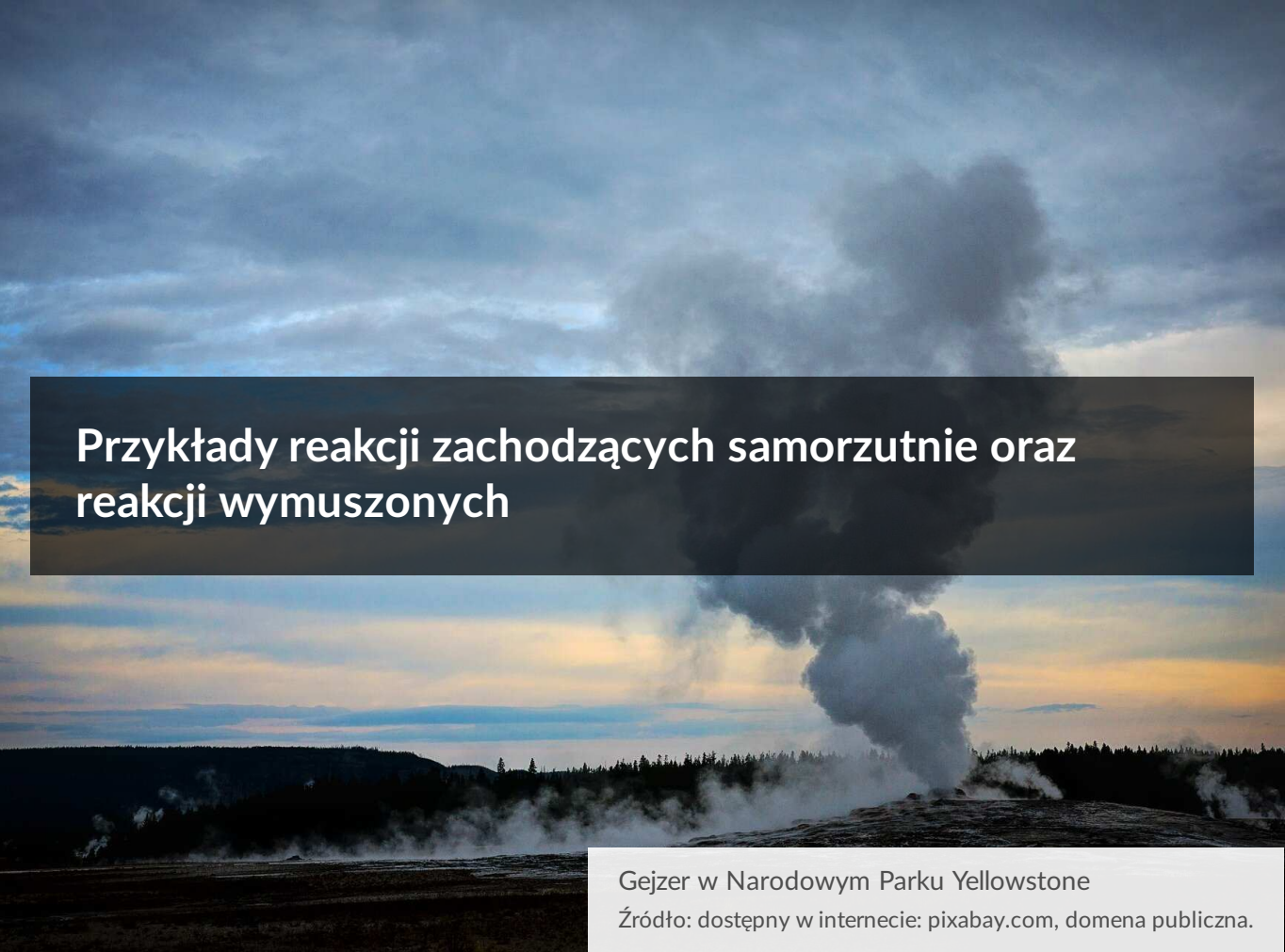




Przykłady reakcji zachodzących samorzutnie oraz reakcji wymuszonych

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



Przykłady reakcji zachodzących samorzutnie oraz reakcji wymuszonych

Gejzer w Narodowym Parku Yellowstone

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

Zasady termodynamiki, dotyczące samorzutności procesów, najlepiej odzwierciedlają w przyrodzie gejzery. W odpowiednich warunkach ciśnienia i temperatury wyrzucają parę wodną i wodę, w specyficznej dla nich erupcji. Chemia to nauka, która pozwala zrozumieć istotę wielu zjawisk i procesów. Wśród ogromu możliwości jej zastosowania, niezwykle interesującą i przydatną jest zdolność do przewidywania, czy dany proces zachodzi w określonych warunkach, czy też nie. Dział chemii eksplorujący tę dziedzinę to termodynamika, która pozwala na badanie zależności między energią a pracą w procesach chemicznych i fizycznych, pozwalając tym samym na określenie samorzutności procesu. Czy wiesz, z jakimi wielkościami związana jest samorzutność procesów? A może wiesz, z jaką zasadą termodynamiczną ma to związek?

Twoje cele

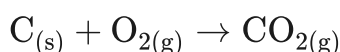
- Zdefiniujesz pojęcia: proces samorzutny, proces wymuszony, entalpia swobodna, entropia oraz II zasada termodynamiki.
- Porównasz reakcje samorzutne z wymuszonymi.
- Opisziesz, w jaki sposób materia ulega redystrybucji w trakcie procesów samorzutnych.

Proces samorzutny a wymuszony

Głaz ukruszony od skały samoistnie toczy się w dół. Ponowne jego wtoczenie pod górę wymaga interwencji z zewnątrz – zastosowania dźwigu. Woda naturalnie spływa z gór w dół, a jej przepływ w górę wymaga zastosowania pompy. Żelazo wystawione na czynniki atmosferyczne ulega korozji, jednak odwrócenie tego procesu jest możliwe tylko przez zastosowanie odpowiedniej obróbki chemicznej. Wszystkie procesy z natury mają tendencję do przebiegania w jednym kierunku, w określonych warunkach. Na podstawie powyższych przykładów, w prosty sposób można zdefiniować **proces samorzutny** jako proces nieodwracalny, który zachodzi naturalnie w określonych warunkach, pod wpływem dostarczonej energii ze źródła zewnętrznego. Co więcej, w danych warunkach może być on określany mianem samorzutnego tylko w jednym kierunku, zatem proces odwrotny do niego jest **procesem wymuszonym**. Przykładami obrazującymi to stwierdzenie jest topnienie lodu w temperaturze pokojowej, pod ciśnieniem atmosferycznym, kontra woda która w tych warunkach nie zamarza samoistnie.

Termodynamika to dział fizyki, który bada efekty energetyczne przemian fizycznych i chemicznych. Pozwala m.in. zanalizować możliwość przebiegu danego procesu w określonych warunkach.

Procesy zachodzące samorzutnie nie są skorelowane z szybkością, ponieważ wiele procesów chemicznych w sposób samorzutny może przebiegać bardzo szybko lub bardzo wolno (jak w przypadku rozpadów promieniotwórczych czy korozji metali). Powyższe przykłady w sposób jednoznaczny wykazują, że procesowi samorzutnemu towarzyszy wzrost **entropii** układu lub spadek **entalpii** dla tego układu. Tak samo dzieje się w przypadku reakcji chemicznych. Rozważmy to na podstawie poniższego przykładu syntezy tlenku węgla(IV) z pierwiastków:



Standardowa zmiana **entalpii** CO_2 :

- $\Delta H^\circ = -393,51 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$

Standardowa zmiana **entropii** SO_2 :

- $\Delta S^\circ = 213,68 \frac{\text{J}}{\text{K}\cdot\text{mol}}$

Podana reakcja wiąże się ze spadkiem entalpii i wzrostem entropii układu reakcyjnego, zatem przebieg tej reakcji jest możliwy. I wiadomo, że węgiel z łatwością ulega spaleniu w tlenie, czego efektem jest otrzymanie tlenku węgla(IV), zatem podana reakcja jest reakcją samorzutną, a jej inicjacja wymaga dostarczenia energii.

Innym przykładem jest reakcja tworzenia wody z pierwiastków (tleny i wodoru). Dla niej standardowa zmiana entalpii H_2O wynosi:

- $\Delta H^\circ = -285,83 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$

A standardowa zmiana entropii H_2O :

- $\Delta S^\circ = -163,14 \frac{\text{J}}{\text{K}\cdot\text{mol}}$

W tym przypadku jedynie korzystna jest zmiana entalpii (malejąca wartość), natomiast zmiana entropii dla tego układu już nie jest korzystna (ponieważ maleje). Pomimo tego, jak pewnie dobrze wiesz, reakcja ta przebiega w sposób samorzutny. Samorzutność procesów nie dotyczy tylko reakcji egzotermicznych. Samorzutnie mogą również przebiegać procesy endotermiczne, dla których zmiana entropii jest wystarczająco wysoka.

Jak stwierdzić, czy dana reakcja może przebiegać?

Wielkość pozwalająca na określenie możliwości przebiegu danego procesu to **entalpia swobodna** ΔG (a dokładniej **zmiana entalpii swobodnej**). Inaczej: energia swobodna Gibbsa, nazwana tak na cześć naukowca lub nazywana potencjałem termodynamicznym.

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

Gdzie:

- ΔH – oznacza entalpię procesu $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{mol}}\right]$;
- ΔS – oznacza entropię procesu $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{K}\cdot\text{mol}}\right]$;
- T – oznacza temperaturę, w której przebiega proces [K].

W **warunkach standardowych** (ciśnienie 1013 hPa) wzór ma postać:

$$\Delta G^{\circ} = \Delta H^{\circ} - T \Delta S^{\circ}$$

W zależności od tego, jaką wartość przyjmuje entalpia swobodna, dana reakcja przebiega w sposób samorzutny – w przeciwnym kierunku lub substraty znajdują się w równowadze z produktami. Pamiętaj jednak – fakt, że proces z punktu widzenia termodynamicznego jest samorzutny, nie oznacza jeszcze konieczności jego zajścia. Jest to tylko wyraz tendencji tego procesu do możliwości przeprowadzenia tego typu reakcji.

ΔG dla reakcji opisanej równaniem $A + B \rightarrow C$

- $\Delta G < 0$ to proces jest samorzutny (przebiega reakcja $A + B \rightarrow C$);
- $\Delta G = 0$ to reakcja jest w stanie równowagi czyli reakcja przebiega w obu kierunkach (przebiega reakcja $A + B \rightleftharpoons C$).
- $\Delta G > 0$ to proces samorzutny przebiega w przeciwnym kierunku (przebiega reakcja $C \rightarrow A + B$);

Powyższe podsumowanie, dotyczące wielkości zmiany entalpii swobodnej, stanowią podstawę [II zasady termodynamiki](#), która określa kierunek przebiegu procesów samorzutnych w przyrodzie.

Ważne!

Kryterium spontaniczności reakcji przy stałym ciśnieniu i temperaturze.

- $\Delta G < 0$ reakcja spontaniczna
- $\Delta G = 0$ reakcja w równowadze
- $\Delta G > 0$ reakcja niespontaniczna

Ciekawostka

Diagram fazowy węgla informuje o tym, że grafit jest stabilną formą węgla w warunkach ciśnienia atmosferycznego otoczenia, podczas gdy diament jest stabilnym alotropem tegoż pierwiastka jedynie przy bardzo wysokich ciśnieniach (występujących podczas jego formowania geologicznego). Co więcej, z obliczeń termodynamicznych wynika, że konwersja diamentu do grafitu (grafityzacja) pod ciśnieniem atmosferycznym zachodzi spontanicznie. Jak to możliwe, skoro przecież diamenty utrzymują się w tych warunkach? Choć jest to proces samorzutny, zachodzi bardzo powoli. Dlatego ewentualną przemianę diamentu w grafit w biżuterii będzie można zaobserwować dopiero za wiele tysięcy lat.



Czy wiesz, że diamenty nie są wieczne?

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

Słownik

proces samorzutny

proces, który można zrealizować bez konieczności wykonywania pracy nad układem

proces wymuszony

proces, który do przebiegu wymaga wykonanie pewnej pracy nad układem

entalpia

ciepło pochłaniane lub wydzielane w czasie przemian fizycznych lub reakcji chemicznych, które zostały zmierzone w stałych warunkach ciśnienia i temperatury w stosunku do jednego mola reagentów

układ

wszystkie substancje biorące udział w danej przemianie fizycznej lub reakcji chemicznej

układ otwarty

układ reakcyjny, który może wymieniać z otoczeniem materię i energię

układ zamknięty

układ, który nie wymienia z otoczeniem materii, lecz może wymieniać z otoczeniem energię

układ izolowany

układ, który nie może i nie wymienia z otoczeniem ani materii, ani energii

otoczenie

wszystkie elementy zewnętrzne, które nie biorą udziału w reakcji, czyli nie należą do układu

entropia

miara nieuporządkowania układu

entalpia swobodna

miara samorzutności procesu; wielkość pozwalająca na określenie samorzutności procesu lub reakcji chemicznej; inaczej nazywana energią Gibbsa na cześć naukowca, który to pojęcie wprowadził do termodynamiki – inaczej nazywana potencjałem termodynamicznym

stan standardowy

stan substancji w postaci czystej, występujący pod ciśnieniem 1013 hPa i w dowolnej określonej temperaturze (najczęściej w 25 °C)

II zasada termodynamiki

stanowi podstawowe prawo termodynamiki, które stwierdza, że w układzie izolowanym istnieje funkcja stanu (entropia ΔS), która nie maleje z czasem; zasada ta określa kierunek przebiegu procesów samorzutnych w przyrodzie

diagram fazowy

krzywe, opisujące równowagę termodynamiczną współistniejących ze sobą różnych faz układu; zawiera informacje na temat warunków współistnienia, w których istnieją jednocześnie różne fazy układu

konwersja

przekształcenie postaci

Bibliografia

Bieleński A., *Podstawy chemii nieorganicznej*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1994.

Encyklopedia PWN

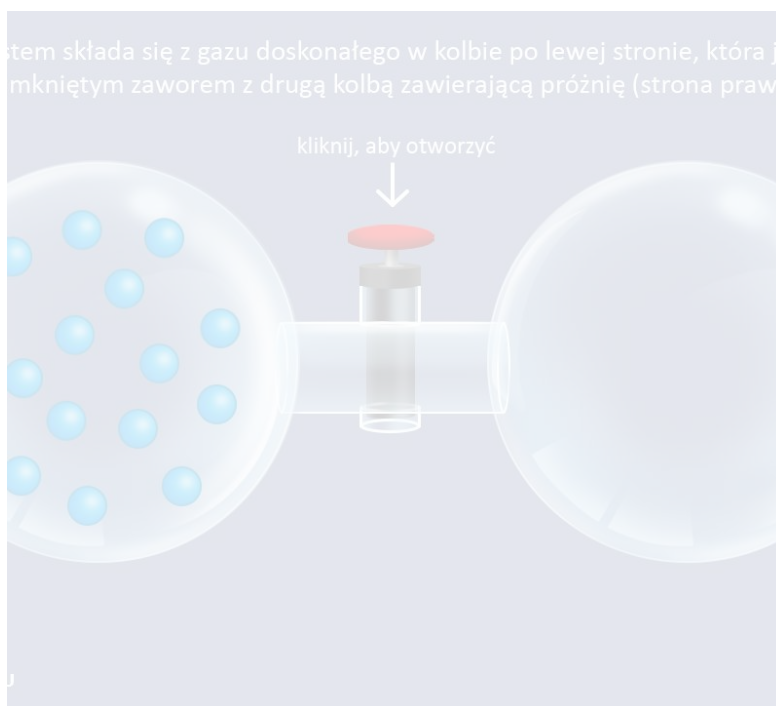
Hejwowska S., Marcinkowski R., *Równowagi i procesy jonowe*, Wydawnictwo Operon, Gdynia, 2005.

www.openstax.org/books/chemistry-atoms-first-2e/pages/12-1-spontaneity (dostęp 26.10.2019 r.)

Grafika interaktywna

Polecenie 1

Kiedy występuje proces samorzutny, a kiedy wymuszony w przypadku rozprężania i sprężania się gazu? Zapoznaj się z grafiką interaktywną, a następnie rozwiąż zadania.



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/DxegA6Ypj>

Grafika interaktywna pt. „Sprężanie i rozprężanie gazu”

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

Sprężanie się gazu

Do rozprężania gazu nie jest wymagana siła zewnętrzna, natomiast do jego sprężania się wręcz przeciwnie, dlatego też sprężanie gazu jest procesem wymuszonym. Gaz idealny samoistnie nie wypełni nam mniejszej przestrzeni, gdyż jego naturalną tendencją jest równomierne wypełnianie całej dostępnej przestrzeni. Powrót do sytuacji wyjściowej byłby możliwy tylko poprzez dostarczenie efektów zewnętrznych tj. pracy do układu.

Polecenie 2

Jakie znasz przykłady reakcji spontanicznych i wymuszonych? Zapoznaj się z grafiką interaktywną, a następnie odpowiedz na pytania.

Przykłady reakcji spontanicznych i wymuszonych.

Źródło: Materiał opracowany na podstawie informacji dostępnych pod adresem:

[https://chem.libretexts.org/Courses/University_of_Kentucky/UK%3A_CHE_103_-](https://chem.libretexts.org/Courses/University_of_Kentucky/UK%3A_CHE_103_-_Chemistry_for_Allied_Health_(Soult)/Chapters/Chapter_11%3A_Properties_of_Reactions/11.5%3A_Spontaneous_Reactions_and_Free_Energy)

[_Chemistry_for_Allied_Health_\(Soult\)/Chapters/Chapter_11%3A_Properties_of_Reactions/11.5%3A_Spontaneous_Reactions_and_Free_Energy](https://chem.libretexts.org/Courses/University_of_Kentucky/UK%3A_CHE_103_-_Chemistry_for_Allied_Health_(Soult)/Chapters/Chapter_11%3A_Properties_of_Reactions/11.5%3A_Spontaneous_Reactions_and_Free_Energy), domena publiczna.

Ćwiczenie 1

Czy w przypadku rozprężenia gazu idealnego do próżni została wykonana praca?

Odpowiedź:

Ćwiczenie 2

Wyjaśnij, dlaczego proces odwrotny rozprężenia gazu idealnego do próżni jest procesem wymuszonym (sprężanie gazu)?

Odpowiedź:

Ćwiczenie 3

Reakcje spontaniczne

rdzewienie

elektroliza wody

reakcja łączenia wody i tlenku węgla(IV)

Reakcje wymuszone

spalanie

reakcja rozkładu węglanu wapnia

rozkład kwasu węglowego na wodę i tlenek węgla(IV)

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Zapisz równanie, które pozwala na określenie samorzutności procesu i opisz odpowiednio wszystkie oznaczenia. Jak wygląda to równanie dla układu znajdującego się w stanie standardowym?

$$\boxed{} = \boxed{} \boxed{} \boxed{}$$

Gdzie:

- $\boxed{}$ – oznacza entalpię procesu $\boxed{}$;
- $\boxed{}$ – oznacza entropię procesu $\boxed{}$;
- $\boxed{}$ – oznacza temperaturę, w której przebiega proces $\boxed{}$.

Postać równania w warunkach standardowych:

$$\boxed{} = \boxed{} \boxed{} \boxed{}$$

$T \Delta S^\circ$ ΔG° ΔH ΔH° T $T \Delta S$ $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \right]$ $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right]$ $+$ ΔS $-$

$+$ ΔH $-$ $[\text{K}]$ ΔG

Ćwiczenie 2



Uzupełnij odpowiednio, czy zdanie jest prawdziwe, czy fałszywe.

Zdanie	Prawda	Fałsz
Proces odwrotny do procesu samorzutnego (w danych warunkach) nazywany jest procesem wymuszonym.	☐	☐
Procesy samorzutne zależą wprost proporcjonalnie od szybkości ich przebiegu.	☐	☐
Przykładem samorzutnego procesu jest rozkład promieniotwórczy uranu ($U - 238$).	☐	☐
Wszystkie reakcje, posiadające wysoce ujemną entalpię i wysoce dodatnią entropię, zawsze ulegają przemianom.	☐	☐
Diamant samorzutnie ulega przemianie w grafit.	☐	☐
Skutecznie przebiegają jedynie reakcje egzotermiczne, posiadające dodatnią entropię.	☐	☐

Ćwiczenie 3



Uzupełnij poniższy schemat, ilustrujący II zasadę termodynamiki.

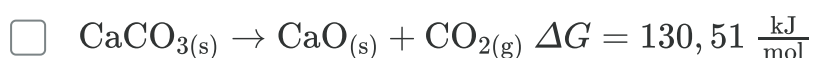
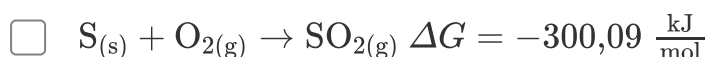
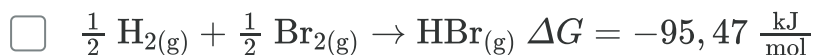
- Jeśli ΔG 0 to proces jest (przebiega reakcja $C + B \rightarrow E$)
- Jeśli ΔG 0 to proces (przebiega reakcja $E \rightarrow C + B$)
- Jeśli ΔG 0, to reakcja jest w , czyli (przebiega reakcja $C + B \rightleftharpoons E$)

>	samorzutny przebiega w przeciwnym kierunku	reakcja przebiega w obu kierunkach	
<input "="" type="text" value="="/>	stanie równowagi	<	samorzutny

Ćwiczenie 4



Zdecyduj, które reakcje mogą przebiegać zgodnie z zasadami dotyczącymi potencjału termodynamicznego. ($T = 25^{\circ}\text{C}$, 1013 hPa)



Ćwiczenie 5



Zaznacz, które procesy zachodzą samorzutnie.

☐ Nabój wystrzelony w powietrze.

☐ Płatek śniegu spadający na ziemię.

☐ Parowanie ciekłego azotu w temperaturze pokojowej pod ciśnieniem atmosferycznym.

☐ Woda w stanie ciekłym, zamarzająca w temperaturze powyżej jej punktu zamarzania.

Ćwiczenie 6



Połącz procesy ze zmianami jakie zachodzą w układzie.

Sublimacja

konwersja ciała stałego do gazu. W wyniku tego procesu następuje znaczne zwiększenie rozproszenia materii, ponieważ cząsteczki powstającego gazu zajmują znacznie większą objętość niż cząsteczki w stanie stałym. Entropia układu rośnie.

Kondensacja

konwersja gazu do cieczy. Proces ten prowadzi do znacznie mniejszego rozproszenia materii. Entropia układu maleje.

Dyfuzja

w wyniku tego procesu rozproszenie materii staje się bardziej jednorodne. Entropia maleje.

Ćwiczenie 7



Oceń samorzutność procesu tworzenia chlorku potasu z pierwiastków w warunkach ciśnienia 1013 hPa i w temperaturze 25 °C. Wiedząc, że standardowa entalpia tworzenia wynosi $-436,49 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$, a standardowa entropia wynosi $82,57 \frac{\text{J}}{\text{K}\cdot\text{mol}}$.

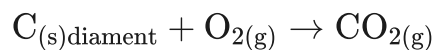
Rozwiązanie oraz odpowiedź zapisz w zeszycie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

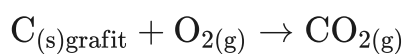
Ćwiczenie 8



Wiedząc, ile wynoszą standardowe entalpie swobodne (w warunkach ciśnienia 1013 hPa i w temperaturze 25 °C) dla poniższych reakcji:



$$\Delta G^{\circ} = -397 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$



$$\Delta G^{\circ} = -394 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

udowodnij, że reakcja przemiany diamentu w grafit jest samorzutna.

Rozwiązanie oraz 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: Przykłady reakcji zachodzących samorzutnie i reakcji wymuszonych?

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

Podstawa programowa:

Poziom podstawowy i rozszerzony

Wymagania ogólne

II. Rozumowanie i zastosowanie nabytej wiedzy do rozwiązywania problemów. Uczeń:

- 5) wykorzystuje wiedzę i dostępne informacje do rozwiązywania problemów chemicznych z zastosowaniem metody naukowej;
- 6) stosuje poprawną terminologię.

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: proces samorzutny, proces wymuszony, entalpia swobodna, entropia oraz II zasada termodynamiki;
- porównuje procesy spontaniczne z wymuszonymi;
- opisuje, w jaki sposób materia ulega redystrybucji w trakcie procesów samorzutnych.

Strategie nauczania:

- asocjacyjna;

- problemowa.

Metody i techniki nauczania:

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

Forma pracy:

- praca zbiorowa;
- praca w grupach;
- 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, kreda.

Przed lekcją:

1. Uczniowie proszeni są o przygotowanie równej ilości kolorowych kuleczek (dwa kolory), mogą je kupić lub przygotować poprzez pomalowanie ziaren grochu na dwa różne kolory.

Przebieg zajęć

Faza wstępna:

1. Zaciekawienie i dyskusja. Nauczyciel zadaje uczniom przykładowe pytania:
 - co dzieje się z lodem wyciągniętym z zamrażarki?
 - czy woda pozostawiona na blacie ulega samoistnemu zagotowaniu?
 - co dzieje się z upuszczonym przez uczniów ołówkiem?
 - czy piłka może sama wznieść się w górę?
 - z jakimi wielkościami związana jest samorzutność procesów?
 - z jaką zasadą termodynamiczną ma to związek?
2. Rozpoznawanie wiedzy wyjściowej uczniów. Burza mózgów wokół pojęć: proces samorzutny, proces wymuszony.

3. Ustalenie celów lekcji. Nauczyciel podaje temat zajęć i wspólnie z uczniami ustala cele lekcji, które uczniowie zapisują w portfolio.

Faza realizacyjna:

1. Nawiązując do dyskusji dydaktycznej z fazy wstępnej, uczniowie są proszeni o sklasyfikowanie podanych przykładów do procesów samorzutnych lub wymuszonych, po czym uczniowie mają zdefiniować proces samorzutny i wymuszony. Nauczyciel ewentualnie uzupełnia proponowane definicje uczniów.
2. Eksperyment uczniowski. Wykorzystanie elementu, który uczniowie mieli przygotować w domu. Uczniowie proszeni są o wsypanie kuleczek w jednym kolorze do cylindra miarowego. Następnie wrzucają kuleczki w drugim kolorze tak, aby nie naruszyć warstwy pierwszej. Podopieczni mają wstrząsnąć cylindrem. Na tym etapie muszą zaobserwować, że początkowe uporządkowanie kuleczek zostaje zastąpione stopniowo wzrastającym przypadkowym ułożeniem kuleczek. To nieuporządkowanie obrazuje nieodwracalność i samorzutność procesu mieszania, który jest napędzany zmianą entropii (miara nieuporządkowania układu). Powrót do stanu początkowego zdaje się być nieprawdopodobny, gdyż należałoby czekać bardzo długo na taką fluktuację. Próba zatem okazuje się być tym bardziej nieprawdopodobna, jak samoistne przekształcenie nieporządku w naszym otoczeniu (w pokoju) na ład i porządek. Na podstawie tego przykładu uczniowie proszeni są o zdefiniowanie pojęcia entropii.
3. Analiza materiału źródłowego w e-materiale w odniesieniu do standardowej entalpii swobodnej, II zasady termodynamiki. Chętny lub wskazany uczeń podaje jej treść i zapisuje odpowiedni wzór na tablicy.
4. Nauczyciel dzieli uczniów na cztery grupy. Uczniowie w grupach mają za zadanie scharakteryzować wylosowaną przemianę:
 - mieszanina chłodząca lodu i soli w warunkach atmosferycznych ciśnienia i temperatury;
 - proces termicznego rozkładu węglanu wapnia $\Delta H^\circ = 178,19 \text{ kJ/mol}$, $\Delta S^\circ = 160,07 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$;
 - resublimacja pary wodnej;
 - spalanie siarki w tlenie na powietrzu $\Delta H^\circ = -296,81 \text{ kJ/mol}$, $\Delta S^\circ = 11,02 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$.
5. Do pełnego opisu podopieczni muszą podać, czy dana przemiana to proces samorzutny, czy wymuszony (jeśli wymuszony to czym) – podać przykłady lub obliczyć wartości entalpii swobodnej dla przemian, określić typ reakcji (jeśli można), czy jest egzo-, czy endotermiczna. Ewentualne niezrozumiałe kwestie wyjaśnia nauczyciel:
 - pierwszy przykład – proces endotermiczny, jednak dodatnia entalpia jest kompensowana silnie rosnącą entropią tego układu – proces jest samorzutny;
 - drugi przykład – proces endotermiczny, który wymaga dostarczenia ciepła z zewnątrz i który w warunkach ciśnienia 1013hPa i 25°C nie zachodzi samorzutnie;

- trzeci przykład – prowadzi do zmniejszenia entropii układu, wymaga ingerencji z zewnątrz, samoistnie nie zachodzi;
 - czwarty przykład – prowadzi do otrzymania dwutlenku siarki, proces jest samorzutny.
6. Uczniowie analizują grafikę interaktywną w medium bazowym i samodzielnie sprawdzają swoją wiedzę, wykonując ćwiczenia zawarte w e-materiale – „Sprawdź się”.

Faza podsumowująca:

1. W ramach podsumowania nauczyciel prosi uczniów, by każdy z nich, korzystając z generatora w abstrakcie, ułożył krzyżówkę. Ma ona odnosić się do zagadnień poruszanych na lekcji. Następnie chętni uczniowie wyświetlają krzyżówki z hasłami na tablicy interaktywnej i wspólnie rozwiązują kilka z nich. Nauczyciel czuwa nad poprawnością merytoryczną wykonania zadania.
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 sprawiało mi trudność...

Praca domowa:

Uczniowie wykonują pozostałe ćwiczenia zawarte w e-materiale – „Sprawdź się”.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania multimedium:

Grafika interaktywna może być wykorzystana przez uczniów jako pomoc w przygotowaniu do zajęć.

Materiały pomocnicze:

1. Nauczyciel przygotowuje karteczki do losowania z napisami:
 - mieszanina chłodząca lodu i soli w warunkach atmosferycznych ciśnienia i temperatury;
 - proces termicznego rozkładu węglanu wapnia $\Delta H^\circ = 178,19 \text{ kJ/mol}$, $\Delta S^\circ = 160,07 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$;
 - resublimacja pary wodnej;
 - spalanie siarki w tlenie na powietrzu $\Delta H^\circ = -296,81 \text{ kJ/mol}$, $\Delta S^\circ = 11,02 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$.
2. Polecenia podsumowujące (nauczyciel przed lekcją zapisuje je na niewielkich kartkach):
 - Jak wytłumaczysz w chemii: proces samorzutny i proces wymuszony?
 - Jak zdefiniujesz pojęcie entalpii swobodnej?

- Jak wyjaśnisz zjawisko entropii?
- Jak brzmi treść II zasady termodynamiki?