5\text{Cl}_2^0 + 2\text{Mn}^{2+}\text{Cl}_2 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$$
$$10 \text{HCl}^{-} + 2\text{KMn}^{7+}\text{O}_4 \rightarrow 5\text{Cl}_2^0 + 2\text{Mn}^{2+}\text{Cl}_2 + 2\text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$$
$$16\text{HCl} + 2\text{KMnO}_4 \rightarrow 5\text{Cl}_2 + 2\text{MnCl}_2 + 2\text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$$
$$16\text{HCl} + 2\text{KMnO}_4 \rightarrow 5\text{Cl}_2 + 2\text{MnCl}_2 + 2\text{KCl} + 8\text{H}_2\text{O}$$

анализируйте реакцию и расставьте коэффициенты в уравнении:

$$\underline{\text{Al}}^0 + \text{K}^+ \underline{\text{Cl}}^7+ \text{O}_4^{2-} + \text{H}_2\text{S}^{6+} \text{O}_4^{2-} \rightarrow \underline{\text{Al}}_2^{3+} (\text{SO}_4)_3^{2-} + \text{K}^+ \underline{\text{Cl}}^- + \text{H}_2\text{O}^{2-}$$
$$\begin{array}{lcl}
 \begin{array}{l}
 \text{В-ЛЬ} \\
 \text{ОК-ЛЬ}
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 2 \text{ Al}^0 - 6\bar{\text{e}} \\
 \text{Cl}^{7+} + 8\bar{\text{e}}
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \xrightarrow{\text{ОК-НИЕ}} \\
 \xrightarrow{\text{В-НИЕ}}
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 2 \text{ Al}^{3+} \\
 \text{Cl}^-
 \end{array}
 \left| \begin{array}{l}
 \text{х } 4 \\
 \text{х } 3
 \end{array} \right.
 \end{array}$$

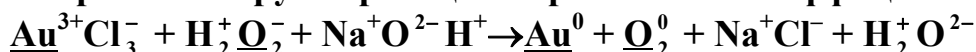
$$8 \text{ Al}^0 + 3 \text{ Cl}^{7+} \rightarrow 8 \text{ Al}^{3+} + 3 \text{ Cl}^-$$
$$8\text{Al}^0 + 3\text{KCl}^7\text{O}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 4\text{Al}^{3+}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{KCl}^- + \text{H}_2\text{O}$$


 $(4 \times 3) \text{SO}_4^{2-}$

$$8\text{Al}^0 + 3\text{KCl}^{7+}\text{O}_4 + 12\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 4\text{Al}_2^{3+}(\text{SO}_4)_3 + 3\text{KCl}^- + \text{H}_2\text{O}$$
$$8\text{Al} + 3\text{KClO}_4 + 12\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 4\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{KCl} + 12\text{H}_2\text{O}$$

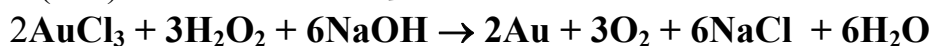
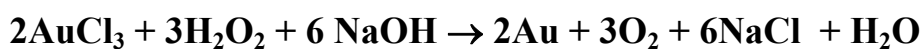
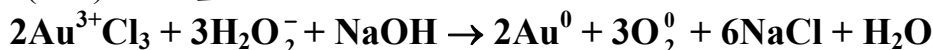
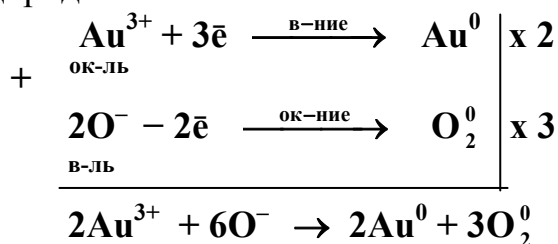
4

7. Проанализируйте реакцию и расставьте коэффициенты:



В молекуле перекиси водорода формальный заряд атома кислорода –1 при условии, что заряд атома водорода +1

Однако к делу:



Как обычно, проверяем баланс по кислороду – всё в порядке.

Примеры решения тестовых заданий:

Задание 1. Какие атомы могут проявлять только восстановительные свойства?

1. Na^0
2. C^{4+}
3. H^+
4. S^{2-}
5. F^0

Решение:

Только восстановителями могут быть атомы, способные лишь отдавать электроны, и не способные их принимать, т.е. атомы с минимальной степенью окисления.

Определим её для указанных атомов элементов по номеру группы Периодической системы и виду элемента (напомним – у металлов минимальная степень окисления – нуль): натрий Na – металл, 0; углерод C – IV группа, $4-8 = -4$; водород H – I группа – -1 , сера S – VI группа, $8-6 = -2$, фтор – VII группа, $7-8 = -1$.

Сравниваем с заданием и делаем вывод: только восстановительные свойства проявляют атомы Na^0 и S^{2-} , т.е. правильные ответы – 1, 4.

Задание 2. Определите степень окисления атома марганца в соединении: $(\text{NH}_4)_2\text{MnO}_4$

1. $4+$

2. 5+
3. 6+
4. 7+
5. 8+

Решение:

Исходя из известных зарядов иона $(\text{NH}_4)^+$ и O^{-2} и принципа электронейтральности молекулы в целом, рассчитаем:

$$(\text{NH}_4)_2\text{Mn}^q\text{O}_4 \quad 2 \cdot (1+) + q + 4 \cdot (2-) = 0, \quad q = 6+ \quad (\text{NH}_4)_2^+ \text{Mn}^{6+} \text{O}_4^{2-}$$

Правильный ответ – третий.

Задание 3. Какие из перечисленных процессов являются окислительными?

1. $\text{Fe} \rightarrow \text{FeSO}_4$
2. $\text{Cr}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{KCrO}_2$
3. $\text{Cl}_2\text{O} \rightarrow \text{HCl}$
4. $\text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$
5. $\text{MnO}_4^- \rightarrow \text{MnO}_2$

Решение:

Процесс окисления сопровождается потерей атомом электронов и увеличением его степени окисления.

Проставим степени окисления атомов молекулах и ионах:

1. $\text{Fe}^0 \rightarrow \text{Fe}^{+2}(\text{SO}_4)^{-2}$
2. $\text{Cr}^{+3}(\text{OH})_3^- \rightarrow \text{K}^+\text{Cr}^{+3}\text{O}_2^{-2}$
3. $\text{Cl}_2^+ \text{O}^{-2} \rightarrow \text{H}^+\text{Cl}^-$
4. $\text{H}_2^+ \text{S}^{-2} \rightarrow \text{H}_2^+ \text{S}^{+6}\text{O}_4^{-2}$
5. $(\text{Mn}^{+7}\text{O}_4^{-2})^- \rightarrow \text{Mn}^{+4}\text{O}_2^{-2}$

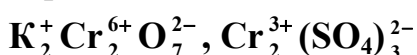
Вывод – окисление происходит в первом и четвёртом случаях.

Задание 4. Назовите процесс и число электронов, обеспечивающих изменение степени окисления атома хрома $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \rightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$?

1. окисление
2. восстановление
3. 6
4. 3
5. 8

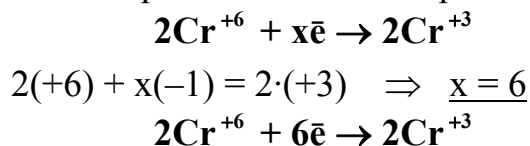
Решение:

Исходя из известных зарядов атомов калия K^+ , кислорода O^{-2} и иона SO_4^{2-} , определим степени окисления хрома:



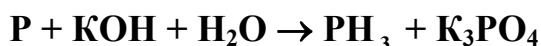
Степень окисления хрома уменьшается – процесс восстановления (ответ 2).

Запишем электронную реакцию восстановления с учётом числа атомов хрома в молекулах и рассчитаем число принимаемых электронов:



Правильные ответы – второй и третий.

8. Сколько всего электронов участвует в процессе восстановления, описываемого реакцией:

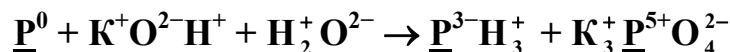


Ответ дать на основе вспомогательных реакций окисления–восстановления.

1. 3
2. 5
3. 8
4. 10
5. 15
- ((5))

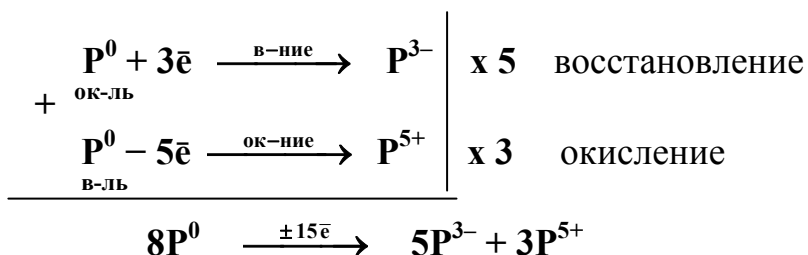
Решение:

Проставим степени окисления всех атомов:



Расставив степени окисления, отметим, что атом фосфора P^0 , с одной стороны, восстанавливается до P^{3-} в фосфине PH_3 , присоединяя три электрона, а с другой – окисляется до P^{5+} в фосфате калия K_3PO_4 отдавая 5 электронов. Однако восстановления без окисления не бывает.

Поэтому записываем электронные уравнения и окисления и восстановления и уравниваем отданные и принятые электроны:



Таким образом и в процессе окисления, и в процессе восстановления участвуют по 15 электронов – правильный ответ – пятый.

Задачи для самостоятельного решения

1. Определите степень окисления атомов (*) в соединениях: $\text{Na}_2\text{Cr}^*\text{O}_4$, KMn^*O_4 , $\text{C}_5^*\text{H}_{12}$, $\text{Na}_2\text{W}_4^*\text{O}_7$, $\text{Ca}(\text{Cl}^*\text{O}_4)_2$.

2. Определите интервал значений степени окисления атома углерода в ряду предельных углеводородов $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ при изменении n от 1 до ∞ .

Ответ: $-4 \div -2$.

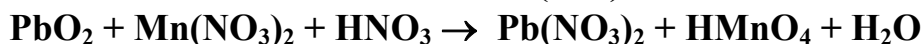
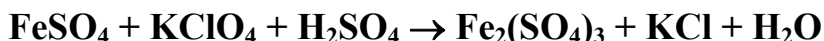
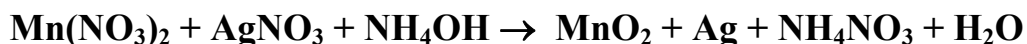
3. Что происходит с кислородом – окисление или восстановление – в процессе $\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{OH}^-$?

4. Что происходит с кислородом – окисление или восстановление – в процессе $\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{O}_2$?

5. Что происходит с азотом – окисление или восстановление – в процессе $\text{N}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3$?

6. Что происходит с азотом – окисление или восстановление – в процессе $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2$?

7. Проанализируйте предложенные реакции – укажите окислитель, восстановитель, окисление, восстановление и расставьте коэффициенты в уравнениях:



8. В каком из перечисленных веществ атом хлора имеет наиболее ярко выраженные окислительные свойства?

1. Cl_2

2. HClO

3. Cl_2O_3

4. $\text{Ca}(\text{ClO}_3)_2$

5. $\text{Na}(\text{ClO}_4)$

9. Определите степень окисления фосфора в соединении: $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$

1. 3–

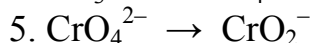
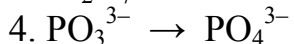
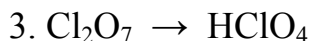
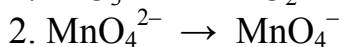
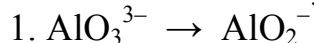
2. 3+

3. 4+

4. 5+

5. 6+

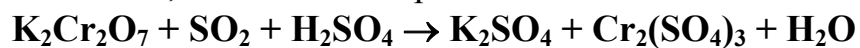
10. Какой из указанных процессов является процессом восстановления?



11. Назовите процесс и число электронов, обеспечивающих изменение степени окисления атома хлора $\text{Ca}(\text{ClO}_4)_2 \rightarrow \text{CaCl}_2$?

1. окисление
2. восстановление
3. 6
4. 16
5. 8

12. Сколько всего электронов участвует в процессах окисления–восстановления, описываемых реакцией?



Ответ дать на основе вспомогательных реакций окисления и восстановления.

1. 2
2. 3
3. 6
4. 8
5. 10