

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

ОКИСНО-ВІДНОВНІ РЕАКЦІЇ

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ТА ЗАВДАННЯ

**до самостійного вивчення дисципліни «Хімія»
студентами всіх напрямів підготовки**

Дніпропетровськ
2013

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»



ГЕОЛОГОРОЗВІДУВАЛЬНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра хімії

ОКИСНО-ВІДНОВНІ РЕАКЦІЇ

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ТА ЗАВДАННЯ

до самостійного вивчення дисципліни «Хімія»
студентами всіх напрямів підготовки

Дніпропетровськ
НГУ
2013

Окисно-відновні реакції. Методичні рекомендації та завдання до самостійного вивчення дисципліни „Хімія” студентами всіх напрямів підготовки / П.О. Єгоров, В.Д. Мешко – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 15 с.

Автори:

П.О. Єгоров, канд. хім. наук, проф. (розд. 1);

В.Д. Мешко, канд. хім. наук, доц. (розд. 2, 3).

Затверджено методичною комісією з напряму підготовки 6.040103 „Геологія” (протокол № 2 від 17.11.2012) за поданням кафедри хімії (протокол № 3 від 09.11.2012).

Розглянуто відомості про ступені окиснення елементів, методи знаходження коефіцієнтів у рівняннях окисно-відновних реакцій, окисні властивості кислот, окисники та відновники.

Відповідальний за випуск завідувач кафедри хімії, канд. хім. наук, проф.
П.О. Єгоров.

ВСТУП

Мета методичних рекомендацій – допомогти студентам у самостійній роботі над вивченням теми про окисно-відновні процеси та реакції. Окисно-відновні реакції – одне з найважливіших теоретичних питань основних розділів загальної, неорганічної, органічної, аналітичної та фізичної хімії.

Окисно-відновні реакції надзвичайно поширені в природі: ними супроводжуються процеси фотосинтезу, дихання, травлення, підтримання життєдіяльності біологічних систем. Ці реакції відіграють важливу роль у практичній діяльності людини, наприклад, при добуванні металів і неметалів з руд, використанні хімічних джерел струму, синтезі хімічних продуктів, боротьбі з корозією металів і под.

Методичні рекомендації дають можливість студентам засвоїти такі поняття, як ступінь окиснення елементів, окисник, відновник, процеси окиснення, відновлення й набути практичних навичок визначення коефіцієнтів у рівняннях окисно-відновних реакцій методами електронного та іонно-електронного балансу.

1. ОКИСНО-ВІДНОВНІ РЕАКЦІЇ

1.1. Ступінь окиснення елементів

У багатьох хімічних реакціях утворення речовин відбувається внаслідок переміщення електронів від одних частинок до інших. Залежно від ступеня зміщення електронів виникають сполуки різного характеру: від іонного до ковалентно-неполярного. Для характеристики стану електронів у хімічних сполуках було введено поняття ступеня окиснення.

Ступенем окиснення елемента називається формальний заряд, який визначається числом електронів, зміщених від атома або до атома цього елемента в сполуці.

Позитивний ступінь окиснення визначається числом електронів, що зміщується від даного атома, а **негативний** – до даного атома.

Із цього випливає, що в сполуках з неполярним зв'язком ступінь окиснення елементів дорівнює нулю.

У простих іонних сполуках ступінь окиснення елементів відповідає електричному заряду (заряду іона), оскільки при утворенні цих сполук відбувається практично повний перехід електронів від одного атома до іншого. У сполуках із полярними ковалентними зв'язками ступінь окиснення визначається величиною електронегативності. Елементи з більшою електронегативністю мають негативний ступінь окиснення, а з меншою – позитивний.

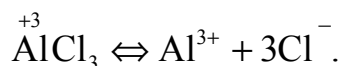
Необхідно запам'ятати випадки, коли елементи мають постійний ступінь окиснення. Ступінь окиснення елемента в простій сполуці та в елементарному стані дорівнює нулю, тобто $\overset{0}{\text{O}}_2$, $\overset{0}{\text{N}}_2$, $\overset{0}{\text{Al}}$, $\overset{0}{\text{S}}$, $\overset{0}{\text{Ca}}$, $\overset{0}{\text{Na}}$.

У молекулах складних речовин ступінь окиснення Гідрогену (окрім гідридів металів) дорівнює +1, а Оксигену -2: $\overset{+1}{\text{H}}_2\overset{-2}{\text{O}}$, $\overset{+1}{\text{H}}_2\overset{-2}{\text{S}}\overset{+1}{\text{O}}_4$. Ступінь окиснення елементів головних підгруп I, II і III груп періодичної системи в сполуках завжди позитивний і дорівнює номеру групи, тобто $\overset{+1}{\text{Na}}\overset{-1}{\text{Cl}}$, $\overset{+2}{\text{Ca}}\overset{-1}{\text{Cl}}_2$, $\overset{+2}{\text{Ba}}\overset{-1}{\text{Cl}}_2$, $\overset{+3}{\text{Al}}\overset{-1}{\text{Cl}}_3$.

У сполуках із металами і Гідрогеном ступінь окиснення галогенів F, Cl, Br, I дорівнює -1, Сульфур -2: $\overset{+1}{\text{H}}\overset{-1}{\text{F}}$, $\overset{+2}{\text{Ca}}\overset{-1}{\text{Cl}}_2$, $\overset{+1}{\text{K}}\overset{-1}{\text{I}}$, $\overset{+2}{\text{H}}_2\overset{-2}{\text{S}}$.

У сполуках з Оксигеном максимальний позитивний ступінь окиснення Сульфур, Фосфору, Нітрогену, Хлору дорівнює номеру групи: $\overset{+6}{\text{S}}\overset{+5}{\text{O}}_3$, $\overset{+5}{\text{P}}_2\overset{+5}{\text{O}}_5$, $\overset{+5}{\text{N}}_2\overset{+7}{\text{O}}_5$, $\overset{+7}{\text{Cl}}_2\overset{+7}{\text{O}}_7$.

Ступінь окиснення металів у сполуках з Сульфуром, галогенами та іншими неметалами відповідає заряду іона металу, а саме:



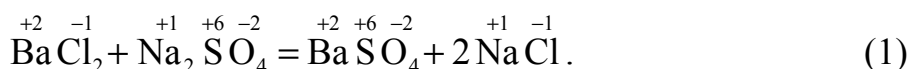
Слід мати на увазі, що, позначаючи ступінь окиснення, спочатку ставлять знак, а після нього – число. Заряд іона записують у зворотному порядку: спочатку ставлять число, а потім – знак. При цьому ступінь окиснення пишуть над символом елемента, а заряд іона – праворуч від нього.

Більшість елементів може виявляти різний ступінь окиснення в сполуках. При його визначенні користуються правилом, згідно з яким **сума ступенів окиснення в електронейтральних молекулах дорівнює нулю, а в складних іонах – заряду цих іонів.**

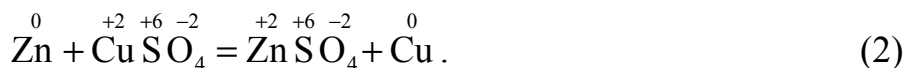
1.2. Поняття про окисно-відновні реакції

Усі хімічні реакції можна розподілити на дві групи. У реакціях першої групи ступінь окиснення всіх елементів, що входять до складу речовин, залишається незмінним, а в реакціях другої групи – змінюється.

Як приклад реакцій першої групи можна навести реакцію розчинів електrolітів, тобто



Прикладом реакцій другої групи може служити взаємодія цинку з Купрум (II) сульфуром, а саме:

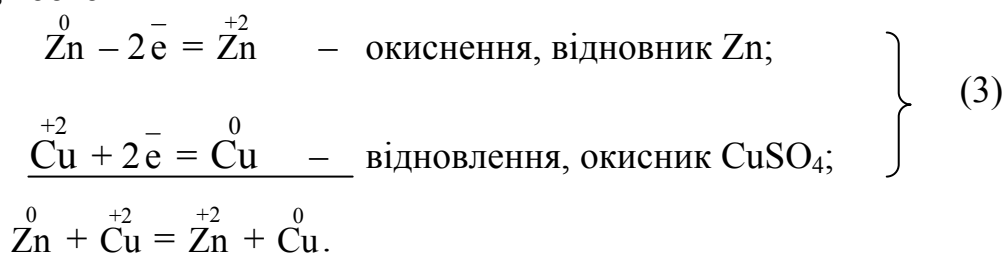


Якщо в реакції (1) жоден елемент не змінює ступеня окиснення, то в прикладі (2) ступінь окиснення Цинку змінюється від 0 до +2, а Купруму – від +2 до 0.

Реакції, внаслідок яких змінюються ступені окиснення елементів, називаються окисно-відновними.

Слід звернути увагу на те, що окисно-відновні процеси надзвичайно поширені в природі (засвоєння вуглекислого газу рослинами, корозія металів та ін.) і відіграють важливу роль у практичній діяльності людини (добування металів і неметалів із руд, використання хімічних джерел струму, боротьба з корозією, виробництво хімічних продуктів і под.).

З позицій електронної теорії окисно-відновний процес зумовлений переміщенням електронів від одних частинок (атомів, молекул, іонів) до інших. Так, у наведеній вище реакції (2) електрони від атомів Цинку переходять до іонів Купруму, тобто



Процес втрати частинок електронів називається окисненням, а процес приєднання електронів до частинки – відновленням. Отже, у розглянутій реакції (2) цинк окиснюється, а іон купруму – відновлюється, причому обидва процеси відбуваються одночасно.

Речовина, до складу якої входить окиснюваний елемент (тобто елемент, який втрачає електрони), називається відновником, а речовина, яка містить відновлюваний елемент (тобто елемент, який приєднує електрони) – окисником.

Як бачимо, у наведеному прикладі CuSO_4 – окисник, а Zn – відновник.

Із рівняння (3) видно, що атом цинку втрачає, а іон купруму приєднує два електрони.

Таким чином, під час окисно-відновних реакцій загальне число електронів, що віддає відновник, повинно дорівнювати загальному числу електронів, які приєднує окисник. На цій закономірності базуються існуючі методи визначення коефіцієнтів в окисно-відновних реакціях: електронного балансу та іонно-електронний.

Контрольні питання й завдання

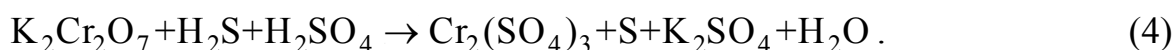
1. Яким чином визначають позитивний і негативний ступені окиснення елементів?
2. Чому дорівнює сума ступенів окиснення елементів у молекулах сполук?
3. Визначте ступені окиснення елементів у молекулах таких сполук:
 HNO_3 , BaCl_2 , $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$, $(\text{AlOH})_3(\text{PO}_4)_2$.
4. Які реакції називаються окисно-відновними?
5. Які процеси відбуваються під час окиснення та відновлення елементів?

2. СКЛАДАННЯ РІВНЯНЬ ОКИСНО-ВІДНОВНИХ РЕАКЦІЙ

2.1. Метод електронного балансу

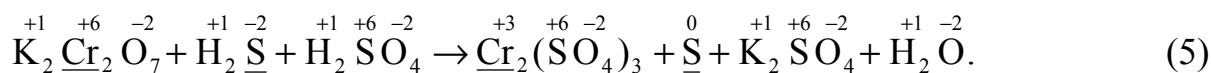
Для запису рівняння окисно-відновної реакції треба знати властивості взаємодіючих речовин. Питання про отримані при цьому продукти реакції може бути вирішено експериментально. Наприклад, при взаємодії сірководню з калій дихроматом у кислому середовищі колір розчину змінюється з оранжевого на зелений, характерний для сполук тривалентного хрому, крім того, розчин мутніє внаслідок випадання в осад сірки.

Запис вихідних речовин і продуктів реакції виглядає так:



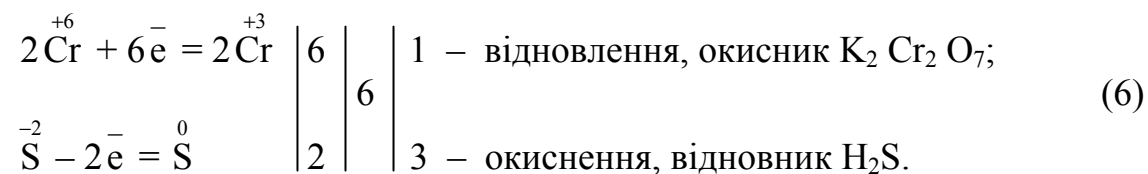
У тому разі, коли відомі вихідні й кінцеві продукти реакції, визначення коефіцієнтів у рівнянні цієї реакції відбувається за допомогою методу електронного балансу. Для його успішного засвоєння необхідно знати таку послідовність дій:

1. Визначають ступінь окиснення елементів у речовинах лівої та правої частин рівняння, а саме:



Позначають елементи, ступінь окиснення яких у ході реакції змінився. У нашому випадку такими елементами є Хром і Сульфур.

2. Складають рівняння електронного балансу з урахуванням загального числа атомів, які окиснилися й відновилися. У $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (це окисник) два атоми Хрому приєднують 6 електронів (відновлення), а в H_2S (це відновник) атом Сульфуру втрачає 2 електрони (окиснення), тобто



Виходячи з того, що число електронів, яке віддає відновник, повинно дорівнювати числу електронів, отриманих окисником, за правилом найменшого загального кратного визначають у рівнянні реакції основні коефіцієнти для відновника (3) і окисника (1), які надалі в багатьох випадках залишаються незмінними.

Помноживши перше рівняння на коефіцієнт (1), а друге – на (3), знаходять загальне рівняння (7) як суму перших двох. Правильність складання цього рівняння перевіряють за рівністю в обох його частинах:

- кількості відданих і приєднаних електронів ($6\bar{e}$);
- кількості однойменних атомів (2Cr , 3S);
- сум ступенів окиснення, тобто $+12 - 6 = +6 + 0 \rightarrow +6 = +6$.

3. Переносять знайдені коефіцієнти перед Cr та S у вихідне рівняння з урахуванням числа атомів, що входять до складу відповідних молекул речовин, а саме:



4. Далі перевіряють число атомів металів, що не змінюють ступінь окиснення (Калію), кислотних залишків (груп SO_4^{2-}) і встановлюють коефіцієнти для K_2SO_4 (1) і H_2SO_4 (4).

5. За числом атомів гідрогену у вихідних речовинах (14) знаходять число молекул води, що при цьому утворилися (7), і записують рівняння реакції в остаточному вигляді, тобто

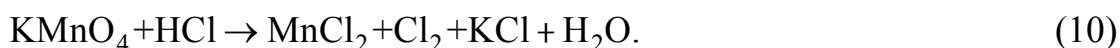


6. Правильність визначення коефіцієнтів у рівнянні реакції перевіряють за числом атомів кисню в обох його частинах (23).

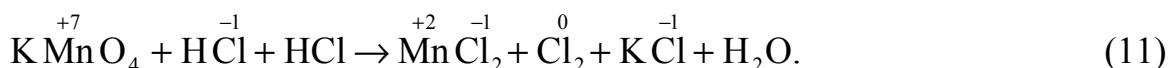
Розглянута методика складання рівнянь може бути застосована до більшості окисно-відновних реакцій, але існують особливі випадки, що потребують додаткових пояснень.

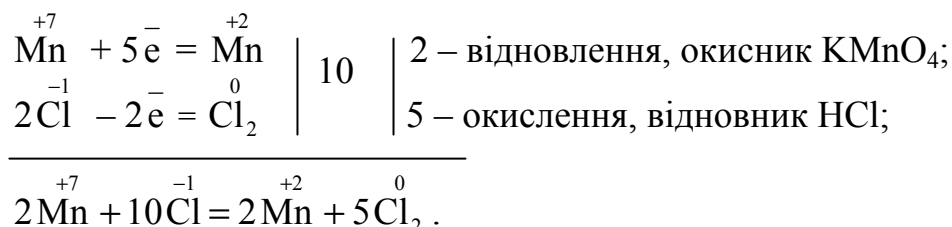
2.2. Окремі випадки складання рівнянь окисно-відновних реакцій

Описаний вище приклад належить до типу *міжмолекулярних* реакцій, у яких окисник, відновник і середовище являють собою різні речовини. Серед подібного типу реакцій трапляються такі, де окисник або відновник одночасно являють собою середовище. Наприклад, візьмемо реакцію взаємодії калій перманганату з концентрованою хлоридною кислотою:

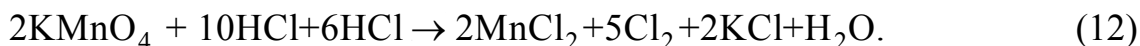


Оскільки HCl є одночасно і відновником, і середовищем, у якому відбувається процес, то у рівнянні реакції доцільно формулу хлоридної кислоти записати двічі, а саме:

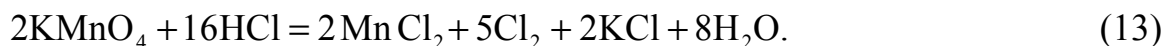




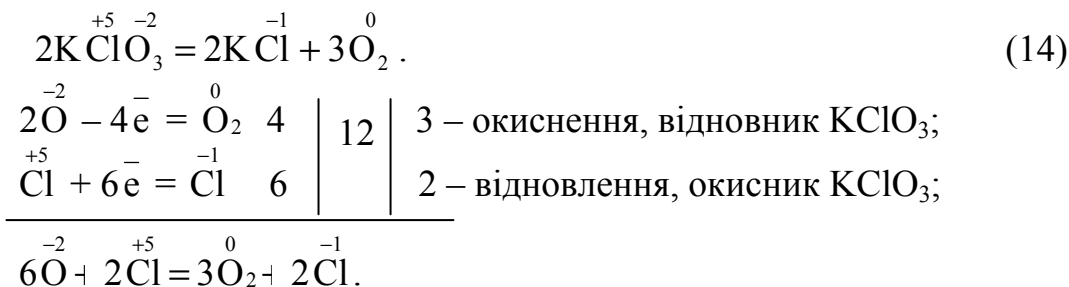
За числом атомів Калію у KMnO_4 знаходять число молекул KCl (2), а за числом атомів Хлору (6) у правій частині, що не змінили ступеня окиснення, – коефіцієнт перед HCl -середовищем (6), тобто



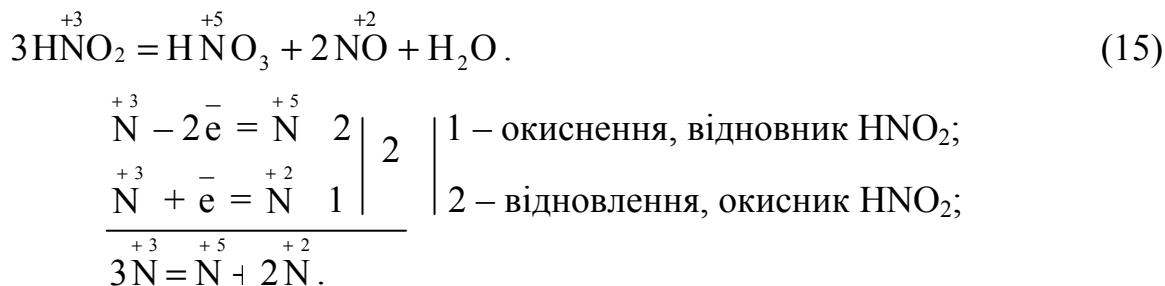
Визначають число молекул води (8) й остаточно записують таке рівняння:



До *внутрішньомолекулярних* реакцій належать такі, у яких змінюються ступені окиснення атомів в одній і тій самій молекулі. Наприклад, це реакції термічного розкладу:



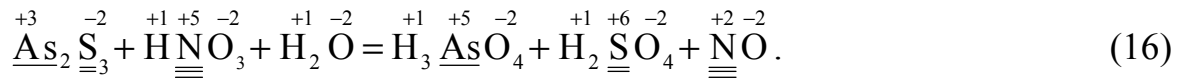
У реакціях *диспропорціювання* (самоокиснення – самовідновлення) відбувається збільшення й зменшення ступеня окиснення одного й того самого елемента, а саме:



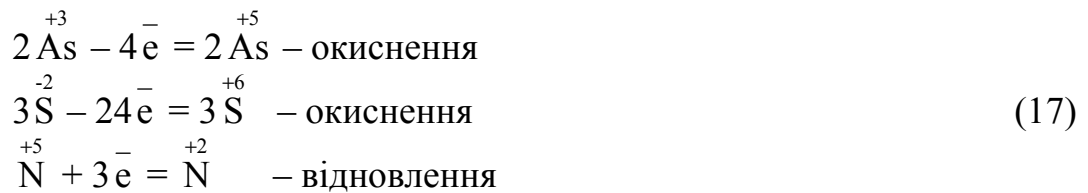
2.3. Складні окисно-відновні реакції

Трапляються особливі випадки добору коефіцієнтів у рівняннях окисно-відновних реакцій, коли ступінь окиснення змінюють не два, як у багатьох випадках, а три елементи. У цьому разі дотримуються такої послідовності дій:

1. Визначають ступені окиснення елементів, що входять до складу сполук в обох частинах рівняння окисно-відновної реакції, та виділяють елементи, ступені окиснення яких змінюються, тобто



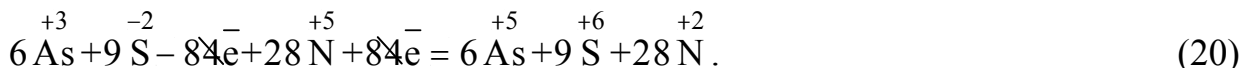
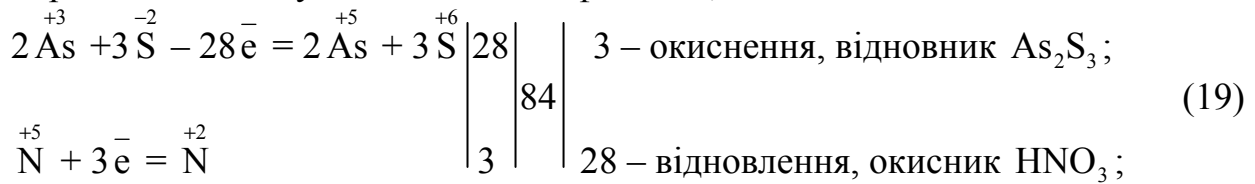
2. Складають рівняння напівреакцій окиснення й відновлення, а саме:



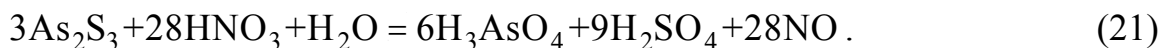
3. Підсумовують перше та друге рівняння окиснення $\overset{+3}{\text{As}}$ та $\overset{-2}{\text{S}}$, таким чином:



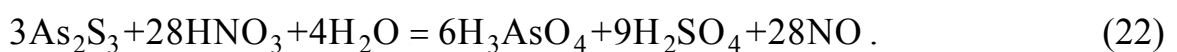
4. Об'єднують рівняння (18) з рівнянням відновлення $\overset{+5}{\text{N}}$ і далі методом електронного балансу визначають коефіцієнти, а саме:



5. Переносять знайдені коефіцієнти у вихідне молекулярне рівняння з урахуванням числа атомів у молекулах речовин, тобто



6. За кількістю атомів Гідрогену, яка дорівнює 36 у правій частині рівняння, визначають, що число молекул води в лівій частині дорівнює 4, а саме:

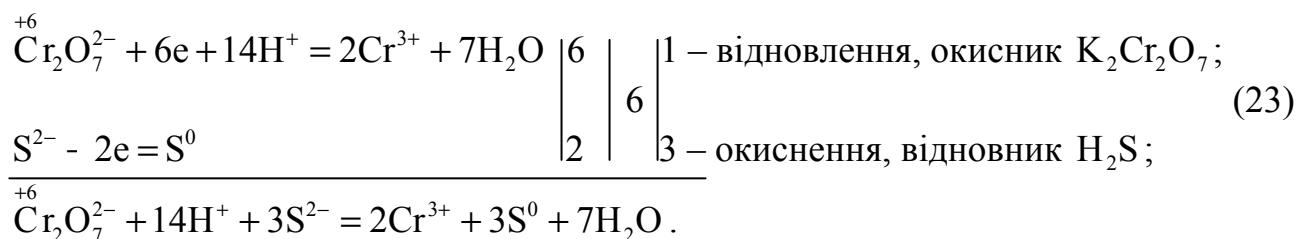


7. Правильність визначення коефіцієнтів перевіряють за рівністю атомів Оксигену, що становить 88 в обох частинах рівняння окисно-відновної реакції.

2.4. Іонно-електронний метод

Для складання рівнянь окисно-відновних реакцій застосовують також іонно-електронний метод, який передбачає таку послідовність операцій:

1. Рівняння реакції записують у вигляді іонно-електронних напівреакцій, а саме:

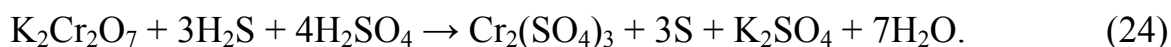


Перше рівняння відновлення біхромат іона показує, що під час перетворення іона $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ на катіон Cr^{3+} сім атомів Оксигену повинні зв'язуватися з 14 іонами Гідрогену (формується кисле середовище), утворюючи 7 молекул води.

Друге рівняння процесу окиснення Сірки показує, що цей процес відбувається без участі іонів Гідрогену.

2. Знайшовши спільний множник (6) для цих двох іонно-електронних рівнянь і помноживши кожне з них на відповідні коефіцієнти (1 та 3), дістають сумарне іонне рівняння даної окисно-відновної реакції. Правильність його складання перевіряють за тими самими ознаками, що й у методі електронного балансу, тільки на останньому етапі перевіряють не суму ступенів окиснення, а суму зарядів іонів в обох частинах, тобто $(2-) + (14+) + 3(2-) = 2(3+) + 3(0) \rightarrow (6+) = (6+)$.

3. Знайдені коефіцієнти переносять у вихідне молекулярне рівняння, а потім згідно з методом електронного балансу визначають число молекул H_2SO_4 (4) та H_2O (7), а саме:



Контрольні питання й завдання

1. На чому базується метод електронного балансу при складанні рівнянь окисно-відновних реакцій ?

2. Опишіть послідовність дій під час визначення коефіцієнтів у рівняннях окисно-відновних реакцій, складених методом електронного балансу.

3. У чому полягає особливість деяких міжмолекулярних реакцій, де окисник або відновник одночасно являє собою середовище?

3. ОКИСНИКИ Й ВІДНОВНИКИ

Окисно-відновну здатність елементів якісно можна оцінювати за їх положенням у періодичній системі Д.І. Менделєєва, за величинами енергії іонізації та електронегативності. Необхідно знати, що згідно з окисно-відновною функцією елементи розподіляють на три групи:

- тільки відновники;
- тільки окисники;
- окисники або відновники залежно від умов.

3.1. Відновники

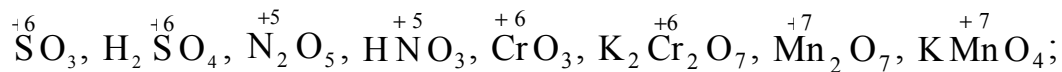
Тільки відновниками можуть бути:

- вільні атоми металів усіх сімейств: s, p, d, f;
- хімічні сполуки, що містять неметалеві елементи головних підгруп IV–VII груп у формі існування з найбільш негативним ступенем окиснення, тобто $\overset{-1}{\text{HCl}}$, $\overset{-2}{\text{Na}_2\text{S}}$, $\overset{-3}{\text{NH}_3}$, $\overset{-4}{\text{CH}_4}$ та ін.

3.2. Окисники

Тільки до окисників належать:

- хімічні сполуки, що містять атоми елементів із найвищим позитивним ступенем окиснення:



- атоми й молекули Флюору й Оксигену (крім сполук з флюором $\overset{+2}{\text{OF}_2}$).

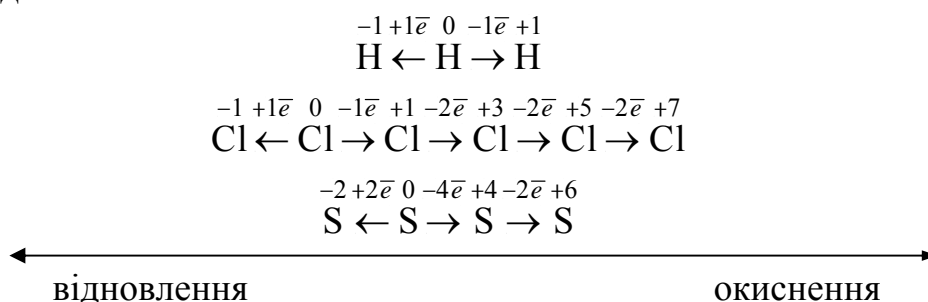
3.3. Елементи, що виявляють окисні й відновні властивості

Слід запам'ятати, що в окисно-відновних реакціях деякі елементи можуть виступати залежно від умов і окисниками, і відновниками.

До них відносять:

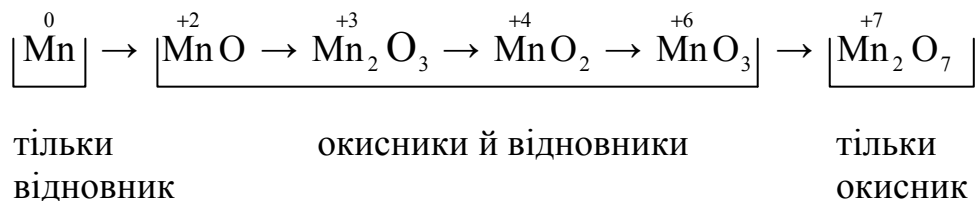
- атоми й молекули неметалів головних підгруп IV – VII груп, а також Бор і Гідроген.

Наприклад:



– атоми елементів у сполуках із проміжним (між нижчим і вищим) ступенем окиснення: $\overset{+3}{\text{K}}\overset{+2}{\text{N}}\text{O}_2$, $\overset{+2}{\text{Sn}}\text{Cl}_2$, $\overset{+4}{\text{Mn}}\text{O}_2$ та ін.

Окисно-відновні властивості елементів та їх сполук зручно простежити на прикладі сполук Мангану, а саме:

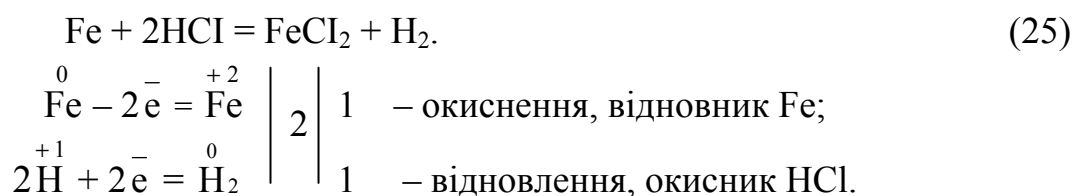


Контрольні питання й завдання

1. За якими критеріями визначаються окисно-відновні властивості елементів і сполук?
2. Чому деякі елементи можуть бути і окисниками, і відновниками?
3. Визначте, яку окисно-відновну функцію проявляють хімічні сполуки, що містять атоми елементів з найвищим позитивним або негативним ступенем окиснення.

4. ОКИСНІ ВЛАСТИВОСТІ КИСЛОТ

Усі кислоти (крім HNO_3 і концентрованої H_2SO_4) є окисниками за рахунок водневих іонів H^+ , що утворюються при дисоціації у водних розчинах. Взаємодія цих кислот з відновниками супроводжується виділенням газоподібного водню, тобто



За такою схемою відбуваються реакції поміж вказаними кислотами і металами, які розміщені в ряду активності до гідрогену.

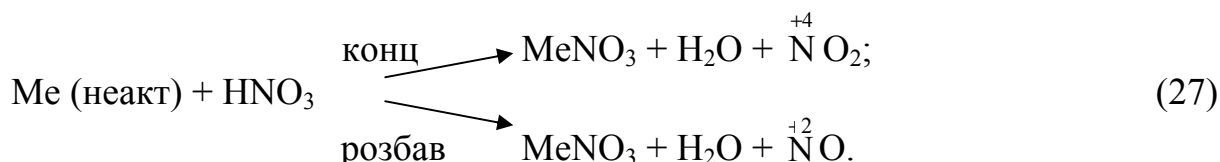
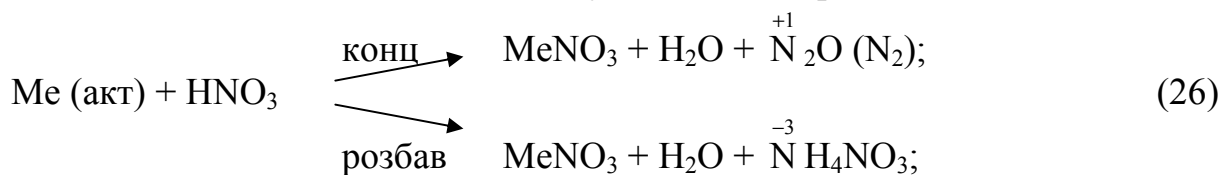
Аніони нітратної та концентрованої сульфатної кислот є більш сильними окисниками, ніж іон H^+ , тому при їх взаємодії з металами або неметалами водень не виділяється, а утворюються речовини з меншим ступенем окиснення:

Нітроген від $\overset{+5}{\text{N}}$ до $\overset{-3}{\text{N}}$ і Сульфур від $\overset{+6}{\text{S}}$ до $\overset{-2}{\text{S}}$.

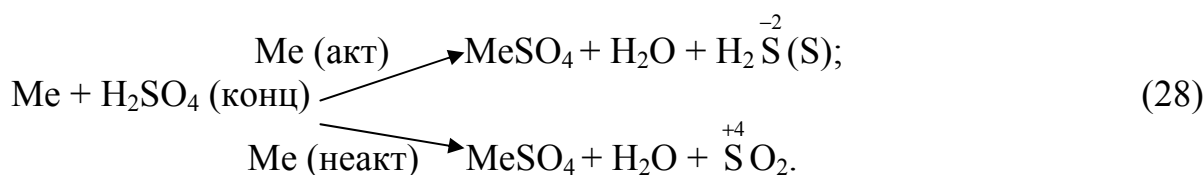
При взаємодії металів з нітратною кислотою утворюється сіль, вода й продукт відновлення нітрогену $\overset{+5}{\text{N}}$, тип якого визначається активністю металу та концентрацією кислоти.

Усі метали, що перебувають у ряду активності, умовно можна розбити на дві групи: від літію до феруму – активні метали, від феруму (включно) і далі – неактивні.

Активні метали залежно від концентрації кислоти відновлюють Нітроген N^{+5} до N^{+1} , N^{-3} , а неактивні – до N^{+4} , N^{+2} , вступаючи в такі реакції:



Взаємодія активних металів з концентрованою сульфатною кислотою приводить до утворення H_2S або S , а неактивних – SO_2 , а саме:

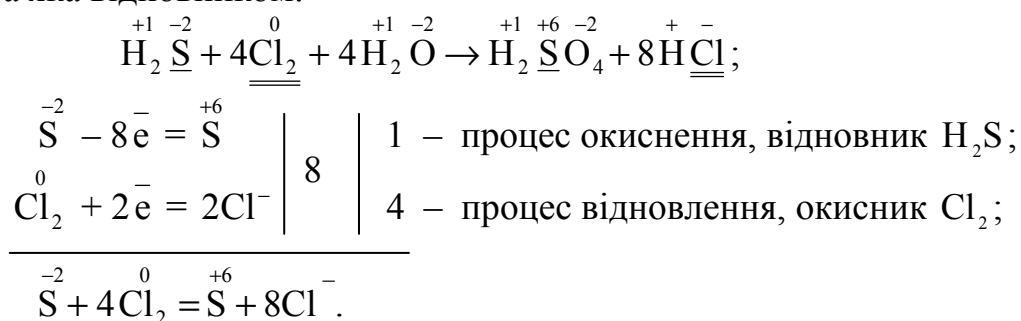


Контрольні питання й завдання

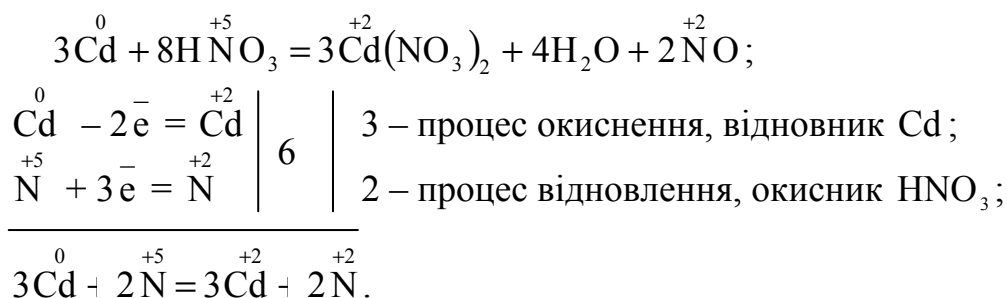
1. Чи виділяється газоподібний водень під час взаємодії нітратної та концентрованої сульфатної кислот з металами?
2. Який елемент відіграє роль окисника в молекулах нітратної та концентрованої сульфатної кислот?
3. Назвіть продукти реакції розбавленої нітратної кислоти з активними металами.
4. У чому полягають особливості складання рівнянь окисно-відновних реакцій металів з нітратною та концентрованою сульфатною кислотами?

Приклади розв'язування типових задач на складання рівнянь окисно-відновних реакцій

1. Визначте коефіцієнти в наведеному нижче рівнянні окисно-відновної реакції, назвіть процеси, що її супроводжують, а також напишіть, яка речовина є окисником, а яка відновником:



2. Закінчіть таку окисно-відновну реакцію:



Питання для самоперевірки

1. Які умови і який характер перебігу окисно-відновного процесу? Яким чином залежить перебіг окисно-відновного процесу від реакції середовища? Наведіть приклади.

2. Перелічіть типи окисно-відновних реакцій.

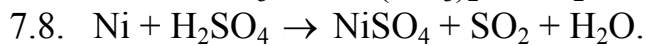
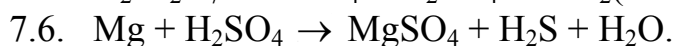
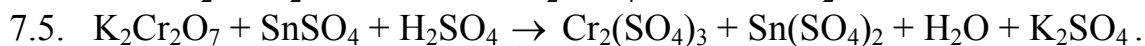
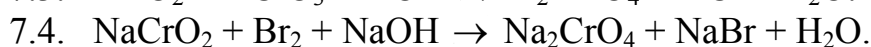
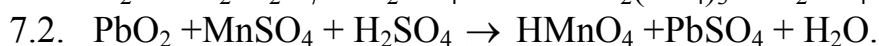
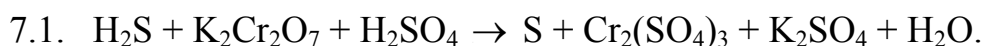
3. Що спільного між ступенем окиснення та валентністю і в чому відмінність між ними?

4. Що таке окиснення та відновлення?

5. У чому полягає суть методу електронного балансу?

6. Про що свідчить ступінь окиснення елемента? Якими критеріями належить користуватися при обчисленні ступеня окиснення елемента в сполуці?

7. Визначте в кожному з наведених нижче рівнянь окисно-відновних реакцій окисник, відновник, назвіть процеси окиснення й відновлення, а також проставте коефіцієнти.



Єгоров Павло Олексійович
Мешко Володимир Дмитрович

ОКИСНО-ВІДНОВНІ РЕАКЦІЇ
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ТА ЗАВДАННЯ
до самостійного вивчення дисципліни «Хімія»
студентами всіх напрямів підготовки

Редактор О.Н. Ільченко

Підп. до друку 15.02.2013. Формат 30 x 42/4.
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9
Обл.-вид. арк. 1,0. Тираж 100 пр. Зам. № .

ДВНЗ «Національний гірничий університет»
49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.