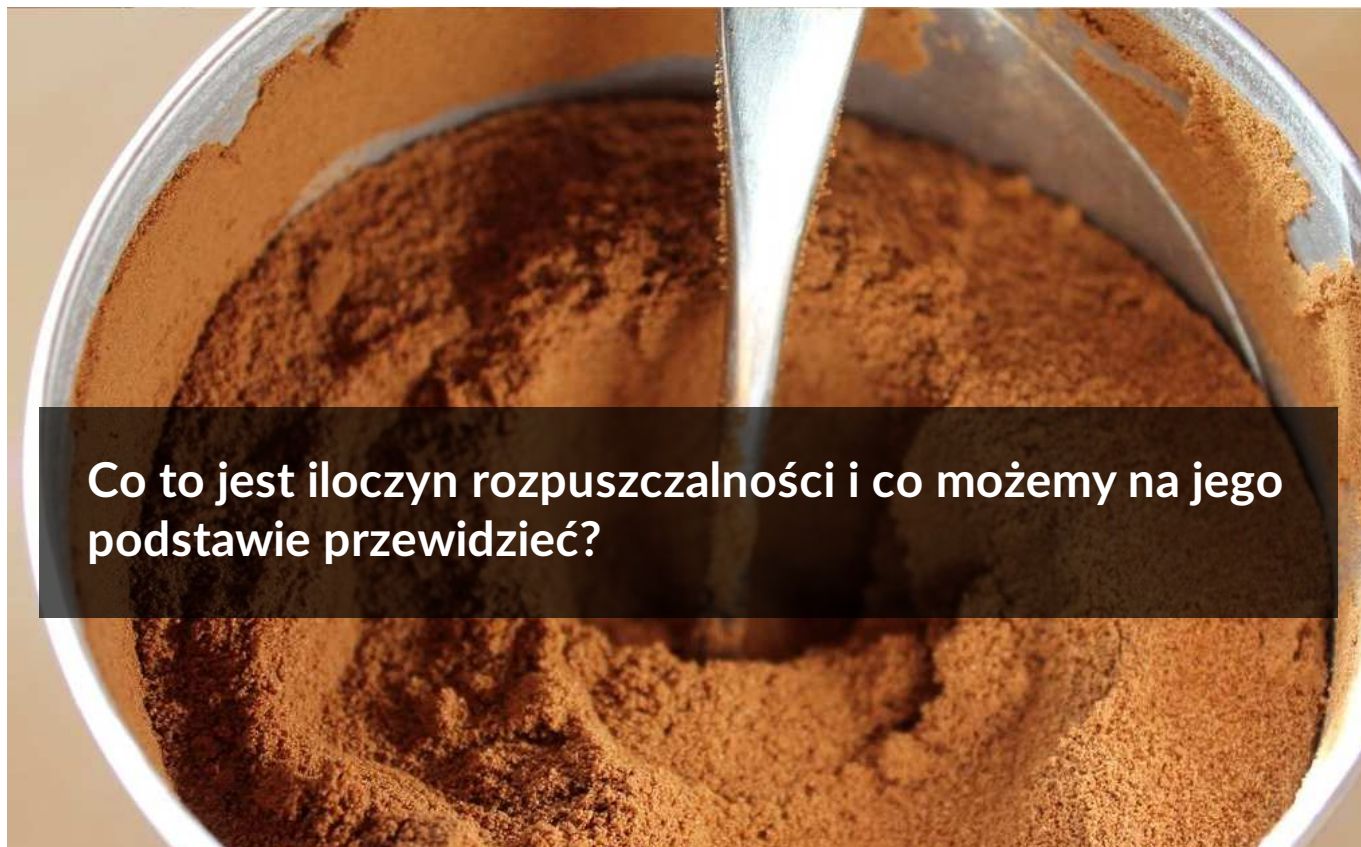




Co to jest iloczyn rozpuszczalności i co możemy na jego podstawie przewidzieć?

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Film samouczek](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



## Co to jest iloczyn rozpuszczalności i co możemy na jego podstawie przewidzieć?

Popularność kawy rozpuszczalnej wynika z prostoty jej przyrządzenia – proszek z łatwością rozpuszcza się nawet w zimnej wodzie.

Źródło: dostępny w internecie: [www.pixabay.com](http://www.pixabay.com), domena publiczna.

Zarówno w przyrodzie, jak i w życiu codziennym spotykamy się z substancjami, które są łatwo lub trudno rozpuszczalne. O ile w przypadku kawy rozpuszczalnej można powiedzieć, że jest dobrze rozpuszczalna w wodzie, o tyle w przypadku siarczanu(VI) baru ( $\text{BaSO}_4$ ) takiej możliwości już nie ma. Po umieszczeniu tej soli w wodzie tylko jej nieznaczna część się rozpuszcza, pozostając w ścisłej równowadze z nierozpuszczonym osadem. W określonych warunkach sól tę można wytrącić w postaci trudno rozpuszczalnego osadu poprzez dodanie do niej wspólnego jonu. Czy wiesz, o jakich warunkach mowa? Czy znasz pojęcie iloczynu rozpuszczalności? Czy wiesz, co można na jego podstawie przewidzieć?

### Twoje cele

- Zdefiniujesz pojęcie iloczynu rozpuszczalności.
- Opiszysz efekt wspólnego jonu.
- Przeanalizujesz wartości iloczynów rozpuszczalności wybranych soli i wodorotlenków oraz określisz warunki wytrącania się osadu.

- Wykonasz obliczenia związane z pojęciami: iloczyn jonowy, iloczyn rozpuszczalności, rozpuszczalność.

# Przeczytaj

---

## Iloczyn rozpuszczalności

Pewne związki chemiczne, w których występują wiązania jonowe, są trudno rozpuszczalne w wodzie. Ta niewielka ilość substancji jonowej (soli lub wodorotlenku), która ulegnie rozpuszczeniu, rozpada się całkowicie na jony. W naczyniu ustala się zatem równowaga pomiędzy stałym osadem nierozpuszczonej soli lub wodorotlenku, a jonami znajdującymi się w roztworze.

Równowagę procesu rozpuszczania trudno rozpuszczalnego osadu opisuje równanie:



Gdzie  $M^{x+}$  i  $X^{m-}$  oznaczają odpowiednio kation i anion trudno rozpuszczalnego związku o wzorze  $M_m X_x$ .

Wyrażenie na [stałą równowagi](#) tej reakcji możemy zapisać w postaci:

$$K = \frac{[M^{x+}]^m \cdot [X^{m-}]^x}{[M_m X_x]}$$

- $[M^{x+}]^m$  – stężenie molowe jonów  $M^{x+}$  w roztworze nasyconym;
- $[X^{m-}]^x$  – stężenie molowe jonów  $X^{m-}$  w roztworze nasyconym;
- $m$  – wartościowość reszty kwasowej (lub anionu wodorotlenkowego) równa liczbie kationów metalu;
- $x$  – wartościowość metalu równa liczbie anionów reszt kwasowych (w przypadku soli) lub liczbie anionów wodorotlenkowych (w przypadku wodorotlenków).

Powyższe równanie oznacza, że w tym samym czasie tyle samo jonów przechodzi z fazy stałej do roztworu, ile się ich osadza na powierzchni osadu. W wyrażeniu tym stężenie osadu  $[M_m X_x]$  jest wielkością stałą i przyjmuje wartość 1. Z tego względu stężenia ciał stałych w wyrażeniu na iloczyn rozpuszczalności można włączyć do stałej.

$$K \cdot [M_m X_x] = [M^{x+}]^m \cdot [X^{m-}]^x$$

$$K_{so} = [M^{x+}]^m \cdot [X^{m-}]^x$$

### Definicja: stała rozpuszczalności

$K_{so}$  (indeks so od ang. *solubility* „rozpuszczalność”) nazywana jest **iloczynem rozpuszczalności**,

$$K_{so} = [M^{x+}]^m \cdot [X^{m-}]^x$$

a wyrażenie  $[M^{x+}]^m \cdot [X^{m-}]^x$  – **iloczynem jonowym**, który jest iloczynem stężeń molowych kationu i anionu podniesionych do odpowiednich potęg  $m, x$ , oznaczających współczynniki stechiometryczne z równania procesu rozpuszczania osadu trudno rozpuszczalnego.

### Ważne!

Iloczyn rozpuszczalności  $K_{so}$  (oznaczany czasem jako  $I_r$ ) jest wartością stałą w określonych warunkach ciśnienia i temperatury oraz charakterystyczną dla danego układu. Wartości  $K_{so}$  wyznaczone są doświadczalnie i zestawiane tabelarycznie do dalszego wykorzystania. Wartości iloczynów rozpuszczalności związków trudno rozpuszczalnych podawane są bez jednostek. Natomiast podczas obliczania stężenia jonów w roztworze (np. na podstawie iloczynu rozpuszczalności), jednostką stężenia jest  $\frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$ .

Porównując wartości iloczynów rozpuszczalności substancji dysocjujących na tę samą liczbę kationów i tę samą liczbę anionów, możemy w łatwy sposób stwierdzić, która substancja jest lepiej rozpuszczalna w wodzie. Im mniejsza wartość iloczynu rozpuszczalności, tym rozpuszczalność mniejsza. W ten sposób możemy szybko stwierdzić, że chlorek srebra ( $I_r = 1,6 \cdot 10^{-10}$ ) jest lepiej rozpuszczalny od bromku srebra ( $I_r = 7,7 \cdot 10^{-13}$ ). Nie powinniśmy jednak porównywać w ten sposób rozpuszczalności substancji o różnej budowie, np.  $\text{SrCrO}_4$  i  $\text{PbI}_2$  – pomimo znaczącej różnicy wartości iloczynów rozpuszczalności ( $I_r = 3,5 \cdot 10^{-5}$ ;  $I_r = 1,4 \cdot 10^{-8}$ ) ich rozpuszczalności będą bowiem podobne (stężenia nasyconych roztworów wynoszą odpowiednio  $1,5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$  dla  $\text{PbI}_2$  i  $5,9 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$  dla  $\text{SrCrO}_4$ ).

---



Próbka strąconego osadu jodku ołowiu(II)  $\text{PbI}_2$

Źródło: Adam Rędzikowski, licencja: CC BY-SA 4.0.



Zawiesina wodorotlenku miedzi(II) w roztworze

Źródło: Chemik2001, licencja: CC BY-SA 4.0.

Podsumowując, aby ocenić, która substancja jest lepiej lub gorzej rozpuszczalna, należy pamiętać, że wartość  $K_{so}$  można porównywać do substancji o tym samym składzie jonowym (czyli do takich, które dysocjują na taką samą liczbę jonów).

## Kiedy wytrąca się osad?

Czy po zmieszaniu dwóch roztworów, zawierających jony soli (lub wodorotlenku), wytrąci się osad?

W sposób uproszczony można powiedzieć, że iloczyn rozpuszczalności  $K_{so}$  wskazuje, jakie stężenia jonów należy osiągnąć, aby wytrącić osad. Istnieją trzy przypadki, z którymi spotykamy się w praktyce laboratoryjnej i obliczeniach chemicznych.

1. Iloczyn stężeń jonowych trudno rozpuszczalnego [elektrolitu](#) (podniesionych do odpowiednich potęg) jest mniejszy od jego iloczynu rozpuszczalności. Wówczas

osad nie wytrąca się, a substancja całkowicie rozpuszcza się w wodzie ([roztwór nienasycony](#)).

$$K_{\text{SO}} > [M^{x+}]^m \cdot [X^{m-}]^x$$

2. Iloczyn stężeń jonów (podniesionych do odpowiednich potęg) trudno rozpuszczalnego elektrolitu równa się jego iloczynowi rozpuszczalności. Otrzymujemy [roztwór nasycony](#), układ znajduje się w stanie równowagi dynamicznej.

$$K_{\text{SO}} = [M^{x+}]^m \cdot [X^{m-}]^x$$

Co istotne, stężenie jednego z jonów może przyjmować dowolną wartość, pod warunkiem, że stężenie drugiego jonu będzie takie, aby spełniona była powyższa zależność.

3. Gdy iloczyn stężeń jonowych trudno rozpuszczalnego elektrolitu (podniesionych do odpowiednich potęg) w roztworze jest większy od iloczynu rozpuszczalności, to należy spodziewać się wytrącenia nadmiaru substancji:

$$K_{\text{SO}} < [M^{x+}]^m \cdot [X^{m-}]^x$$

Wytrącenie substancji stałej spowoduje bowiem zmniejszenie stężeń obu jonów w roztworze, a w konsekwencji spadek iloczynu stężeń jonów (podniesionych do odpowiednich potęg) do wartości równej iloczynowi rozpuszczalności. Jednakże roztwór nadal będzie nasycony.

Podczas wytrącania osadów korzysta się z **tabeli rozpuszczalności**, w której znajdują się dane obrazujące charakter rozpuszczalności powstającego związku (osadu) w wodzie. Jeśli powstająca substancja jest:

- **rozpuszczalna** – jej rozpuszczalność w wodzie jest **większa niż 1 gram na 100 gramów wody**;
- **trudno rozpuszczalna** – strąca się w postaci osadu przy odpowiednim stężeniu roztworów (zazwyczaj z roztworów stężonych); jej rozpuszczalność w wodzie

mieści się w granicach **0,1 – 1 grama na 100 gramów wody**;

- **nierozpuszczalna** – strąca się w postaci osadu z roztworów rozcieńczonych; jej rozpuszczalność w wodzie leży **powyżej 0,1 grama na 100 gramów wody**.

/Źródło danych dotyczących wartości rozpuszczalności: wikipedia.org, data dostępu: 16.03.2020 r./

**TABELA ROZPUSSCZALNOŚCI SOLI I WODOROTLENKÓW W WODZIE W TEMPERATURZE 25°C**

aniony	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Ba <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Ag <sup>+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Sn <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Mn <sup>2+</sup>
OH <sup>-</sup>				N	T		N	-	N	N	N	N	N	N	N
Cl <sup>-</sup>							T	N							
Br <sup>-</sup>							T	N							
I <sup>-</sup>							N	N	-						
S <sup>2-</sup>				T			N	N	N	N	-	N	N	N	N
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>															
SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>					N	N	N	N	-	-	-	T	N	-	N
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>					T	N	N	T							
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>				N	N	N	N	N	-	-	-	N	N	-	N
SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	-			N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>				N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>				T	N	N	N	N	N	N	N	N	-	N	N
CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>															

- substancja dobrze rozpuszczalna w wodzie  
 N - substancja praktycznie nierozpuszczalna w wodzie  
 T - substancja trudno rozpuszczalna w wodzie; wytrąca się przy odpowiednim stężeniu roztworu  
 - substancja rozkłada się w wodzie lub nie została otrzymana

**KOLORY POWSTAJĄCYCH OSADÓW**

jasnoczerwony, czerwony, brunatnoczerwony, brązowy, jasnobrązowy, jasnożółty, żółty, pomarańczowy, jasnozielony, zielony, szaroniebieski, błękitny, niebieski, jasnoróżowy, biały, czarny

### Tabela rozpuszczalności soli i wodorotlenków w wodzie

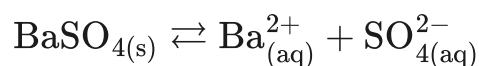
Źródło: GroMar Sp. z o.o., rozpuszczalność na podstawie: Mizerski W., *Tablice chemiczne*, Warszawa 2004; kolory osadów na podstawie: White W. E., *A Table of solubilities and colors of precipitates for use in a course in qualitative analysis*, „J. Chem. Educ.,” 1931., licencja: CC BY-SA 3.0.

### Przykład 1

Obliczanie stężeń jonów Ba<sup>2+</sup> oraz SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> w roztworze nasyconym siarczanu(VI) baru BaSO<sub>4</sub>

### Rozwiązanie:

Rozpuszczalność BaSO<sub>4</sub> w wodzie obrazuje poniższe równanie:



Jony pozostają z osadem w równowadze, a wyrażenie na iloczyn rozpuszczalności przyjmuje postać:

$$K_{\text{SO}} = [\text{Ba}^{2+}] [\text{SO}_4^{2-}]$$



Uproszczony schemat równowagi pomiędzy osadem a roztworem na przykładzie siarczanu(VI) baru (BaSO<sub>4</sub>)

Źródło: GroMar Sp. z o. o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Wartość iloczynu rozpuszczalności  $K_{\text{so}}$  w temperaturze 25°C dla siarczanu(VI) baru (BaSO<sub>4</sub>) wynosi  $1,1 \cdot 10^{-10}$ .

Źródło: Lipiec T., Szmal Z, *Chemia Analityczna z Elementami Analizy Instrumentalnej*, Warszawa 1980.

W wyniku rozpadu 1 mola BaSO<sub>4</sub> na jony powstaje 1 mol kationów baru i 1 mol anionów siarczanowych(VI), zatem można zapisać:

$$[\text{Ba}^{2+}] = [\text{SO}_4^{2-}]$$

$$K_{SO} = [\text{Ba}^{2+}] [\text{SO}_4^{2-}] = 1,1 \cdot 10^{-10}$$

Przyjmując stężenia jonów  $[\text{Ba}^{2+}] = [\text{SO}_4^{2-}]$ , jako równe  $x$ , otrzymujemy:

$$x^2 = [\text{Ba}^{2+}] [\text{SO}_4^{2-}]$$

$$x^2 = 1,1 \cdot 10^{-10}$$

$$x = \sqrt{1,1 \cdot 10^{-10}} = 1,05 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} \right]$$

**Odpowiedź:**

Stężenia jonów  $\text{Ba}^{2+}$  oraz  $\text{SO}_4^{2-}$  w roztworze nasyconym wynoszą  $1,05 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$ .

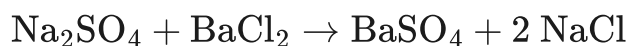
## Przykład 2

Czy po zmieszaniu  $5 \text{ cm}^3$  roztworu  $\text{BaCl}_2$  o stężeniu  $1 \cdot 10^{-2} \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$  oraz  $5 \text{ cm}^3$  roztworu  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  o stężeniu  $1 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$  wytrąci się osad  $\text{BaSO}_4$ ?

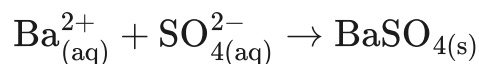
## Rozwiązanie

### Krok 1. Zapisanie równania reakcji:

Wyobraźmy sobie, że mieszamy ze sobą dwie substancje dobrze rozpuszczalne w wodzie ( $\text{BaCl}_2$  i  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), zawierające jony  $\text{Ba}^{2+}$  oraz  $\text{SO}_4^{2-}$ , w celu wytrącenia osadu  $\text{BaSO}_4$ . W trakcie mieszania roztworów zachodzi reakcja opisana równaniem:



Lub w postaci uproszczonej:



Po zmieszaniu roztworów  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  oraz  $\text{BaCl}_2$  sumaryczna objętość roztworu wynosi  $10 \text{ cm}^3$ . Zmianie ulegają stężenia roztworów, a co za tym idzie stężenia jonów.

## Krok 2. Obliczenie stężeń jonów po zmieszaniu roztworów $\text{Na}_2\text{SO}_4$ i $\text{BaCl}_2$

### 1. $\text{BaCl}_2$ :

- $C_{\text{początkowe}}(C_1) = 1 \cdot 10^{-2} \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} - C_{\text{końcowe}}(C_2) = ?$
- $V_{\text{początkowe}}(V_1) = 5 \text{ cm}^3 = 0,005 \text{ dm}^3$
- $V_{\text{końcowe}}(V_2) = 10 \text{ cm}^3 = 0,010 \text{ dm}^3$

Korzystamy ze wzoru na stężenie molowe:

$$C = \frac{n}{V}$$

Gdzie:

- $C$  – stężenie;
- $n$  – liczba moli;
- $V$  – objętość roztworu.

Przyjmujemy, że:

$$n = C \cdot V$$

Bierzemy pod uwagę fakt, że liczba moli  $\text{BaCl}_2$  przed zmieszaniem roztworów ( $n_1$ ) oraz po zmieszaniu roztworów ( $n_2$ ) nie ulega zmianie. Zmienia się wyłącznie objętość roztworu oraz jego stężenie. Zatem:

$$n_1 = n_2$$

Stężenie końcowe roztworu  $\text{BaCl}_2$  można obliczyć z zależności:

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$$

Po przekształceniu równania względem  $C_2$  otrzymujemy:

$$C_2 = \frac{C_1 \cdot V_1}{V_2}$$

$$C_2 = \frac{1 \cdot 10^{-2} \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} \cdot 0,005 \text{ dm}^3}{0,010 \text{ dm}^3} = 5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$$

$\text{BaCl}_2$  dysocjuje zgodnie z równaniem:



Stężenie jonów  $\text{Ba}^{2+}$  jest równe stężeniu roztworu  $\text{BaCl}_2$ :

$$[\text{BaCl}_2] = [\text{Ba}^{2+}] = 5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$$

2.  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ :

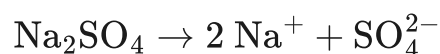
- $C_{\text{początkowe}}(C_1) = 1 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$
- $C_{\text{końcowe}}(C_2) = ?$
- $V_{\text{początkowe}}(V_1) = 5 \text{ cm}^3 = 0,005 \text{ dm}^3$
- $V_{\text{końcowe}}(V_2) = 10 \text{ cm}^3 = 0,010 \text{ dm}^3$

Podobnie obliczamy stężenie końcowe roztworu  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ :

$$C_2 = \frac{C_1 \cdot V_1}{V_2}$$

$$C_2 = \frac{1 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} \cdot 0,005 \text{ dm}^3}{0,010 \text{ dm}^3} = 5 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$$

$\text{Na}_2\text{SO}_4$  dysocjuje zgodnie z równaniem:



Stężenie jonów  $\text{SO}_4^{2-}$  jest równe stężeniu roztworu  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ :

$$[\text{Na}_2\text{SO}_4] = [\text{SO}_4^{2-}] = 5 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$$

**Krok 3.** Zapisanie wyrażenia na iloczyn rozpuszczalności  $K_{\text{so}}$

Wartość iloczynu rozpuszczalności  $K_{\text{so}}$  w temperaturze  $25^\circ\text{C}$  dla siarczanu(VI) baru ( $\text{BaSO}_4$ ) wynosi  $1,1 \cdot 10^{-10}$ .

*/Źródło: Lipiec T., Szmal Z., Chemia Analityczna z Elementami Analizy Instrumentalnej, Warszawa 1980./*

$$K_{\text{so}} = [\text{Ba}^{2+}] [\text{SO}_4^{2-}] = 1,1 \cdot 10^{-10}$$

Do wytrącenia osadu  $\text{BaSO}_4$  konieczne jest przekroczenie wartości iloczynu rozpuszczalności  $K_{\text{so}}$ , zatem iloczyn ze stężeń jonów  $\text{Ba}^{2+}$  i  $\text{SO}_4^{2-}$  musi być większy niż  $K_{\text{so}}$ .

$$[\text{Ba}^{2+}] [\text{SO}_4^{2-}] > K_{\text{so}}$$

Obliczamy wartość iloczynu jonowego z warunków zadania, podstawiając stężenia jonów z poprzedniego punktu (krok 2).

$$[\text{Ba}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}] = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^{-6} = 2,5 \cdot 10^{-8}$$

$$[\text{Ba}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}] > K_{\text{so}}$$

### Odpowiedź

Osad  $\text{BaSO}_4$  wytrąci się, ponieważ został przekroczony iloczyn rozpuszczalności  $K_{\text{so}}$ .

## Efekt wspólnego jonu

Rozpuszczalność  $\text{BaSO}_4$  w czystej wodzie będzie większa niż rozpuszczalność  $\text{BaSO}_4$  w roztworze  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Siarczan(VI) sodu dysocjując, dostarcza do roztworu jony  $\text{SO}_4^{2-}$ :



Jony te niejako zajmują miejsca przeznaczone dla jonów pochodzących z dysocjacji  $\text{BaSO}_4$ . Można więc powiedzieć, że roztwór posiada określoną ilość miejsc przeznaczonych dla jonów pochodzących z dysocjacji  $\text{BaSO}_4$ , czyli  $\text{Ba}^{2+}$  i  $\text{SO}_4^{2-}$ . Jeśli miejsca te zajmie ktoś inny, np. jony  $\text{SO}_4^{2-}$  pochodzące z innej substancji, to w konsekwencji mniejsza ilość  $\text{BaSO}_4$  będzie mogła ulec rozpuszczeniu w takim roztworze. Takie zjawisko opisujemy jako efekt wspólnego jonu.

## Rozpuszczalność

Znajomość iloczynu rozpuszczalności pozwala na obliczenie rozpuszczalności danej substancji, a mianowicie **rozpuszczalności molowej** ( $S$ )  $\left[ \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} \right]$ . Jest ona wyrażona jako liczba moli substancji, którą można rozpuścić w  $1 \text{ dm}^3$  roztworu. Rozpuszczalność molowa  $S$  równa jest zatem całkowitemu stężeniu molowemu substancji rozpuszczonej w roztworze nasyconym tej substancji.

### Przykład 3

Obliczanie rozpuszczalności molowej soli trudno rozpuszczalnej o znanym iloczynie rozpuszczalności

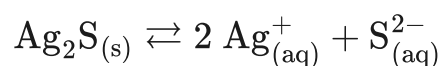
Oblicz rozpuszczalność molową soli  $\text{Ag}_2\text{S}$ , której iloczyn rozpuszczalności wynosi  $1,6 \cdot 10^{-49}$ .

/Źródło danych  $K_s$ : Lipiec T., Szmal Z., *Chemia Analityczna z Elementami Analizy Instrumentalnej*, Warszawa 1980./

---

### Rozwiązanie

Równowagę pomiędzy stałym  $\text{Ag}_2\text{S}$  a roztworem opisuje zależność:



Wyrażenie na iloczyn rozpuszczalności:

$$K_{so} = [\text{Ag}^+]^2 [\text{S}^{2-}] = 1,6 \cdot 10^{-49}$$

Z równania rozpuszczania soli wynika, że rozpuszczeniu  $S$  moli soli będzie towarzyszyć wprowadzenie do roztworu  $S$  moli jonów  $\text{S}^{2-}$  oraz  $2S$  moli jonów  $\text{Ag}^+$ :

$$[\text{Ag}^+] = 2S \text{ oraz } [\text{S}^{2-}] = S$$

Zatem po podstawieniu wartości  $S$  do wyrażenia na iloczyn rozpuszczalności otrzymujemy:

$$K_{so} = [2 S]^2 \cdot [S] = 4 S^2 \cdot S = 4 S^3$$

Przekształcamy wyrażenie względem  $S$ , co daje:

$$S = \sqrt[3]{\frac{K_s}{4}}$$

$$S = \sqrt[3]{\frac{1,6 \cdot 10^{-49}}{4}} = 3,4 \cdot 10^{-17} \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$$

### Odpowiedź

Rozpuszczalność molowa soli o wzorze  $\text{Ag}_2\text{S}$  wynosi  $3,4 \cdot 10^{-17} \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$ .

## Podsumowanie

Spójrz na mapę myśli dotyczącą iloczynu rozpuszczalności i zastanów się, co oznaczają umieszczone na niej pojęcia. W razie wątpliwości przejrzyj materiał ponownie.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

## Słownik

**stechiometryczna (stężeniowa) stała równowagi**

stała równowagi, w której stężenia równowagowe są podniesione do potęg odpowiadającym współczynnikom stechiometrycznym

### **reakcja odwracalna**

reakcja, która może zachodzić w obu kierunkach (w kierunku produktów lub substratów)

### **elektrolit**

(gr. *ἔλεκτρον* „bursztyn”, *λυτός* „rozpuszczalny”) związek chemiczny, który ulega procesowi rozpadu na jony pod wpływem wody i jest zdolny do przewodzenia prądu elektrycznego; gdy jest całkowicie zdysocjowany, mówimy o elektrolicie mocnym

### **roztwór nasycony**

roztwór, w którym w danych warunkach ciśnienia i temperatury zwykle nie da się rozpuścić większej ilości danej substancji

### **roztwór nienasycony**

roztwór, którego stężenie substancji rozpuszczonej jest mniejsze niż rozpuszczalność tej substancji w danych warunkach ciśnienia i temperatury

## **Bibliografia**

Encyklopedia PWN

Litwin M., Styka-Wlazło Sz., Szymońska J., *To jest chemia 1*, Warszawa 2013.

Hejwowska S., Marcinkowski R., Staluszka J. *Równowagi i procesy jonowe Chemia 3*, Gdynia 2006.

Skoog D. A., West D. M., Holler J. F., Crouch S. R.: *Podstawy Chemii Analitycznej*, t. 1, Warszawa, 2006.

Minczewski J., Marczenko Z., *Chemia analityczna. T.2. Chemiczne metody analizy ilościowej*, Warszawa 2011, wyd. 10.

Schweda E., *Chemia nieorganiczna tom 1 - wprowadzenie i analiza ilościowa*, Wrocław 2014.

Sienko M. J., Plane R. A. *Chemia podstawy i zastosowania*, Warszawa 1999.

Pazdro K., Rola-Noworyta A., *Akademicki zbiór zadań z chemii ogólnej*, Warszawa 2013.

# Film samouczek

---

## Polecenie 1

Zapoznaj się z poniższym filmem samouczkiem dotyczącym iloczynu rozpuszczalności. W trakcie oglądania filmu zastanów się, od czego zależy i jak zmienia się rozpuszczalność związków chemicznych w wodzie. Następnie rozwiąż ćwiczenia sprawdzające umieszczone pod filmem.

Trwa wczytywanie danych ..

**CO TO JEST ILOCZYN ROZPUSZCZALNOŚCI  
I CO MOŻEMY NA JEGO PODSTAWIE PRZEWIDZIEĆ?**

Film dostępny pod adresem </preview/resource/RuzFOzohPvht1>

Film samouczek pt. „Co to jest iloczyn rozpuszczalności i co możemy na jego podstawie przewidzieć?”

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Film dotyczy iloczynu rozpuszczalności oraz tego, co można przewidywać na jego podstawie.

### Ćwiczenie 1




W temperaturze 25°C do 200 cm<sup>3</sup> wodnego roztworu, w którym stężenie anionów fosforanowych(V) było równe  $4 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$ , dodano 200 cm<sup>3</sup> wodnego roztworu zawierającego 0,108 g kationów srebra(I). W oparciu o odpowiednie obliczenia oceń, czy po zmieszaniu opisanych roztworów wytrąci się osad fosforanu(V) srebra(I). Iloczyn rozpuszczalności fosforanu(V) srebra(I) w temperaturze 25°C wynosi  $8,89 \cdot 10^{-17}$ .

### Ćwiczenie 2

Wymienione w poniższej tabeli sole uszereguj od góry do dołu wraz ze wzrostem ich rozpuszczalności w wodzie.

	węglan baru	węglan niklu(II)	węglan żelaza(II)	węglan manganu(II)	węglan wapnia
$K_{so}$ $t = 25^\circ C$	$1,00 \cdot 10^{-8}$	$1,42 \cdot 10^{-7}$	$3,13 \cdot 10^{-11}$	$2,24 \cdot 10^{-11}$	$3,36 \cdot 10^{-11}$

# Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

## Ćwiczenie 1



Przyporządkuj rodzaje roztworów do odpowiednich iloczynów jonowych.

$$I_r > [\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{Cl}^-]$$

roztwór nasycony, osad nie wytrąca się

$$I_r = [\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{Cl}^-]$$

wytrąci się osad

$$I_r < [\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{Cl}^-]$$

roztwór nienasycony

## Ćwiczenie 2



Czy w wyniku reakcji  $\text{Ag}^+$  z  $\text{Cl}^-$  może wytrącić się osad?

Odpowiedź:

### Ćwiczenie 3



Uczeń otrzymał w probówce roztwór soli, zawierający jony  $\text{Na}^+$  i  $\text{SO}_4^{2-}$ . Roztworów jakiej soli musi użyć, aby wytrącić z roztworu jony siarczanowe(VI)? Może być więcej niż jedna prawidłowa odpowiedź.

$\text{NH}_4\text{Cl}$

$\text{BaNO}_3$

$\text{AgNO}_3$

### Ćwiczenie 4



Wybierz, które z poniższych wyrażeń prawidłowo opisuje wyrażenie na iloczyn rozpuszczalności jodku ołowiu(II)  $\text{PbI}_2$ .

$K_{\text{so}} = [\text{Pb}^{2+}] \cdot 2 [\text{I}^-]$

$K_{\text{so}} = [\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{I}^-]^2$

$K_{\text{so}} = [\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{I}_2]$

$K_{\text{so}} = [\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{I}_2]$

## Ćwiczenie 5



Zaznacz wyrażenia, które odnoszą się do pojęcia iloczynu rozpuszczalności  $K_{so}$ .

- Przekroczenie wartości  $K_{so}$  powoduje, że osad się rozpuszcza.
- Im mniejsza jest jego wartość, tym sól jest trudniej rozpuszczalna.
- Jego wartość mieści się w granicach wielkości rzędu od  $10^{-4}$  do  $10^{-5}$ .
- Jest wartością stałą w określonych warunkach ciśnienia i temperatury.

## Ćwiczenie 6



Poniżej przedstawiono wartości iloczynu rozpuszczalności wybranych wodorotlenków w temperaturze 25°C. Korzystając z poniższych informacji, oceń, który z wodorotlenków jest najlepiej rozpuszczalny w wodzie.

Przykład	Wzór wodorotlenku	$I_r$
A ○	$\text{Cu}(\text{OH})_2$	$1,99 \cdot 10^{-20}$
B ○	$\text{Fe}(\text{OH})_2$	$4,87 \cdot 10^{-17}$
C ○	$\text{Co}(\text{OH})_2$	$5,92 \cdot 10^{-15}$
D ○	$\text{Be}(\text{OH})_2$	$6,92 \cdot 10^{-22}$

## Ćwiczenie 7



W probówce rozpuszczone zostały następujące sole:  $\text{CuSO}_4$  i  $\text{FeCl}_3$ . Określ, czy możliwe jest rozdzielanie poprzez sączenie roztworów tych soli po dodaniu do próbówki  $\text{NaOH}$ .

**Odpowiedź:**

## Ćwiczenie 8



Zapisz wyrażenie na iloczyn rozpuszczalności soli o wzorze  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ .

Odpowiedź zapisz w zeszytcie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

## Ćwiczenie 9



Iloczyn rozpuszczalności chlorku srebra ( $\text{AgCl}$ ) wynosi  $1,6 \cdot 10^{-10}$ . Na podstawie znajomości pojęcia iloczynu rozpuszczalności oraz podanej wartości dla  $\text{AgCl}$  oceń, które zdania są prawdziwe, a które fałszywe:

	Prawda	Fałsz
Jeżeli iloczyn stężeń jonów $[\text{Ag}^+]$ oraz $[\text{Cl}^-]$ jest większy od $1,6 \cdot 10^{-10}$ , to roztwór jest nasycony.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Poprzez dodanie do nasyconego roztworu $\text{AgCl}$ niewielkiej ilości chlorku potasu ( $\text{KCl}$ ), możliwe jest wytrącenie osadu $\text{AgCl}$ .	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dodatek wody do nasyconego roztworu $\text{AgCl}$ powoduje, że osad rozpuszcza się, a iloczyn stężeń jonów $[\text{Ag}^+]$ i $[\text{Cl}^-]$ rośnie.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Układ znajduje się w stanie równowagi dynamicznej, gdy w roztworze nasyconym, będącym w kontakcie z osadem $\text{AgCl}$ , iloczyn stężeń jonów $[\text{Ag}^+]$ oraz $[\text{Cl}^-]$ wynosi $1,6 \cdot 10^{-10}$ .	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

### Ćwiczenie 10



Oblicz stężenie jonów wodorotlenkowych w roztworze nasyconym wodorotlenku wapnia  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , jeśli wiadomo, że iloczyn rozpuszczalności tego wodorotlenku wynosi  $5,02 \cdot 10^{-6}$ .

Rozwiązanie oraz odpowiedź zapisz w zeszytcie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

### Ćwiczenie 11



Oblicz wartość iloczynu rozpuszczalności węglanu wapnia ( $\text{CaCO}_3$ ) w temperaturze  $28^\circ\text{C}$ , którego rozpuszczalność wynosi  $5,6 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$ .

Rozwiązanie oraz odpowiedź zapisz w zeszytcie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

### Ćwiczenie 12



Oblicz rozpuszczalność molową soli o wzorze  $\text{Pb}(\text{IO}_3)_2$  ( $K_{\text{SO}} = 3,69 \cdot 10^{-13}$ ).

Rozwiązanie oraz odpowiedź zapisz w zeszytcie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

# Dla nauczyciela

---

## Scenariusz zajęć

**Autor:** Agata Jarszak-Tyl, Krzysztof Błaszczak

**Przedmiot:** chemia

**Temat:** Co to jest iloczyn rozpuszczalności i co możemy na jego podstawie przewidzieć?

**Grupa odbiorcza:** III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony; uczniowie III etapu edukacyjnego – kształcenie w zakresie rozszerzonym

## Podstawa programowa:

Zakres rozszerzony

VI. Reakcje w roztworach wodnych. Uczeń:

4) wykonuje obliczenia z zastosowaniem pojęć: stała dysocjacji, stopień dysocjacji, pH, iloczyn jonowy wody, iloczyn rozpuszczalności; stosuje do obliczeń prawo rozcieńczeń Ostwalda.

## Kształtowane kompetencje kluczowe:

- kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji;
- kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii;
- kompetencje cyfrowe;
- kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

## **Cele operacyjne:**

### **Uczeń:**

- definiuje pojęcia: iloczyn rozpuszczalności, efekt wspólnego jonu;
- analizuje wartości iloczynu rozpuszczalności i określa warunki wytrącania się osadu;
- wykonuje obliczenia związane z pojęciami: iloczyn jonowy, iloczyn rozpuszczalności, rozpuszczalność.

### **Strategie nauczania:**

- asocjacyjna.

### **Metody i techniki nauczania:**

- dyskusja dydaktyczna;
- ćwiczenia uczniowskie;
- analiza materiału źródłowego;
- film samouczek;
- technika zdań podsumowujących.

### **Formy pracy:**

- praca zbiorowa;
- praca w parach;
- praca indywidualna.

### **Środki dydaktyczne:**

- komputery z głośnikami z dostępem do Internetu;
- słuchawki;

- rzutnik multimedialny;
- zasoby multimedialne zawarte w e-podręczniku;
- tablica interaktywna/biała tablica.

## Przebieg zajęć

### Faza wstępna:

1. Zaciekawienie i dyskusja. Nauczyciel wyświetla okładkę e-materiału, po czym zadaje uczniom pytanie: Czy wszystkie substancje rozpuszczają się w ten sam sposób? Przykładowa odpowiedź: Istnieją substancje dobrze lub trudnorozpuszczalne. Czy po zmieszaniu dwóch roztworów, które zawierają jony soli (lub wodorotlenku), wytrąci się osad? Nauczyciel wyznacza ucznia do roli asystenta w celu przeprowadzenia doświadczenia: zmieszanie ze sobą dwóch substancji dobrze rozpuszczalnych w wodzie, która zawiera jony  $\text{Ba}^{2+}$  oraz  $\text{SO}_4^{2-}$  (np.  $\text{BaCl}_2$  i  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), w celu wytrącenia osadu  $\text{BaSO}_4$ .
2. Rozpoznawanie wiedzy wyjściowej uczniów. Uczniowie dyskutują z nauczycielem, podają przykłady substancji, które ich zdaniem dobrze się rozpuszczają w wodzie. Nauczyciel zadaje kolejne pytania: Kiedy strąca się osad? Co to jest rozpuszczalność? Czy znacie pojęcie iloczynu rozpuszczalności? Stopień posiadania wiedzy uczniów i odpowiedzi na pytania powinien być uwzględniony w pkt. 1 fazy realizacyjnej.
3. Ustalenie celów lekcji. Nauczyciel podaje temat zajęć i wspólnie z uczniami ustala cele.

### Faza realizacyjna:

1. Uczniowie zapoznają się z treściami w e-materiale związanymi z pojęciem iloczynu rozpuszczalności, po czym chętne osoby wyjaśniają pojęcie. Podają, do czego służy iloczyn rozpuszczalności, na czym polega efekt wspólnego jonu. Chętna osoba przedstawia na tablicy sposób zapisu iloczynu rozpuszczalności na przykładzie kilku substancji. Nauczyciel kontroluje poprawność zapisów i ewentualnie wyjaśnia niezrozumiałe kwestie. Następnie wyświetla tabelę z iloczynami rozpuszczalności i prosi o jego interpretację?

2. Nauczyciel wyświetla na tablicy interaktywnej medium bazowe – film samouczek „Co to jest iloczyn rozpuszczalności i co możemy na jego podstawie przewidzieć?”. Uczniowie układają do treści filmu, w trakcie jego projekcji, pytania, po czym zadają je sobie nawzajem na forum i udzielają odpowiedzi. Inni uczniowie weryfikują poprawność merytoryczną wypowiedzi. Następnie wszyscy rozwiązują ćwiczenia załączone do medium. Nauczyciel czuwa nad poprawnością rozwiązywanych zadań oraz tłumaczy ewentualne niezrozumiałe kwestie.
3. Nauczyciel odsyła uczniów do pracy samodzielnej nad zadaniami 1-5 w sekcji „Sprawdź się” w e-materiale. Uczniowie rozwiązują ćwiczenia, a w razie wątpliwości prowadzący wyjaśnia niezrozumiałe kwestie.

### **Faza podsumowująca:**

1. Nauczyciel sprawdza wiedzę uczniów, zadając przykładowe pytania skierowane do uczniów: Co to jest iloczyn rozpuszczalności? Do czego służy iloczyn rozpuszczalności? Co oznacza efekt wspólnego jonu?
2. Jako podsumowanie lekcji nauczyciel może wykorzystać zdania do uzupełnienia, które uczniowie gromadzą w swoim portfolio :
  - Przypomniałem/łam sobie, że...
  - Co było dla mnie łatwe...
  - Czego się nauczyłam/łem...
  - Co sprawiało mi trudność...

### **Praca domowa:**

Nauczyciel prosi uczniów o dokończenie ćwiczeń zawartych w e-materiale w sekcji „Sprawdź się”.

### **Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania multimediu:**

Film samouczek może być wykorzystany przez uczniów podczas wykonywania pracy domowej oraz podczas przygotowywania się do lekcji .

### **Materiały pomocnicze:**

1. Polecenia podsumowujące (nauczyciel przed lekcją zapisuje je na niewielkich kartkach):

- Co to jest iloczyn rozpuszczalności?
- Do czego służy iloczyn rozpuszczalności?
- Co oznacza efekt wspólnego jonu?

2. Doświadczenie chemiczne:

**Sprzęt i szkło laboratoryjne:** statyw do probówek, probówki, bagietka szklana, zlewka.

**Odczynniki chemiczne:** woda, chlorek baru, siarczan(VI) sodu.

3. Karty charakterystyk substancji.