

Poczuj chemię do chemii
– zwiększenie liczby absolwentów kierunku chemia
na Uniwersytecie im. A. Mickiewicza w Poznaniu



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Obliczenia stechiometryczne, bilansowanie równań reakcji redoks

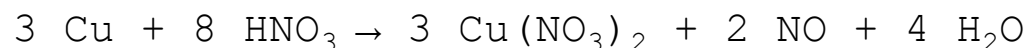
Materiały pomocnicze do zajęć wspomagających z chemii

opracował:
dr Błażej Gierczyk
Wydział Chemii UAM

Obliczenia stechiometryczne

Podstawą do wykonania obliczeń stechiometrycznych jest znajomość przebiegu reakcji chemicznej – w najprostszym przypadku – znajomość równania reakcji.

Współczynniki stechiometryczne równania reakcji interpretujemy w molach lub w cząsteczkach (atomach, jonach itd.), np.:



odczytujemy:

- trzy atomy miedzi reagują z ośmioma cząsteczkami kwasu azotowego(V), dając 3 cząsteczki (formalne) azotanu(V) miedzi(II), 2 cząsteczki tlenku azotu(II) i cztery cząsteczki wody, albo
- trzy mole atomów miedzi reagują z ośmioma molami cząsteczek kwasu azotowego(V), dając 3 mole cząsteczek (formalnych) azotanu(V) miedzi(II), 2 mole cząsteczek tlenku azotu(II) i cztery mole cząsteczek wody.

Obliczenia stechiometryczne

Zamianę na jednostki masy (lub, w przypadku gazów, jednostki objętości) wykonujemy w poznany już wcześniej sposób.

Dla podanego wcześniej przykładu:

- 190,5 g (3 mole) miedzi reaguje z 504 g (8 moli) kwasu azotowego, dając 562,5 g (3 mole) azotanu(V) miedzi(II), 60 g (2 mole, 44,8 dm³ w warunkach normalnych) tlenku azotu(II) i 72 g (4 mole) wody

Obliczenie ilości produktu z danej masy substratu opiera się na prostych proporcjach, na przykład z 20 g miedzi otrzymamy:

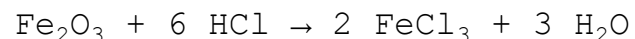
$$\begin{array}{rcl} 190,5 & - & 562,5 \\ 20 & - & x \end{array}$$

$$x = 59,1 \text{ g Cu(NO}_3)_2$$

Obliczenia stechiometryczne

W przypadku jeśli substraty zawierają zanieczyszczenia, w obliczeniach należy pamiętać o ich uwzględnieniu.

Przykład 1: Oblicz, ile gramów chlorku żelaza(III) można uzyskać z 800 g tlenku żelaza(III) zawierającego 11% zanieczyszczeń.



W 800 g substratu zawarty jest:

$$800 * (100-11)/100 = 712 \text{ g czystego tlenku żelaza(III).}$$

$$M(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 159,6 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{FeCl}_3) = 162,3 \text{ g/mol}$$

Ze 159,6 g Fe_2O_3 otrzymamy 324,6 g FeCl_3 . Zatem:

$$159,6 - \quad 324,6$$

$$712 \quad - \quad x$$

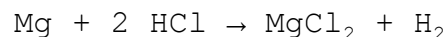
$$x = 1448,1 \text{ g}$$

Obliczenia stechiometryczne

W przypadku niestechiometrycznych ilości substratów obliczenia należy zacząć od stwierdzenia, który z substratów znajduje się w niedomiarze. Obliczenie ilości produktu należy oprzeć na tym reagentcie.

Przykład 2:

Ile chlorku magnezu można uzyskać z 25 g magnezu i 200 g kwasu solnego o stężeniu 35%?



$$M(\text{MgCl}_2) = 95,3 \text{ g/mol}; M(\text{HCl}) = 36,5 \text{ g/mol}$$

W 200 g roztworu kwasu solnego zawartych jest $0,35 \cdot 200 = 70 \text{ g HCl}$.

Mamy zatem do dyspozycji 1,91 mol HCl i 1,02 mol Mg. Ponieważ stechiometria reakcji wynosi 2:1, reagentem w niedomiarze jest HCl.

Z 36,5 g HCl uzyskamy 95,3 g MgCl₂, zatem:

$$\begin{array}{rcl} 36,5 & - & 95,3 \\ 70 \text{ g} & - & x \end{array}$$

$$x = 182,7 \text{ g MgCl}_2$$

Poczuj chemię do chemii

– zwiększenie liczby absolwentów kierunku chemia
na Uniwersytecie im. A. Mickiewicza w Poznaniu



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Obliczenia stechiometryczne – wydajność reakcji

Podczas reakcji chemicznej otrzymujemy najczęściej mniej produktu niż wynika to z ilości użytych substratów. Może to być spowodowane kilkoma efektami:

- ustalaniem się stanu równowagi (odwracalnością reakcji) – w przypadku szeregu reakcji o charakterze równowagowym po pewnym czasie ustala się stan równowagi w którym współistnieją produkty i nieprzereagowane substratu
- wielokierunkowością reakcji – przebiegowi szeregu procesów chemicznych towarzyszą reakcje uboczne, dające produkty inne od zamierzonego
- straty produktu na skutek jego skomplikowanej izolacji i oczyszczania

Obliczenia stechiometryczne – wydajność reakcji

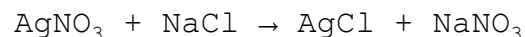
Wydajność reakcji definiujemy jako stosunek ilości (najczęściej masy) uzyskanego produktu do ilości teoretycznej, obliczonej na podstawie mas dostępnych substratów, wyrażony w %.

$$\beta = (m_p/m_t) * 100\%$$

Przykład 3:

W reakcji 18 g chlorku sodu z 30 g azotanu(V) srebra uzyskano, po odsączeniu i wysuszeniu, 22 g chlorku srebra. Oblicz wydajność procesu.

$$M(\text{NaCl}) = 58,5 \text{ g/mol}; M(\text{AgNO}_3) = 170 \text{ g/mol}; M(\text{AgCl}) = 143,5 \text{ g/mol}$$



Mamy do dyspozycji $18/58,5 = 0,31$ mol NaCl i $0,18$ mol AgNO_3 . Substratem będącym w niedomiarze jest azotan(V) srebra. Teoretycznie powinniśmy uzyskać:

| | | |
|-------|---|---------|
| 170 g | - | 143,5 g |
| 30 g | - | x g |

$$x = 25,3 \text{ g AgCl}$$

$$\text{Wydajność reakcji wynosi więc } (22/25,3) * 100\% = 86,9\%$$

Bilansowanie równań redoks – stopień utlenienia

Stopień utlenienia to umowna wartość definiowana jako ładunek (wyrażony w jednostkach ładunku elementarnego) który posiadał by każdy z atomów związku chemicznego po jego rozdzieleniu (dysocjacji) na jony proste w wyniku całkowitego przesunięcia elektronów wiązań w kierunku atomu bardziej elektroujemnego. Mają one wartości całkowite.

W obliczeniach wartości stopnia utlenienia obowiązuje kilka reguł:

1. atom pierwiastka w stanie wolnym ma stopień utlenienia 0;
2. suma stopni utlenienia atomów w związku chemicznym wynosi 0;
3. suma stopni utlenienia atomów w jonie złożonym jest równa ładunkowi tego jonu;
4. stopień utlenienia jonu prostego jest równy jego ładunkowi;
5. w przypadku cząsteczek dwuatomowych ujemny stopień utlenienia przypisany jest do atomu bardziej elektroujemnego;
6. w związkach organicznych suma stopni utlenienia każdego atomu węgla i podstawników z nim związanych, nie będących atomami węgla, wynosi 0;
7. stopień utlenienia atomu tlenu o charakterze eterowym lub estrowym (C-O-C) rozkłada się równomiernie na oba związane z nim atomy węgla;
8. każda grupa funkcyjna związana z atomem węgla wiązaniem C-N ma łączny stopień utlenienia -I na każde wiązanie węgiel-azot;
9. stopień utlenienia atomu azotu w związkach organicznych oblicza się, zastępując każde wiązanie C-N atomem wodoru.

Bilansowanie równań redoks – stopień utlenienia

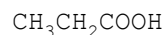
Przy obliczaniu stopni utlenienia warto pamiętać o kilku najważniejszych zależnościach:

- a. atom fluoru ma zawsze stopień utlenienia $-I$;
- b. atom tlenu ma w większości związków stopień utlenienia $-II$, z wyjątkiem difluorku tlenu ($+II$) oraz układów nadtlenkowych $-O-O-$ w których stopień utlenienia wynosi $-I$;
- c. stopień utlenienia wodoru we wszystkich związkach wynosi $+I$, wyjątek stanowią wodorki metali I i II grupy, w których wynosi $-I$;

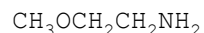
Bilansowanie równań redoks – stopień utlenienia

Przykład 4:

Obliczyć stopnie utlenienia atomów węgla i azotu w kwasie propionowym, 2-metoksyetyloaminie i 1-nitro-2-cyjanopropan.



- zgodnie z regułą 6 traktujemy cząsteczkę jako 3 osobne fragmenty, każdy o sumarycznym stopniu utlenienia 0: CH_3 , CH_2 i COOH , zatem stopnie utlenienia atomów węgla wynoszą -III, -II i III.



- CH_3 - zgodnie z regułą 7 mamy $3 \cdot (\text{I}) + (-\text{II})/2 + x = 0$, zatem $x = -\text{II}$
- CH_2 - zgodnie z regułą 6 traktujemy grupy metylenowe osobno. Dla pierwszej (związanej z atomem tlenu), stosujemy regułę 7: $2 \cdot (\text{I}) + (-\text{II})/2 + x = 0$, zatem $x = -\text{I}$, dla drugiej stosujemy regułę 8: $2 \cdot (\text{I}) + (-\text{I}) + x = 0$, zatem $x = -\text{I}$
- stopień utlenienia atomu azotu obliczamy zgodnie z regułą 9 - zastępując atom węgla atomem wodoru otrzymujemy cząsteczkę NH_3 , zatem stopień utlenienia wynosi -III.



- CH_3 - zgodnie z regułą 6: -III
- CH - zgodnie z regułą 6: -I
- CN - zgodnie z regułą 6 grupę CN traktujemy jako osobne indywiduum o sumarycznym stopniu utlenienia 0. Zastępując każde wiązanie C-N atomem wodoru (reguła 9) uzyskujemy cząsteczkę NH_3 , zatem atom azotu ma stopień utlenienia -III. Atom węgla ma więc stopień utlenienia III.
- CH_2NO_2 - fragment ten ma stopień utlenienia 0 (reguła 6). Dla atomu węgla grupy CH_2 stosujemy regułę 8 i otrzymujemy stopień utlenienia -I. Dla atomu azotu stosujemy regułę 9 - w hipotetycznej cząsteczce H-NO_2 stopień utlenienia azotu wynosi III.

Bilansowanie równań redoks

Pod pojęciem reakcji redoks rozumiemy proces chemiczny któremu towarzyszy zmiana utlenienia atomów.

Podwyższenie stopnia utlenienia atomu nazywamy utlenieniem – proces ten wiąże się z oddaniem elektronu.

Obniżenie stopnia utlenienia to proces redukcji – związany jest z pobraniem elektronów.

Atom (substancja) pobierająca elektrony (ulegająca redukcji) to utleniacz.

Atom (substancja) oddająca elektrony (ulegająca utlenieniu) to reduktor.

Procesowi utlenienia dowolnego atomu musi towarzyszyć proces redukcji innego atomu.

Bilansowanie równań redoks

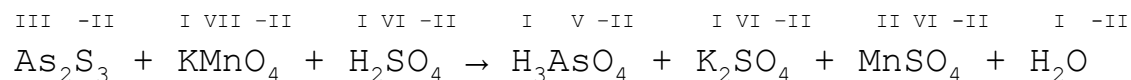
W celu zbilansowania równania redoks należy:

- zapisać cząsteczkowo lub jonowo schemat przemiany
- obliczyć stopnie utlenienia atomów po stronie substratów i produktów
- zidentyfikować utleniacz(e) i reduktor(y)
- wydzielić schematy równań połówkowych (typu $Ox + ne = Red$) i wykonać dla nich bilans elektronów
- pomnożyć równania połówkowe przez współczynniki dobierane tak, aby ilość elektronów oddawanych podczas procesów utleniania była równa ilości elektronów pobieranych w procesie redukcji
- przenieść powyższe współczynniki do równania reakcji
- uzupełnić współczynniki przy pozostałych reagentach

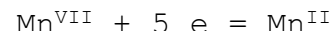
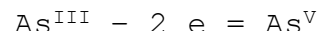
Bilansowanie równań redoks

Przykład 5:

Zbilansować równanie:



Utlenieniu ulegają atomy As i S, redukcji atom Mn. Równania połówkowe mają postać:



Sumarycznie, uwzględniając zawartość As i S w substracie:



Mnożymy pierwsze równanie przez 5, drugie przez 28 i otrzymujemy, po uzupełnieniu bilansu:

