



Czego dotyczy prawo Hessa?

Jeśli reakcję podzieli się na etapy, to jej entalpia jest równa sumie entalpii poszczególnych etapów.

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

Prawo Hessa pochodzi od nazwiska rosyjskiego chemika, lekarza i mineraloga Germana Hessa. Sformułował on jedną z pierwszych, a zarazem najważniejszych zasad dotyczących termodynamiki. Swoją najsłynniejszą pracę opublikował w 1840 r. Czego dokładnie dotyczy to prawo i jak należy je stosować? Odpowiedzi na te pytania znajdziesz w poniższym materiale.

Twoje cele

- Zdefiniujesz prawo Hessa.
- Użyjesz prawa Hessa w obliczeniach.
- Zinterpretujesz cykl termodynamiczny.
- Zaprojektujesz i przedstawisz cykl termodynamiczny z wykorzystaniem prawa Hessa.

Przeczytaj

Termochemia to dział chemii fizycznej, zajmujący się badaniem **efektu cieplnego** reakcji chemicznej. Efekt cieplny reakcji może być wyznaczony doświadczalnie przy użyciu **kalorymetru** lub metodami obliczeniowymi. W przypadku, gdy efektu cieplnego nie można bezpośrednio zmierzyć, np. z powodu bardzo powolnego przebiegu procesu lub z powodu zachodzących reakcji ubocznych, to w takich przypadkach stosuje się prawo Hessa.

Prawo Hessa

Prawo Hessa jest konsekwencją pierwszej zasady termodynamiki, wg której całkowita energia **układu** izolowanego jest stała i nie zależy od zachodzących w nim przemian. Obliczenie standardowej **entalpii** dowolnej reakcji chemicznej jest możliwe dzięki zastosowaniu prawa Hessa. Zgodnie z nim:

Prawo: Hessa

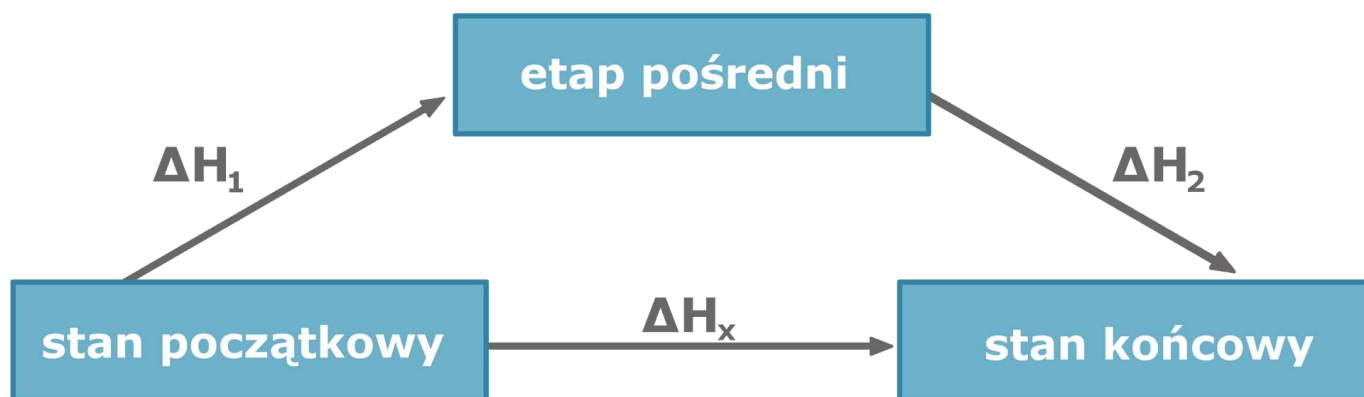
zmiana entalpii, towarzysząca reakcji chemicznej (ciepło reakcji), nie zależy od drogi przemiany, a jedynie od efektów cieplnych stanów początkowego i końcowego układu.

Z prawa można korzystać, jeśli znane są entalpie, np. tworzenia lub spalania wszystkich substratów lub produktów danej reakcji chemicznej (mogą to być też entalpie dowolnych innych reakcji, które pozwolą po właściwym przekształceniu uzyskać pożądaną reakcję). Entalpię określa się zazwyczaj dla warunków standardowych ($T = 273,15 \text{ K}$ (0°C) i ciśnienia ($p = 1000 \text{ hPa}$). Efekt cieplny reakcji to zmiana entalpii układu w reakcji chemicznej w warunkach stałego ciśnienia.



German Iwanowicz Hess (1802-1850)

Źródło: dostępny w internecie: www.pl.wikipedia.org,
domena publiczna.



$$\Delta H_x = \Delta H_1 + \Delta H_2$$

ΔH - efekt cieplny reakcji; ΔH_1 ΔH_2 - efekt cieplny etapów pośrednich

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

Wzór, który pozwala na obliczenie entalpii reakcji chemicznej, przedstawia się następująco:

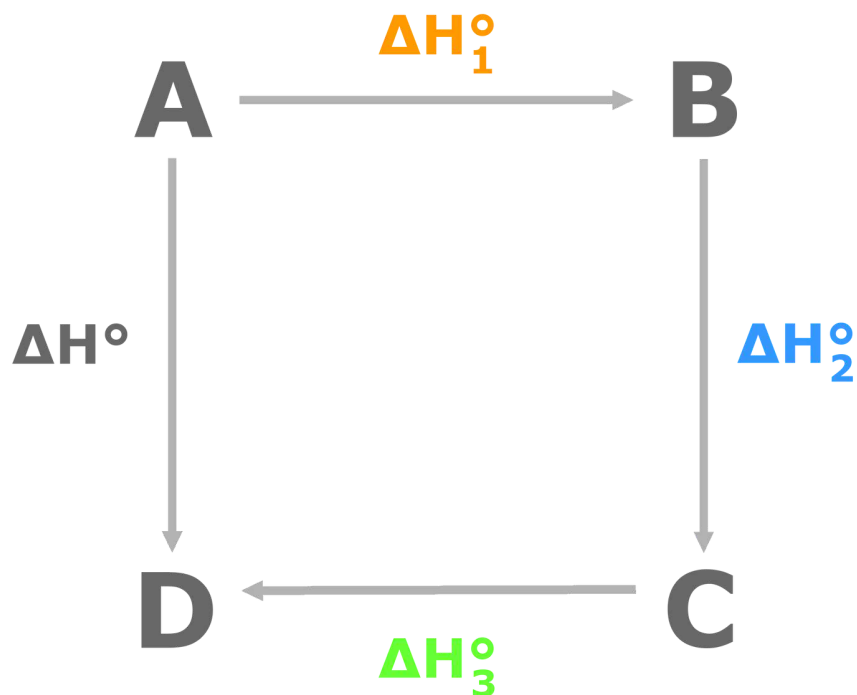
$$\Delta H^\circ = \sum n \Delta H^\circ_p - \sum n \Delta H^\circ_s$$

gdzie:

- ΔH° – zmiana standardowej entalpii $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right]$;
- n – liczba moli produktów lub substratów;
- $\sum n \Delta H^\circ_p$ – suma zmian standardowych entalpii tworzenia produktów;
- $\sum n \Delta H^\circ_s$ – suma zmian standardowych entalpii tworzenia substratów.

Prawo to umożliwia obliczenie efektów energetycznych reakcji, które są trudne lub czasami nawet niemożliwe do bezpośredniego przeprowadzenia.

Prawo Hessa można przedstawić graficznie:



A - stan początkowy, zawiera substraty w ilościach stechiometrycznych; B, C - stany pośrednie, z produktami pośrednimi w różnych ilościach; D - stan końcowy, zawiera produkty w ilościach stechiometrycznych.

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

Standardową entalpię reakcji chemicznej oblicza się, sumując efekty cieplne wszystkich procesów, których efektem jest utworzenie kolejnych stanów pośrednich:

$$\Delta H^\circ = \Delta H^\circ_1 + \Delta H^\circ_2 + \Delta H^\circ_3$$

Obliczenia z wykorzystaniem prawa Hessa można przeprowadzić, układając cykl termochemiczny lub odpowiednio sumując równania reakcji (dla ułatwienia, w zapisie stosuje się ułamkowe współczynniki stechiometryczne reakcji).

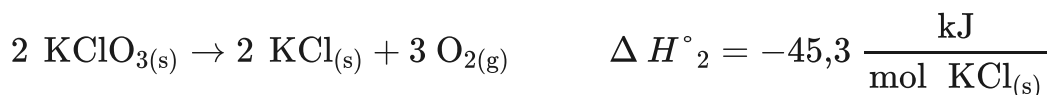
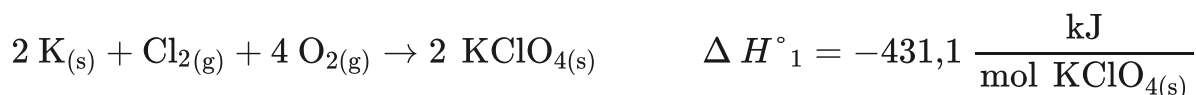
Z cyklu termochemicznego musi wynikać, że sumaryczne równanie stechiometryczne wszystkich etapów jest równaniem reakcji bezpośredniej. Projektując cykl termochemiczny, można pominąć realność chemiczną etapów. Kiedy znany jest efekt cieplny, można wykorzystać każdy etap do obliczeń. Wartości entalpii tworzenia znajdziemy w tablicach chemicznych. Ich znajomość umożliwia obliczanie efektów cieplnych wielu reakcji. Należy znać jedynie entalpię tworzenia każdego z reagentów.

Polecenie 1

Dana jest reakcja:



Oraz znane są standardowe entalpie poniższych reakcji:



Mając powyższe dane, oblicz zmianę entalpii ΔH° podanej reakcji.

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

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Prawo Hessa umożliwia obliczenie ciepła tworzenia praktycznie każdego związku chemicznego, pomimo że pomiary doświadczalne ciepła tworzenia (ciepła reakcji syntezy) są w przypadku wielu reakcji chemicznych trudne do wykonania.

Słownik

termochemia

dział chemii fizycznej, który zajmuje się efektami energetycznymi reakcji chemicznych

układ

wyodrębniona część przestrzeni, której zawartość jest badana lub obserwowana
entalpia (ΔH)

efekt cieplny równy energii wymienianej na sposób ciepła między układem a otoczeniem podczas przemiany zachodzącej w warunkach izobarycznych (pod stałym ciśnieniem)
efekt cieplny

efekt energetyczny reakcji jest definiowany jako ilość energii przekazanej z otoczenia do układu lub z układu do otoczenia
kalorymetr

przyrząd służący do pomiaru ilości ciepła, które zostało wydzielone lub pochłonięte przez układ podczas przemiany chemicznej lub fizycznej

Bibliografia

Atkins P., Paula J., *Chemia fizyczna*, Warszawa 2015.

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

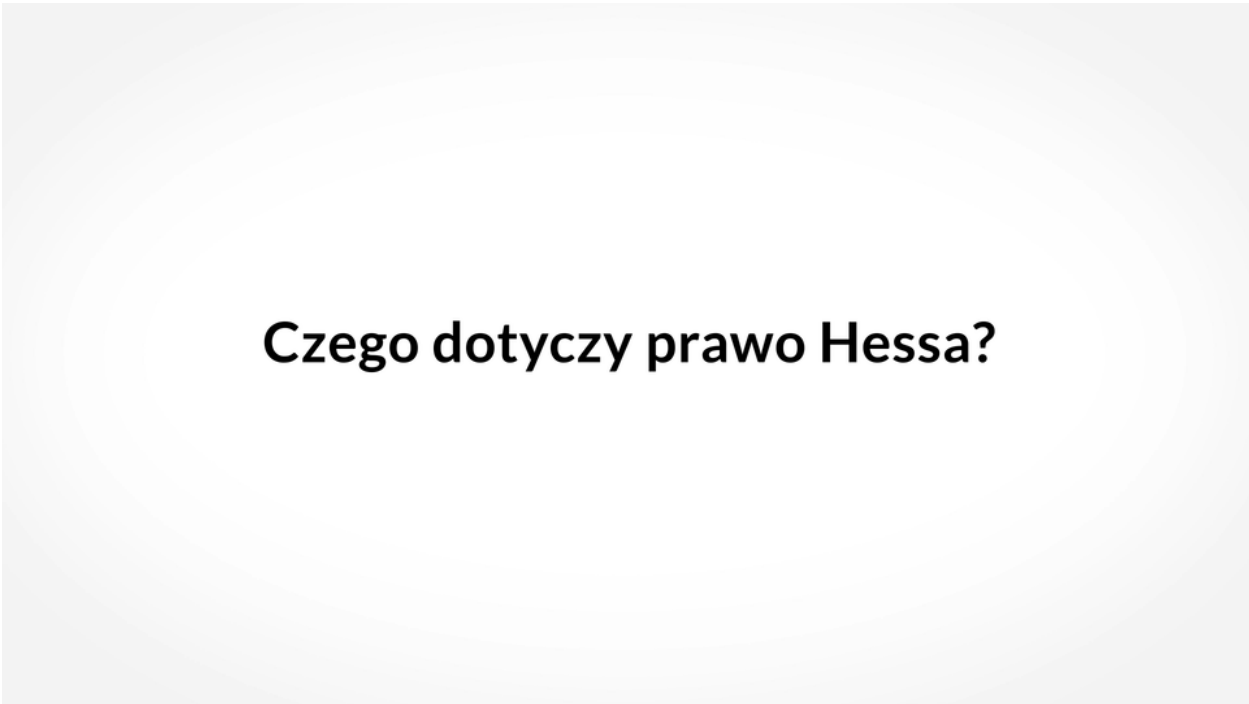
Atkins P., *Podstawy chemii fizycznej*, Warszawa 1999.

Krzczkowska M., Loch J., Mizera A., *Repetytorium chemia. Liceum – poziom podstawowy i rozszerzony*, Warszawa – Bielsko-Biała 2010.

Film samouczek

Polecenie 1

Jak sądzisz, czy efekt energetyczny reakcji o tych samych stanach początkowych i końcowych, ale różniących się drogą przemiany, jest identyczny? Zapoznaj się z filmem samouczkiem i rozwiąż zadania.



Czego dotyczy prawo Hessa?

Film dostępny pod adresem </preview/resource/R15wdfWdgaUTR>

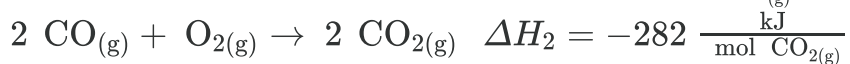
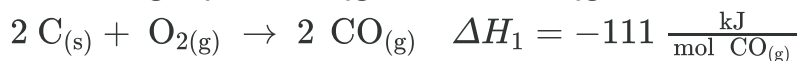
Film samouczek pod tytułem *Czego dotyczy prawo Hessa?*

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

Film nawiązujący do treści materiału dotyczący prawa Hessa.

Ćwiczenie 1

Wykorzystując prawo Hessa i poniższe reakcje o znanych entalpiach, oblicz ciepło reakcji całkowitego spalenia węgla do tlenku węgla(IV):



☐ $\Delta H_{\text{r}} = -171 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$

☐ $\Delta H_{\text{r}} = 60 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$

☐ $\Delta H_{\text{r}} = -393 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$

☐ $\Delta H_{\text{r}} = 171 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$

Ćwiczenie 2

Wypisz dwa warunki, które muszą zostać spełnione, aby prawo Hessa, było zgodne z prawdą.

• stała

• stałe

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Wybierz poprawny wzór zgodny z prawem Hessa.

- ΔH° – zmiana standardowej entalpii;
- n – liczba moli produktów lub substratów;
- $\sum n \Delta H^\circ_p$ – suma zmian standardowej entalpii tworzenia produktów;
- $\sum n \Delta H^\circ_s$ – suma zmian standardowej entalpii tworzenia substratów.

☐ $\Delta H^\circ = \sum n \Delta H^\circ_s - \sum n \Delta H^\circ_p$

☐ $\Delta H^\circ = \sum n \Delta H^\circ_p + \sum n \Delta H^\circ_s$

☐ $\Delta H^\circ = \sum n \Delta H^\circ_p - \sum n \Delta H^\circ_s$

Ćwiczenie 2



Wybierz poprawne stwierdzenia.

☐ Prawo Hessa jest konsekwencją III zasady termodynamiki.

☐ Termochemia to dział chemii, zajmujący się badaniem efektu energetycznego reakcji chemicznych.

☐ Efekt cieplny reakcji może być tylko wyznaczony za pomocą kalorymetru.

☐ Prawo Hessa umożliwia obliczenie ciepła tworzenia prawie każdego związku chemicznego.

Ćwiczenie 3



Połącz pojęcie z wyjaśnieniem.

prawo Hessa

efekt cieplny równy energii wymienianej na sposób ciepła między układem a otoczeniem podczas przemiany zachodzącej w warunkach izobarycznych

entalpia

zmiana standardowej entalpii układu (ciepło reakcji) nie zależy od drogi przemiany, a jedynie od efektów cieplnych stanów początkowego i końcowego układu

termochemia

wyodrębniona część przestrzeni, której zawartość jest badana lub obserwowana

kalorymetr

przyrząd służący do pomiaru ilości ciepła, które zostało wydzielone lub pochłonięte przez układ podczas przemiany chemicznej lub fizycznej

układ

dział chemii, który zajmuje się efektami energetycznymi reakcji chemicznych

Ćwiczenie 4



Ciepło spalania węgla do tlenku węgla(IV) wynosi $\Delta H_{\text{sp},1}^{\circ} = -394 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$, a ciepło spalania tlenku węgla(II) do tlenku węgla(IV) $\Delta H_{\text{sp},2}^{\circ} = -283 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$. Oblicz ciepło tworzenia tlenku węgla(II).

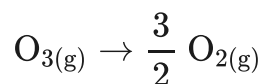
Rozwiązanie oraz odpowiedź zapisz w zeszyte do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Ćwiczenie 5



Oblicz entalpię reakcji tlenu z ozonu. Entalpia spalania wodoru w tlenie wynosi $\Delta H = -286,2 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$, entalpia spalania wodoru w ozonie wynosi $\Delta H = -333,9 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$.



Zadanie na podstawie: Berecka J., Borkowska A., Bytniewska E., Kloc Z., *Chemia. Nowa Matura*, Gdynia 2006.

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



Entalpia tworzenia tlenku węgla(IV) wynosi $-394 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$, entalpia tworzenia wody w stanie ciekłym wynosi $-286 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$. Oblicz entalpię tworzenia acetylenu (etynu) w warunkach standardowych, jeśli ciepło jego spalania wynosi $-1300 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$.

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



Mając poniższe dane:

- Standardowa entalpia spalania węgla (grafitu) do tlenku węgla(IV) wynosi $-394 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$;
- Standardowa entalpia spalania tlenku węgla(II) do tlenku węgla(IV) wynosi $-283 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$.

Oblicz standardową entalpię spalania węgla do tlenku węgla(II).

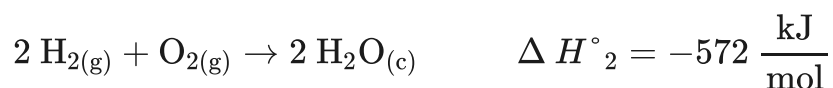
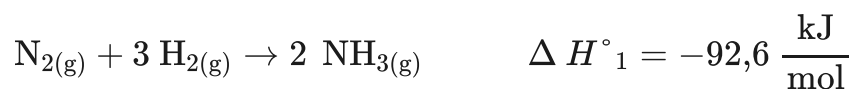
Rozwiązanie oraz odpowiedź zapisz w zeszycie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

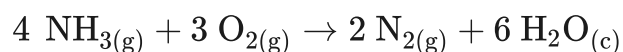
Ćwiczenie 8



Znając entalpie poniższych reakcji:



Oblicz zmianę entalpii podanej reakcji, konstruując cykl termochemiczny:



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: Patrycja Męcik, Krzysztof Błaszczak

Przedmiot: chemia

Temat: Czego dotyczy prawo Hessa?

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:

12) stosuje prawo Hessa do obliczeń efektów energetycznych przemian na podstawie wartości standardowych entalpii tworzenia i standardowych entalpii spalania.

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 prawo Hessa;
- wykorzystuje prawo Hessa podczas obliczeń;
- interpretuje cykl termochemiczny;
- projektuje (przedstawia) cykl termochemiczny z wykorzystaniem prawa Hessa.

Strategie nauczania:

- asocjacyjna.

Metody i techniki nauczania:

- burza mózgów;

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

Formy pracy:

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

Środki dydaktyczne:

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

Przebieg zajęć

Faza wstępna:

1. Zaciekawienie i dyskusja. Nauczyciel zadaje pytania: Jak można wyznaczyć efekt cieplny reakcji chemicznej? Czy znane są metody doświadczalne, jeśli tak, to jakie? Czy zawsze można wyznaczyć ten efekt doświadczalnie? Czy możliwe są sposoby obliczeniowe?
2. Rozpoznawanie wiedzy wyjściowej uczniów. Burza mózgów wokół pojęcia termochemii. Nauczyciel może wykorzystać aplikację Mentimeter z wykorzystaniem tabletów/smartfonów.
3. Ustalenie celów lekcji. Nauczyciel podaje temat zajęć i wspólnie z uczniami ustala cele lekcji.

Faza realizacyjna:

Przed lekcją

1. Na poprzedniej lekcji nauczyciel zleca uczniom zapoznanie się w domu z treściami dotyczącymi prawa Hessa. W tym celu uczniowie mogą korzystać z różnych źródeł informacji, w tym z e-materiału. Uczniowie przygotowują krótką notatkę na ten temat.

Na lekcji:

1. Na zajęciach nauczyciel inicjuje dyskusję dotyczącą prawa Hessa i jego wykorzystania do obliczania ciepła reakcji chemicznych.
2. Nauczyciel prosi uczniów, by w parach zapoznali się z przykładem zawartym w e-materiale, jak należy korzystać z prawa Hessa.
3. Uczniowie samodzielnie analizują medium bazowe – film samouczek – i sprawdzają swoją wiedzę, wykonując ćwiczenia załączone do medium.
4. Nauczyciel prosi uczniów, aby samodzielnie wykonali zadanie 8 zawarte w e-materiale – zestaw ćwiczeń. Następnie chętny lub wskazany uczeń zapisuje rozwiązanie na tablicy, pozostali uczniowie czuwają nad poprawnością wykonanego zadania. Nauczyciel wyjaśnia niezrozumiałe kwestie.

Faza podsumowująca:

1. Na zakończenie zajęć nauczyciel pyta: Czego dotyczy prawo Hessa? Jak obliczyć zmianę entalpii korzystając z prawa Hessa?
2. Jako podsumowanie lekcji nauczyciel może wykorzystać zdania do uzupełnienia, które uczniowie również zamieszczają w swoim portfolio:
 - Przypomniałam/łam sobie, że...
 - Co było dla mnie łatwe...
 - Czego się nauczyłam/łam...
 - Co sprawiało mi trudność...

Praca domowa:

Nauczyciel prosi uczniów o wykonanie pozostałych ćwiczeń w e-materiale.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania multimedium:

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

Materiały pomocnicze:

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

- Czego dotyczy prawo Hessa?
- Jak obliczyć zmianę entalpii korzystając z prawa Hessa?