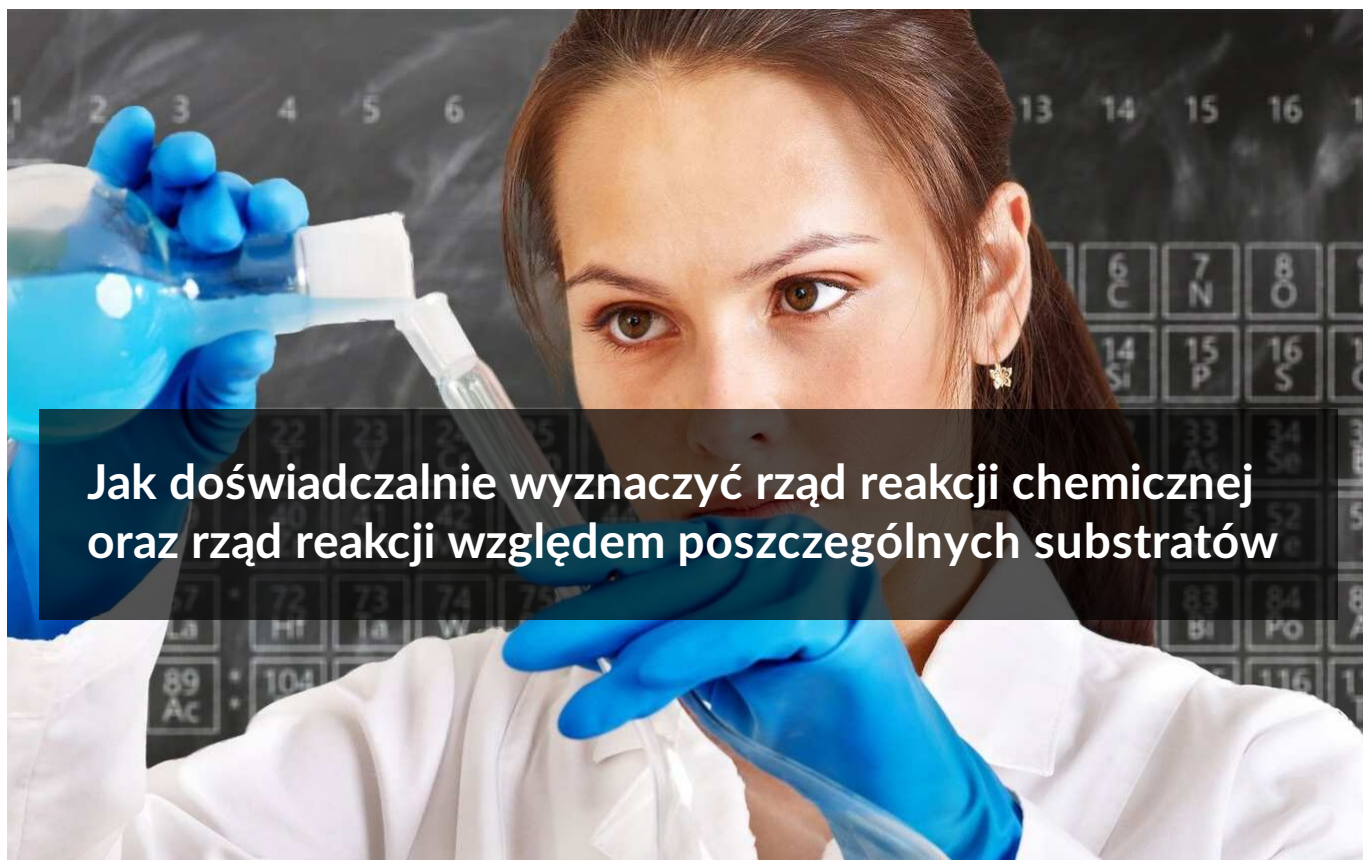




Jak doświadczalnie wyznaczyć rząd reakcji chemicznej oraz rząd reakcji względem poszczególnych substratów

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



Jak doświadczalnie wyznaczyć rząd reakcji chemicznej oraz rząd reakcji względem poszczególnych substratów

Dzięki kinetyce chemicznej badacze są w stanie określić złożoność danej reakcji chemicznej i poznać jej mechanizm.

Źródło: dostępny w internecie: www.pixabay.com, domena publiczna.

Wszystkie reakcje chemiczne to specyficzne procesy, których przebieg oraz mechanizm zależą od wielu różnych uwarunkowań i czynników. Badaniem tych wszystkich zależności zajmuje się dział chemii fizycznej, zwany kinetyką chemiczną. Jedną z analizowanych kwestii w tej dziedzinie jest ustalanie rzędu reakcji chemicznej. Czy wiesz, czym jest rzędowość reakcji chemicznej? A może wiesz, w jaki sposób można ją doświadczalnie wyznaczyć?

Twoje cele

- Zdefiniujesz pojęcie rzędowości reakcji chemicznej i opisziesz metody jej wyznaczania.
- Wyznaczysz rząd reakcji chemicznej na podstawie danych doświadczalnych, ilustrujących związek między stężeniem substratu a szybkością reakcji.
- Przeanalizujesz wykresy zależności stężenia molowego substratu od czasu dla reakcji o różnej rzędowości.
- Obliczysz ubytek masy substratu w trakcie trwania reakcji.

Przeczytaj

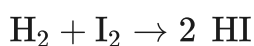
Czym jest kinetyka chemiczna?

Dział chemii fizycznej, który analizuje **szybkość reakcji** chemicznych w odniesieniu do różnych warunków, takich jak ciśnienie, temperatura, stężenie oraz natura reagentów, to **kinetyka chemiczna**. Dzięki niej, badacze są w stanie określić złożoność danej reakcji chemicznej i poznać jej **mechanizm**. Najważniejszymi pojęciami w tym dziale są:

- szybkość reakcji;
- cząsteczkowość reakcji;
- stała szybkości reakcji;
- rząd reakcji.

Czym jest rząd reakcji chemicznej?

Zgodnie z definicją, rząd reakcji chemicznej jest sumą wykładników potęgowych, w których występują stężenia reagentów w **równaniu kinetycznym** (na szybkość reakcji chemicznej). Równaniem kinetycznym nazywana jest zależność szybkości reakcji chemicznej od stężenia reagentów i temperatury. Dla reakcji syntezy jodowodoru, która to jest reakcją prostą i jednoetapową, przedstawioną równaniem reakcji:



równanie kinetyczne wygląda następująco:

$$v = k \cdot [\text{H}_2] \cdot [\text{I}_2]$$

gdzie:

- v – szybkość reakcji;
- k – stała szybkości reakcji;
- $[\text{A}]$, $[\text{B}]$, ... – stężenia substratów biorących udział w reakcji.

Współczynniki potęg dla substratów odpowiadają w tym przypadku współczynnikom stechiometrycznym reakcji, dlatego równanie możemy zapisać następująco (dla współczynników równych 1 ich zapis nie jest konieczny):

$$v = k \cdot [\text{H}_2]^1 \cdot [\text{I}_2]^1$$

Zapis ten wskazuje, że cząstkowy rząd reakcji względem H_2 wynosi 1, względem I_2 również wynosi 1, a całkowity rząd reakcji, będący sumą tych cząstkowych rzędów reakcji, wynosi 2 ($1 + 1 = 2$).

Powyższy przykład dotyczył prostej dwucząsteczkowej **reakcji elementarnej**, zachodzącej w jednym etapie. Jednak w praktyce nieczęsto zdarzają się tak proste przykłady. Reakcje chemiczne mogą być proste lub złożone. Prosta reakcja to taka, która przebiega jednoetapowo od substratów do produktów. Taki rodzaj nazywany jest reakcją elementarną. Reakcje złożone dzielą się na następne i równoległe. W reakcjach następnych, kolejne etapy zachodzą po kolei. Przykładem tego są procesy naturalnych szeregów promieniotwórczych. Reakcje równoległe polegają na jednoczesnym przebiegu kilku procesów, począwszy od tego samego substratu. Przykładem takiej reakcji jest nitrowanie fenolu.

Równania kinetyczne dla reakcji złożonych, składających się z kilku etapów, które ustala się doświadczalnie, często nie odzwierciedlają **równania stechiometrycznego reakcji**. Wówczas rzędowość reakcji nie musi być wartością całkowitą, jak dla reakcji prostych. Rząd reakcji jest to wartość ustalana doświadczalnie – w danych warunkach reakcji może przyjmować wartości liczb całkowitych lub ułamkowych, a nawet być zerowa.

Reakcje zerowego rzędu

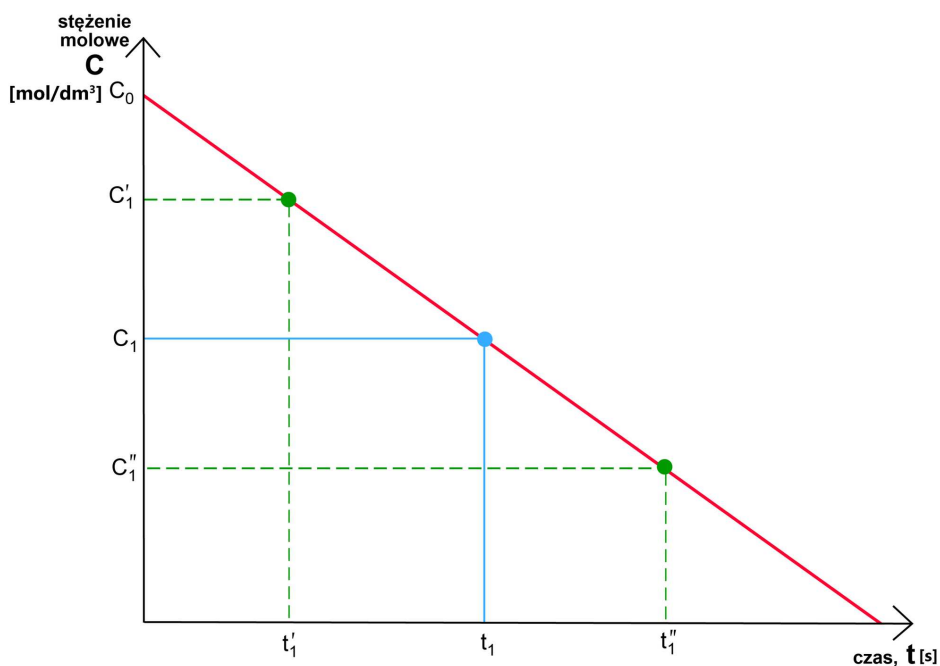
Reakcje zerowego rzędu to takie, których szybkość nie jest uzależniona od stężenia substratów (np. reakcje fotochemiczne). Równanie kinetyczne ma wówczas postać:

$$C - C_0 = -kt$$

gdzie:

- C - stężenie molowe substratu pozostałe po czasie t ;
- C_0 - początkowe stężenie molowe substratu;
- k - stała szybkości reakcji;
- t - czas przebiegu reakcji.

Z powyższego równania reakcji wynika, że reakcja zerowego rzędu ma liniowy ubytek stężenia substratu (lub liniowy przyrost stężenia produktu) w czasie reakcji. Wykres tej zależności przedstawiono poniżej.



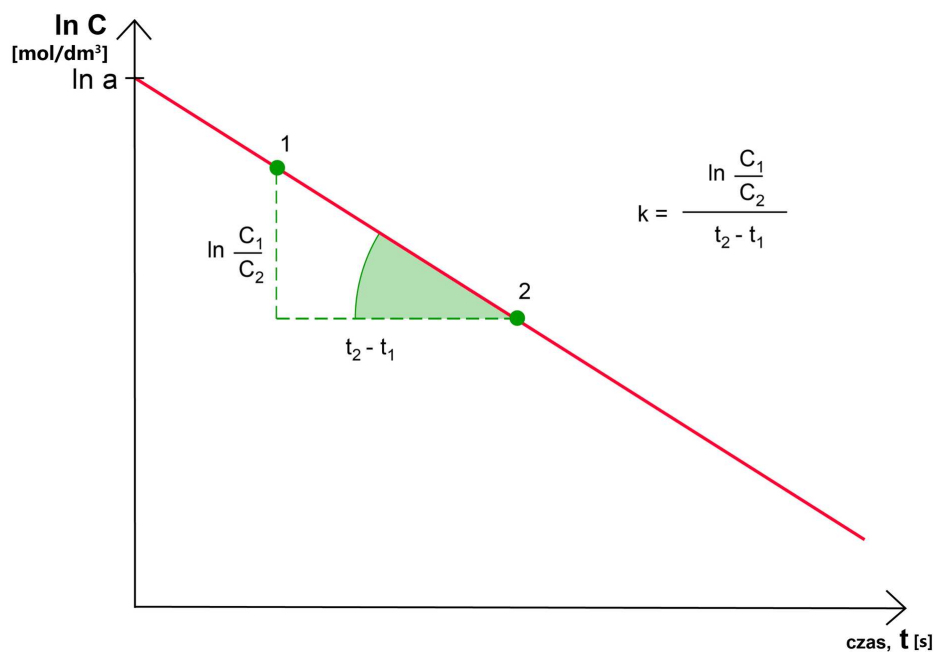
Reakcje pierwszego rzędu

Reakcjami I rzędu są reakcje, dla których rząd reakcji wynosi 1. Dla nich równanie kinetyczne ma postać:

$$\ln\left(\frac{C_0}{C}\right) = kt \quad \text{lub} \quad C = C_0 \cdot e^{-kt}$$

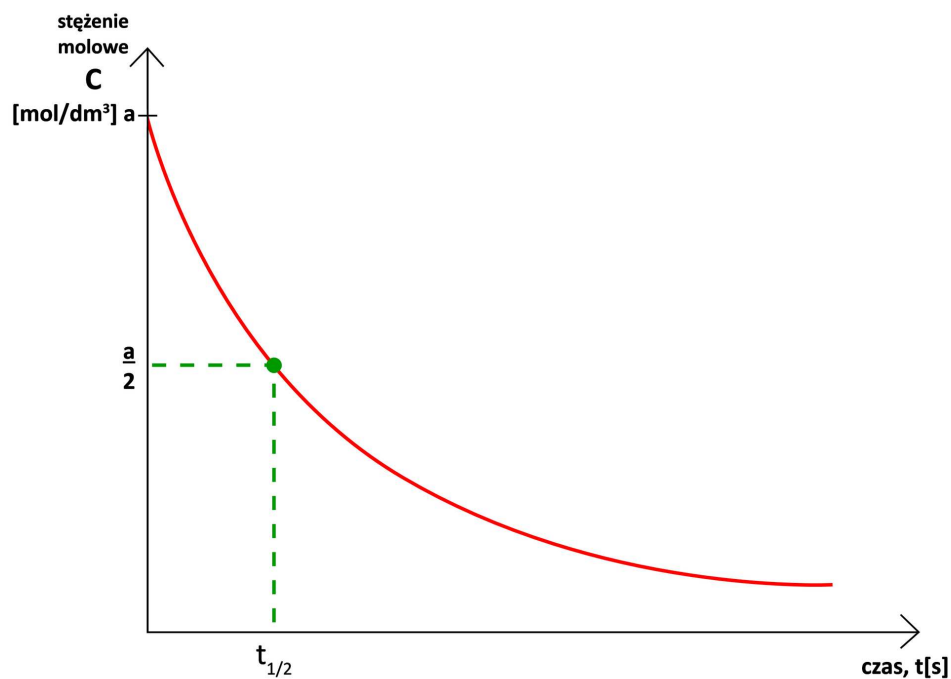
gdzie:

- C - stężenie molowe substratu pozostałe po czasie t ;
- C_0 - początkowe stężenie molowe substratu;
- k - stała szybkości reakcji;
- t - czas przebiegu reakcji;
- $\ln$ - logarytm naturalny o podstawie e (liczba Eulera), gdzie $e=2,718281828...$



Powyższe wyrażenie można również zapisać jako zależność masy (m_0 i m) liczby moli (n_0 i n) lub liczby cząsteczek (N_0 i N). Wówczas:

- $\ln\left(\frac{m_0}{m}\right) = kt$ lub $m = m_0 \cdot e^{-kt}$
- $\ln\left(\frac{n_0}{n}\right) = kt$ lub $n = n_0 \cdot e^{-kt}$
- $\ln\left(\frac{N_0}{N}\right) = kt$ lub $N = N_0 \cdot e^{-kt}$

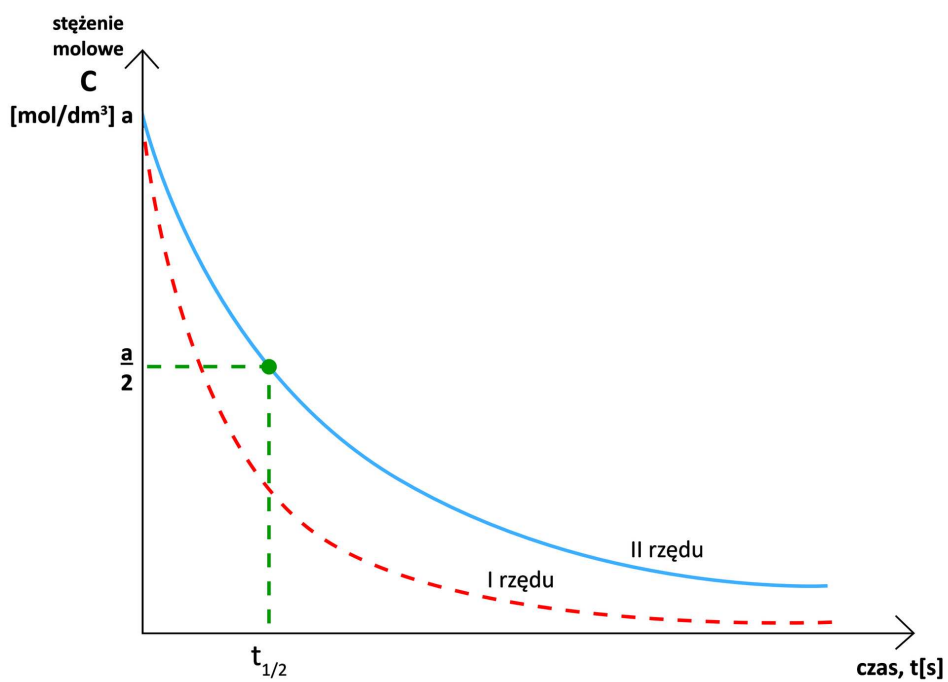
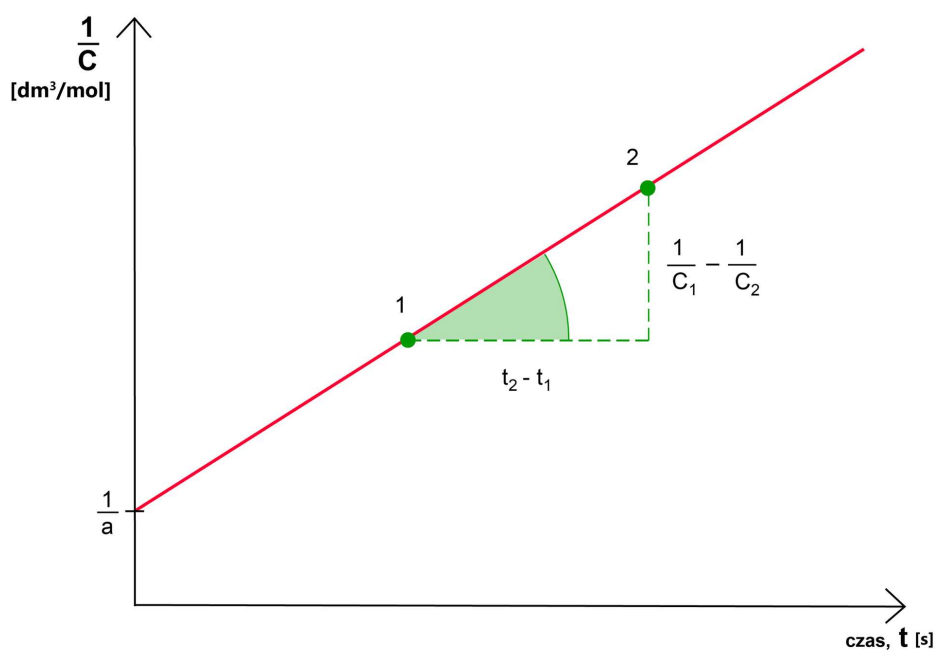


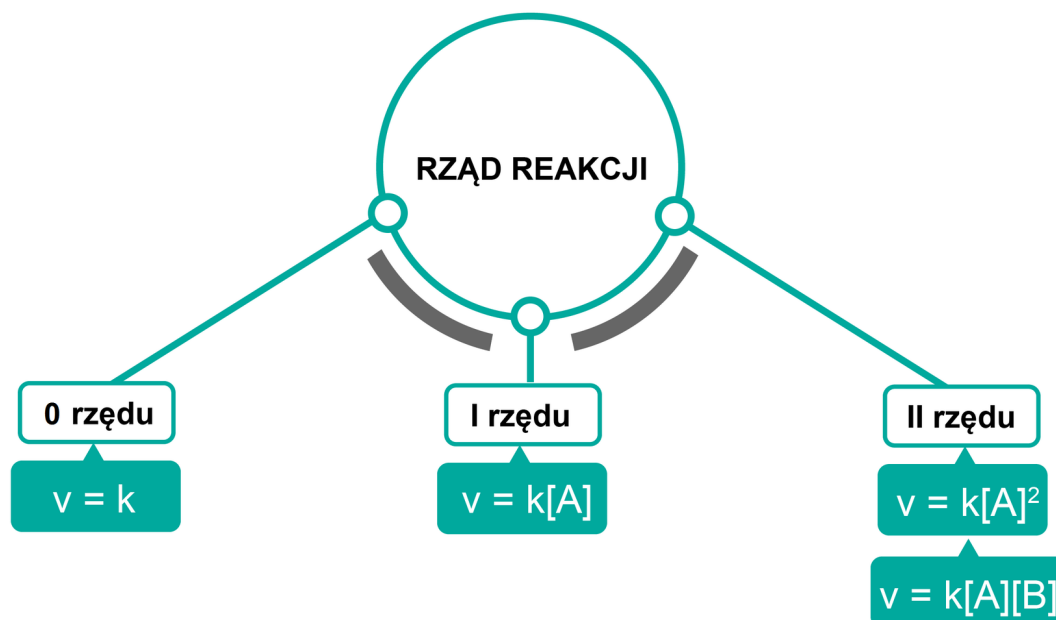
Reakcje drugiego rzędu

Reakcje II rzędu to takie, dla których rząd reakcji wynosi 2. Równanie kinetyczne ma wówczas postać:

$$\frac{1}{C} - \frac{1}{C_0} = kt$$

- C - stężenie molowe substratu pozostałe po czasie t ;
- C_0 - początkowe stężenie molowe substratu;
- k - stała szybkości reakcji;
- t - czas przebiegu reakcji.





Wzory na szybkość reakcji chemicznej dla reakcji o różnej rzędowości

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

Jakie są metody wyznaczania rzędu reakcji?

Znanych jest sześć metod wyznaczania rzędu reakcji chemicznej:

Metoda podstawienia do wzoru

Do wzorów na stałą szybkości reakcji k (dla różnych rzędów reakcji) podstawiane są dane doświadczalne C oraz t . Niezmienne (stałe) wartości k , obliczone z konkretnego wzoru, potwierdzają dany rząd reakcji.

Metoda graficzna

W tej metodzie rysuje się odpowiednie wykresy zależności liniowych (stężenia od czasu) dla reakcji o znanych rzędach:

- $C = f(t)$ - dla reakcji 0 rzędu;
- $\ln C = f(t)$ - dla reakcji I rzędu;
- $\frac{1}{C} = f(t)$ - dla reakcji II rzędu;
- $\frac{1}{C^2} = f(t)$ - dla reakcji III rzędu.

Metoda różnicowa van't Hoffa

Opiera się o zależność początkowej szybkości reakcji od stężenia początkowego substratu. Rząd reakcji wyznaczany jest ze wzoru:

$$n = \frac{\ln\left(-\frac{\Delta C_1}{\Delta t_1}\right) - \ln\left(-\frac{\Delta C_2}{\Delta t_2}\right)}{\ln C_1 - \ln C_2}$$

gdzie:

C_1, C_2 – to stężenia początkowe dla dwóch reakcji (różniących się stężeniem początkowym),

$-\frac{\Delta C}{\Delta t}$ – oznacza szybkość reakcji chemicznej.

Metoda izolacyjna Ostwalda

Metoda, w której wykorzystuje się szybkości początkowe, wyznaczane w kilku doświadczeniach tak, aby można było wyeliminować wpływ stężenia jednego substratu.

$$n = \frac{\ln v_1 - \ln v_2}{\ln C_1 - \ln C_2}$$

Metoda okresów półtrwania reakcji

Dla reakcji o różnej rzędowości zależność czasu połowicznej przemiany jest inna. Dla reakcji 0 rzędu czas ten jest wprost proporcjonalny do stężenia początkowego, dla reakcji I rzędu nie ma zależności, a dla reakcji II rzędu jest odwrotnie proporcjonalny. Metody te są często bardzo skomplikowane i wykorzystują bardzo złożony aparat matematyczny. Są jednak reakcje, dla których możemy nawet w szkolnym laboratorium wyznaczyć równanie kinetyczne – zastanów się wraz z nauczycielem, w jaki sposób doświadczalnie oraz jaką stosując metodę wyznaczyć równanie kinetyczne reakcji tiosiarczanu(VI) sodu z HCl.

Metoda całkowita Ostwalda i Zawidzkiego

Na podstawie pomiarów C oraz t dla dwóch reakcji o różnych stężeniach początkowych C_1, C_2 , rząd reakcji wyliczamy ze wzoru:

$$n = 1 + \frac{\ln \frac{t_1}{t_2}}{\ln \frac{C_2}{C_1}}$$

gdzie:

t_1, t_2 – to czasy połowkowe reakcji;

C_1, C_2 – to stężenia początkowe dla dwóch reakcji (różniących się stężeniem początkowym).

Słownik

stała szybkości

współczynnik proporcjonalności w równaniu kinetycznym, wyznaczany doświadczalnie, charakterystyczny dla danej reakcji chemicznej, zależny od temperatury i katalizatora; jednostkę stałej szybkości determinuje równanie kinetyczne w taki sposób, aby szybkość reakcji chemicznej wyrażona była w $\frac{\text{mol}}{\text{dm}^3 \cdot \text{s}}$; zależność jednostki stałej szybkości reakcji od rzędu reakcji przedstawia poniższy wzór (n - rząd reakcji):

$$\left[K_n \right] = \left[\frac{(\text{dm}^3)^{n-1}}{\text{mol}^{n-1} \cdot \text{s}} \right]$$

mechanizm reakcji

opis dokładnego przebiegu reakcji chemicznej wskazujący na produkty pośrednie powstające w trakcie reakcji

równanie kinetyczne

zależność szybkości reakcji chemicznej od stężenia reagentów i temperatury

reakcja elementarna

reakcja przebiegająca w jednym etapie od substratów do produktów

szybkość reakcji

zmiana stężenia molowego substratów lub produktów w jednostce czasu

cząsteczkowość reakcji

liczba cząsteczek biorąca udział w reakcji elementarnej

rzędowość reakcji

suma wykładników potęgowych w równaniu kinetycznym

kinetyka chemiczna

dział chemii fizycznej analizujący szybkość reakcji chemicznych w różnych warunkach ciśnienia, temperatury, stężenia i natury reagentów

równanie stechiometryczne reakcji

zapis przebiegu reakcji chemicznej, uwzględniający stechiometryczne ilości substratów i produktów reakcji (ilość odpowiednich pierwiastków po lewej stronie jest równa tej po prawej stronie)

Bibliografia

Bełtowska-Brzezinska M., *Podstawy kinetyki chemicznej. Skrypt do wykładów*, Poznań 2009.

Biełański A., *Podstawy chemii nieorganicznej*, Warszawa 1994.

Encyklopedia PWN

Hejwowska S., Marcinkowski R., *Chemia ogólna i nieorganiczna*, Gdynia 2005.

Film samouczek

Polecenie 1

Czy wiesz jakimi metodami wyznacza się rząd reakcji? Czy są to tylko metody doświadczalne? Zapoznaj się z samouczkiem i odpowiedz na pytania pod filmem.

Równanie kinetyczne

$$v = k \cdot [A]^x \cdot [B]^y \cdot [C]^z$$

gdzie:

- v – szybkość reakcji chemicznej (wyrażona w $\frac{\text{mol}}{\text{dm}^3 \cdot \text{s}}$);
- A, B, C – substraty biorące udział w reakcji chemicznej;
- $[A], [B], [C]$ – chwilowe stężenia molowe substratów (wyrażone w $\frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$);
- k – stała szybkości reakcji (wyznaczona doświadczalnie dla danej reakcji chemicznej w danej temperaturze; wyrażana w różnych jednostkach, w zależności od postaci równania kinetycznego).

Film dostępny pod adresem </preview/resource/R19GK9dfM24K0>

Film samouczek pt. „Jak doświadczalnie wyznaczyć rząd reakcji chemicznej oraz rząd reakcji względem poszczególnych substratów”

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

Film nawiązujący do treści materiału dotyczącej wyznaczania rzędów reakcji chemicznych oraz rzędów reakcji względem poszczególnych substratów.

Ćwiczenie 1

Pewna reakcja chemiczna przebiega zgodnie z równaniem:



W poniższej tabeli zestawiono wartości szybkości opisanej reakcji chemicznej, dla różnych stężeń początkowych jej substratów w stałej temperaturze.

nr pomiaru	stężenie początkowe substratów $\left[\frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} \right]$			początkowa szybkość reakcji $\left[\frac{\text{mol}}{\text{dm}^3 \cdot \text{s}} \right]$
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	
1	0,1	0,1	0,1	$1,3 \cdot 10^{-6}$
2	0,1	0,2	0,1	$1,3 \cdot 10^{-6}$
3	0,1	0,1	0,2	$2,6 \cdot 10^{-6}$
4	0,2	0,1	0,1	$5,2 \cdot 10^{-6}$

W oparciu o dane zawarte w tabeli:

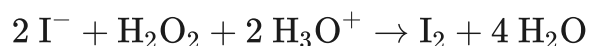
1. Wyznacz rząd reakcji względem każdego z substratów.
2. Oblicz sumaryczny rząd reakcji.
3. Zapisz równanie kinetyczne reakcji.
4. Oblicz stałą szybkości tej reakcji.

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

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Ćwiczenie 2

Reakcja utleniania anionów jodkowych, za pomocą nadtlenu wodoru w środowisku kwasowym, przebiega wg równania:



Badano zależność pomiędzy początkową szybkością opisanej reakcji a zmianami początkowych stężeń jej substratów. Wyciągnięto następujące wnioski:

- jeżeli stężenie molowe anionów jodkowych wzrasta trzykrotnie (przy niezmiennych stężeniach molowych nadtlenu wodoru i jonów oksoniowych), szybkość reakcji wzrasta trzykrotnie;
- jeżeli stężenie molowe nadtlenu wodoru wzrasta dwukrotnie (przy niezmiennych stężeniach molowych jonów jodkowych i jonów oksoniowych), szybkość reakcji wzrasta czterokrotnie;
- jeżeli stężenie molowe jonów oksoniowych wzrasta czterokrotnie (przy niezmiennych stężeniach molowych nadtlenu wodoru i jonów jodkowych), szybkość reakcji nie ulega zmianie.

Na podstawie zapisanych wniosków:

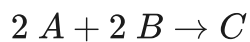
1. Wyznacz rzędy reakcji względem każdego z jej substratów.
2. Oblicz sumaryczny rząd reakcji.
3. Napisz równanie kinetyczne opisanej reakcji chemicznej.

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

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Ćwiczenie 3

W poniższej tabeli zestawiono dane doświadczalne dotyczące reakcji chemicznej, przebiegającej wg równania:



nr pomiaru	stężenie początkowe substratów $\left[\frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} \right]$		początkowa szybkość reakcji $\left[\frac{\text{mol}}{\text{dm}^3 \cdot \text{s}} \right]$
	<i>A</i>	<i>B</i>	
1	0,08	0,04	$1,28 \cdot 10^{-4}$
2	0,04	0,06	$3,20 \cdot 10^{-5}$
3	0,08	0,02	$1,28 \cdot 10^{-4}$
4	0,02	0,06	$8,00 \cdot 10^{-6}$

Na podstawie danych zawartych w tabeli, spośród poniższych stwierdzeń wybierz i zaznacz tylko te, które są prawdziwe:

☐

Sumaryczny rząd reakcji wynosi 2, ponieważ rząd reakcji względem substratu *A* jest taki sam, jak rząd reakcji względem substratu *B*.

- ☐ Stała szybkości tej reakcji ma wartość $0,02 \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3 \cdot \text{s}}$.
- ☐ Szybkość reakcji zależy od stężenia substratu *A*, ale nie zależy od stężenia substratu *B* w układzie.
- ☐ Stała szybkości tej reakcji ma wartość $0,02 \frac{\text{dm}^3}{\text{mol} \cdot \text{s}}$.
- ☐ Szybkość reakcji zależy od stężenia substratu *B*, ale nie zależy od stężenia substratu *A* w układzie.
- ☐ Szybkość reakcji jest proporcjonalna do stężenia substratu *B*.
- ☐ Szybkość reakcji jest proporcjonalna do stężenia substratu *A*.
- ☐ Sumaryczny rząd reakcji wynosi 2, ponieważ rząd reakcji względem substratu *A* jest równy 2, a rząd reakcji względem substratu *B* jest równy 0.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Dopasuj odpowiednie równanie kinetyczne do reakcji o wskazanym rzędzie.

0 rzędu

$$v = k$$

I rzędu

$$v = k[A]$$

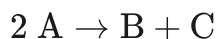
II rzędu

$$v = k[A]^2$$

Ćwiczenie 2



Dla podanej poniżej reakcji określ cząsteczkowość, rząd reakcji oraz równanie kinetyczne. Załóż, że reakcja jest jednoetapowa i prosta.



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

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Ćwiczenie 3



Zdefiniuj pojęcie rzędu reakcji chemicznej.

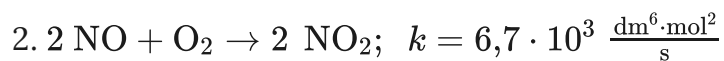
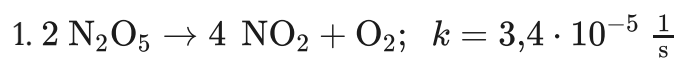
Odpowiedź zapisz w zeszycie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Ćwiczenie 4



Na podstawie poniższych równań reakcji i stałych szybkości reakcji, określ rzędowość reakcji.



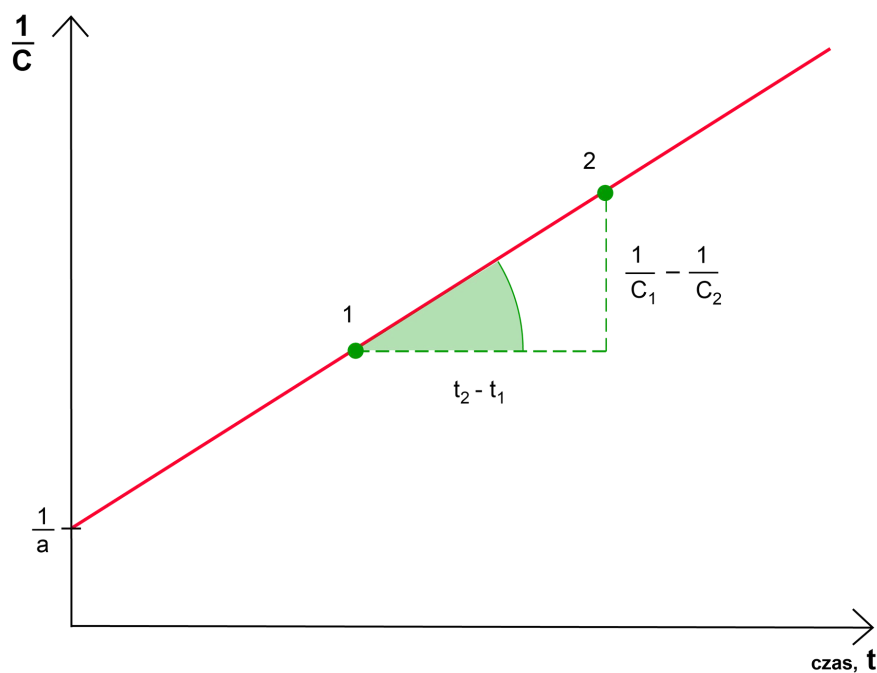
Rozwiązanie oraz odpowiedź zapisz w zeszycie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Ćwiczenie 5



Wiedząc, że stężenie początkowe tlenku azotu(IV) w reakcji jego rozkładu wynosiło $1,22 \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$, oblicz czas, jaki jest potrzebny do osiągnięcia przez niego stężenia $0,22 \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$. Stała szybkości dla tej reakcji to $0,54 \frac{\text{dm}^3}{\text{mol} \cdot \text{s}}$.



Źródło: GroMar Sp. z o.o., Joanna Kośmider, dostępny w internecie: pl.wikipedia.org, licencja: CC BY-SA 3.0.

Na podstawie wykresu ustal, jakiego rzędu jest to reakcja.

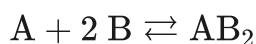
Rozwiązanie oraz odpowiedź zapisz w zeszycie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Ćwiczenie 6



Pewnej reakcji chemicznej przebiegającej w fazie gazowej, zgodnie z równaniem:



można przypisać równanie kinetyczne postaci:

$$v = k[A] \cdot [B]^2$$

W czasie pomiarów kinetyki reakcji, w zbiorniku o objętość 2 dm^3 umieszczono $0,9$ mola gazu A oraz $1,2$ mola gazu B. Zapoczątkowana reakcja chemiczna, w momencie zmieszania reagentów przebiegała z szybkością $v_I = 0,200 \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3 \cdot \text{s}}$.

Oblicz wartość stałej szybkości reakcji, opisanej w informacji wprowadzającej, a następnie oblicz szybkość tej reakcji w momencie dokonywania kolejnego pomiaru, kiedy na skutek zachodzącej reakcji z mieszaniny gazów ubyło m.in. 40% substratu A.

Po dokonaniu obliczeń, uzupełnij poniższy tekst tak, aby był prawdziwy.

Opisana w informacji wprowadzającej reakcja:



jest reakcją rzędu, której stała szybkości reakcji wynosi . W czasie przebiegu reakcji:



stężenie substratów A i B . Szybkość reakcji chemicznej, równa początkowo $0,200 \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3 \cdot \text{s}}$, na skutek zachodzącego procesu , osiągając wartość , gdy z mieszaniny gazów ubyło 40% substratu A.

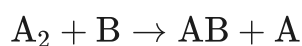
Rozwiązanie oraz odpowiedź zapisz w zeszycie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Ćwiczenie 7



Na podstawie metody izolacyjnej i danych z tabeli, określ rząd reakcji dla podanej reakcji:



Nr reakcji	Stężenie początkowe $\frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$		Szybkość początkowa $\frac{\text{mol}}{\text{dm}^3 \cdot \text{min}}$
	A_2	B	
1	0,45	0,27	10,8
2	0,43	0,23	4,7
3	0,45	0,09	3,6

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

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Ćwiczenie 8



Dla pewnej reakcji stała szybkości wynosi $1,5 \cdot 10^{-4} \frac{1}{s}$. Oblicz masę substratu pozostałą po upływie dziewięciu godzin, wiedząc, że masa początkowa wynosiła 18 g.

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

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Dla nauczyciela

Scenariusz zajęć

Autor: Krzysztof Błaszczak, Aleksandra Marszałek-Harych

Przedmiot: chemia

Temat: Jak doświadczalnie wyznaczyć rząd reakcji chemicznej oraz rząd reakcji względem poszczególnych substratów?

Grupa docelowa: III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony; uczniowie III etapu edukacyjnego - kształcenie w zakresie rozszerzonym

Podstawa programowa

Zakres rozszerzony

IV. Kinetyka i statyka chemiczna. Energetyka reakcji chemicznych. Uczeń:

3) na podstawie równania kinetycznego określa rząd reakcji względem każdego substratu; na podstawie danych doświadczalnych ilustrujących związek między stężeniem substratu a szybkością reakcji określa rząd reakcji i pisze równanie kinetyczne.

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 pojęcie rzędowości reakcji chemicznej;
- omawia metody wyznaczania rzędu reakcji chemicznej;
- analizuje wykresy zależności stężenia molowego substratu od czasu dla reakcji o różnej rzędowości;
- oblicza ubytek masy substratu w trakcie trwania reakcji;
- określa rząd reakcji chemicznej na podstawie danych doświadczalnych ilustrujących związek między stężeniem substratu a szybkością reakcji.

Strategie nauczania:

- asocjacyjna.

Metody i techniki nauczania:

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

Forma pracy:

- praca zbiorowa,
- praca w grupach,
- praca indywidualna.

Środki dydaktyczne:

- komputery z głośnikami, słuchawkami/smartfony/tablety z dostępem do internetu;
- podręczniki tradycyjne
- zasoby multimedialne zawarte w e-materiale;
- rzutnik multimedialny;
- tablica interaktywna/tablica

Przebieg zajęć:

Faza wstępna:

1. Zaciekawienie i dyskusja. Nauczyciel wykorzystuje pytania zawarte we wprowadzeniu do e-materiału, np.: Z czym kojarzy Ci się pojęcie rzędowości?
2. Rozpoznawanie wiedzy wyjściowej uczniów. Burza mózgów wokół pojęcia - rząd reakcji chemicznej.
3. Ustalenie celów lekcji. Nauczyciel podaje temat zajęć i wspólnie z uczniami ustala cele lekcji.

Faza realizacyjna:

1. Samodzielna analiza materiału źródłowego w e-materiale dotycząca rzędowości reakcji, po czym nauczyciel inicjuje dyskusję. Nauczyciel czuwa nad poprawnością wypowiedzi i ewentualnie wyjaśnia niezrozumiałe kwestie.
2. Prowadzący zajęcia zapisuje kilka przykładów reakcji chemicznych na tablicy i prosi uczniów, w oparciu o zdobytą wiedzę, o wyznaczenie rzędowości reakcji chemicznych.

3. Nauczyciel dzieli uczniów na sześć grup, rozdaje kartki A4 i mazaki. Każda grupa ma opracować jeden z podanych poniżej tematów, dotyczący wyznaczania rzędowości reakcji. Uczniowie mogą korzystać z dostępnych źródeł informacji w tym, z e-materiału. Podopieczni mają za zadanie przygotować, na czym polega dana metoda oraz podać jeden przykład wyznaczania rzędowości reakcji za pomocą tej metody. Uczniowie wybierają spośród poniższych metod jedną:

- Metoda podstawienia do wzoru.
- Metoda graficzna.
- Metoda różnicowa van't Hoffa.
- Metoda izolacyjna Ostwalda.
- Metoda okresów półtrwania reakcji.
- Metoda całkowa Ostwalda i Zawidzkiego.

6. Po skończonej pracy liderzy na forum klasy wyjaśniają istotę dane metody do wyznaczania rzędowości reakcji. Nauczyciel weryfikuje poprawność i wyjaśnia ewentualne błędy.

7. Uczniowie w parach oglądają film samouczek – konfrontują zdobytą już wiedzę z filmem.

8. Nauczyciel wybiera przykład ćwiczenia z e-materiału i prosi chętnego o rozwiązanie na tablicy.

Faza podsumowująca:

1. Nauczyciel sprawdza wiedzę uczniów zadając przykładowe pytania: Jak można zdefiniować rząd reakcji chemicznej? Jakie reakcje nazwiemy reakcjami zerowego rzędu, pierwszego rzędu, drugiego rzędu? Jakie są metody wyznaczania rzędu reakcji? Czy rzędowość reakcji może być równa jej cząsteczkowości? Jaka jest zależność między rzędem reakcji a stałą szybkości reakcji chemicznej?
2. Jako podsumowanie lekcji nauczyciel może wykorzystać zdania do uzupełnienia, które uczniowie również zamieszczają w swoim portfolio:

- Przypomniałem/łam sobie, że ...
- Co było dla mnie łatwe...
- Czego się nauczyłem/łam...
- Co sprawiło mi trudność ...

Praca domowa:

Nauczyciel prosi uczniów o wykonanie ćwiczeń z e-materiału – „Sprawdź się”.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania multimedium:

Film samouczek może być narzędziem do samodzielnej nauki w domu podczas przygotowywania się do zajęć lekcyjnych, sprawdzianu.

Materiały pomocnicze:

1. Arkusze A4, mazaki.
2. Polecenia podsumowujące (nauczyciel przed lekcją zapisuje je na niewielkich kartkach):
 - Jak można zdefiniować rząd reakcji chemicznej?
 - Jakie reakcje nazwiemy reakcjami zerowego rzędu, pierwszego rzędu, drugiego rzędu?
 - Jakie są metody wyznaczania rzędu reakcji?
 - Czy rzędowość reakcji może być równa jej cząsteczkowości?
 - Jaka jest zależność między rzędem reakcji a stałą szybkości reakcji chemicznej?