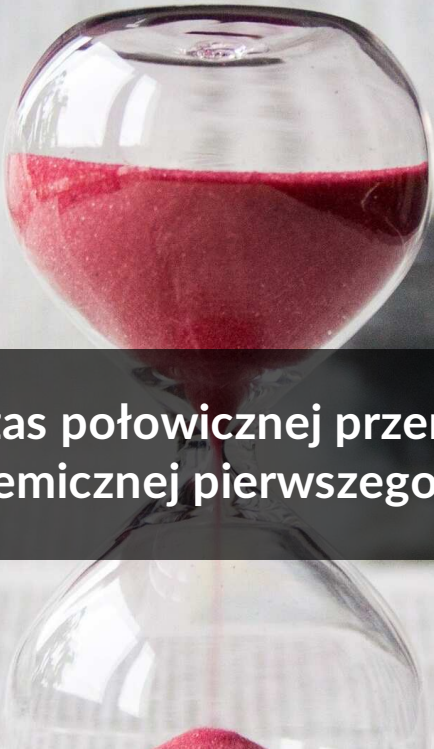




Co to jest czas połowicznej przemiany substratu w reakcji chemicznej pierwszego rzędu?

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



## Co to jest czas połowicznej przemiany substratu w reakcji chemicznej pierwszego rzędu?

Okres połowicznego rozpadu wykorzystywany jest np. w obrazowaniu medycznym i pozwala ustalić, czy wykorzystywany do naświetlań izotop emituje odpowiednią dawkę promieniowania, a także czy jego przydatność została wyczerpana i należy go wymienić.

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

Do określania wieku zabytkowych przedmiotów pochodzenia naturalnego wykorzystuje się czas połowicznej przemiany, który charakteryzuje szybkość rozpadu promieniotwórczego nuklidu  $^{14}\text{C}$ . Metoda ta nazywa się datowaniem radiowęglowym – korzystając z wiedzy dotyczącej zawartości tego nuklidu w atmosferze, pozwala na określenie wieku znalezisk archeologicznych. W momencie śmierci danego organizmu (np. drzewa) zawartość nuklidu ciągle maleje, zgodnie z jego okresem półtrwania (dla  $^{14}\text{C}$  – 5730 lat). Czas połowicznej przemiany substratu jest również ważnym czynnikiem w innym dziale chemii. Czy wiesz, o jakiej dziedzinie mowa? Czy czas połowicznej przemiany substratu w reakcji chemicznej dostarcza informacji o przebiegu tej reakcji?

### Twoje cele

- Poznasz pojęcia związane z kinetyką chemiczną.
- Przeanalizujesz wykres zależności stężenia molowego substratu i produktu od czasu.

- Obliczysz czas połowicznej przemiany substratu w reakcji chemicznej.
- Stworzysz wykresy zależności stężenia substratu od czasu i zaznaczysz na nich czas połowicznej przemiany substratu.

# Przeczytaj

---

## Czas połowicznej przemiany

Czas połowicznej przemiany substratu jest ważnym czynnikiem w [kinetyce chemicznej](#). Analizuje szybkość przebiegu reakcji chemicznych i ich [mechanizmów](#) w odniesieniu do różnych warunków, tj. ciśnienia, temperatury, stężenia oraz natury reagentów, biorących udział w tej reakcji.

Z tym działem związane są pojęcia:

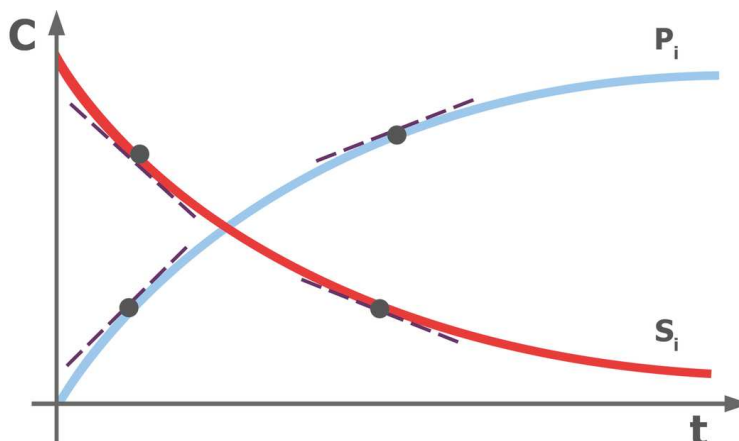
- [szybkości reakcji](#);
- [cząsteczkowości reakcji](#);
- [rzędowości reakcji](#) (rząd reakcji);
- [stałej szybkości reakcji](#).

## Szybkość reakcji

**Reakcją chemiczną** nazywa się przemianę jednego lub większej ilości substratów w jeden lub kilka różnych produktów. Dlatego też szybkość reakcji chemicznej wyraża się jako iloraz stężenia molowego substratu (ze znakiem ujemnym, ponieważ w reakcji go ubywa) lub produktu do czasu i nie jest to wielkość stała, ponieważ w trakcie przebiegu reakcji ulega zmianom (maleje).

$$v = -\frac{\Delta C_{\text{substratu}}}{\Delta t} \text{ lub } v = \frac{\Delta C_{\text{produktu}}}{\Delta t}$$

Powyższą zależność można zobrazować za pomocą wykresów zależności zmian stężenia molowego substratu i produktu do czasu.



Szybkość ubytku stężenia substratu i przyrostu stężenia produktu w czasie przebiegu reakcji

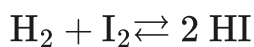
Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Szybkość reakcji jest uwarunkowana wieloma czynnikami, które mogą ją zwiększać lub zmniejszać. Należą do nich:

- temperatura,
- stężenie reagentów,
- stosowane rozpuszczalniki,
- [katalizatory](#)/[inhibitory](#),
- mieszanie,
- rozdrobnienie,
- ciśnienie.

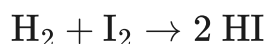
**Cząsteczkowość reakcji**

**Cząsteczkowość reakcji** to liczba cząsteczek substratu – atomów, jonów lub rodników, które biorą udział w danej [reakcji elementarnej](#). Przykładowo dwucząsteczkowa reakcja to synteza jodowodoru.



## Rzędowość reakcji a stała szybkości

Rzędowość reakcji chemicznej to suma wykładników potęg poszczególnych stężeń molowych substratów. Dla syntezy jodowodoru:



Dla powyższej reakcji chemicznej [równanie kinetyczne](#) na szybkość reakcji chemicznej to:

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

gdzie  $k$  – stała szybkości reakcji.

Rząd reakcji wynosi  $n = 2$  ( $1 + 1$ , ponieważ stężenia substratów są podniesione do potęgi 1 – kolor [niebieski](#)).

W przypadku reakcji złożonych, składających się z kilku etapów, równanie kinetyczne ustala się doświadczalnie. Wówczas rząd reakcji nie musi być wartością całkowitą, jak dla reakcji prostych.

Stała szybkości reakcji to współczynnik proporcjonalności  $k$  w równaniu kinetycznym reakcji chemicznej. 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:

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

gdzie  $n$  – rząd reakcji.

## Reakcje I rzędu

W kinetyce chemicznej analizowane są zależności dla reakcji o różnej rzędowości. Do najbardziej znanych należą reakcje: zerowego rzędu, I rzędu oraz II rzędu. Na cele powyższego tematu przeanalizujesz zależności dla reakcji I rzędu.

**Reakcjami I rzędu** nazywane są te, dla których rząd wynosi  $n = 1$ . Dla nich równanie kinetyczne ma postać:

$$\ln \frac{C_0}{C} = k \cdot t \text{ lub } C = C_0 \cdot e^{-k \cdot t}$$

gdzie:

- $C$  – stężenie molowe substratu pozostałe po czasie  $t$ ,
- $C_0$  – początkowe stężenie molowe substratu,
- $k$  – stała szybkości reakcji [czas<sup>-1</sup>],
- $t$  – czas przebiegu reakcji,
- $\ln$  – logarytm naturalny o podstawie  $e$  (liczba Eulera), gdzie  $e = 2,718281828 \dots$

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

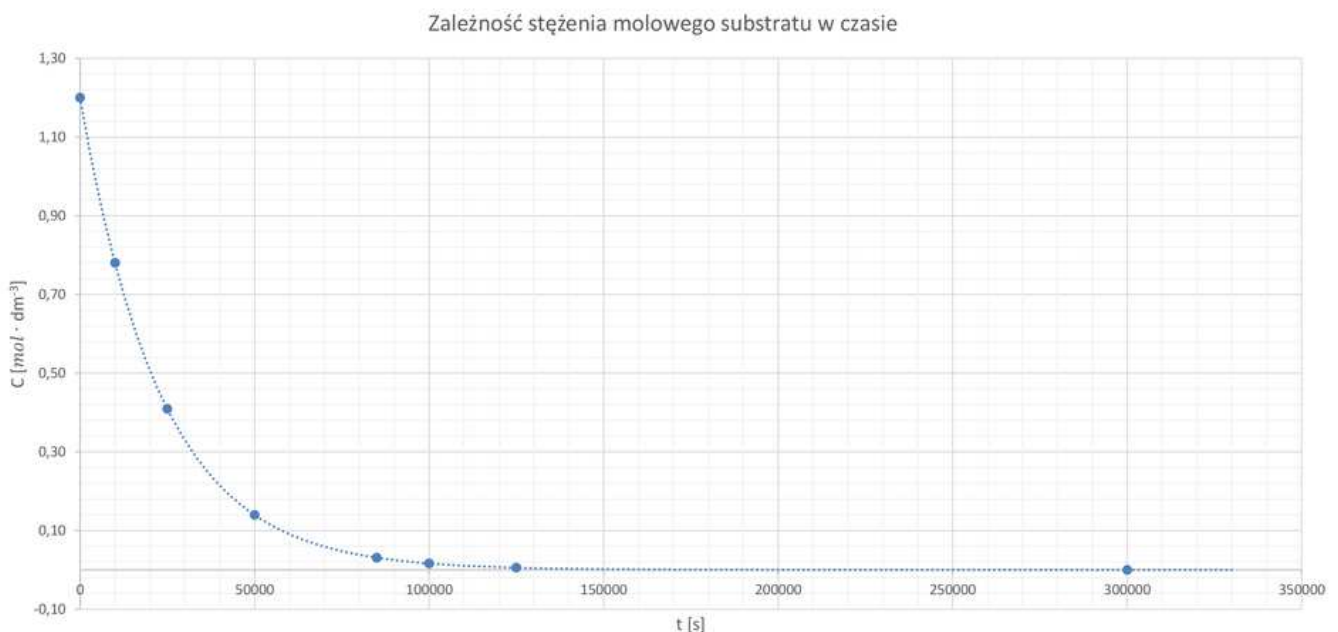
$$\ln \frac{m_0}{m} = k \cdot t \text{ lub } m = m_0 \cdot e^{-k \cdot t}$$

$$\ln \frac{n_0}{n} = k \cdot t \text{ lub } n = n_0 \cdot e^{-k \cdot t}$$

$$\ln \frac{N_0}{N} = k \cdot t \text{ lub } N = N_0 \cdot e^{-k \cdot t}$$

W opisie zależności, w kinetyce chemicznej, stosowane są wykresy. Poniżej podano kilka przykładowych wykresów, które służą do opisu kinetyki reakcji I rzędu.

Wykresy zależności stężenia molowego substratu od czasu oraz szybkości reakcji od czasu są wykresami eksponentyjnymi. Ta zależność związana jest z równaniem kinetycznym ( $e$  – liczba Eulera), ale wynika również z malejącej w czasie reakcji ilości substratów, a tym samym – malejącej szybkości reakcji.

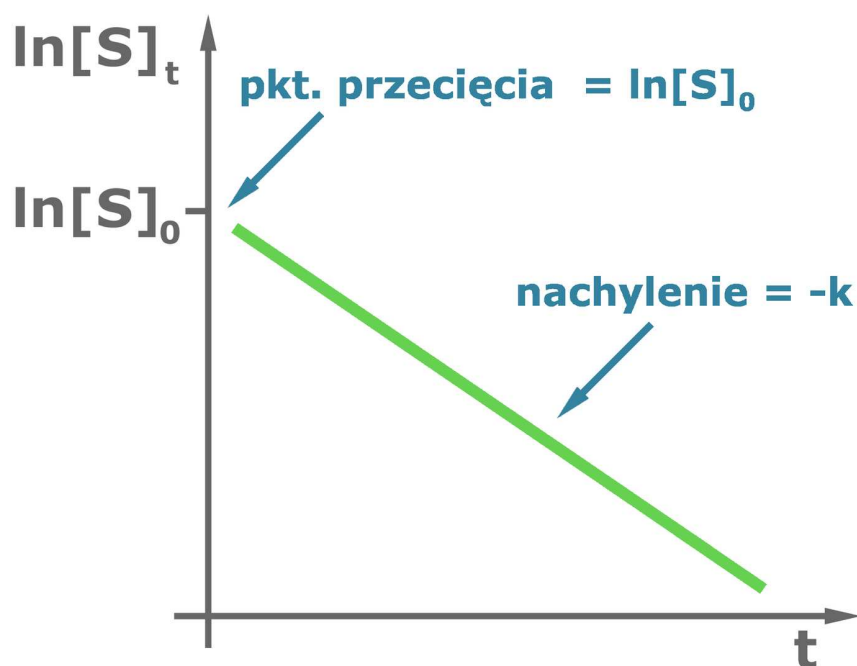


Wykres eksponentyjnej zależności stężenia molowego substratu od czasu dla reakcji I rzędu

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

Na wykresy zależności stężenia molowego substratu w funkcji czasu ma wpływ stała szybkości reakcji: jeżeli stała szybkość jest większa, to nachylenie wykresu będzie ostrzejsze.





Wykres zależności logarytmu naturalnego ze stężenia substratu od czasu

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

Przykładami reakcji I rzędu są reakcje rozkładu, hydrolizy estrów, inwersji sacharozy w glukozę i fruktozę, jodowania acetonu oraz reakcje rozkładów promieniotwórczych. Dla nich można obliczyć czas potrzebny do zaniku połowy z początkowej ilości substratu, wówczas:

$$m = \frac{1}{2}m_0$$

gdzie  $m$  – masa pozostała po zaniku połowy substratu.

Następnie, po podstawieniu do wzoru na równanie kinetyczne,

$$\ln \frac{m_0}{m} = k \cdot t \Rightarrow \ln \frac{m_0}{\frac{1}{2}m_0} = k \cdot t$$

otrzymujemy wzór na czas połowicznej przemiany  $t_{\frac{1}{2}}$  (czyli potrzebny do zaniku połowy substratu):

$$\ln 2 = k \cdot t \text{ lub } t = \frac{\ln 2}{k} = \frac{0,693}{k}$$

### Polecenie 1

Oblicz czas połowicznej przemiany  $t_{\frac{1}{2}}$  dla reakcji I rzędu, której stała szybkości wynosi:

$$k = 3,38 \cdot 10^{-5} \frac{1}{s}$$

### Polecenie 2

Dla poniższej reakcji stała szybkości wynosi  $1,8 \cdot 10^{-3} \frac{1}{s}$ .



Oblicz czas połowicznej przemiany i zaznacz go na wykresie zależności zmian stężenia molowego substratu w czasie. Stężenie początkowe substratu wynosiło  $5 \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$ .

## Słownik

### mechanizm reakcji

opis faktycznego przebiegu reakcji chemicznej, razem ze wszystkimi stadiami i produktami pośrednimi

### reakcja elementarna

reakcja chemiczna, która zachodzi w jednym etapie/akcie, bez produktów pośrednich

### katalizator

substancja chemiczna, której dodatek do reakcji powoduje przyspieszenie reakcji chemicznej, po zakończeniu reakcji jest w całości odzyskiwana; wyróżniamy katalizatory homogeniczne, czyli będące w takiej samej fazie co substraty, oraz heterogeniczne, które są w innej fazie niż substraty

## **inhibitor**

substancja chemiczna, której dodatek do reakcji powoduje spowolnienie lub zatrzymanie reakcji chemicznej, po zakończeniu reakcji jest w całości odzyskiwana; wyróżniamy inhibitory homogeniczne, czyli będące w takiej samej fazie co substraty, oraz heterogeniczne, które są w innej fazie niż substraty

## **równanie kinetyczne**

zależność szybkości reakcji chemicznej od stężenia reagentów i temperatury, a w przypadku reakcji chemicznych przebiegającej w fazie gazowej, dodatkowo od ciśnienia

## **kinetyka chemiczna**

dział chemii fizycznej zajmujący się szybkością reakcji chemicznych w różnych warunkach ciśnienia, temperatury oraz stężenia i natury reagentów

## **nuklid $^{14}\text{C}$**

promieniotwórczy izotop węgla; jego jądro atomowe zawiera 6 protonów i 8 neutronów

## **szybkość reakcji**

zmiana stężenia molowego substratów lub produktów w jednostce czasu

## **cząsteczkowość**

liczba cząsteczek biorąca udział w reakcji elementarnej

## **rzędowość reakcji**

suma wykładników potęg w równaniu kinetycznym

## **stała szybkości reakcji**

współczynnik proporcjonalności w równaniu kinetycznym

funkcja eksponentyjna

inaczej funkcja wykładnicza; funkcja ciągła, rosnąca

## **Bibliografia:**

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

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

Encyklopedia PWN

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

# Animacja

---

## Polecenie 1

Czy wiesz już, czym jest czas połowicznej przemiany substratu i jak go obliczyć?

Zapoznaj się z poniższą animacją, a następnie rozwiąż ćwiczenia.

Trwa wczytywanie danych ..

Co to jest czas połowicznej przemiany substratu w reakcji chemicznej I rzędu?

Film dostępny pod adresem </preview/resource/R1NEoQfujERDu>

Animacja pt. „Co to jest czas połowicznej przemiany substratu w reakcji chemicznej I rzędu?”

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

Film nawiązujący do treści materiału

---



## Ćwiczenie 1

Wyjaśnij, co to jest czas połowicznej przemiany substratu.

## Ćwiczenie 2

Podaj wzór na czas połowicznej przemiany w reakcji I rzędu.

# Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

## Ćwiczenie 1



Zaznacz prawidłową definicję.

Okres połowicznej przemiany to:

wielkość zmienna, która zmienia się w trakcie trwania reakcji I rzędu.

wielkość stała w trakcie trwania reakcji I rzędu.

czas potrzebny do zaniku połowy produktu.

czas potrzebny do zaniku połowy substratu.

## Ćwiczenie 2



Dla podanej reakcji określ równanie kinetyczne i oblicz, ile razy należy zwiększyć stężenie molowe substratu A, nie zmieniając stężenia innych reagentów i warunków przebiegu reakcji, ale by szybkość tej reakcji wzrosła dziewięciokrotnie. Załóż, że reakcja jest jednoetapowa i prosta.



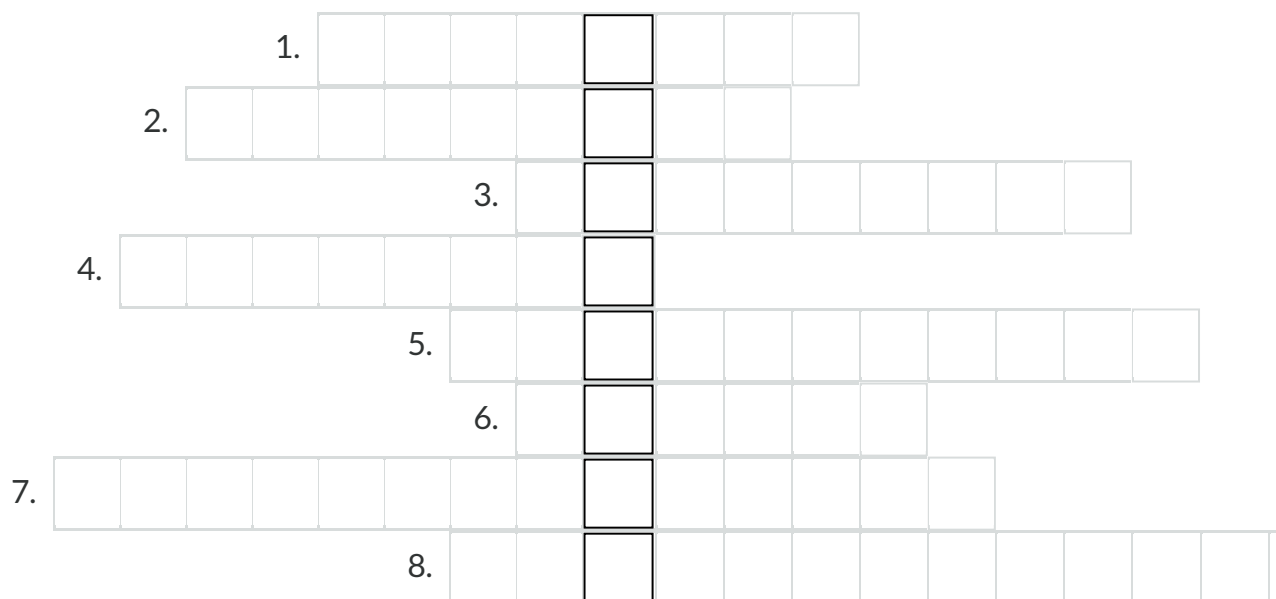
Rozwiązanie oraz odpowiedź zapisz w zeszycie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

### Ćwiczenie 3



Rozwiąż krzyżówkę.



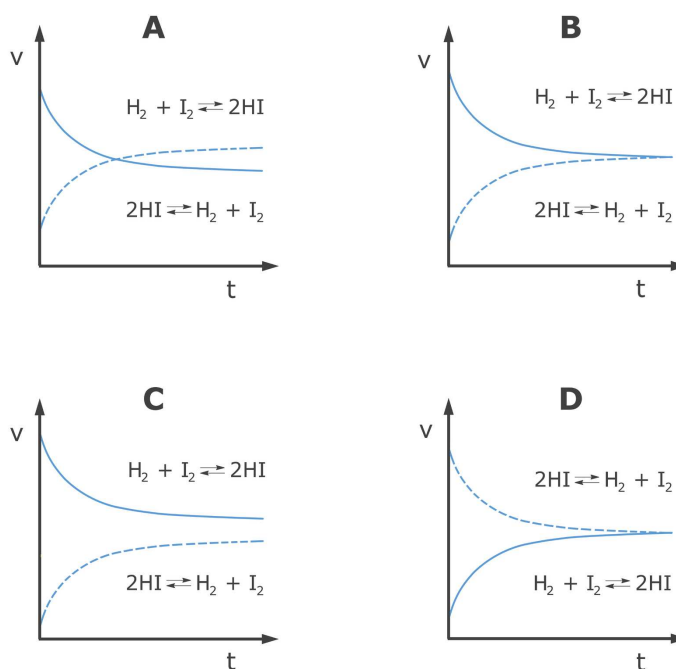
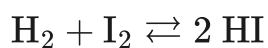
1. Iloraz zmiany stężenia molowego substratu lub produktu do czasu.
2. Opis dokładnego przebiegu reakcji chemicznej, który wskazuje na produkty pośrednie, powstałe w trakcie reakcji.
3. Substancja chemiczna, której dodatek do reakcji powoduje spowolnienie lub zatrzymanie reakcji chemicznej; po zakończeniu reakcji jest w całości odzyskiwana.
4. . . . kinetyczne – zależność szybkości reakcji chemicznej od stężenia reagentów i temperatury.
5. Substancja chemiczna, której dodatek do reakcji powoduje jej przyspieszenie; po zakończeniu reakcji jest w całości odzyskiwana.
6. Graficzne przedstawienie zależności np. między stężeniem substratu a czasem.
7. Liczba cząsteczek substratu (atomów, jonów lub rodników) biorąca udział w danej reakcji elementarnej.
8. Współczynnik proporcjonalności  $k$  w równaniu kinetycznym reakcji chemicznej.



## Ćwiczenie 4



W reaktorze zmieszano znane ilości wodoru i jodu. Utrzymując odpowiednie warunki reakcji, mierzono zmiany stężeń reagentów i produktu aż do ustalenia stanu równowagi dla tego procesu. Na podstawie otrzymanych pomiarów, narysowano wykres zależności szybkości reakcji otrzymywania jodowodoru od czasu. W oparciu o powyższe informacje wybierz wykres, który właściwie ilustruje zależność tej reakcji.



Proponowane wykresy zależności szybkości reakcji w czasie

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

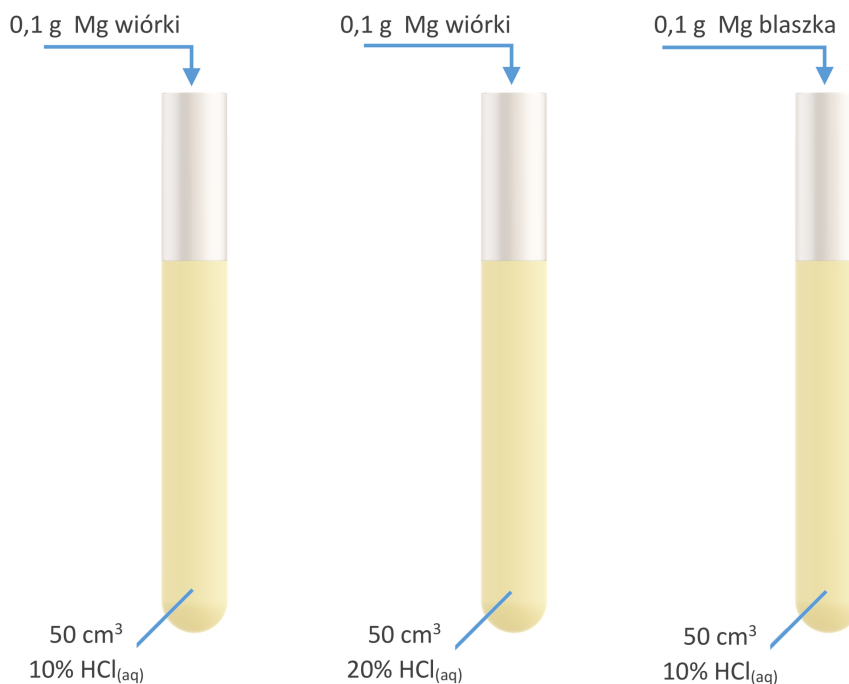
Odpowiedź zapisz w zeszyte do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

## Ćwiczenie 5



Przeprowadzono doświadczenie zgodnie z poniższym schematem:



Schemat doświadczenia

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

Magnez przereagował całkowicie we wszystkich probówkach. Dopasuj odpowiednio czasy przebiegu reakcji, wiedząc, że  $t_1 > t_2 > t_3$ .

I	II	III
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

## Ćwiczenie 6



Wiedząc, że stężenie początkowe tlenku azotu(V) wynosi  $10 \text{ mol} \cdot \text{dm}^3$ , a stała szybkości reakcji wynosi  $3,38 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{s}}$  dla podanej reakcji, oblicz czas połowicznej przemiany i zaznacz go na wykresie zależności zmian stężenia molowego substratu w czasie.



$$k = 3,38 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{s}}$$

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

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

## Ćwiczenie 7



Naukowcy, chcąc zbadać wiek znaleziska archeologicznego, wyznaczyli zawartość radionuklidu  $^{14}\text{C}$  na 67% jego zawartości w innych żywych tkankach. Wiedząc, że czas połowicznego rozpadu izotopu  $^{14}\text{C}$  wynosi 5760 lat, oblicz wiek znaleziska.

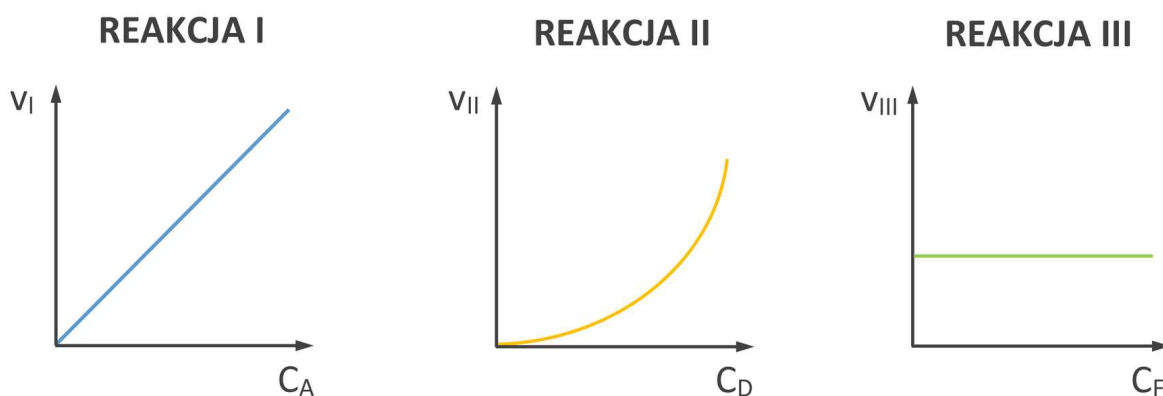
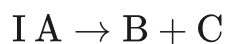
Rozwiązanie oraz odpowiedź zapisz w zeszytcie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

## Ćwiczenie 8



Dla reakcji biegnących zgodnie z poniższymi równaniami zbadano zależność szybkości reakcji od stężeń molowych substratów, a wyniki przedstawiono na wykresach. Zgodnie z danymi zapisz, jakiego rzędu jest każda z reakcji, oraz zapisz równanie kinetyczne dla reakcji pierwszego rzędu.



Wykresy zależności szybkości reakcji od stężenia substratu

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

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

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

# Dla nauczyciela

---

## Scenariusz zajęć

**Autor:** Aleksandra Marszałek-Harych, Krzysztof Błaszczak

**Przedmiot:** chemia

**Temat:** Co to jest czas połowicznej przemiany substratu w reakcji chemicznej pierwszego rzędu?

**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:

4) szkicuje wykres zmian szybkości reakcji w funkcji czasu oraz wykres zmian stężeń reagentów reakcji pierwszego rzędu w czasie, wyznacza okres półtrwania.

### **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 czasu połowicznej przemiany, kinetyki chemicznej, równania kinetycznego, stałej szybkości reakcji, szybkości reakcji, rzędowości i cząsteczkowości reakcji;
- analizuje wykres zależności stężenia molowego substratu i produktu od czasu;
- oblicza czas połowicznej przemiany substratu;
- szkicuje wykresy zależności stężenia substratu od czasu i zaznacza na nich czas połowicznej przemiany substratu.

### **Strategie nauczania:**

- asocjacyjna.

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

- burza mózgów;
- dyskusja dydaktyczna;
- analiza tekstu źródłowego;
- ćwiczenia uczniowskie;
- technika zdań podsumowujących.

### **Forma pracy:**

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

### **Środki dydaktyczne:**

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

## **Przebieg zajęć**

### **Faza wstępna**

1. Zaciekawienie i dyskusja. Nauczyciel pyta uczniów: czy można określić kiedy dana reakcja będzie przeprowadzona w połowie?
2. Rozpoznawanie wiedzy wyjściowej uczniów. Burza mózgów wokół wyrażenia: czas połowicznej przemiany substratu w reakcji chemicznej pierwszego rzędu.
3. Ustalenie celów lekcji. Nauczyciel podaje temat zajęć i wspólnie z uczniami ustala cele.

### **Faza realizacyjna**

1. Samodzielna analiza tekstu w dostępnych źródłach informacji, w tym e-materiale. Uczniowie definiują pojęcia: szybkość reakcji chemicznej, cząsteczkowość reakcji, rzędowość reakcji (rzad reakcji), stała szybkości reakcji. Po zakończonej pracy z tekstem chętni lub wskazani uczniowie podają interpretacje tych pojęć. Nauczyciel ewentualnie wyjaśnia niezrozumiałe kwestie. Następnie powrót do burzy mózgów i wyjaśnienie pojęcia czasu połowicznej przemiany substratu w reakcji chemicznej pierwszego rzędu.
2. Analiza w parach wykresów zależności stężenia molowego substratu od czasu oraz szybkości reakcji od czasu w e-materiale. Po analizie uczniowie starają się wykonać polecenie 1 i 2 w e-materiale. Nauczyciel wspiera uczniów i wyjaśnia ewentualne niezrozumiałe kwestie. Chętni uczniowie prezentują i wyjaśniają rozwiązanie na forum klasy przy tablicy. Nauczyciel kontroluje poprawność rozwiązań.

3. Uczniowie w parach analizują animacje w e-materiale, po czym sprawdzają swoją wiedzę i wykonują zaproponowane ćwiczenia. Po minionym czasie nauczyciel proponuje konfrontację odpowiedzi na forum klasy celem uwspólnienia poprawnych odpowiedzi.
4. Uczniowie samodzielnie sprawdzają swoją wiedzę rozwiązując ćwiczenia w e-materiale – „Sprawdź się”. Nauczyciel wspiera uczniów, wyjaśnia sporne kwestie.

### **Faza podsumowująca**

1. Na zakończenie zajęć nauczyciel zadaje uczniom pytania sprawdzając ich wiedzę:  
Co to jest cząsteczkowość? Okres połowicznej przemiany, to ... . Wyjaśnij, co to jest czas połowicznej przemiany substratu.
2. Jako podsumowanie nauczyciel zadaje uczniom pytania, które gromadzą w swoim portfolio:
  - Przypomniałem/łam sobie, że ...
  - Co było łatwe, a co trudne?
  - Czego się nauczyłam/łem ...
  - Co sprawiało mi trudności ...

### **Praca domowa:**

Uczniowie wykonują ćwiczenia, których nie zdążyli odrobić na lekcji.

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

Grafika interaktywna może być wykorzystana przez uczniów podczas przygotowania się do kartkówki.

### **Materiały pomocnicze:**



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

- Co to jest cząsteczkowość?
- Okres połowicznej przemiany, to...
- Wyjaśnij, co to jest czas połowicznej przemiany substratu.