

**Ćwiczenia laboratoryjne z przedmiotu nauczania:  
„Chemia Ogólna i Nieorganiczna”  
dla studentów I roku Kierunku Farmacja**

---

*Instrukcja wykonania ćwiczenia nr 5:  
Stała rozpuszczalności*

---

Opracowanie:  
dr n. farm. Andrzej Łazarenkow

**Łódź 2022**

## Podstawy teoretyczne

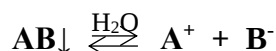
**Rozpuszczalność** nie jest pojęciem absolutnym, ponieważ w przypadku substancji umownie nazywanych jako „nierozpuszczalne” zawsze minimalna ich ilość znajduje się w roztworze nad osadem, tworząc w ten sposób *roztwór nasycony* i więcej danej substancji w danych warunkach (temperatury, ciśnienia i składu roztworu) w nim rozpuścić się nie da.

Rozpuszczalność jest procesem odwrotnym do strącania, zatem można przeprowadzić analogię:

**SUBSTANCJA ŁATWO ROZPUSZCZALNA = SUBSTANCJA TRUDNO STRĄCALNA**

**SUBSTANCJA TRUDNO ROZPUSZCZALNA = SUBSTANCJA ŁATWO STRĄCALNA**

Zakłada się, że trudno rozpuszczalne sole w roztworze nasyconym znajdują się w postaci zdysocjowanej na jony, które z kolei znajdują się w równowadze dynamicznej z formą niezdisocjowaną w swoim osadzie, przykładowo:



Z powyżej przedstawionej równowagi wynika, że w roztworze nasyconym zachodzą jednocześnie procesy rozpuszczania/dysocjacji cząsteczek osadu, jak również i asocjacji/strącania jonów z roztworu w postaci niezdisocjowanych cząsteczek. W danym przypadku, jak i dla każdej innej reakcji odwracalnej, można wyprowadzić wzór na stałą równowagi dynamicznej pomiędzy osadem  $AB\downarrow$  a jego jonami znajdującymi się w roztworze nasyconym:

$$K_{s,AB} = \frac{[A^+] \cdot [B^-]}{[AB\downarrow]}$$

Zważywszy na to, że stężenie  $AB\downarrow$  jest stałe i osad w rzeczywistości znajduje się poza roztworem, można go pominąć w wyrażeniu na stałą równowagi, dzięki czemu otrzymuje się właściwą **stałą rozpuszczalności**:

$$K_{s,AB} = [A^+] \cdot [B^-] = \text{const.}$$

Stała rozpuszczalności posiada niezmienną wartość przy ściśle określonych warunkach temperatury, ciśnienia i składu roztworu. Natomiast w zależności od typu substancji trudno rozpuszczalnej, wzór na  $K_s$  może wyglądać inaczej, a zatem i obliczanie rozpuszczalności osadu (S) będzie się odbywać na podstawie nieco innego wzoru:

| Typ substancji:      | AB                                    | A <sub>2</sub> B                                               | A <sub>3</sub> B                                                 |
|----------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Dysocjuje na:        | A <sup>+</sup> + B <sup>-</sup>       | 2A <sup>+</sup> + B <sup>2-</sup>                              | 3A <sup>+</sup> + B <sup>3-</sup>                                |
| K <sub>s</sub> =     | [A <sup>+</sup> ] · [B <sup>-</sup> ] | [A <sup>+</sup> ] <sup>2</sup> · [B <sup>2-</sup> ]            | [A <sup>+</sup> ] <sup>3</sup> · [B <sup>3-</sup> ]              |
| Ilość jonów:         | S + S                                 | 2S + S                                                         | 3S + S                                                           |
| Stężenie jonów:      | S · S = S <sup>2</sup>                | (2S) <sup>2</sup> · S<br>4S <sup>2</sup> · S = 4S <sup>3</sup> | (3S) <sup>3</sup> · S<br>27S <sup>3</sup> · S = 27S <sup>4</sup> |
| Rozpuszczalność (S): | $\sqrt{K_{s,AB}}$                     | $\sqrt[3]{\frac{K_{s,A_2B}}{4}}$                               | $\sqrt[4]{\frac{K_{s,A_3B}}{27}}$                                |

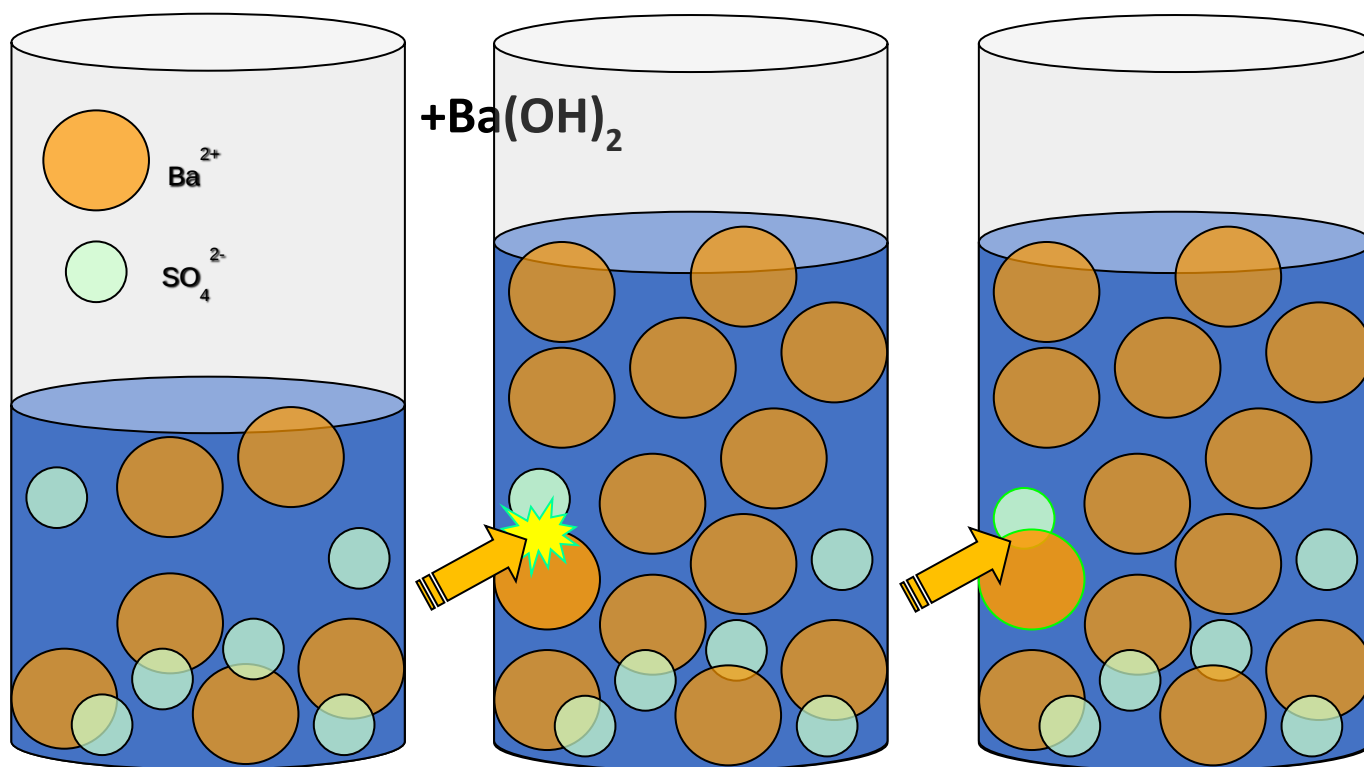
Reasumując:

$$K_{s,A_mB_n} = [A^{n+}]^m \cdot [B^{m-}]^n \quad S = \sqrt[m+n]{\frac{K_{s,A_mB_n}}{m^m \cdot n^n}}$$

Wiedząc o niezmienności stałej rozpuszczalności w danych warunkach, wprowadzenie do nasyconego roztworu jonu wspólnego z osadem będzie skutkowało przekroczeniem poprzez iloczyn stężeń jonów wartości  $K_s$  – spowoduje to wytrącenie z roztworu nasyconego nadwyżki jonów w postaci osadu. Jest to tzw. **WPLYW WSPÓLNEGO JONU** i na przykładzie  $\text{BaSO}_4$  wygląda on następująco:

$$K_{s,AB} = [A^+] \cdot [B^-] = \text{const.}$$

$$K_{s,\text{BaSO}_4} = [\text{Ba}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4^{2-}] = \text{const.}$$



$$K_{s,\text{BaSO}_4} = [\text{Ba}^{2+} + X] \cdot [\text{SO}_4^{2-} - Y] = \text{const.}$$

X – stężenie molowe w roztworze wprowadzonego  $\text{Ba}(\text{OH})_2$

Y – stężenie molowe powstałego  $\text{BaSO}_4$  po dodaniu  $\text{Ba}(\text{OH})_2$

Na powyższym wytłumaczeniu wpływu wspólnego jonu na wytrącanie się osadu z roztworu nasyconego zastosowano dwie zmienne: X i Y. W przypadku roztworów prostych, czyli składających się z jednej trudno rozpuszczalnej substancji w rozpuszczalniku, powyżej przedstawione wzory na stałą rozpuszczalności można uznać za poprawne. Natomiast w przypadku roztworów zawierających w sobie kilka substancji rozpuszczonych lub łatwo rozpuszczalnych sytuacja nieco się komplikuje, ponieważ każdy jon znajdujący się w roztworze ma swoją aktywność.

O ile w przypadku trudno rozpuszczalnej substancji roztwór zawiera śladowe ilości jej jonów – praktycznie nie występują interakcje pomiędzy taką ilością jonów, a więc można założyć brak aktywności jonowej w takim roztworze i współczynniki aktywności tych jonów przyjąć równymi 1. Dodanie innych jonów do takiego układu powoduje spadek aktywności jonowej w roztworze (jest ich więcej = robi się ciasniej) i współczynniki aktywności zatem są wyraźnie mniejsze niż poprzednio i należy je w równaniu uwzględnić:

$$K_{s,AB} = [A^+] \cdot [B^-] \cdot f_{A^+} \cdot f_{B^-} = \text{const.}$$

Im więcej jonów znajduje się w roztworze, tym większa jest jego moc jonowa i mniejsze są współczynniki aktywności jonów w nim zawartych. Po dodaniu obcych jonów do roztworu, współczynniki aktywności jonów substancji trudno rozpuszczalnej maleją. Stała rozpuszczalności nadal pozostaje niezmienna, a więc wzrastają stężenia jonów substancji trudno rozpuszczalnej w roztworze kosztem pewnej ilości osadu, który przez to ulega rozpuszczeniu. Z powyższego wynika, że **wprowadzenie obcych jonów do roztworu nasyconego substancji trudno rozpuszczalnej powoduje wzrost jej rozpuszczalności.**

Najczęściej obce jony wprowadza się do roztworu poprzez dodawanie soli, więc zjawisko to określa się jako „**EFEKT SOLNY**”.

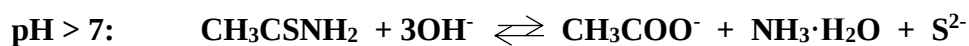
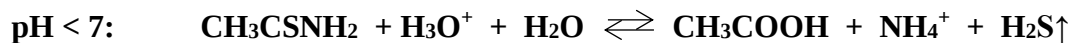
### **Należy pamiętać, że:**

- Wielkość  $K_s$  pozwala ocenić jak łatwo się rozpuszcza dana substancja;
- Dzięki znajomości  $K_s$  można obliczyć ile się rozpuści substancji w konkretnej objętości rozpuszczalnika, co ma duże znaczenie w wielu dziedzinach chemii i farmacji;
- Jeżeli iloczyn stężeń jonów w roztworze przekracza  $K_s$ , to oznacza, że nadmiar jonów przechodzi do osadu;
- Jeżeli iloczyn stężeń jonów w roztworze nie przekracza  $K_s$ , to wszystkie jony są w roztworze i w danych warunkach osad nie powstaje;
- Jeżeli wiadomym jest ile wynoszą iloczyny rozpuszczalności, to możliwym jest obliczenie czy wytrąci się produkt w postaci osadu czy jednak pozostanie on w roztworze;
- Wartość  $K_s$  wcale nie wskazuje bezpośrednio na rozpuszczalność substancji. Możliwym jest porównywanie  $K_s$  zamiast rozpuszczalności jedynie w przypadku tego samego typu substancji trudno rozpuszczalnych (np. porównywanie typu AB z AB,  $A_2B$  z  $A_2B$  itd.). W każdym innym przypadku należy porównywać rozpuszczalności osadów.

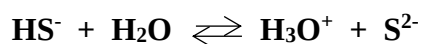
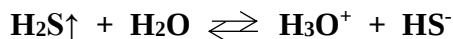
### **Znajomość rozpuszczalności i stałej rozpuszczalności osadów służy do:**

- CAŁKOWITEGO WYTRĄCANIA OSADÓW - oddzieleniu otrzymanego roztworu od osadu i ponownym dodaniu odczynnika strącającego do roztworu. Czynność tę należy powtarzać aż do całkowitego strącenia, czyli braku powstawania osadu po kolejnym dodaniu odczynnika strącającego. Proces ten stosuje się w celu otrzymania maksymalnie możliwej ilości osadu lub np. w celu eliminacji z roztworu zbytecznego/przeszkadzającego w dalszych reakcjach jonu.
- WYTRĄCANIA FRAKCJONOWANEGO – dalszej eliminacji wybranego jonu z roztworu lub otrzymaniu ściśle określonej ilości jonów w postaci osadu. W tym celu dodaje się innego odczynnika strącającego, za pomocą którego potrzebny jon można o wiele łatwiej wytrącić w postaci osadu (wartość  $K_s$  nowego osadu jest wyraźnie niższa). W zależności od celu wytrącania, nowy odczynnik strącający można dodawać do mieszaniny poreakcyjnej otrzymanego osadu i roztworu (np. w celu maksymalnie kontrolowanego związania jonu oraz kontroli jego stężenia w roztworze) lub do samego roztworu (np. w celu maksymalnie skutecznego usunięcia jonu z roztworu, gdy całkowitość strącenia osadu jest niewystarczająca, a wprowadzenie nowego jonu nie wpływa negatywnie na przebieg dalszych reakcji chemicznych). W tym drugim przypadku wytrącanie frakcjonowane polega na otrzymaniu dwóch różnych produktów zawierających wspólny jon.
- SELEKTYWNEGO WYTRĄCANIA OSADÓW – znajomość wartości  $K_s$  możliwych do otrzymania osadów z roztworu zawierającego mieszaninę jonów pozwala na takie dobranie odczynnika strącającego, że możliwym się staje najpierw wytrącenie osadu/ów o najmniejszej rozpuszczalności, natomiast w roztworze pozostanie reszta jonów lub jon do dalszych badań. Często proces ten stosuje się w chemii analitycznej w celu oddzielenia grupy kationów III od IV, ponieważ siarczki należące do tych grup analitycznych cechuje duża różnica w rozpuszczalności, a więc w łatwości strącania – najpierw po dodaniu AKT (amidu kwasu tiooctowego, tioacetamidu) w środowisku kwasowym (obniżenie pH sprzyja powolnemu, aczkolwiek lepiej kontrolowanemu uwalnianiu siarkowodoru w trakcie hydrolizy AKT) wytrąca się łatwiej strącalne (czyli trudniej rozpuszczalne) siarczki kationów metali należących do grupy III, natomiast po podwyższeniu pH możliwym stanie się wytrącenie trudniej strącalnych siarczków kationów metali należących do grupy IV.

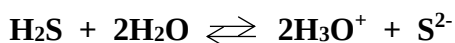
### Hydroliza AKT w zależności od pH roztworu:



Dysocjację powstającego siarkowodoru w wodzie można przedstawić następująco:



Zważywszy na to, że anion siarczkowy (będący produktem dysocjacji) jest ciągle zużywany w trakcie reakcji chemicznej wytrącania siarczków, równowaga dysocjacji jest wyraźnie przesunięta w stronę powstawania nowych ilości produktów, zatem umownie dysocjację można zapisać w postaci sumarycznej:



$$K = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^2 \cdot [\text{S}^{2-}]}{[\text{H}_2\text{S}]}$$

Z powyższej równowagi wynika, że obniżanie pH poprzez dodawanie jonów  $\text{H}_3\text{O}^+$  będących produktem reakcji będzie tę reakcję cofało, a co za tym idzie obniżało ilość powstającego jonu siarczkowego, przez co możliwym będzie wytrącenie jedynie osadów siarczków o bardzo małej rozpuszczalności (czyli np. siarczki kationów z grupy III). Alkalizacja środowiska reakcji będzie skutkowałą podwyższaniem pH poprzez neutralizację jonów  $\text{H}_3\text{O}^+$  za pomocą  $\text{OH}^-$ , a zatem równowaga reakcji zostanie przesunięta w stronę tworzenia nowych ilości produktów, więc stężenie jonów  $\text{S}^{2-}$  będzie wystarczająco wysokie nawet do wytrącenia trudno strącalnych siarczków metali z grupy IV.

| Związek                                        | Stała rozpuszczalności ( $K_s$ ) | Rozpuszczalność (S)  |                      |
|------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------|
|                                                |                                  | [mol/L]              | [g/L]                |
| AgBr                                           | $4,0 \cdot 10^{-13}$             | $6,3 \cdot 10^{-7}$  | $11,0 \cdot 10^{-4}$ |
| CH <sub>3</sub> COOAg                          | $4,4 \cdot 10^{-3}$              | $6,6 \cdot 10^{-2}$  | 11,0                 |
| AgCl                                           | $1,56 \cdot 10^{-10}$            | $1,3 \cdot 10^{-5}$  | $1,8 \cdot 10^{-3}$  |
| AgCN                                           | $2,2 \cdot 10^{-12}$             | $1,5 \cdot 10^{-6}$  | $4,0 \cdot 10^{-4}$  |
| Ag <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>               | $9,0 \cdot 10^{-12}$             | $1,3 \cdot 10^{-4}$  | $4,3 \cdot 10^{-2}$  |
| AgOH*                                          | $1,5 \cdot 10^{-8}$              | $1,2 \cdot 10^{-4}$  | $1,5 \cdot 10^{-2}$  |
| Ag <sub>2</sub> S                              | $1,6 \cdot 10^{-49}$             | $3,5 \cdot 10^{-17}$ | $8,7 \cdot 10^{-15}$ |
| AgCl                                           | $1,6 \cdot 10^{-10}$             | $1,3 \cdot 10^{-5}$  | $1,8 \cdot 10^{-3}$  |
| BaCO <sub>3</sub>                              | $8,1 \cdot 10^{-9}$              | $8,9 \cdot 10^{-5}$  | $1,8 \cdot 10^{-2}$  |
| BaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>                | $1,6 \cdot 10^{-7}$              | $4,0 \cdot 10^{-4}$  | $9,0 \cdot 10^{-3}$  |
| BaCrO <sub>4</sub>                             | $2,4 \cdot 10^{-10}$             | $1,5 \cdot 10^{-5}$  | $3,9 \cdot 10^{-3}$  |
| BaSO <sub>4</sub>                              | $1,1 \cdot 10^{-10}$             | $1,0 \cdot 10^{-5}$  | $2,5 \cdot 10^{-3}$  |
| CaCO <sub>3</sub>                              | $4,8 \cdot 10^{-9}$              | $6,9 \cdot 10^{-5}$  | $6,9 \cdot 10^{-3}$  |
| CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>                | $2,6 \cdot 10^{-9}$              | $5,1 \cdot 10^{-5}$  | $6,5 \cdot 10^{-3}$  |
| CaC <sub>4</sub> H <sub>4</sub> O <sub>6</sub> | $7,7 \cdot 10^{-7}$              | $8,8 \cdot 10^{-4}$  | $1,7 \cdot 10^{-1}$  |
| CaSO <sub>4</sub>                              | $6,2 \cdot 10^{-5}$              | $7,8 \cdot 10^{-3}$  | 2,0                  |
| Cd(OH) <sub>2</sub>                            | $2,0 \cdot 10^{-14}$             | $2,5 \cdot 10^{-3}$  | $1,7 \cdot 10^{-5}$  |
| CdS                                            | $3,6 \cdot 10^{-29}$             | $6,0 \cdot 10^{-15}$ | $8,6 \cdot 10^{-13}$ |
| CuS                                            | $8,5 \cdot 10^{-45}$             | $9,2 \cdot 10^{-23}$ | $8,8 \cdot 10^{-21}$ |
| MnS                                            | $1,4 \cdot 10^{-15}$             | $3,7 \cdot 10^{-8}$  | $3,2 \cdot 10^{-6}$  |
| PbCl <sub>2</sub>                              | $1,6 \cdot 10^{-5}$              | $1,6 \cdot 10^{-2}$  | 4,4                  |
| PbCrO <sub>4</sub>                             | $1,8 \cdot 10^{-14}$             | $1,3 \cdot 10^{-7}$  | $2,7 \cdot 10^{-5}$  |
| PbI <sub>2</sub>                               | $8,7 \cdot 10^{-9}$              | $1,3 \cdot 10^{-3}$  | $6,0 \cdot 10^{-1}$  |
| PbS                                            | $1,1 \cdot 10^{-23}$             | $3,3 \cdot 10^{-15}$ | $7,9 \cdot 10^{-13}$ |
| PbSO <sub>4</sub>                              | $1,0 \cdot 10^{-8}$              | $1,5 \cdot 10^{-4}$  | $4,5 \cdot 10^{-2}$  |
| ZnS                                            | $1,2 \cdot 10^{-23}$             | $3,5 \cdot 10^{-12}$ | $3,4 \cdot 10^{-10}$ |

Tabela 1: Wartości rozpuszczalności (S) oraz stałych rozpuszczalności ( $K_s$ ) wybranych związków trudno rozpuszczalnych zmierzone w temperaturze 25°C.

\* - związek niestrawny i szybko ulega rozkładowi ( $2\text{AgOH} \downarrow \rightarrow \text{Ag}_2\text{O} \downarrow + \text{H}_2\text{O}$ )

## 1. Wytrącanie frakcjonowane – porównywanie szybkości strącania się osadów na podstawie stałych rozpuszczalności ( $K_s$ )

Dane doświadczenie ma na celu porównywanie między sobą osadów o odmiennych wartościach stałej rozpuszczalności ( $K_s$ ) oraz szybkości ich wytrącania.

### Odczynniki, sprzęt, aparatura

- ✓ Probówki wirówkowe
- ✓ Probówki małe
- ✓ Roztwór 0,5 mol/L chlorku sodu ( $\text{NaCl}$ )
- ✓ Roztwór 0,1 mol/L azotanu srebra (I) ( $\text{AgNO}_3$ )
- ✓ Roztwór 0,5 mol/L jodku potasu ( $\text{KI}$ )
- ✓ Pipeta automatyczna
- ✓ Vortex do mieszania zawartości probówek

### Wykonanie doświadczenia

- Przeprowadzić próbę jakościową posiadanych odczynników, odmierzając do jednej małej probówki po 0,25 mL roztworów chlorku sodu i azotanu srebra(I), a do drugiej – po 0,25 mL roztworów jodku potasu i azotanu srebra(I). Zawartość probówek wymieszać za pomocą vortexu.
- Zanotować obserwacje i napisać odpowiednie reakcje chemiczne w postaci jonowej oraz cząsteczkowej. W jakim celu są wykonywane próby jakościowe? (należy to pytanie zadać na pierwszych ćwiczeniach)
- Wprowadzić do probówki wirówkowej po 0,5 mL roztworów jodku potasu i chlorku sodu oraz 1 mL roztworu azotanu srebra(I), po czym zawartość wymieszać za pomocą vortexu.
- Zanotować barwę osadu i napisać odpowiednie równanie reakcji chemicznej.
- Odwirować otrzymany osad i odrzucić, po czym do roztworu znad osadu dodać 1 mL roztworu azotanu srebra. Całość ponownie wymieszać i odwirować, a osad odrzucić. Opisane czynności powtarzać aż do uzyskania wyłącznie osadu o barwie białej.
- W oparciu o wartości stałych rozpuszczalności z Tabeli 1 wytłumaczyć zaobserwowaną kolejność strącania się osadów.
- Wszystkie wymagane równania reakcji oraz odpowiedzi na polecenia zawrzeć w zeszycie laboratoryjnym.

## 2. Wytrącanie frakcjonowane – porównywanie szybkości strącania się osadów na podstawie ich rozpuszczalności ( $S$ )

W danym doświadczeniu przeciwicona zostanie sytuacja, kiedy z porównywania stałych rozpuszczalności nie można skorzystać i należy przeprowadzać porównywanie wyłącznie na podstawie wartości rozpuszczalności ( $S$ ).

### Odczynniki, sprzęt, aparatura

- ✓ Probówki wirówkowe
- ✓ Probówki małe
- ✓ Roztwór 0,5 mol/L chlorku potasu ( $\text{KCl}$ )
- ✓ Roztwór 0,5 mol/L chromianu potasu ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ )
- ✓ Roztwór 0,1 mol/L azotanu srebra (I) ( $\text{AgNO}_3$ )
- ✓ Pipeta automatyczna
- ✓ Vortex do mieszania zawartości probówek

### Wykonanie doświadczenia

- Przeprowadzić próbę jakościową posiadanych odczynników, odmierzając do jednej małej probówki po 0,25 mL roztworu chlorku potasu i azotanu srebra (I), a do drugiej - po 0,25 mL roztworu chromianu potasu i roztworu azotanu srebra (I). Zawartość wymieszać za pomocą vortexu.
- Zanotować obserwacje i napisać odpowiednie równania reakcji w postaci jonowej oraz cząsteczkowej.
- Wprowadzić do próbówki wirówkowej po 1 mL roztworów jodku potasu i chlorku sodu oraz 1 mL roztworu azotanu srebra(I), po czym zawartość wymieszać za pomocą vortexu.
- Zanotować barwę osadu i napisać odpowiednie równanie reakcji chemicznej.
- Wprowadzić ostrożnie po ściance do próbówki 1 mL roztworu azotanu srebra (I).
- Zanotować barwę powstającego na górze osadu i napisać odpowiednie równanie reakcji chemicznej.
- Zawartość probówki wymieszać za pomocą vortexu, dodać ponownie taką samą ilość roztworu azotanu srebra (I), po czym zawartość probówki wymieszać, osad odwirować i odrzucić, a do roztworu znowu dodać 1 mL roztworu azotanu srebra (I) i zawartość probówki odwirować.
- Zanotować różnicę w barwie powstającego po pierwotnym odwirowaniu osadu a osadu powstającego z nowo otrzymanego roztworu.
- W oparciu o dane z Tabeli 1 wytłumaczyć, na czym polega kolejność strącania się osadów w tym doświadczeniu. W danej sytuacji należy porównywać wartości rozpuszczalności, czy wartości stałych rozpuszczalności? Odpowiedź uzasadnij i wytłumacz, na czym polega wytrącanie frakcjonowane.
- Wszystkie wymagane równania reakcji oraz odpowiedzi na polecenia zawrzeć w zeszycie laboratoryjnym.

### 3. Usuwanie jonów z roztworu na zasadzie różnicy w wartościach $K_s$ powstających osadów

Dane doświadczenie ma na celu pokazanie, że w roztworze nasyconym nad trudno rozpuszczalnym osadem mimo wszystko jest pewna pula jonów, która może przeszkadzać w dalszych zaplanowanych reakcjach chemicznych. Przeciwiczone zostanie usuwanie takich jonów z roztworu przy zastosowaniu całkowitego wytrącania osadu i wytrącania frakcjonowanego oraz zostanie porównana skuteczność obu metod.

### Odczynniki, sprzęt, aparatura

- ✓ Probówki wirówkowe
- ✓ Roztwór 0,5 mol/L azotanu ołowiu(II) ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ )
- ✓ Roztwór 0,5 mol/L chlorku sodu ( $\text{NaCl}$ )
- ✓ Roztwór 0,5 mol/L jodku potasu ( $\text{KI}$ )
- ✓ Pipeta automatyczna
- ✓ Vortex do mieszania zawartości probówek

### Wykonanie doświadczenia

- Wprowadzić do próbówki wirówkowej po 0,5 mL roztworów azotanu ołowiu(II) i chlorku sodu. Wytrącony osad odwirować i odrzucić, po czym sprawdzić całkowitość wytrącenia osadu, dodając do roztworu znad osadu 0,25 mL roztworu chlorku sodu, zawartość probówki wymieszać, a osad odwirować i odrzucić. Opisane czynności powtarzać aż do momentu, gdy z roztworu nie będzie już powstawał osad chlorku ołowiu(II). Następnie do roztworu dodać 0,25 mL roztworu jodku potasu.
- Zanotować obserwacje i napisać odpowiednie reakcje chemiczne w postaci jonowej oraz cząsteczkowej.
- Dlaczego podczas sprawdzania całkowitości wytrącenia osadu dodanie do roztworu nowej porcji odczynnika może spowodować strącenie kolejnej porcji osadu? Odpowiedź uzasadnij w oparciu o równowagę dynamiczną pomiędzy osadem a roztworem.
- Wyjaśnij w oparciu o wartości  $K_s$  z Tabeli 1 dlaczego z nasyconego roztworu chlorku ołowiu(II) wytrąca się osad jodku ołowiu(II)? Co skuteczniej usuwa jony z roztworu: całkowite wytrącanie osadu, czy wytrącanie frakcjonowane? Odpowiedź uzasadnij w oparciu o różnice w rozpuszczalności osadów.
- Wszystkie wymagane równania reakcji oraz odpowiedzi na polecenia zawrzeć w zeszycie laboratoryjnym.

#### 4. Różnice we wpływie wspólnego jonu i efektu solnego na mieszanie nasyconych roztworów soli

Ćwiczenie pokazowe, polegające na zbadaniu różnic w oddziaływaniu wspólnego i obcego jonu na nasycony roztwór soli (chloranu potasu).

##### Odczynniki, sprzęt, aparatura

- ✓ Probówki duże, wysokie
- ✓ Roztwór 0,5 mol/L chlorku potasu ( $\text{KCl}$ )
- ✓ Roztwór 0,5 mol/L azotanu potasu ( $\text{KNO}_3$ )
- ✓ Roztwór 0,5 mol/L chloranu potasu ( $\text{KClO}_3$ )
- ✓ Roztwór 0,5 mol/L chloranu sodu ( $\text{NaClO}_3$ )
- ✓ Roztwór 0,5 mol/L chlorku sodu ( $\text{NaCl}$ )

##### Wykonanie doświadczenia

- Do czterech probówek zawierających po 1 mL nasyconych roztworów zgodnie z Tabelą 2 wprowadzono po 1 mL roztworu chloranu potasu.
- W których probówkach powstał osad pod wpływem dodatku wspólnego jonu? Dla ułatwienia obserwacji, probówki należy porównywać na ciemnym tle.
- Na czym polega tzw. efekt solny i jaki ma wpływ wprowadzenie obcych jonów do nasyconego roztworu soli?
- Wszystkie wymagane odpowiedzi na polecenia zawrzeć w zeszycie laboratoryjnym.

| Nr | Nasycony roztwór wodny |
|----|------------------------|
| 1  | KCl                    |
| 2  | KNO <sub>3</sub>       |
| 3  | NaClO <sub>3</sub>     |
| 4  | NaCl                   |

Tabela 2: Numeracja probówek z roztworami soli

#### 5. Wpływ pH na rozpuszczalność soli słabych kwasów

Kwas szczawiowy jest słabym kwasem dwuprotonowym ( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ) i tworzy m.in. z jonami wapnia nierozpuszczalny osad. W tym doświadczeniu taki osad zostanie otrzymany i poddany działaniu słabego oraz mocnego kwasu, co ma wpływ na ilość wprowadzanych do roztworu jonów  $\text{H}_3\text{O}^+$  ze względu na odpowiednio odwracalny i nieodwracalny przebieg dysocjacji takich kwasów.

##### Odczynniki, sprzęt, aparatura

- ✓ Probówki wirówkowe
- ✓ Roztwór 0,5 mol/L chlorku wapnia ( $\text{CaCl}_2$ )
- ✓ Roztwór 0,5 mol/L szczawianu amonu ( $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ )
- ✓ Roztwór 1,0 mol/L kwasu solnego ( $\text{HCl}$ )
- ✓ Roztwór 1,0 mol/L kwasu octowego ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ )
- ✓ Papierki wskaźnikowe uniwersalne
- ✓ Pipeta automatyczna
- ✓ Vortex do mieszania zawartości probówek

## Wykonanie doświadczenia

- Do trzech probówek wirówkowych wprowadzić za pomocą pipety automatycznej po 0,5 mL roztworów chlorku wapnia i szczawianu amonu, zawartość probówek wymieszać za pomocą vortexu, osad odwirować, po czym roztwór odrzucić.
- Zanotować intensywność barwy oraz postać otrzymanego w obu probówkach osadu oraz zapisać jonowo przebieg danej reakcji.
- Do pierwszej probówki z osadem wprowadzić 2 mL roztworu wodnego kwasu solnego, a do drugiej – 2 mL roztworu wodnego kwasu octowego, do trzeciej (która jest próbą kontrolną) – 2 mL wody destylowanej. Zawartość probówek dokładnie wymieszać za pomocą vortexu, po czym w obu probówkach sprawdzić pH otrzymanych roztworów za pomocą uniwersalnych papierków wskaźnikowych. Zawartość probówek odwirować.
- Porównać ilość osadów oraz pH we wszystkich trzech probówkach. Napisać protolityczne reakcje dysocjacji kwasu solnego i kwasu octowego oraz równowagę dynamiczną pomiędzy osadem a roztworem dla szczawianu sodu oraz wzór na jego  $K_s$ .
- Na podstawie napisanych reakcji wytłumaczyć jak wpływa obniżenie pH na rozpuszczalność osadu szczawianu wapnia, wiedząc, że zastosowane kwasy istotnie różnią się mocą, a dodanie jonów  $H_3O^+$  powoduje przejście jonu szczawianowego w wodoroszczawianowy, co przesunęła równowagę dynamiczną pomiędzy osadem a roztworem w kierunku rozpuszczania osadu. Napisać odpowiednie równanie reakcji tworzenia jonu wodoroszczawianowego z jonu szczawianowego.
- Wszystkie wymagane równania reakcji oraz odpowiedzi na polecenia zawrzeć w zeszycie laboratoryjnym.

## 6. Wpływ stężenia jonów $H_3O^+$ i $OH^-$ na tworzenie się siarczków metali

W zależności od rozpuszczalności (stałych rozpuszczalności) osady siarczków metali umownie można podzielić na łatwo strącalne (przeważnie III grupa kationów) i trudno strącalne (IV grupa kationów i inne siarczki metali). Strącanie siarczków często przeprowadza się z zastosowaniem tioacetamidu (AKT), który w zależności od środowiska wytwarza mniej lub więcej jonów siarczkowych. W danym doświadczeniu zbadana zostanie zależność pomiędzy środowiskiem reakcji a ilością powstających jonów siarczkowych, wykorzystywanych przy otrzymywaniu osadów siarczków.

### Odczynniki, sprzęt, aparatura

- ✓ Probówka duża, wysoka lub wirówkowa (3 sztuki)
- ✓ Roztwór 0,5 mol/L siarczanu miedzi(II) ( $CuSO_4$ )
- ✓ Roztwór 0,5 mol/L siarczanu cynku ( $ZnSO_4$ )
- ✓ Roztwór 0,5 mol/L siarczanu manganu(II) ( $MnSO_4$ )
- ✓ Roztwór 1,5 mol/L kwasu siarkowego ( $H_2SO_4$ )
- ✓ Roztwór 0,5 mol/L tioacetamidu ( $CH_3CSNH_2$ , amid kwasu tiooctowego, AKT)
- ✓ Roztwór 0,5 mol/L octanu sodu ( $CH_3COONa$ )
- ✓ Roztwór 3,0 mol/L amoniaku ( $NH_3 \cdot H_2O$ )
- ✓ Papierki wskaźnikowe uniwersalne
- ✓ Pipeta automatyczna
- ✓ Łaźnia wodna
- ✓ Vortex do mieszania zawartości probówek

## Wykonanie doświadczenia

- Za pomocą pipety automatycznej odmierzyć do trzech naszykowanych probówek po 1 mL roztworów odpowiednio siarczanów miedzi(II), cynku oraz manganu(II), po czym probówki odpowiednio oznaczyć, a ich zawartość zakwasić do pH ok. 2 dodając roztworu kwasu siarkowego (odczyn sprawdzać za pomocą uniwersalnych papierków wskaźnikowych). Następnie do probówek wprowadzić po 1 mL roztworu tioacetamidu.
- Zawartość probówek wymieszać za pomocą vortexu i ogrzewać na łaźni wodnej w temperaturze minimum 90°C przez ok. 15 minut. Po upływie odmierzonego czasu probówkę za pomocą drewnianej łapy zabrać z łaźni wodnej.
- Zanotować barwę roztworów w probówkach po dodaniu tioacetamidu przed i po ogrzaniu. W której z probówek wytrącił się wyraźny osad i jaki on ma kolor oraz wartość  $K_s$ ? Napisz odpowiednią reakcję chemiczną.
- Do probówek, w których nie stwierdzono osadu dodać 0,25 mL octanu sodu.
- W której z probówek wytrącił się wyraźny osad i jaki on ma kolor oraz wartość  $K_s$ ? Napisz odpowiednią reakcję chemiczną. Dlaczego po dodaniu octanu sodu wytrącenie się osadu stało się możliwe?
- Do pozostałej probówki dodawać roztwór wodny amoniaku aż do uzyskania wyraźnie zasadowego odczynu i wytrącenia się osadu.
- Napisz odpowiednią reakcję chemiczną i określ, jaki on ma kolor osad oraz jego wartość  $K_s$ .
- Na podstawie równań i wzoru na stałą dysocjacji siarkowodoru w wodzie wytłumacz, jak wpływa wprowadzanie jonów  $H_3O^+$  i  $OH^-$  na równowagę tego procesu i powstawanie jonów siarczkowych, niezbędnych do otrzymywania siarczków metali.
- Porównując wartości  $K_s$  otrzymanych osadów wyprowadź zależność środowiska reakcji strącania siarczków od ich rozpuszczalności.
- Wszystkie wymagane równania reakcji oraz odpowiedzi na polecenia zawrzeć w zeszycie laboratoryjnym.

## 7. Wpływ pH na selektywne wytrącanie siarczków metali

W danym doświadczeniu zostanie przećwiczone selektywne wytrącanie osadów siarczków metali z mieszaniny ich jonów w jednej probówce.

### Odczynniki, sprzęt, aparatura

- ✓ Probówki wirówkowe
- ✓ Roztwór 0,5 mol/L siarczanu miedzi(II) ( $CuSO_4$ )
- ✓ Roztwór 0,5 mol/L siarczanu kadmu(II) ( $CdSO_4$ )
- ✓ Roztwór 1,5 mol/L kwasu siarkowego ( $H_2SO_4$ )
- ✓ Roztwór 0,5 mol/L tioacetamidu ( $CH_3CSNH_2$ , amid kwasu tiooctowego, AKT)
- ✓ Roztwór 3,0 mol/L amoniaku ( $NH_3 \cdot H_2O$ )
- ✓ Papierki wskaźnikowe uniwersalne
- ✓ Pipeta automatyczna
- ✓ Łaźnia wodna
- ✓ Vortex do mieszania zawartości probówek

## Wykonanie doświadczenia

- Za pomocą pipety automatycznej odmierzyć do naszykowanej probówki wirówkowej 0,25 mL roztworu siarczanu miedzi(II) i 0,5 mL roztworu siarczanu kadmu(II). Zawartość probówki wymieszać za pomocą vortexu. Następnie zawartość probówki zakwasić do pH ok. 2 za pomocą 1,5 mol/L kwasu siarkowego (odczyn sprawdzać za pomocą uniwersalnych papierków wskaźnikowych) i do probówki wprowadzić 1 mL roztworu tioacetamidu.
- Zawartość probówki ponownie wymieszać za pomocą vortexu i probówkę umieścić na łaźni wodnej na ok. 15 minut. Po upływie odmierzonego czasu probówkę za pomocą drewnianej łapy zabrać z łaźni wodnej.

- Zanotować wszystkie obserwacje oraz barwę otrzymanego osadu po ogrzaniu zawartości probówki na łaźni wodnej. Napisz odpowiednie równanie reakcji chemicznej oraz wartość  $K_s$  otrzymanego osadu.
- Otrzymany osad odwirować i do roztworu dodawać roztwór wodny amoniaku aż do uzyskania wyraźnie zasadowego odczynu i wytrącenia się kolejnego osadu.
- Zanotuj barwę otrzymanego osadu po ogrzaniu zawartości probówki na łaźni wodnej i napisz odpowiednią reakcję chemiczną oraz wartość  $K_s$  otrzymanego osadu.
- Na podstawie zanotowanych obserwacji, różnicy w wartościach  $K_s$  otrzymanych osadów oraz zmiany stężenia jonów siarczkowych w roztworze wraz ze zmianą pH wyjaśnij na czym polega selektywne wytrącanie osadów siarczków metali.
- Wszystkie wymagane równania reakcji oraz odpowiedzi na polecenia zawrzeć w zeszycie laboratoryjnym.

## 8. *Otrzymywanie osadów trudno rozpuszczalnych soli z roztworu nasyconego nad osadu soli o większej rozpuszczalności*

Dane doświadczenie ma na celu pokazanie, że w roztworze nasyconym nad trudno rozpuszczalnym osadem mimo wszystko jest wystarczająca ilość jonów, aby powstał z nich osad łatwiej strącalny niż osad otrzymany poprzednio. Pozwala to na porównanie rozpuszczalności i łatwości powstawania takich osadów.

### *Odczynniki, sprzęt, aparatura*

- ✓ Probówka wirówkowa (3 sztuki)
- ✓ Roztwór 0,5 mol/L azotanu ołowiu(II) ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ )
- ✓ Roztwór 0,5 mol/L chromianu potasu ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ )
- ✓ Roztwór 1,5 mol/L kwasu siarkowego ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )
- ✓ Roztwór 0,5 mol/L tioacetamidu ( $\text{CH}_3\text{CSNH}_2$ , amid kwasu tiooctowego, AKT)
- ✓ Roztwór 3,0 mol/L amoniaku ( $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )
- ✓ Papierki wskaźnikowe uniwersalne
- ✓ Pipeta automatyczna
- ✓ Łaźnia wodna
- ✓ Vortex do mieszania zawartości probówek

### *Wykonanie doświadczenia*

- Za pomocą pipety automatycznej odmierzyć do dwóch naszykowanych probówek po 0,25 mL roztworu azotanu ołowiu(II) oraz kwasu siarkowego. Zawartość probówek wymieszać za pomocą vortexu, odwirować i roztwór odrzucić.
- Do jednej probówki wprowadzić 1 mL roztworu tioacetamidu i dodawać roztwór wodny amoniaku aż do uzyskania wyraźnie zasadowego odczynu. Probówkę ogrzać na łaźni wodnej w temperaturze minimum  $90^\circ\text{C}$  przez ok. 15 minut. Po upływie odmierzonego czasu probówkę za pomocą drewnianej łapy zabrać z łaźni wodnej.
- Do drugiej probówki wprowadzić 1 mL roztworu chromianu potasu. Zawartość probówki wymieszać za pomocą vortexu, odwirować i roztwór odrzucić.
- Zanotować barwę wszystkich wytrąconych osadów i równania reakcji ich powstawania.
- Do osadu w drugiej probówce wprowadzić 1 mL roztworu tioacetamidu i dodawać roztwór wodny amoniaku aż do uzyskania wyraźnie zasadowego odczynu. Probówkę ogrzać na łaźni wodnej w temperaturze minimum  $90^\circ\text{C}$  przez ok. 15 minut. Po upływie odmierzonego czasu probówkę za pomocą drewnianej łapy zabrać z łaźni wodnej.
- Zanotować barwę wytrąconego osadu w probówce drugiej i napisać równanie zachodzącej reakcji chemicznej.
- Na podstawie obserwacji i uszeregowania wartości  $K_s$  otrzymanych osadów uzasadnij, który z otrzymanych osadów ma większą rozpuszczalność, a który najłatwiej się wytrąca?
- Wszystkie wymagane równania reakcji oraz odpowiedzi na polecenia zawrzeć w zeszycie laboratoryjnym.