



Jak definiuje się entalpię?

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



## Jak definiuje się entalpię?

Masa iskrząca zimnych ogni składa się z ok. 45–50% azotanu(V) baru ( $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ ) oraz opiłków żelaza, które dają efekt iskrzenia. Podczas ogrzewania następuje termiczny rozkład azotanu(V) baru.

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

Słowo entalpia pochodzi z języka greckiego – *thalpos*, co oznacza ciepło. Jako pierwszy słowa tego użył najprawdopodobniej Heike Kamerlingh Onnes w 1908 roku – Holenderski fizyk, który w 1913 roku otrzymał Nagrodę Nobla. Czy potrafisz zdefiniować pojęcie entalpii? Jaki dział chemii zajmuje się badaniem entalpii? Czy możemy obliczyć entalpię na podstawie danych eksperymentalnych lub literaturowych?

### Twoje cele

- Wyjaśnisz pojęcie entalpii.
- Na podstawie danych literaturowych przeanalizujesz, które reakcje są endo-, a które egzotermiczne.
- Zaprojektujesz doświadczenie pozwalające na pomiar entalpii.

# Przeczytaj

---

Dział chemii, który zajmuje się badaniem efektu energetycznego reakcji chemicznych, to **termochemia**. Opisuje zmiany energii, które zachodzą podczas różnych procesów chemicznych. Można zauważyć, że niektóre z reakcji wydzielają dużą ilość energii (np. reakcja cynku z kwasem solnym), inne zaś nie zająd bez dostarczenia im określonej ilości energii (np. proces fotosyntezy). Jest ona wymieniana między układem, w którym zachodzi analizowany proces, a otoczeniem.

## Entalpia

W życiu codziennym oraz w laboratorium najczęściej reakcje chemiczne zachodzą w warunkach izobarycznych (czyli pod stałym ciśnieniem atmosferycznym). Dla takich układów wprowadzono nową funkcję termodynamiczną – entalpię. Jest ona definiowana jako suma energii wewnętrznej układu i iloczynu jego ciśnienia i objętości:

$$H = U + pV$$

gdzie:

- $H$  – entalpia;
- $U$  – energia wewnętrzna;
- $p$  – ciśnienie;
- $V$  – objętość.

W procesach chemicznych, przebiegających pod stałym ciśnieniem, wymianę energii na sposób ciepła, między układem a otoczeniem, określa się jako zmianę entalpii układu, która w przybliżeniu jest równa efektowi cieplnemu reakcji.

$$\Delta H = H_p - H_s$$

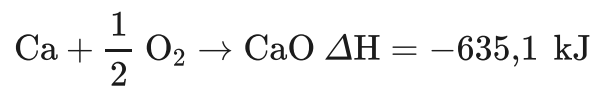
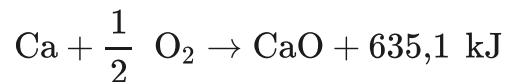
gdzie:

- $\Delta H$  – zmiana entalpii układu;
- $H_p$  – entalpia produktów (stan po reakcji chemicznej);
- $H_s$  – entalpia substratów (stan przed reakcją chemiczną).

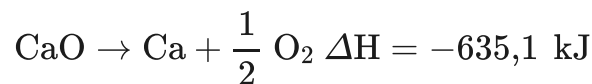
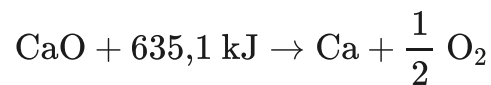
Entalpia układu jest **funkcją stanu**. Oznacza to, że jej wartość nie zależy od drogi, po której układ doszedł do danego stanu. Na tej podstawie można stwierdzić, że efekt cieplny reakcji, przebiegającej w danym kierunku, jest równy efektowi cieplnemu reakcji odwrotnej z przeciwnym znakiem (**prawo Lavoisiera i Laplace'a**).

### Przykład 1

Ciepło wydzielone w czasie tworzenia jednego mola tlenku wapnia z jednego mola wapnia oraz połowy mola cząsteczek tlenu wynosi 635,1 kJ. Można to zobrazować równaniem:



Ciepło potrzebne do rozkładu 1 mola CaO na pierwiastki jest równe co do wartości ciepłu tworzenia tego tlenku, ale przeciwne co do znaku.



### Inny przykład reakcji:

- równanie reakcji tworzenia węglanu litu:



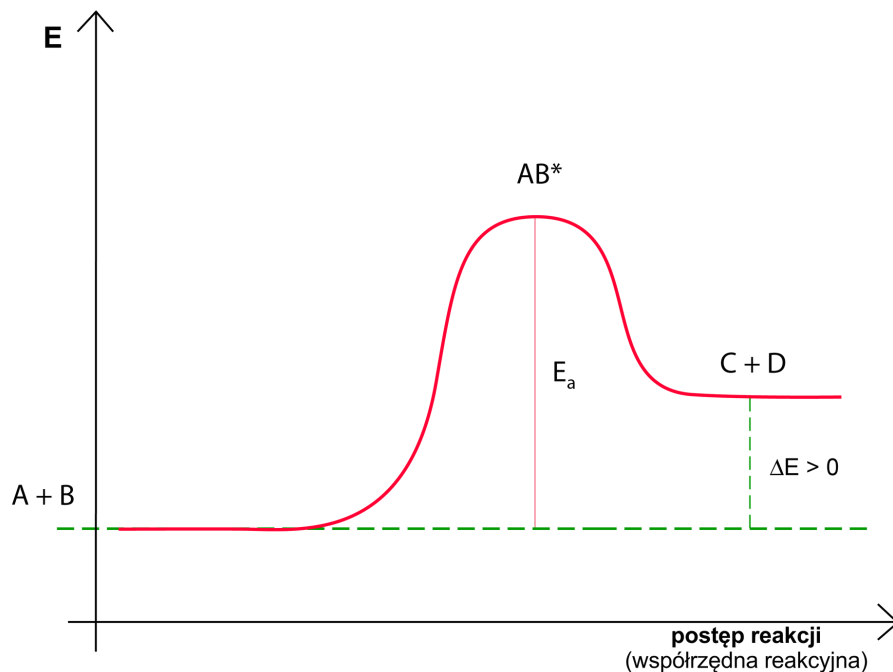
- równanie reakcji rozkładu węglanu litu:





### Zmiana entalpii układu w reakcjach chemicznych wynosi:

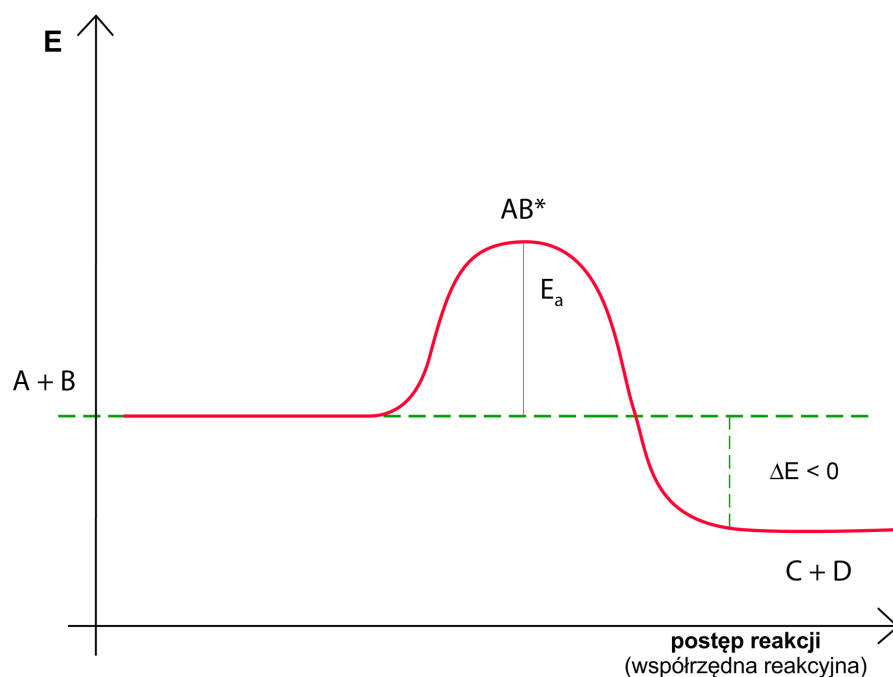
- $\Delta H > 0$  dla **reakcji endotermicznych** ( $H_p > H_s$ ). W reakcji chemicznej tego typu energia jest pobierana.



Wykres zmian energii substratów i produktów podczas trwania reakcji endoenergetycznej

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

- $\Delta H < 0$  dla **reakcji egzotermicznych** ( $H_p < H_s$ ). W reakcji chemicznej tego typu jest wydzielana energia.



Wykres zmian energii substratów i produktów podczas trwania reakcji egzotermicznej

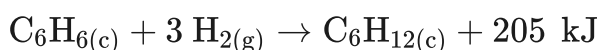
Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

## Równania termochemiczne

Reakcję chemiczną w termochemii definiuje się jako przemianę, w której substraty stanowią początkowy stan układu, a produkty stan końcowy. Efekt energetyczny zapisuje się obok równania stechiometrycznego, zawierającego indeksy stanów skupienia.



lub



Powyższy zapis to przykład równania termochemicznego. Symbol  $\Delta H^\circ$  to standardowa entalpia reakcji. Określa ona efekt cieplny reakcji przeprowadzonej w warunkach standardowych, gdzie temperatura wynosi  $T = 298,15 \text{ K}$  ( $25^\circ \text{C}$ ), a ciśnienie  $p = 1013,25 \text{ hPa}$ , oraz przy założeniu, że reakcja przebiega z udziałem liczb moli reagentów równych ich współczynnikom stechiometrycznym, a wydajność reakcji jest równa 100%.

Obok równania termochemicznego można również zapisać wartość tzw. standardowej entalpii molowej, która jest wyrażana w  $\frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$ . Określa ona efekt cieplny reakcji odniesiony do 1 mola wybranego reagenta.

Biorąc za przykład poniższe równanie reakcji:

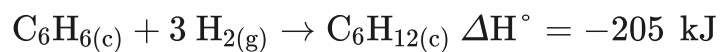


$$\Delta H^\circ_{\text{C}_6\text{H}_6} = -205 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$\Delta H^\circ_{\text{H}_2} = -68,3 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$\Delta H^\circ_{\text{C}_6\text{H}_{12}} = -205 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

## Jak poprawnie odczytać zapis równania termochemicznego?



Efekt energetyczny jest to inaczej zmiana entalpii w warunkach standardowych reakcji 1 mola benzenu w stanie ciekłym z 3 molami wodoru w stanie gazowym, dzięki czemu powstaje 1 mol cykloheksanu w stanie ciekłym. Zmiana entalpii wynosi  $\Delta H^\circ = -205 \text{ kJ}$ .

## Doświadczenie 1

Badanie efektu energetycznego reakcji Zn z  $\text{CuSO}_4$ . Obliczanie entalpii reakcji.

### Odczynniki:

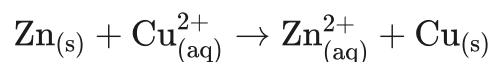
- $\text{CuSO}_4$ ;
- Zn (proszek).

### Sprzęt:

- termometr,
- waga;
- styropianowe kubki;
- mieszadło magnetyczne (opcjonalnie).

### Wykonanie:

W doświadczeniu badany jest efekt energetyczny, który towarzyszy reakcji wypierania miedzi z roztworu przez bardziej aktywny metal.



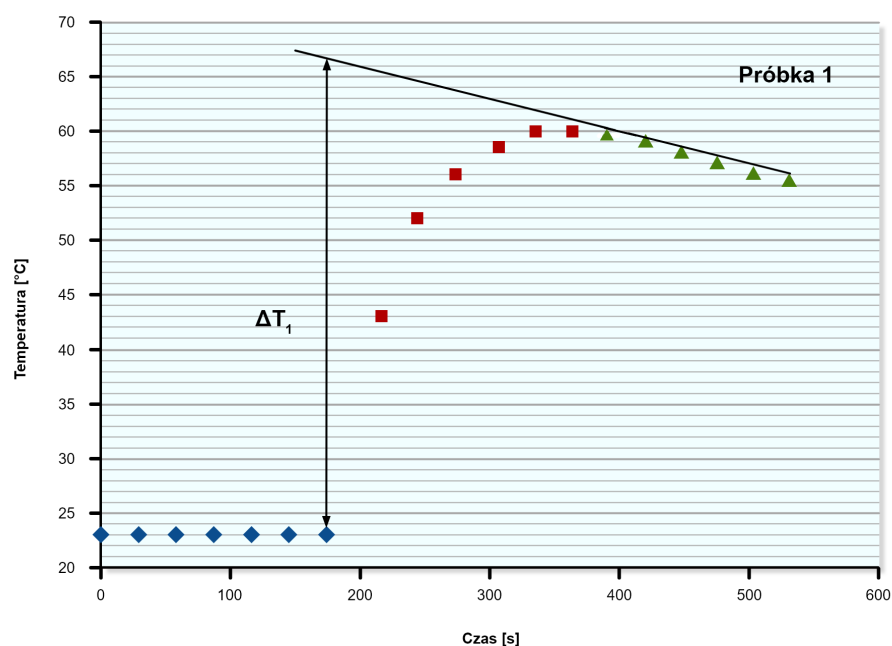
Doświadczenie wykonywane jest w prostym kalorymetrze, który można wykonać z dwóch kubków styropianowych. Jeden z nich będzie naczyniem reakcyjnym, drugi będzie służył jako przykrywka (w nim należy wykonać mały otwór, aby możliwe było włożenie termometru). W naczyniu należy umieścić  $25 \text{ cm}^3$  roztworu soli miedzi(II) o stężeniu  $1 \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$  i dokonać pomiaru temperatury. Następnie należy dodać 5 g pyłu cynkowego, zamknąć kalorymetr oraz dokonywać pomiaru temperatury w pewnych odstępach czasu. Roztwór należy mieszać.



Rysunek prostego kalorymetru wraz z przekrojem

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

Za pomocą wyznaczenia różnicy pomiędzy temperaturą początkową a maksymalną, można określić przyrost temperatury. Należy utworzyć w tym celu wykres zmiany temperatury w czasie.



Przykładowe wyniki pomiaru temperatury. Niebieskie elementy na wykresie oznaczają początkową temperaturę, czerwone wzrost temperatury, a zielone jej spadek w trakcie trwania procesu.

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

Do wyznaczonej serii danych dopasowano prostą, która została ekstrapolowana do czasu pierwszego przyrostu temperatury. Różnica temperatur została wyznaczona poprzez określenie różnicy pomiędzy temperaturą początkową a temperaturą wyznaczoną przez prostą.

## Na podstawie danych obliczamy entalpię reakcji.

Entalpię reakcji obliczamy na podstawie równania:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

gdzie:

- $m$  – masa wody (roztworu);
- $c$  – pojemność cieplna wody ( $4,18 \left[ \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{g}} \right]$ );
- $\Delta T$  – wyznaczona zmiana temperatury.

Gęstość wody wynosi  $1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ .

$$m = d \cdot V$$

$$m = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 25 \text{ cm}^3 = 25 \text{ g}$$

Obliczanie ilości pobranego ciepła:

$$Q = 25 \text{ g} \cdot 4,18 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{g}} \cdot 40,5 \text{ K} = 4232,25 \text{ J} = 4,23 \text{ kJ} \cdot 25 \text{ cm}^3 = 25 \text{ g}$$

W czasie reakcji ciepło zostaje wydzielone, stąd zmiana entalpi reakcji wynosi:

$$\Delta H = -Q$$

W doświadczeniu użyto w nadmiarze cynku, więc efekt energetyczny można odnieść do ilości moli jonów miedzi w roztworze. Do reakcji użyto  $25 \text{ cm}^3$  roztworu o stężeniu  $1 \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$ . Zatem liczba moli  $\text{Cu}^{2+}$  w roztworze wynosiła  $0,025$  mola. Po przeliczeniu na 1 mol:

$$\Delta H = -169,3 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

## Słownik

funkcja stanu (termodynamika)

funkcja zależna od aktualnych parametrów układu (masy, temperatury, ciśnienie)

### **kalorymetria**

dział chemii fizycznej oraz termodynamiki chemicznej; zajmuje się metodami pomiaru ciepła powstającego w wyniku reakcji chemicznych i rozmaitych procesów fizycznych

### **reakcja egzoenergetyczna**

przemiana chemiczna, podczas której następuje wydzielenie energii z układu do otoczenia

### **reakcja endoenergetyczna**

przemiana chemiczna, podczas której następuje pochłanianie energii z otoczenia do układu

### **termochemia (termodynamika chemiczna)**

dział chemii, który zajmuje się efektami energetycznymi reakcji chemicznych

## **Bibliografia**

Atkins P., *Podstawy chemii fizycznej*, Warszawa 1999.

Atkins P., Jones L., *Chemical Principles: The Quest for Insight*, 5th Edition, New York 2009.

Atkins P., Julio P., *Chemia fizyczna*, Warszawa 2015.

# Film samouczek

---

## Polecenie 1

Jak myślisz, jakich informacji potrzebujesz, aby obliczyć entalpię układu? Zapoznaj się z samouczkiem i rozwiąż poniższe zadania.

Trwa wczytywanie danych ..



**JAK DEFINIUJE SIĘ ENTALPIĘ?**

Film dostępny pod adresem </preview/resource/R1SoO1633bcwJ>

Film samouczek pt. „Jak definiuje się entalpię?”

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

Film nawiązujący do treści materiału - dotyczy definicji entalpii.

---

Ćwiczenie 1

## Ćwiczenie 2

# Sprawdź się

---

Pokaż ćwiczenia:   

## Ćwiczenie 1



Wskaż poprawną odpowiedź. Entalpia reakcji egzotermicznej wynosi:

$\Delta H \geq 0$

$\Delta H < 0$

$\Delta H > 0$

$\Delta H \leq 0$

## Ćwiczenie 2



Wskaż poprawną odpowiedź. Entalpia reakcji endotermicznej wynosi:

$\Delta H = \Delta H$

$\Delta H > 0$

$\Delta H < 0$

$\Delta H \leq 0$

### Ćwiczenie 3



Wskaż poprawną odpowiedź. Entalpia jest:

- funkcją stanu, którą definiuje się jako różnicą energii wewnętrznej układu i iloczynu jego objętości i temperatury.
- funkcją stanu, którą definiuje się jako sumę energii wewnętrznej układu i iloczynu jego ciśnienia i objętości.
- funkcją stanu, którą definiuje się jako różnicę energii wewnętrznej układu i iloczynu jego ciśnienia i objętości.
- funkcją stanu, którą definiuje się jako sumę energii wewnętrznej układu i iloczynu jego objętości i temperatury.

## Ćwiczenie 4



Połącz pojęcia z ich wyjaśnieniami.

funkcja stanu

dział chemii fizycznej oraz termodynamiki chemicznej. Zajmuje się metodami pomiaru ciepła powstającego w wyniku reakcji chemicznych i rozmaitych procesów fizycznych.

termochemia

dział chemii, który zajmuje się efektami energetycznymi reakcji chemicznych.

entalpia

funkcja stanu, którą definiuje się jako sumę energii wewnętrznej układu i iloczynu jego ciśnienia i objętości.

reakcja egzoenergetyczna

przemiana chemiczna, która przebiega z wydzieleniem energii do otoczenia.

kalorymetria

przemiana chemiczna, która przebiega z pochłanianiem energii z otoczenia.

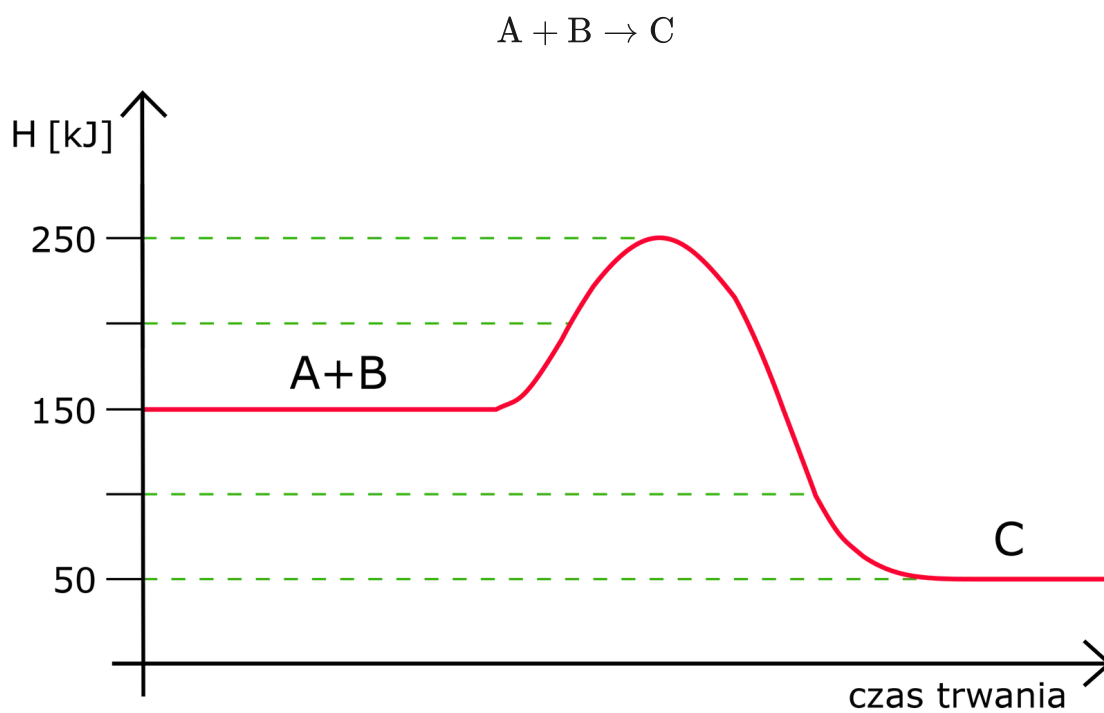
reakcja endoenergetyczna

funkcja zależna od stanu układu (masa, temperatura, objętość i inne).

## Ćwiczenie 5



Na podstawie poniższego wykresu, odczytaj entalpię reakcji.



Wykres zależności entalpii reakcji od czasu

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

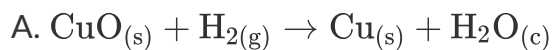
Odpowiedź zapisz w zeszycie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

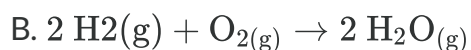
## Ćwiczenie 6



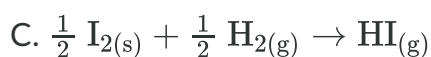
Określ, które równania reakcji opisują reakcje egzotermiczne, a które endotermiczne. Wstaw „egzotermiczna” lub „endotermiczna”.



$$\Delta H^\circ = -129 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} - \boxed{\phantom{000}}$$



$$\Delta H^\circ = -242 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} - \boxed{\phantom{000}}$$



$$\Delta H^\circ = 26 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} - \boxed{\phantom{000}}$$

egzotermiczna

endotermiczna

endotermiczna

endotermiczna

egzotermiczna

egzotermiczna

## Ćwiczenie 7



Standardowa entalpia tworzenia 1 mola  $\text{H}_2\text{O}_{(g)}$  wynosi  $(-242 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}})$ . Oblicz, ile ciepła zostanie wymienione między układem a otoczeniem, podczas tworzenia  $67,2 \text{ dm}^3$  pary wodnej. Określ, czy jest to reakcja endo-, czy egzotermiczna.

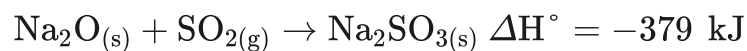
Rozwiązanie oraz odpowiedź zapisz w zeszyte do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

## Ćwiczenie 8



Ustal, czy podane poniżej równanie reakcji opisuje reakcję endo-, czy egzotermiczną.

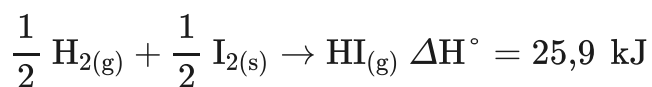


Odpowiedź:

## Ćwiczenie 9



Określ, które z poniższych wartości określają standardową entalpię tworzenia jodowodoru.



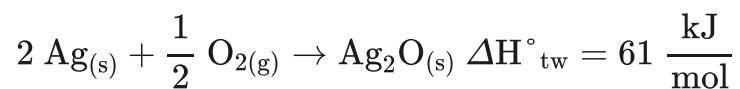
Odpowiedź zapisz w zeszycie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

## Ćwiczenie 10



Standardowa entalpia tworzenia tlenku srebra(I) wynosi:



Korzystając z reguły Lavoisiera i Laplace'a, określ standardową entalpię rozkładu podanego tlenku na pierwiastki oraz zapisz równanie reakcji rozkładu tlenku na pierwiastki.

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:** Patrycja Męcik, Krzysztof Błaszczak

**Przedmiot:** chemia

**Temat:** Jak definiuje się entalpię?

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

### Podstawa programowa:

Zakres podstawowy

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

6) stosuje pojęcie entalpii; interpretuje zapis  $\Delta H < 0$  i  $\Delta H > 0$ ; określa efekt energetyczny reakcji chemicznej na podstawie wartości entalpii.

Zakres rozszerzony

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

11) stosuje pojęcie standardowej entalpii przemiany; interpretuje zapis  $\Delta H < 0$  i  $\Delta H > 0$ ; określa efekt energetyczny reakcji chemicznej na podstawie wartości entalpii.

### 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, samokontrola podczas nauki.

### Cele operacyjne:

**Uczeń:**

- wyjaśnia pojęcie entalpii;
- na podstawie danych literaturowych analizuje, które reakcje są endo-, a które egzoenergetyczne;
- projektuje doświadczenie pozwalające na pomiar entalpii.

## **Strategie nauczania:**

- asocjacyjna;
- problemowa.

## **Metody i techniki nauczania:**

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

## **Formy pracy:**

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

## **Środki dydaktyczne:**

- komputery z głośnikami i dostępem do internetu;
- słuchawki;
- rzutnik multimedialny;
- zasoby multimedialne zawarte w e-materiale;
- tablica interaktywna/tablica;
- pisak/kreda.

## **Przebieg zajęć**

### **Faza wstępna:**

1. Zaciekawienie i dyskusja. Nauczyciel zadaje pytania: Czy wiesz, co dokładnie oznacza termin entalpia i do czego się odnosi? Jaki dział chemii zajmuje się badaniem entalpii? Czy możemy obliczyć entalpię?
2. Rozpoznawanie wiedzy wyjściowej uczniów. Burza mózgów wokół terminu entalpia. Nauczyciel może wykorzystać aplikację Mentimeter z wykorzystaniem tabletów/smartfonów.
3. Ustalenie celów lekcji. Nauczyciel podaje temat zajęć i wspólnie z uczniami ustala cele lekcji.
4. Zasady BHP. Nauczyciel zapoznaje uczniów z kartami charakterystyk substancji, które będą używane na lekcjach.

### **Faza realizacyjna:**

1. Uczniowie samodzielnie analizują tekst w dostępnych źródłach informacji, w tym e-materiał, zwracając uwagę na terminy: entalpia, zmiana entalpii. Chętni uczniowie interpretują te pojęcia.
2. Uczniowie pracują parami z wykorzystaniem filmu samouczek zawartego w e-materiale, zwracając uwagę na analizę przykładu obliczenia.
3. Nauczyciel dzieli uczniów na trzy grupy, każda z grup otrzymuje zadania obliczeniowe (zad. 6, 8, 10 - zawarte w e-materiale „sprawdź się”). Uczniowie w grupach rozwiązują zadania w podanym czasie. Następnie chętna lub wskazana osoba z każdej grupy przedstawia rozwiązanie na forum klasy. Pozostali uczniowie sprawdzają poprawność zadań, zadają pytania jeżeli wystąpią jakieś niejasności. Nauczyciel kontroluje poprawność udzielonych odpowiedzi i ewentualnie wyjaśnia niezrozumiałe kwestie.
4. Nauczyciel dzieli uczniów na grupy i informuje ich, że będą wykonywali doświadczenie wg instrukcji opisanej w e-materiale. Nauczyciel rozdaje potrzebne szkło i sprzęt laboratoryjny, odczynniki i karty pracy. Nauczyciel czuwa nad poprawnością wykonania doświadczenia. Po przeprowadzonym doświadczeniu chętni uczniowie prezentują efekty pracy grup ze zwróceniem uwagi na obserwacje, wnioski, wynik entalpii. Nauczyciel podsumowuje wykonane doświadczenie.

### **Faza podsumowująca:**

1. Nauczyciel sprawdza wiedzę uczniów, wykorzystując pytania z e-materiału, np. polecenia do multimediu. Pyta:
  - Jak rozumiesz pojęcie entalpii?
  - Czy jest możliwe obliczenie entalpii?
  - Jak należy obliczać entalpię?
2. Jako podsumowanie lekcji nauczyciel może wykorzystać zdania do uzupełnienia, które uczniowie również zamieszczają w swoim portfolio:
  - Co było dla mnie łatwe...
  - Przypomniałem/łam sobie, że...
  - Czego się nauczyłam/łem...
  - Co sprawiało mi trudność...

### **Praca domowa:**

Nauczyciel zleca uczniom wykonanie pozostałych ćwiczeń w e-materiale - sprawdź się. Dodatkowo uczniowie na następne zajęcia są proszeni o znalezienie kilku przykładów reakcji chemicznych lub procesów fizycznych egzo- i endoenergetycznych (z chemii, fizyki i życia codziennego).

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

Film samouczek może zostać wykorzystany przez uczniów podczas przygotowywania się do zajęć lub sprawdzianu wiedzy.

### **Materiały pomocnicze:**

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

- Jak rozumiesz pojęcie entalpii?
- Czy jest możliwe obliczenie entalpii?
- Jak należy obliczać entalpię?

2. Karta pracy:

Plik o rozmiarze 106.88 KB w języku polskim