



Wrocław  
University  
of Science  
and Technology

# Fizyka

## semestr zimowy

### 2020/2021

**Grupa B: Piątek, 15:00 - 16:30**

**Grupa A: Piątek, 16:40 - 18:10**

**sala wirtualna**

**– zajęcia online**

**Sylwia Majchrowska**

[sylwia.majchrowska@pwr.edu.pl](mailto:sylwia.majchrowska@pwr.edu.pl)

<https://majsylw.netlify.app/teaching/>

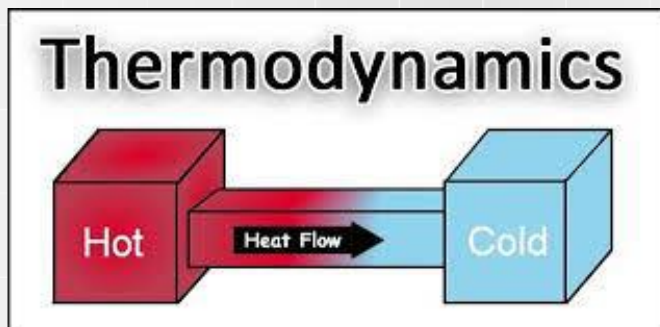
**pokój 213, budynek L-1**



# Termodynamika

Rozbijmy słowo termodynamika na dwie części termo i dynamika. „Termo” oznacza ciepło, a słowo „dynamika” jest używane w połączeniu siłami, które są wymagane do przemieszczania się (wykonania pracy). Dlatego termodynamika jest dziedziną fizyki, która się zajmuje ze związkiem między ciepłem a innymi formami energii.

Konkretnie, termodynamika skupia się głównie na tym, jak przebiega wymiana ciepła, związana z różnymi zmianami energii układu, w którym zachodzą procesy termodynamiczne. Procesy te zwykle skutkują powstaniem wykonaniem przez układ i zarządzane są specyficznymi prawami termodynamiki.

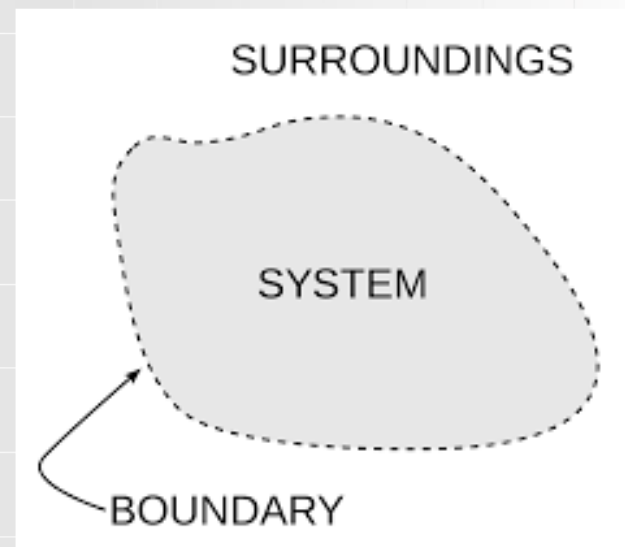




# Układ

W termodynamice układ definiuje się jako określoną przestrzeń lub obszar, na którym odbywa się badanie transfer i konwersję energii:

- **Układ otwarty:** układ, w którym zarówno masa, jak i energia przekraczają granice układu.
- **Układ zamknięty:** układ, w którym masa nie przekracza granic układu, ale energia może się do niego dostawać lub z niego uciekać.
- **Układ izolowany:** układ, w którym ani masa, ani energia nie wychodzą poza jego granice.



## **Granica (boundary)**

*Układ i otoczenie są oddzielone pewną granicą. Może być nieruchoma, ruchoma lub wyimaginowana. Nie zajmuje jakiegokolwiek objętości czy masa w przestrzeni.*

## **Otoczenie**

*Cokolwiek poza naszym układem, co wpływa na jego zachowanie jest nazywane jako otoczeniem.*



# Temperatura

Termin temperatura przywodzi na myśl stan pogody – czy jest ciepło czy zimno. Można powiedzieć, że jest gorący obiekt ma wysoką temperaturę, a zimny obiekt ma niską temperaturę. Ale co to znaczy tak naukowo?

Temperatura (ang. temperature) jest może być zdefiniowana operacyjnie jako wielkość mierzona za pomocą termometru.

Temperatura jest wprost proporcjonalna do średniej energii kinetycznej cząsteczek gazu.

Różnice temperatury podtrzymują wymianę ciepła we Wszechświecie. Jedną z form wymiany ciepła jest transport ciepła na wskutek różnicy temperatur. Kolejnymi formami są promieniowanie oraz konwekcja. Wymiana ciepła (ang. heat transfer) jest to transport energii z jednego miejsca lub materiału do innego na skutek różnicy temperatury.

*Temperatura wrzenia dla wody to  $100^{\circ}\text{C}$*

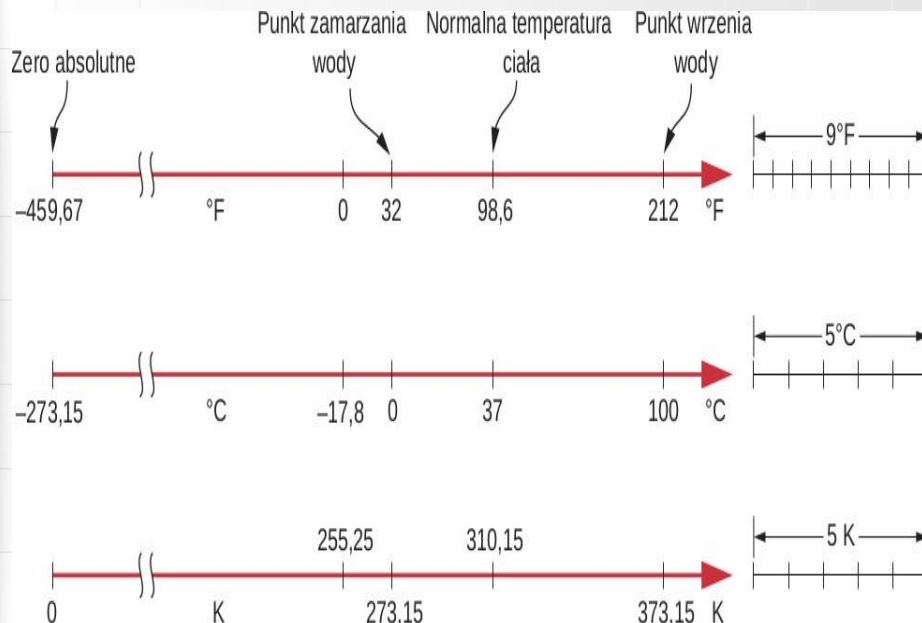
*Temperatura zamarzania dla wody to  $0^{\circ}\text{C}$*



Ciała niebędące ze sobą w kontakcie także są w równowadze termicznej, gdy po ich zetknięciu nie następuje między nimi przekazywanie energii.



# Różne skale temperatur



Każda wielkość fizyczna, która w sposób stały i powtarzalny zależy od temperatury, może być wykorzystana w konstrukcji termometru. Na przykład objętość większości substancji rośnie, gdy wzrasta ich temperatura. Ta właściwość jest podstawą działania znanego wszystkim termometru alkoholowego lub rtęciowego.



[https://pl.wikipedia.org/wiki/Skala\\_termometryczna](https://pl.wikipedia.org/wiki/Skala_termometryczna)

Strażak używa pirometru, by sprawdzić temperaturę układu wentylacyjnego. Natężenie promieniowania podczerwonego emitowanego przez każde ciało zależy od jego temperatury. W tym przypadku pirometr rejestruje promieniowanie podczerwone emitowane z otworu wentylacyjnego i szybko przelicza na wartość temperatury.



Gdy przeliczasz...	Użyj takiego równania:
stopnie Celsjusza na stopnie Fahrenheita	$T_F = \frac{9}{5}T_C + 32$
stopnie Fahrenheita na stopnie Celsjusza	$T_C = \frac{5}{9}(T_F - 32)$
stopnie Celsjusza na kelwiny	$T_K = T_C + 273,15$
kelwiny na stopnie Celsjusza	$T_C = T_K - 273,15$
stopnie Fahrenheita na kelwiny	$T_K = \frac{5}{9}(T_F - 32) + 273,15$
kelwiny na stopnie Fahrenheita	$T_F = \frac{9}{5}(T_K - 273,15) + 32$



# Rozszerzalność cieplna

Rozszerzanie się alkoholu w termometrze jest jednym z wielu powszechnie spotykanych przykładów rozszerzalności cieplnej (ang. thermal expansion), czyli zmiany rozmiarów lub objętości danego układu fizycznego wraz ze zmianą temperatury. Najbardziej widocznym przykładem jest rozszerzalność cieplna gorącego powietrza. Gdy podgrzewamy powietrze, to rozszerza się ono i staje się mniej gęste niż otaczające je chłodne powietrze. W rezultacie chłodniejsze powietrze działa na cieplejsze siłą zwróconą do góry, co powoduje, że para wodna, dym, a także balony z gorącym powietrzem unoszą się ku górze. Takie samo zjawisko zachodzi we wszystkich cieczach i gazach, napędzając naturalny przepływ ciepła do góry w naszych domach, oceanach i układach pogodowych. Rozszerzalność cieplna dotyczy także ciał stałych. Na przykład tory kolejowe i mosty mają szczeliny dylatacyjne (ang. expansion joints), które umożliwiają im swobodne rozszerzanie i kurczenie się przy zmianach temperatury. Dzięki temu nie dochodzi do deformacji, a przy przekroczeniu granicy plastyczności trwałych odkształceń konstrukcji.

Liniowa rozszerzalność cieplna:

$$\Delta L = \alpha L \Delta T$$

Powierzchniowa rozszerzalność cieplna:

$$\Delta S = 2\alpha S \Delta T$$

Objętościowa rozszerzalność cieplna:

$$\Delta V = \beta V \Delta T$$

Jeśli zmienimy temperaturę ciała, zapobiegając jego rozszerzaniu lub kurczeniu się, to w ciele tym pojawiają się naprężenia. Jeżeli zapobiegamy rozszerzeniu się ciała, to naprężenia te są ściskające, a jeżeli zapobiegamy jego kurczeniu – rozciągające. Naprężenie wywołane zmianą temperatury nazywamy naprężeniem cieplnym (ang. thermal stress). Może ono być bardzo duże i powodować znaczne uszkodzenia. W celu uniknięcia naprężeń inżynierowie starają się projektować elementy podatne na zmiany temperatury w taki sposób, aby mogły one swobodnie się rozszerzać i kurczyć. Przykładowo betonowe autostrady posiadają szczeliny pomiędzy blokami betonu, zapobiegające powstawaniu w nim naprężeń cieplnych.



$$\text{Moduł Younga} \rightarrow \frac{F}{S} = E \frac{\Delta L}{L_0}$$



# Przykład 15.1

**Czy odczyt ilości paliwa w zbiorniku wskaże większą ilość paliwa, gdy jest zimno, czy gdy jest ciepło? Czy temperatura ma tutaj znaczenie?**

Nad lustrem benzyny powinna znaleźć się pewna ilość przestrzeni, która skompensuje ewentualne zmiany objętości paliwa oraz ciśnienie jego oparów. Przed zimowaniem jednoślada warto natomiast zatankować dużą ilość benzyny, by ograniczyć skraplanie się pary wodnej.



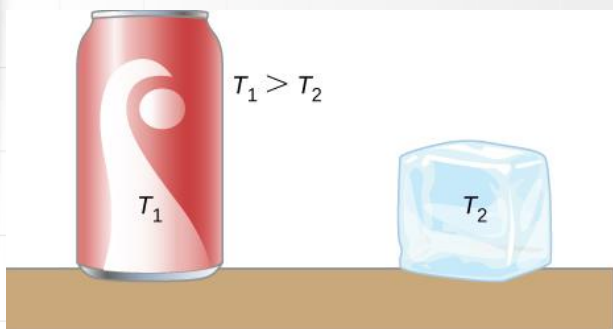


# Energia wewnętrzna i ciepło

Każdy układ cieplny posiada energię wewnętrzną (ang. internal energy), która jest sumą energii mechanicznych wszystkich cząsteczek układu. Energia wewnętrzna jest wprost proporcjonalna do temperatury układu. Jeżeli dwa ciała o różnej temperaturze zostaną zetknięte ze sobą, to energia jest przekazywana od ciała cieplejszego do zimniejszego do momentu, gdy uzyskają równowagę cieplną (czyli ich temperatury się wyrównają). Żadne z ciał nie wykonuje pracy, ponieważ nie działają na siebie wzajemnie siłami i nie przemieszczają się. Te obserwacje pokazują, że ciepło jest spontanicznym przekazywaniem energii z powodu różnicy temperatur.



*Znaczenie słowa ciepło w fizyce różni się od jego znaczenia w mowie potocznej. Na przykład w czasie upałów moglibyśmy powiedzieć „jest strasznie ciepło!”, ale poprawnie z punktu widzenia fizyki musielibyśmy powiedzieć, że „jest bardzo wysoka temperatura”. Ciepło jest formą przepływu energii, ale temperatura już nie. Nawiasem mówiąc – ludzka skóra reaguje na przepływ ciepła, a nie na temperaturę dotykane go przedmiotu.*



Stosowane w praktyce przybliżenie relacji między przekazanym ciepłem a zmianą temperatury wygląda następująco

$$\Delta Q = mc\Delta T,$$

gdzie  $\Delta Q$  oznacza przekazane ciepło,  $m$  to masa substancji, a  $\Delta T$  to zmiana temperatury. Współczynnik  $c$  nosi nazwę ciepła właściwego (ang. specific heat) i zależy od substancji i jej fazy.

**Ciepło właściwe** jest liczbowo równe ilości ciepła potrzebnej do zmiany temperatury 1kg substancji o 1°C. Jak pamiętamy, zmiana temperatury  $\Delta T$  jest taka sama zarówno w kelwinach, jak i w stopniach Celsjusza). Jednostką ciepła właściwego w układzie SI jest J/(kg·K) (





# Przykład 15.2

## Obliczanie ciepła potrzebnego do ogrzania substancji

Półkilogramowy aluminiowy rondel wypełniony 0,25l wody stoi na piecu i jest ogrzewany od temperatury 20°C do 80°C.

- a) Jaką ilość ciepła należy dostarczyć do podgrzania wody?
- b) Jaką ilość ciepła należy dostarczyć do podgrzania rondla?
- c) Jaką ilość ciepła należy dostarczyć do układu w tym procesie i jaki procent ciepła użyty zostanie do podgrzania wody?

$$\Delta T = T_k - T_p = 60^\circ C$$

$$\Delta Q_w = m_w c_w \Delta T = 0,25 \text{ kg} \cdot 4186 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ \text{C}) \cdot 60^\circ \text{C} = 62,8 \text{ kJ}$$

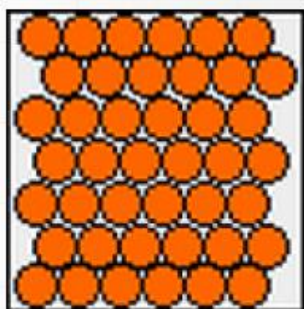
$$\Delta Q_{Al} = m_{Al} c_{Al} \Delta T = 0,5 \text{ kg} \cdot 900 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ \text{C}) \cdot 60^\circ \text{C} = 27 \text{ kJ}$$

$$\Delta Q = \Delta Q_w + \Delta Q_{Al} = 89,8 \text{ kJ}$$

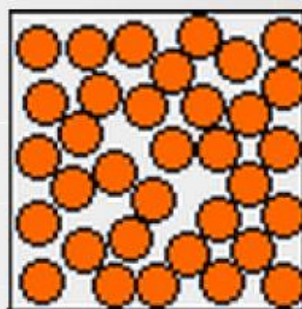
$$\frac{\Delta Q_w}{\Delta Q} = 69,9 \%$$



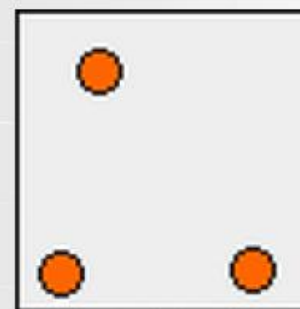
# Stany materii i ich przemiany



solid

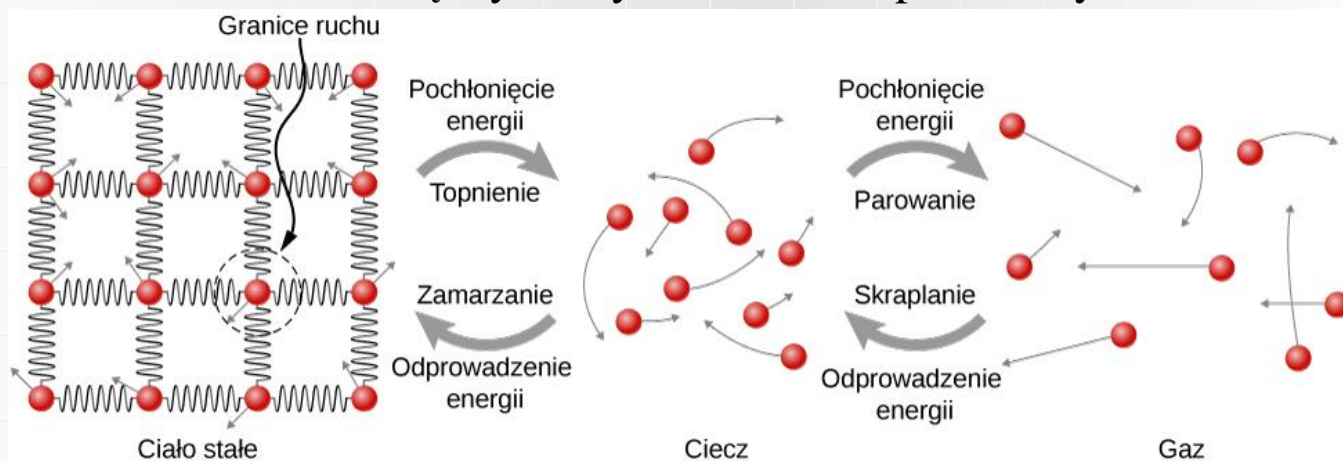


liquid



gas

Przechodzenie między różnymi stanami – przemiany fazowe

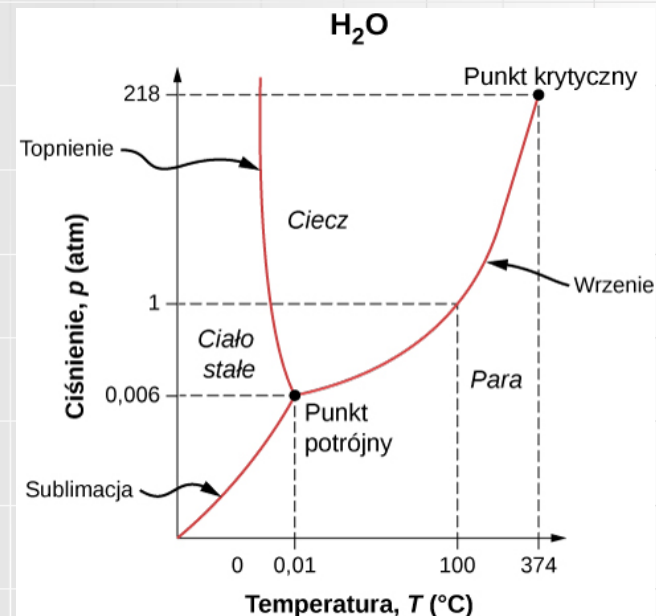




# Przemiany fazowe

To, w jakiej fazie znajduje się dana substancja, zależy od ciśnienia i temperatury. Dlatego też wykresy ciśnienia w funkcji temperatury pokazujące fazę w ich poszczególnych obszarach dostarczają znacznej wiedzy o właściwościach termicznych substancji. Taki wykres we współrzędnych  $pT$  nazywany jest diagramem fazowym (ang. phase diagram).

<https://www.youtube.com/watch?v=MP6MVLWuNZQ>



Energia potrzebna do zmiany fazy zależy od liczby wiązań molekularnych oraz ich siły. Liczba wiązań jest proporcjonalna do liczby cząsteczek, a tym samym do masy danej próbki. Energia przypadająca na jednostkę masy potrzebna do zmiany fazy danej substancji z fazy stałej na fazę ciekłą, lub wydzielona podczas zmiany fazy z ciekłej na stałą, jest znana pod pojęciem ciepła topnienia (ang. heat of fusion).

$$Q = mc_{top} \text{ (topnienie/zamarzanie),}$$



$$Q = mc_{par} \text{ (parowanie/skraplanie),}$$

$$Q = mc_{sub} \text{ (sublimacja/resublimacja),}$$



# Przykład 15.3

## Obliczanie końcowej temperatury towarzyszącej zmianie fazy

Trzy kostki lodu zostały użyte do schłodzenia wody gazowanej mającej temperaturę  $20^{\circ}\text{C}$  i masę  $m_w=0,25\text{kg}$ . Temperatura lodu wynosi  $0^{\circ}\text{C}$  i każda kostka lodu ma masę  $6\text{g}$ . Załóżmy, że woda sodowa trzymana jest w styropianowym kubku, aby można było pominąć straty ciepła, oraz że ma ona takie samo ciepło właściwe jak woda. Obliczmy końcową temperaturę wody sodowej, kiedy cały lód ulegnie stopieniu.

$$\Delta Q_w = m_w c_w \Delta T = m_w c_w (T_k - 20^{\circ}\text{C})$$

$$\Delta Q_l = m_l c_{top} + m_l c_w (T_k - 0^{\circ}\text{C})$$

$$-\Delta Q_w = \Delta Q_l$$

$$\Delta Q = \Delta Q_w + \Delta Q_{Al} = 89.8 \text{ kJ}$$

$$T_k = \frac{m_w c_w (T_k - 20^{\circ}\text{C}) - m_l c_{top}}{m_w c_w + m_l c_w} = 13^{\circ}\text{C}$$

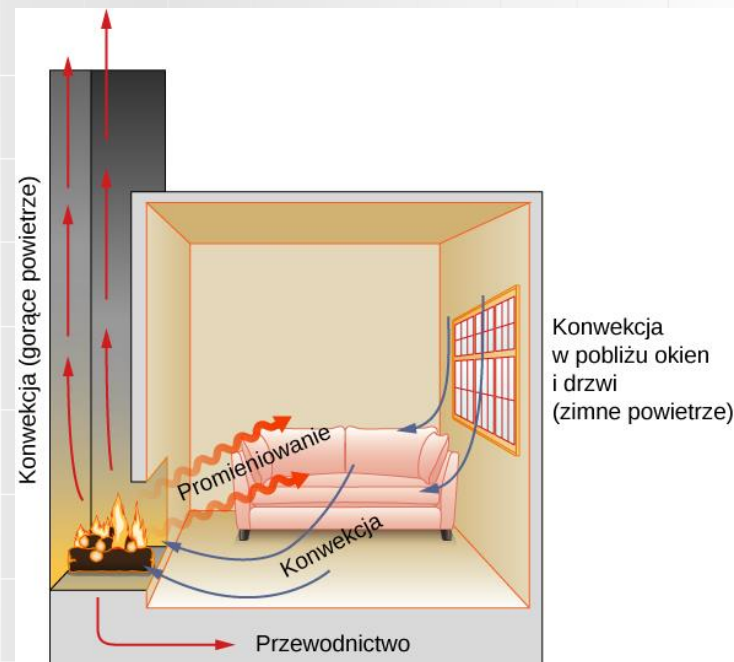


# Mechanizmy przekazywania ciepła

W **konwekcji** (ang. convection) energia cieplna jest przenoszona przez przepływ materii w makroskali. Konwekcję można podzielić na dwa typy. W konwekcji wymuszonej (ang. forced convection) przepływ jest napędzany przez wentylatory, pompy i tym podobne urządzenia. W konwekcji swobodnej (ang. free convection) lub naturalnej (ang. natural convection) przepływ jest wymuszany przez siły wyporu: gorący płyn podnosi się, a zimny opada, ponieważ gęstość maleje wraz ze wzrostem temperatury.

**Przewodzenie:** Kiedy chodzimy boso po dywanie w salonie, a w domu jest wyłączone ogrzewanie, wydaje nam się, że dywan jest cieplejszy niż płytki w kuchni. Nasze stopy odczuwają silniej zimno, gdy spacerujemy boso po kuchni. Taki efekt jest intrygujący, ponieważ zarówno dywan, jak i płytki mają tę samą temperaturę. Różnica w odczuciach jest spowodowana różnymi szybkościami przepływu ciepła pomiędzy skórą a materiałem, którego dotyka. Utrata ciepła dla skóry jest szybsza, gdy stopy dotykają płytek kuchennych, niż gdy są w kontakcie z dywanem, dlatego uczucie zimna jest inne.

Pewne materiały przewodzą energię cieplną szybciej niż inne: izolatory i przewodniki.



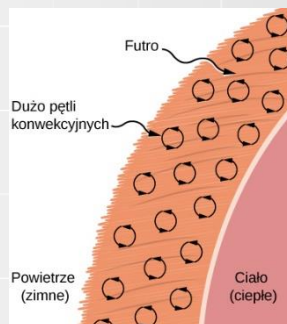
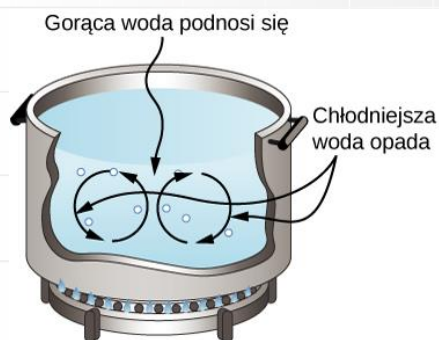
Codziennie odczuwamy ciepło przekazywane nam przez Słońce. Przestrzeń pomiędzy Ziemią a Słońcem jest całkowicie pusta, więc Słońce ogrzewa nas bez jakiegokolwiek możliwości wymiany ciepła za pośrednictwem konwekcji czy przewodnictwa. Podobnie możemy powiedzieć, że piekarnik jest gorący bez dotykania jego drzwiczek lub zaglądania do środka, odczuwając ciepło, kiedy przechodzimy obok niego. W tych przykładach ciepło jest przekazywane przez **promieniowanie**. To oznacza, że gorące ciało emituje fale elektromagnetyczne, które absorbuje nasza skóra.

[https://www.youtube.com/watch?v=mKxa\\_veWsJg](https://www.youtube.com/watch?v=mKxa_veWsJg)

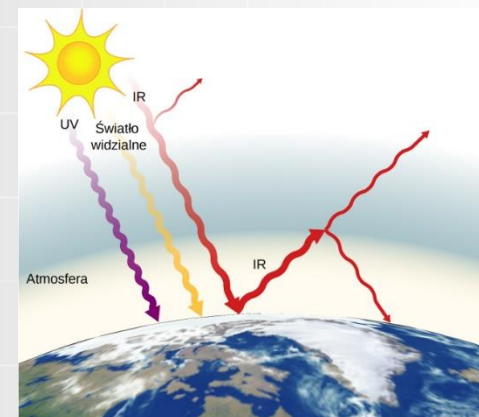


# Przykład 15.3

Wymień przykłady z codziennego życia, w których występują wymienione mechanizmy wymiany ciepła.



Futro jest wypełnione powietrzem, które jest rozbite na wiele małych przestrzeni powietrznych.







Wrocław  
University  
of Science  
and Technology

# Do zobaczenia w przyszłym semestrze

	LUTY	MARZEC					KWIECIEŃ				MAJ					CZERWIEC				LIPIEC
PN	22	1	8	15	22	29	5	12 Pn N	19	26	3	10	17	24	31	7	14	21	28	5
WT	23	2	9	16	23	30 Pt P	6	13	20	27	4	11	18	25	1	8	15	22	29	6
ŚR	24	3	10	17	24	31	7	14	21	28	5	12	19	26	2 Cz P	9	16	23	30	7
CZ	25	4	11	18	25	1	8	15	22	29	6	13	20	27	3	10	17	24	1	8
PT	26	5	12	19	26	2	9	16	23	30	7	14	21	28	4	11	18	25	2	9
SO	27	6	13	20	27	3	10	17	24	1	8	15	22	29	5	12	19	26	3	10
N	28	7	14	21	28	4	11	18	25	2	9	16	23	30	6	13	20	27	4	11
P - PARZYSTY N - NIEPARZYSTY	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P

Email: [sylwia.majchrowska@pwr.edu.pl](mailto:sylwia.majchrowska@pwr.edu.pl)



# Słowniczek

## **bezwzględna skala temperatury**

– skala temperatury, przykładowo skala Kelvina, w której zeru stopni odpowiada zero bezwzględne

## **ciepło (ang. heat)**

– forma przekazywania energii wyłącznie na skutek występującej różnicy temperatur

## **ciepło parowania (ang. heat of vaporization)**

– energia dostarczona do układu fizycznego, przypadająca na jednostkę masy, potrzebna do pełnej zmiany fazy skupienia substancji z ciekłej na gazową, lub energia pobrana w przypadku, gdy substancja zmienia swój stan skupienia z gazowego na ciekły

## **ciepło sublimacji (ang. heat of sublimation)**

– energia dostarczona do układu fizycznego, przypadająca na jednostkę masy, potrzebna do pełnej zmiany fazy skupienia substancji ze stałej na gazową, lub energia pobrana w przypadku, gdy substancja zmienia swój stan skupienia z gazowego na stały

## **ciepło topnienia (ang. heat of fusion)**

– energia dostarczona do układu fizycznego, przypadająca na jednostkę masy, potrzebna do pełnej zmiany fazy skupienia substancji ze stałej na ciekłą, lub energia pobrana w przypadku, gdy substancja zmienia swój stan skupienia z ciekłego na stały

## **ciepło właściwe (ang. specific heat, specific heat capacity)**

– ilość ciepła potrzebna do zmiany temperatury 1kg substancji o 1°C



# Słowniczek

## **ciśnienie krytyczne (ang. critical pressure)**

– ciśnienie punktu krytycznego

## **ciśnienie pary nasyconej (ang. vapor pressure)**

– ciśnienie, przy którym gaz współistnieje ze swoją postacią w fazie stałej lub ciekłej

## **diagram fazowy (ang. phase diagram)**

– wykres we współrzędnych ciśnienie i temperatura sporządzony dla poszczególnych substancji, pokazujący, przy jakim ciśnieniu i w jakiej temperaturze występują określone fazy

## **kaloria cal (ang. calorie)**

– energia potrzebna do podniesienia temperatury 1g wody o 1°C

## **konwekcja (ang. convection)**

– wymiana ciepła poprzez makroskopowy ruch płynu (gazu bądź cieczy)

mechaniczny równoważnik ciepła (ang. mechanical equivalent of heat)

praca potrzebna do wytworzenia takiego samego efektu energetycznego jak w przypadku przekazu ciepła

## **naprężenie cieplne (ang. thermal stress)**

– naprężenie spowodowane przez rozszerzalność cieplną lub kurczenie

## **para (ang. vapor)**

gaz w temperaturze poniżej temperatury wrzenia

## **promieniowanie (ang. radiation)**

– energia przekazywana bezpośrednio przez fale elektromagnetyczne na skutek różnicy temperatury pomiędzy ciałem a otoczeniem



# Słowniczek

## **przewodnictwo (ang. conduction)**

– wymiana ciepła pomiędzy ciałami będącymi ze sobą w bezpośrednim kontakcie fizycznym

## **punkt krytyczny (ang. critical point)**

– dla danej substancji jest to taka kombinacja temperatury i ciśnienia, powyżej której fazy ciekła i gazowa są już nierozróżnialne

## **punkt potrójny (ang. triple point)**

– ciśnienie i temperatura, w których dana substancja występuje w równowadze jako ciało stałe, ciecz i gaz

## **rozszerzalność cieplna (ang. thermal expansion)**

– zmiana rozmiaru lub objętości danego ciała wraz ze zmianą jego temperatury

## **równowaga termiczna (ang. thermal equilibrium)**

– stan, w którym ciepło nie przepływa pomiędzy dwoma ciałami, które są ze sobą w kontakcie; dwa ciała będące ze sobą w kontakcie mają taką samą temperaturę

## **skala Celsjusza (ang. Celsius scale)**

– skala temperatury, w której temperatura zamarzania wody wynosi  $0^{\circ}\text{C}$ , a temperatura wrzenia wody równa się  $100^{\circ}\text{C}$

## **skala Fahrenheita (ang. Fahrenheit scale)**

– skala temperatury, w której temperatura zamarzania wody wynosi  $32^{\circ}\text{F}$ , a temperatura wrzenia wody  $212^{\circ}\text{F}$

## **skala Kelvina K (ang. Kelvin scale)**

– skala temperatury, w której  $0\text{K}$  jest najniższą możliwą temperaturą, tak zwanym zerem bezwzględnym



# Słowniczek

**sublimacja (ang. sublimation)**

– bezpośrednia zmiana fazy ze stałej na gazową

**szybkość przewodnictwa cieplnego (ang. rate of conductive heat transfer)**

– szybkość wymiany ciepła z jednego ciała do drugiego

**temperatura (ang. temperature)**

– wielkość mierzona przez termometr, która odzwierciedla energię mechaniczną w układzie

**temperatura krytyczna (ang. critical temperature)**

– temperatura punktu krytycznego

**współczynnik przewodnictwa cieplnego (ang. thermal conductivity)**

– właściwość materiału opisująca jego zdolność do przewodzenia ciepła

**współczynnik rozszerzalności liniowej  $\alpha$  (ang. coefficient of linear expansion)**

– parametr charakterystyczny dla danego materiału, który określa zmianę długości materiału przy zmianie temperatury o  $1^{\circ}\text{C}$  lub  $1\text{K}$ ; stała używana w obliczaniu liniowej rozszerzalności ciał; współczynnik rozszerzalności liniowej zależy w pewnym stopniu od temperatury materiału

**współczynnik rozszerzalności objętościowej  $\beta$  (ang. coefficient of volume expansion)**

– podobnie do  $\alpha$  podaje zmianę objętości przy zmianie temperatury o  $1^{\circ}\text{C}$

**wymiana ciepła (ang. heat transfer)**

– przenoszenie energii z jednego miejsca lub ciała do innego w wyniku różnicy temperatury