



## Iloczyn rozpuszczalności

W każdym nasyconym roztworze, który pozostaje w kontakcie z fazą stałą substancji rozpuszczonej, ustala się stan równowagi między substancją w roztworze i jej osadem.

Rozpuszczalność trudno rozpuszczalnych związków można określić liczbowo za pomocą *iloczynu rozpuszczalności stężeniowego*  $K_s$  lub *rozpuszczalności*  $S$ . W roztworach nasyconych związków całkowicie zdysocjowanych i trudno rozpuszczalnych ustala się stan równowagi dynamicznej (w jednostce czasu tyle samo jonów przechodzi z fazy stałej do roztworu, ile się ich osadza na powierzchni kryształu).



Wielkością opisującą ten stan równowagi jest iloczyn rozpuszczalności stężeniowy.

$$K_s = [A^{n+}]^m [B^{m-}]^n$$

gdzie:  $[A^{n+}]$  i  $[B^{m-}]$  – stężenia molowe jonów w roztworze.

Po uwzględnieniu współczynników aktywności jonów, na które dysocjuje trudno rozpuszczalny związek, uzyskuje się wzór na *termodynamiczny iloczyn rozpuszczalności*  $K_{SO}$ .

$$K_{SO} = (a_{A^{n+}})^m (a_{B^{m-}})^n = [A^{n+}]^m [B^{m-}]^n (f_{A^{n+}})^m (f_{B^{m-}})^n$$

gdzie:  $a_{A^{n+}}$  i  $a_{B^{m-}}$  - aktywności jonów  $A^{n+}$  i  $B^{m-}$ ,

$f_{A^{n+}}$  i  $f_{B^{m-}}$  - współczynniki aktywności jonów  $A^{n+}$  i  $B^{m-}$ .

Ponieważ ilość jonów w roztworze jest bardzo mała, to aktywności są w przybliżeniu równe stężeniom. Wówczas w rozważaniach pomijamy współczynniki aktywności.

Iloczyn rozpuszczalności zależy od temperatury, siły jonowej, rodzaju rozpuszczalnika oraz wartości pH roztworu. W praktyce analitycznej rozważania nad iloczynem rozpuszczalności ogranicza się do roztworów o małej sile jonowej przyjmując, że współczynniki aktywności są równe jedności.



**Projekt PO KL Warto poczuć chemię**

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

Znajomość iloczynu rozpuszczalności pozwala na obliczenie rozpuszczalności danej substancji. Oznaczmy rozpuszczalność molową substancji  $A_mB_n$  przez  $S$  (ilość moli substancji rozpuszczonej w roztworze nasyconym). Dla równowagi



mamy:

$$[A^{n+}] = mS \quad i \quad [B^{m-}] = nS$$

stąd iloczyn rozpuszczalności wynosi:

$$K_{SO} = [A^{n+}]^m [B^{m-}]^n = (mS)^m (nS)^n$$

Rozpuszczalność  $S$  wynosi:

$$S = \sqrt[n+m]{\frac{K_{SO}}{n^n \cdot m^m}}$$

## **Czynniki wpływające na rozpuszczalność osadów**

### **1. Efekt wspólnego jonu**

Iloczyn rozpuszczalności jest wielkością stałą. Jeżeli stężenie jednego z jonów zwiększy się, to odpowiednio musi zmniejszyć się stężenie drugiego jonu. Efekt wspólnego jonu polega więc na zmniejszeniu rozpuszczalności związku wskutek obecności w roztworze jonów wchodzących w skład osadu, a pochodzących pierwotnie od różnych indywiduów chemicznych. Efekt ten jest tym większy, im osad jest trudniej rozpuszczalny. Z tego powodu, do przemywania osadów stosuje się zwykle roztwory zawierające wspólny jon z osadem.

### **2. Efekt solny**

Rozpuszczalność związków trudno rozpuszczalnych zwiększa się w obecności soli, które nie mają wspólnego jonu z osadem. Zjawisko to nosi nazwę efektu solnego. Jest on związany ze zwiększaniem się siły jonowej roztworu wraz ze zwiększaniem się stężenia jonów. Im większa jest siła jonowa roztworu, tym mniejsze są wartości współczynników aktywności jonów.



### 3. Wpływ pH na rozpuszczalność osadów

Stężenie jonów wodorowych wywiera bardzo duży wpływ na rozpuszczalność osadów, szczególnie wodorotlenków i soli słabych kwasów. Podczas wytrącania wodorotlenków metali jonem wytrącającym jest  $\text{OH}^-$ . Z iloczynu rozpuszczalności można więc obliczyć zarówno pH, przy którym zaczyna wytrącać się wodorotlenek metalu, jak i stężenie jonów metalu znajdujących się w roztworze przy danym pH.

#### Zadania

1. Obliczyć, ile  $\text{PbI}_2$  (w gramach) rozpuści się w  $500 \text{ cm}^3$  wody ( $K_{\text{SO}}=2,4 \cdot 10^{-8}$ ).
2. Rozpuszczalność  $\text{Ag}_3\text{PO}_4$  wynosi  $0,2 \text{ mg}$  w  $100 \text{ cm}^3$  roztworu. Jaka jest wartość  $K_{\text{SO}}$  związku?
3. Jaka jest wartość  $K_{\text{SO}}$  cyjanku kadmu, jeżeli rozpuszcza się on w wodzie w stosunku masowym 1:4498? Gęstość otrzymanego roztworu można przyjąć za równą  $1 \text{ g/cm}^3$ .
4. Iloczyn rozpuszczalności  $\text{CaSO}_4$  wynosi  $9,1 \cdot 10^{-6}$ . Jak jest rozpuszczalność tej soli w molach i gramach w litrze roztworu?
5. Ile gramów jonów  $\text{Pb}^{2+}$  i  $\text{PO}_4^{3-}$  zawiera  $1 \text{ dm}^3$  nasyconego roztworu ortofosforanu (V) ołowiu (II)?
6. W ilu litrach wody rozpuści się  $0,01 \text{ mg}$   $\text{Ba}_3(\text{AsO}_4)_2$ ?  $pK_{\text{SO}}=50,1$
7. Do 10 litrów wody dodano  $0,500 \text{ g}$   $\text{MnNH}_4\text{PO}_4$ . Ile gramów soli się nie rozpuści?  $K_{\text{SO}}=1,0 \cdot 10^{-12}$
8. Jakie jest pH nasyconego roztworu wodorotlenku cyny (II)?  $K_{\text{SO}}=6,3 \cdot 10^{-27}$
9. W nasyconym roztworze  $\text{Pb}(\text{OH})_2$  zwiększono stężenie jonów  $\text{OH}^-$  10-krotnie. Obliczyć, ile razy zmniejszyło się stężenie jonów  $\text{Pb}^{2+}$ .  $K_{\text{SO}}=1,1 \cdot 10^{-20}$
10. Ile razy rozpuszczalność  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  jest mniejsza w roztworze  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  o stężeniu  $0,02 \text{ mol/dm}^3$  w porównaniu z rozpuszczalnością w czystej wodzie?  $K_{\text{SO}}=1,1 \cdot 10^{-12}$
11. Jakie było stężenie molowe roztworu  $\text{H}_2\text{SO}_4$  użytego do przemywania osadu  $\text{BaSO}_4$ , jeżeli w  $200 \text{ cm}^3$  roztworu znajduje się  $7,550 \cdot 10^{-8} \text{ g}$  jonów  $\text{Ba}^{2+}$ ?  $K_{\text{SO}}=1,1 \cdot 10^{-10}$
12. Ile gramów jodku srebra rozpuści się w  $1 \text{ dm}^3$  nasyconego roztworu  $\text{CuI}$ ?  $K_{\text{SO}}=1,1 \cdot 10^{-12}$  ( $\text{CuI}$ ) i  $K_{\text{SO}}=8,3 \cdot 10^{-17}$  ( $\text{AgI}$ )
13. Oblicz, o ile i jak (wzrośnie czy zmaleje) zmieni się stęż. jonów srebra w r-rze nasyconym chlorku srebra (I) o obj.  $0,5 \text{ dm}^3$  po zmieszaniu go z taką samą objętością r-ru  $\text{HCl}$  o  $\text{pH}=6$  ( $pK_{\text{SO}}=9,75$ ).
14. Jaka będzie rozpuszczalność siarczku żelaza(II) w roztworze  $\text{KCl}$  o stężeniu  $0,01 \text{ mol/dm}^3$ ?
15. Jakie powinno być pH, aby w roztworze  $\text{CaCl}_2$  o stężeniu  $0,05 \text{ mol/dm}^3$  zaczął wytrącać się osad  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ?  $K_{\text{SO}}=5,5 \cdot 10^{-6}$
16. Ile moli jonów  $\text{Ba}^{2+}$  znajduje się w  $1 \text{ dm}^3$  nasyconego roztworu  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  o pH równym 13,5?  $K_{\text{SO}}=5,0 \cdot 10^{-3}$
17. Jakie powinno być najmniejsze stężenie jonów  $\text{Sr}^{2+}$ , aby z roztworu  $\text{NaF}$  o stężeniu  $0,01 \text{ mol/dm}^3$  zaczął wytrącać się osad  $\text{SrF}_2$ ?  $K_{\text{SO}}=2,5 \cdot 10^{-9}$
18. Obliczyć, czy wytrąci się osad  $\text{CrAsO}_4$  po zmieszaniu równych objętości roztworów  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$  i  $\text{Na}_3\text{AsO}_4$  o stężeniu  $0,01 \text{ mol/dm}^3$ ?  $K_{\text{SO}}=7,8 \cdot 10^{-21}$



**Projekt PO KL Warto poczuć chemię**

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

19. Do 1 dm<sup>3</sup> wody zawierającej 50mg jonów Cl<sup>-</sup> dodano 10cm<sup>3</sup> roztworu AgNO<sub>3</sub> o stężeniu 0,01mol/dm<sup>3</sup>. Czy wytrąci się osad AgCl oraz ile gramów AgCl pozostanie w roztworze?  $K_{SO}=1,78 \cdot 10^{-10}$
20. Roztwór HCl o stężeniu 0,5mol/dm<sup>3</sup> zawierający jony Sn<sup>2+</sup> i Pb<sup>2+</sup> wysycano H<sub>2</sub>S. Jakie stężenie obu jonów w g/dm<sup>3</sup> roztworu jest niezbędne do wytrącenia osadów SnS ( $K_{SO}=1,0 \cdot 10^{-25}$ ) i PbS ( $K_{SO}=2,5 \cdot 10^{-27}$ )?
21. Do 1 dm<sup>3</sup> roztworu zawierającego po 10mg jonów Ca<sup>2+</sup>, Sr<sup>2+</sup> i Ba<sup>2+</sup> dodawano kroplami roztwór H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Jaka będzie kolejność wytrącania siarczanów(VI) oraz stężenia jonów SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> potrzebne do zapoczątkowania wytrącania się osadów CaSO<sub>4</sub> ( $K_{SO}=9,1 \cdot 10^{-6}$ ), SrSO<sub>4</sub> ( $K_{SO}=3,2 \cdot 10^{-7}$ ) i BaSO<sub>4</sub> ( $K_{SO}=1,1 \cdot 10^{-10}$ )?
22. Roztwór ma stężenie 0,005 mol/dm<sup>3</sup> względem jonów Ca<sup>2+</sup> ( $K_{SO}=4,8 \cdot 10^{-9}$ ) i Ni<sup>2+</sup> ( $K_{SO}=1,3 \cdot 10^{-7}$ ). Do tego roztworu dodawano kroplami roztwór Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Podać, nie uwzględniając zmiany objętości roztworu, który z węglanów wytrąci się pierwszy.
23. Do 200 cm<sup>3</sup> r-ru Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> o stęż. 0,01M dodano 800 cm<sup>3</sup> r-ru KI o stęż. 0,01M. Czy w wyniku tej czynności wytrąci się osad PbI<sub>2</sub> ( $K_{SO}=2,4 \cdot 10^{-8}$ ) ?
24. Obliczyć stęż. jonów Mg<sup>2+</sup>, przy którym zaczyna się wytrącać osad Mg(OH)<sub>2</sub> z r-ru o pH=10 ( $K_{SOMg(OH)2}=3,4 \cdot 10^{-11}$ ).
25. Obliczyć, przy jakiej wartości pH zaczyna wytrącać się osad Mn(OH)<sub>2</sub> z r-ru o stęż. jonów Mn<sup>2+</sup> równym 0,004M ( $K_{SOMn(OH)2}=4,0 \cdot 10^{-15}$ ).
26. W jakiej objętości wody rozpuszcza się 4,66 mg BaCO<sub>3</sub>, jeśli iloczyn rozpuszczalności tego związku ma wartość  $1,0 \cdot 10^{-10}$ ?