



Na czym polega stan równowagi termodynamicznej?

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



Na czym polega stan równowagi termodynamicznej?

## Czy to nie ciekawe?

Zabawa na huśtawce pozwala bardzo dobrze zrozumieć, na czym polega stan równowagi. W przypadku huśtawki jest nim jej najniższe położenie, takie w którym pozostaje ona w spoczynku. Każde wychylenie z tego położenia powoduje ruch, zmianę położenia. Tak więc, stan równowagi kojarzy nam się z bezruchem, stałością, niezmiennością. Jak jednak opisać stan równowagi układu termodynamicznego? Właśnie teraz zmierzmy się z tym zagadnieniem.



Rys. a. Dziecko na huśtawce.

## Twoje cele

- Poznasz definicję stanu równowagi układu termodynamicznego,
- Dowiesz się, jakie warunki muszą być spełnione, aby układ był w stanie równowagi,
- Przeanalizujesz na przykładach procesy prowadzące do stanu równowagi,
- Zrozumiesz, na czym polega stan równowagi dynamicznej.

# Przeczytaj

---

## Warto przeczytać

Stan układu termodynamicznego opisują takie parametry, jak temperatura, ciśnienie, objętość, masa, a także skład procentowy substancji w różnych stanach skupienia. Parametry te określa się mianem *makroskopowych*, ponieważ charakteryzują one stan układu jako całości. Na przykład, gdy w układzie znajduje się mieszanina wody i lodu, to inny będzie stan układu, gdy masa lodu będzie stanowiła 10% masy całości, a inny gdy zawartość lodu będzie równa 50%.

**Stan równowagi termodynamicznej to taki stan, w którym makroskopowe parametry układu nie zmieniają się w czasie.**

O stanie równowagi termodynamicznej najprościej jest mówić w odniesieniu do *układów zamkniętych*, które nie wymieniają materii z otoczeniem. W takich układach, stałość masy jest z definicji zagwarantowana. Substancja umieszczona w szczelnie zamkniętym słoju lub innym pojemniku na pewno będzie miała stałą masę. Oczywiście są układy, których nie sposób zamknąć. Przykładem może być atmosfera ziemska, jezioro itp. Chociaż *otwartymi układami* nie będziemy się dalej zajmować warto pamiętać, że one również mogą być w stanie równowagi termodynamicznej. Aby tak było, ich masa nie może się zmieniać w czasie. Na przykład w otwartym słoiku, który jest wypełniony powietrzem, bez przerwy następuje wymiana materii z otoczeniem. Z makroskopowego punktu widzenia, w ustalonym przedziale czasu, średnio tyle samo cząsteczek ucieka ze słoika, ile do niego wpada z zewnątrz.

Teraz zastanówmy się, jakie warunki muszą być spełnione, aby w *zamkniętym układzie* temperatura i ciśnienie były stałe.

- **Temperatura**

Kiedy temperatura układu jest stała? Aby tak było, układ nie może wymieniać energii z otoczeniem, w taki sposób, że pobiera z otoczenia więcej ciepła niż do otoczenia oddaje. Oprócz wspomnianego zerowego bilansu cieplnego wynikającego z oddziaływania między układem i jego otoczeniem, aby temperatura w układzie nie zmieniała się, musi być jeszcze spełniony jeden warunek: poszczególne części układu powinny mieć taką samą temperaturę. Na przykład zastanówmy się, co się stanie, gdy do gorącej wody w termosie wrzucimy kawałek lodu. Chociaż termos zapewnia izolację cieplną, układ składający się z gorącej wody i lodu wcale nie jest w równowadze. Ciepło przepływa od wody do lodu i temperatura wody zmniejsza się, lód się topi, woda z niego powstała zwiększa swoją temperaturę. Zachodzi tu wiele procesów, które zmieniają stan układu. Podsumowując: **stan równowagi termodynamicznej układu ustala się dopiero wtedy, gdy wszystkie**

**makroskopowe przepływy energii między układem i jego otoczeniem, ale też te wewnątrz układu ustają.**

- **Ciśnienie**

Wyobraźmy sobie powietrze w nadmuchanym baloniku. Kiedy ciśnienie w baloniku będzie stałe? Wtedy, gdy nie będzie się zmieniać ciśnienie zewnętrzne. Każde zwiększenie ciśnienia zewnętrznego spowoduje zmniejszenie objętości balonika i zwiększenie ciśnienia powietrza w nim zawartego.

**Układ jest w stanie równowagi, gdy nie działają na niego siły zewnętrzne lub działające siły się równoważą.**

A teraz rozważmy układ obejmujący cały pokój, w którym znajduje się balonik. Ciśnienie powietrza w baloniku jest większe niż w pokoju. Co się stanie, gdy balonik przebijemy szpilką? Oczywiście, powietrze z balonika wyleci z dużą prędkością, co poznamy po tym, że siła odrzutu tego powietrza wprawi balonik w ruch. Ta sytuacja daleka jest od stanu równowagi. Równowaga ustali się wtedy, gdy ciśnienia (wewnątrz balonika i w całym pokoju) wyrównają się i ustaną wszystkie makroskopowe przepływy powietrza.



Rys. 1. Układ obejmujący pokój, w którym znajduje się balonik, nie jest w równowadze termodynamicznej w momencie przebicia balonika.

Podsumowując, możemy stwierdzić, że w stanie równowagi nie ma w układzie żadnych przepływów i dotyczy to zarówno materii jak i energii. Warunkiem stanu równowagi jest więc stałość ciśnienia i temperatury w całej objętości układu. Ten warunek przenosi się na wszystkie **parametry makroskopowe** układu: gęstość, **stężenie roztworu** itp. Gdy na

przykład wsypimy do herbaty cukier, stan równowagi ustali się, gdy cały cukier się rozpuści i jego stężenie będzie jednakowe w całej objętości herbaty.

**W stanie równowagi termodynamicznej parametry takie, jak ciśnienie, temperatura, stężenie roztworu są jednakowe w każdym punkcie układu.**

A co będzie, gdy do herbaty wsypimy tak dużo cukru, że nie cały się w niej rozpuści? Ustali się wtedy **stan równowagi dynamicznej**. Masa nierozpuszczonego cukru będzie stała, bo w określonym czasie tyle samo cukru rozpuszcza się w herbatce, ile cukru wytrąca się z roztworu.

W stanie **równowagi dynamicznej** znajdują się układy, które zawierają współistniejące dwie fazy materii. Jeśli w naczyniu znajduje się lód i woda w temperaturze  $0^{\circ}\text{C}$ , to masy lodu i wody nie zmieniają się, jeśli układ nie wymienia ciepła z otoczeniem. Nie oznacza to, że w naczyniu nie przebiegają żadne procesy. Lód topi się, ale tyle samo wody krzepnie tak, że ilość lodu i wody pozostaje stała.

Innym przykładem równowagi dynamicznej jest ciecz w zamkniętym naczyniu. Ciecz paruje w każdej temperaturze i początkowo, po zamknięciu naczynia, masa cieczy maleje na skutek parowania, a masa pary rośnie. Układ nie jest w stanie równowagi. W pewnym momencie jednak para osiąga stan nasycenia. **Para nasycona** to para o największej możliwej gęstości i ciśnieniu w danej temperaturze. Od tej chwili tyle samo pary się skrapla, ile cieczy paruje. Ustala się stan **równowagi dynamicznej**.

Uporządkujmy pojęcia. Mówiliśmy o stanie **równowagi termodynamicznej** i o stanie **równowagi dynamicznej**.

**Równowaga termodynamiczna** odnosi się do wszystkich układów, które opisujemy za pomocą makroskopowych parametrów termodynamicznych, takich jak temperatura, ciśnienie, gęstość itp. W stanie równowagi termodynamicznej parametry te nie zmieniają się w czasie i są jednakowe w każdym punkcie tych układów.

**Równowaga dynamiczna** to szczególny przypadek równowagi termodynamicznej, w której nie ustały wszystkie procesy, ale skutki zachodzących procesów znoszą się. Na przykład, tyle samo wody paruje, ile pary się skrapla, tyle samo cukru rozpuszcza się w wodzie, ile wytrąca się z roztworu.

**Układy izolowane**, które nie są w stanie równowagi, spontanicznie dążą do takiego stanu. To spostrzeżenie stanowi treść drugiej zasady termodynamiki, w jej najbardziej ogólnym sformułowaniu. Temperatury i ciśnienia wyrównują się, ustają wszelkie procesy lub, jak w przypadku równowagi dynamicznej, szybkości procesów są sobie równe i ich skutki znoszą się. Natomiast nigdy nie zdarza się sytuacja odwrotna. Gaz w pojemniku nie zbiera się w jednej części i nie powstaną samorzutnie różnice ciśnień i temperatur między różnymi częściami pojemnika.

Więcej o tej prawidłowości dowiesz się z e-materiału „Entropia”.

## Słowniczek

### Układ otwarty

(*ang.: open system*) układ, który może wymieniać z otoczeniem materię i energię.

### Układ zamknięty

(*ang.: closed system*) układ, który może wymieniać z otoczeniem energię, ale nie wymienia materii.

### Układ izolowany

(*ang.: isolated system*) układ, który nie wymienia z otoczeniem materii i energii.

### Parametry makroskopowe

(*ang.: macroscopic parameters*) zależą od średniego zachowania się mikroskopowych składników materii. Na przykład temperatura gazu doskonałego zależy od średniej energii kinetycznej jego cząstek.

### Para nasycona

(*ang.: saturated steam*) para o największej możliwej gęstości i ciśnieniu w danej temperaturze.

### Stężenie roztworu

(*ang.: solution concentration*) stosunek ilości substancji rozpuszczonej do ilości roztworu.

### Roztwór nasycony

(*ang.: saturated solution*) roztwór, który nie zmienia swego stężenia w kontakcie z substancją rozpuszczoną. Oznacza to, że nie można w nim rozpuścić już więcej substancji.

### Dyfuzja

(*ang.: diffusion*) proces samorzutnego rozprzestrzeniania i przenikania się cząsteczek dwóch różnych substancji na skutek ich chaotycznych ruchów i zderzeń między cząsteczkami. (z j. łacińskiego: '*diffusio*' - rozlanie)

### Równowaga dynamiczna

(ang.: *dynamic equilibrium*) rodzaj równowagi termodynamicznej, w której szybkości procesów są sobie równe – ich wypadkowa równa jest zeru.

# Film samouczek

---

## Na czym polega stan równowagi termodynamicznej?

Obejrzyj film samouczek, z którego dowiesz się, jak układy dochodzą do stanu równowagi termodynamicznej i odpowiedz na zadane w nim pytanie.

### Polecenie 1

W zamkniętym pojemniku znajduje się gaz w stanie równowagi termodynamicznej. Pojemnik został nieco ściśnięty, tak że ciśnienie i gęstość gazu zmieniły się. Czy po tej zmianie gaz wciąż znajduje się w stanie równowagi termodynamicznej?

### Polecenie 2

Do termosu z kawą o temperaturze  $90^{\circ}\text{C}$  wlano łyżkę mleka o temperaturze  $10^{\circ}\text{C}$ . Jakie procesy będą towarzyszyć dochodzeniu układu do stanu równowagi termodynamicznej?

# Sprawdź się

---

Pokaż ćwiczenia:   

## Ćwiczenie 1



## Ćwiczenie 2



## Ćwiczenie 3



## Ćwiczenie 4



Który z układów jest w stanie równowagi, a który nie? Odpowiedź uzasadnij. a) Woda w rzece. b) Cysterna do połowy wypełniona benzyną.

## Ćwiczenie 5



## Ćwiczenie 6



Do litrowego garnka z wodą wrzucono pół kilograma soli. Po kilku godzinach na dnie garnka wciąż pozostawała nierozpuszczona sól. Jak nazywamy stan równowagi tego układu? Wyjaśnij, jakie procesy toczą się w garnku i czy zmienia się masa nierozpuszczonej soli.

## Ćwiczenie 7



Termos napełniono do połowy wodą o temperaturze  $100^{\circ}\text{C}$  i wrzucono do niego kostkę lodu o temperaturze  $0^{\circ}\text{C}$ . Następnie termos zamknięto. Jakie procesy będą towarzyszyć dochodzeniu układu do stanu równowagi termodynamicznej? Jaka będzie zawartość termosu w stanie równowagi?

## Ćwiczenie 8



Do filiżanki z kawą o temperaturze  $90^{\circ}\text{C}$  wlano łyżkę mleka o temperaturze  $20^{\circ}\text{C}$ . Jakie procesy będą towarzyszyć dochodzeniu układu do stanu równowagi termodynamicznej?

# Dla nauczyciela

---

<b>Imię i nazwisko autora:</b>	Krystyna Wosińska
<b>Przedmiot:</b>	Fizyka
<b>Temat zajęć:</b>	<b>Na czym polega stan równowagi termodynamicznej?</b>
<b>Grupa docelowa:</b>	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
<b>Podstawa programowa:</b>	<b>Cele kształcenia - wymagania ogólne</b> I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości. <b>Zakres rozszerzony</b> <b>Treści nauczania - wymagania szczegółowe</b> I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu; VI. Termodynamika. Uczeń: 4) opisuje przykłady współistnienia substancji w różnych fazach w stanie równowagi termodynamicznej.
<b>Kształtowane kompetencje kluczowe:</b>	<b>Zalecenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji,</li><li>• kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii,</li><li>• kompetencje cyfrowe,</li><li>• kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.</li></ul>
<b>Cele operacyjne:</b>	Uczeń: <ol style="list-style-type: none"><li>1. zdefiniuje stan równowagi układu termodynamicznego;</li><li>2. wyjaśni, jakie warunki muszą być spełnione, aby układ był w stanie równowagi;</li><li>3. przeanalizuje na przykładach procesy prowadzące do stanu równowagi;</li><li>4. wyjaśni, na czym polega stan równowagi dynamicznej.</li></ol>

<b>Strategie nauczania:</b>	strategia eksperymentalno-obszernawcyjna (dostrzeganie i definiowanie problemów)
<b>Metody nauczania:</b>	- wykład informacyjny, - pokaz multimedialny, - analiza pomysłów.
<b>Formy zajęć:</b>	- praca w grupach, - praca indywidualna.
<b>Środki dydaktyczne:</b>	komputer z rzutnikiem lub tablety do dyspozycji każdego ucznia
<b>Materiały pomocnicze:</b>	e-materiały: „Jak definiuje się układ termodynamiczny”, „Warunki równowagi termodynamicznej”, „Entropia”, „Jak definiujemy przemianę fazową”
<b>PRZEBIEG LEKCJI</b>	
<b>Faza wprowadzająca:</b>	
- wprowadzenie zgodnie z treścią w części pierwszej „Czy to nie ciekawe?”, - odwołanie do wiedzy uczniów o stanach równowagi w życiu codziennym.	
<b>Faza realizacyjna:</b>	
- Nauczyciel wprowadza definicję stanu równowagi jako stanu, którego parametry nie zmieniają się. Następnie uczniowie w dyskusji z pomocą nauczyciela ustalają, w jakich warunkach parametry mogą pozostać stałe.  - Nauczyciel wprowadza pojęcie równowagi dynamicznej. Uczniowie w grupach wymyślają przykłady układów w równowadze termodynamicznej i takich, które nie są w równowadze. Następnie w ogólnej dyskusji uczniowie i nauczyciel oceniają słuszność podanych przykładów. Uczniowie oglądają film samouczek.	
<b>Faza podsumowująca:</b>	
W celu oceny nabytych wiadomości uczniowie rozwiązują zadanie 7. i 8.	
<b>Praca domowa:</b>	
Zadania: 1 – 3 (obowiązkowo), do wyboru jedno z zadań 4 – 6.	
<b>Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimediu:</b>	Multimediu bazowe można wykorzystać na lekcji i połączyć z wykonaniem zadania 8 oraz przedyskutowaniem wyników. Uczniowie mogą je również wykorzystać po lekcji, w celu powtórzenia i utrwalenia materiału.