

Fizyka 1B

Wykład 14

dr Piotr Sitarek, prof. uczelni

Katedra Fizyki Doświadczalnej

Wydział Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej

Termodynamika

- Temperatura i równowaga termiczna
- Termometry i skale temperatur
- Rozszerzalność cieplna
- Przekazywanie ciepła, ciepło właściwe i kalorymetria
- Przemiany fazowe
- Mechanizmy przekazywania ciepła

Temperatura

- Pojęcie ciepła rozumiemy intuicyjnie wszyscy - czujemy na własnym ciele jego przyływ podczas letniego dnia lub od kubka gorącej kawy po zimowym spacerze.
- Czujemy także odprowadzanie ciepła z naszego ciała, odczuwając chłód podczas zimnego wieczoru lub chłodzący efekt potu po intensywnym wysiłku.
- Czym jest ciepło?
- Jak je definiujemy i jak jest związane z temperaturą?
- Jakie są efekty cieplne i jak ciepło przepływa z jednego miejsca w inne?

Temperatura

- **Czym jest temperatura?**
- Temperaturę możemy zdefiniować operacyjnie jako wielkość mierzoną za pomocą termometru.
- Jak przekonacie się później, temperatura jest wprost proporcjonalna do średniej energii kinetycznej cząsteczek gazu.
- Różnice temperatury podtrzymują wymianę ciepła we Wszechświecie.
- **Temperatura** jest podstawowym pojęciem termodynamiki.

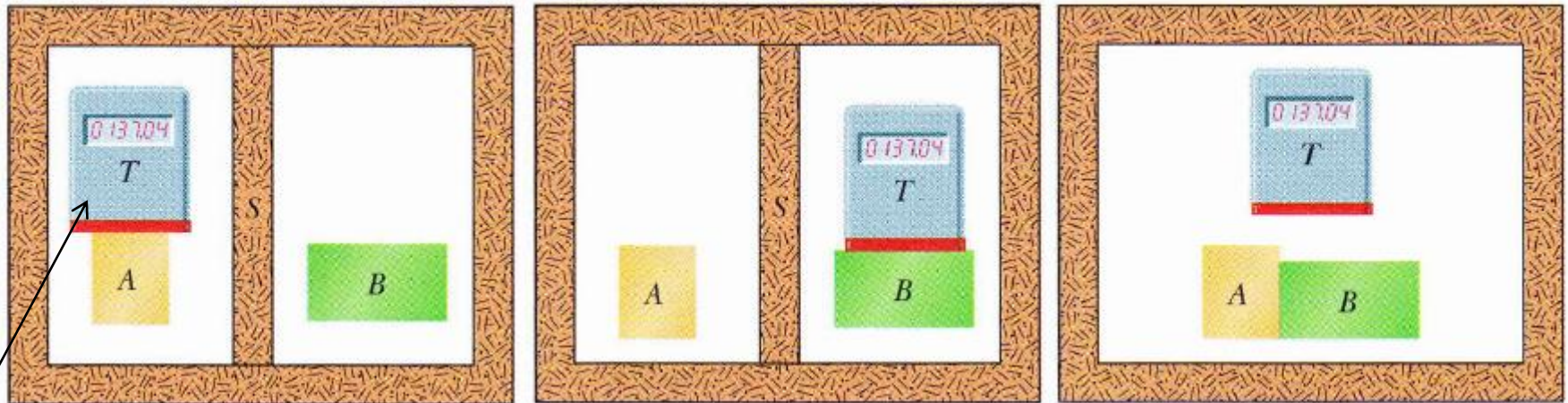
Temperatura

Równowaga termiczna

- Dwa ciała są w równowadze termicznej, jeżeli pomimo bliskiego ich kontaktu umożliwiającego swobodną wymianę energii, żadna energia nie jest między nimi przekazywana w formie ciepła.
- Ciała niebędące ze sobą w kontakcie także są w równowadze termicznej, gdy po ich zetknięciu nie następuje między nimi przekazywanie energii.
- Jeśli dwa ciała pozostają ze sobą w kontakcie przez dłuższy czas, zwykle dochodzą do równowagi termicznej.

Temperatura

Zerowa zasada termodynamiki



termoskop

Jeżeli ciała A i B są w stanie równowagi termodynamicznej z trzecim ciałem T, to są one także w stanie równowagi termodynamicznej ze sobą nawzajem.

lub inaczej

Każde ciało ma pewną właściwość, którą nazywamy temperaturą. W stanie równowagi termodynamicznej temperatura ciał jest równa.

Temperatura

- 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 – jest to podstawa działania np. termometru alkoholowego lub rtęciowego.
- Inne właściwości wykorzystywane do mierzenia temperatury to: opór elektryczny, barwa, a także poziom emisji promieniowania podczerwonego.

Temperatura

Termometry

- **Termometry „objętościowe”** związane są ze zmianą wymiarów ciała ze zmianą temperatury (rozszerzalność liniowa). Najprostszym przykładem jest termometr rtęciowy. Dokładniejszym przyrządem tego typu jest termometry gazowy stałego ciśnienia. Pomiar temperatury polega na pomiarze objętości (wymiaru liniowego) rozszerzającego się ośrodka.
- **Termometry gazowe stałej objętości** bazują na pomiarze zmian ciśnienia ze zmianą temperatury. Służą do pomiarów małych temperatur.
- **Termorezysty** – to elementy elektryczne, które mierzą zmiany temperatury poprzez pomiar związanej z nią zmiany oporu przewodnika bądź półprzewodnika.
- **Termopary** to układy dwóch przewodników, na stykach których wytwarza się napięcie termoelektryczne, proporcjonalne do różnicy temperatur obu styków (zjawisko Seebecka).
- **Pirometry** mierzą temperaturę poprzez pomiar (porównanie) emisji promieniowania ciała, którego temperaturę chcemy określić, z emisją ciała doskonale czarnego – nadają się do pomiaru wysokich temperatur i do pomiarów „na odległość”.

Temperatura

Termometry

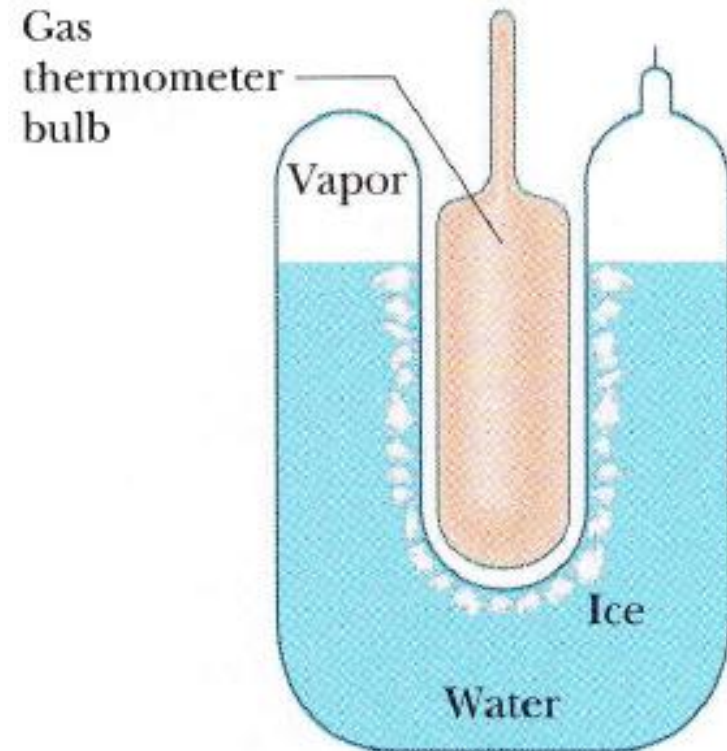
Bolometry również bazują na fakcie, że emisja promieniowania danego ciała jest proporcjonalna do jego temperatury.

Układy bimetalu służą raczej jako dwustanowe przełączniki termiczne, niż termometry, ale też pełnią rolę „mierników” temperatury.



Temperatura

- Skale temperatury stworzone zostały przez zidentyfikowanie dwóch łatwych do odtworzenia wartości temperatury.
- Trzeba wybrać jakieś powtarzalne zjawiska (zależne od temperatury) i przypisać im pewną wartość temperatury.
- Pierwszym z powszechnie przyjętym punktem, że jest to tzw. punkt potrójny wody:



Temperatura

Skala Celsjusza

- W skali Celsjusza temperatura zamarzania wody wynosi 0°C , a temperatura jej wrzenia to 100°C .
- Jednostką w tej skali jest stopień Celsjusza czyli 1/100 podziału pomiędzy wybranymi punktami.

Historia

- Anders Celsius (1701–1744) zaproponował ‘odwróconą’ skalę temperatury:
 - 0° – wrzenie wody
 - 100° – topnienie lodu
- Carolus Linnaeus (1707–1778) zastosował te same punkty temperatury lecz odwrócił skalę:
 - 100° – wrzenie wody
 - 0° – topnienie lodu

Temperatura

Skala Farenheita

- Daniel Gabriel Fahrenheit (1686–1736) użył do kalibracji następujących dwóch punktów:
 - 0°F – temperatura solanki (lód, woda, sole)
 - 100°F – temperatura ludzkiego ciała
- W skali Farenheita temperatura zamarzania wody: 32°F, a temperatura wrzenia wody ~ 212° F. Aby różnica wynosiła 180°F, zrobiono drobne poprawki. W wyniku poprawek temperatura ciała ludzkiego wynosi 98.6°F.

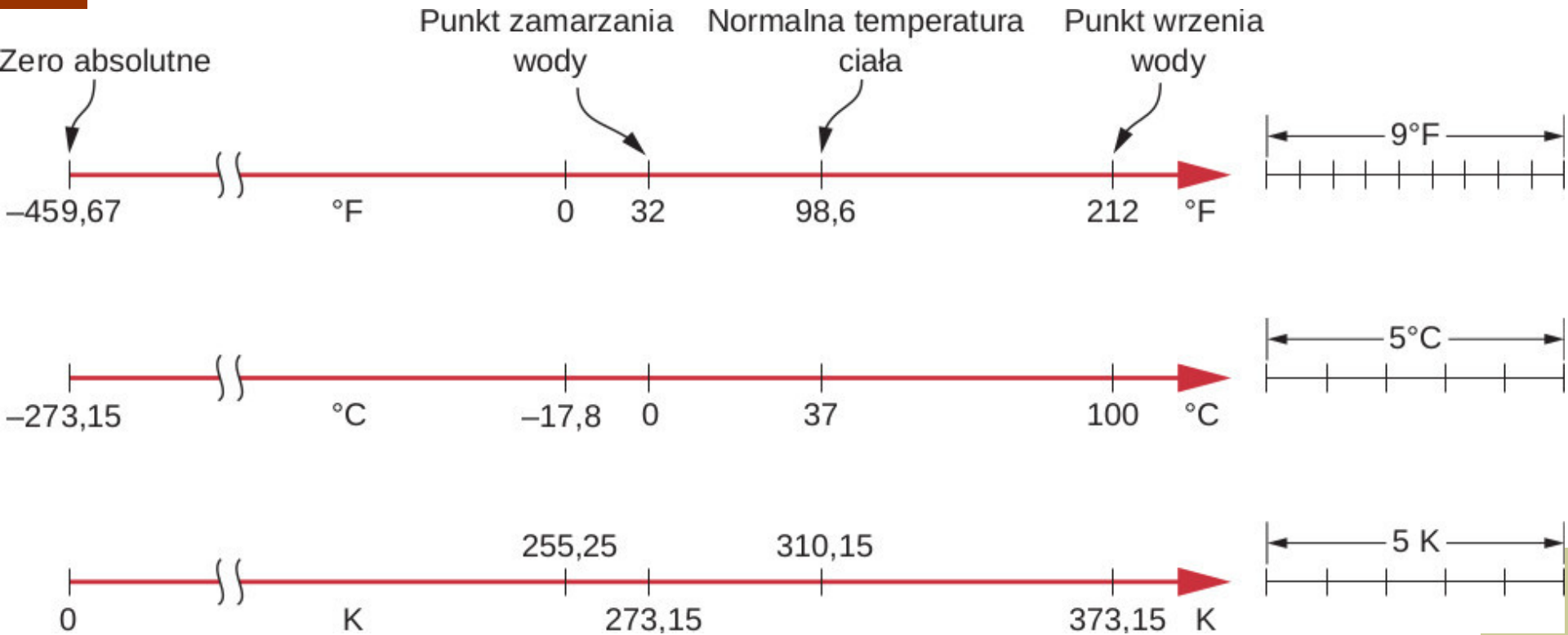
Temperatura

Skala Kelvina

- To bezwzględna skala temperatury, która jest powszechnie używana w nauce.
- Jednostką temperatury w układzie SI jest kelwin, w skrócie K (bez znaku stopni).
- Zatem to zero absolutne (energia kinetyczna cząsteczek wynosi zero) to 0 K.
- Drugim punktem jest punkt zamarzania wody a 1/273,15 różnicy pomiędzy temperaturą punktu potrójnego wody a zerem bezwzględnym określa 1 K.
- Różnice temperatury w jednostkach Kelvina i stopniach Celsjusza są takie same:

$$\Delta T_C = \Delta T_K$$

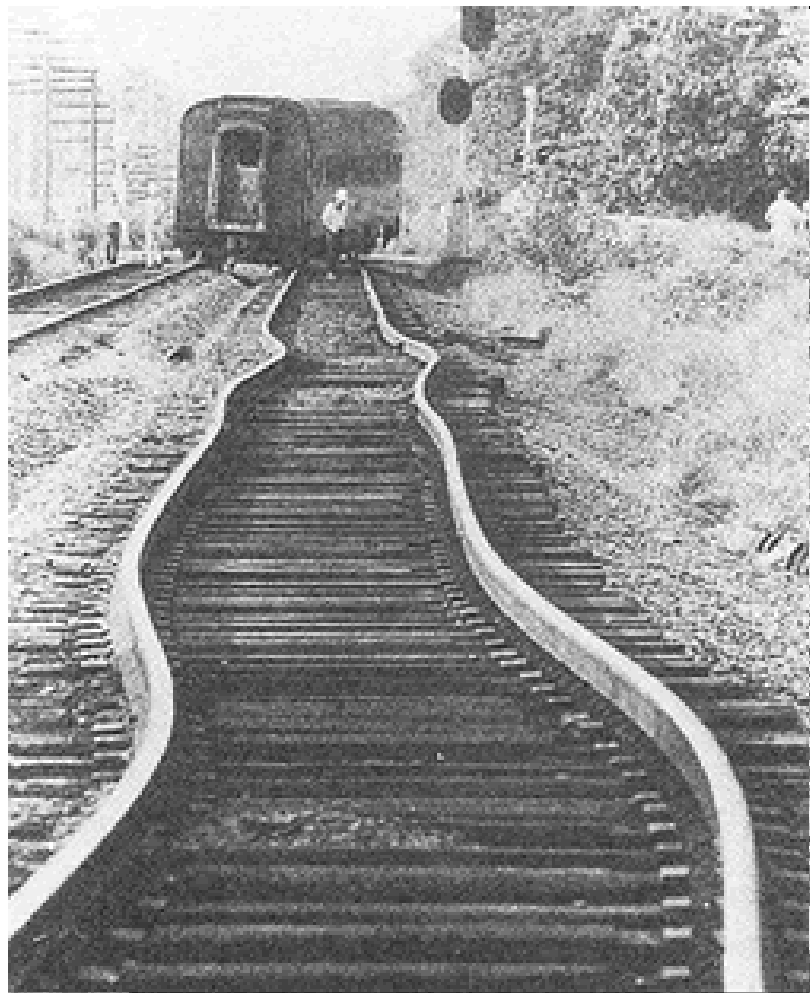
Temperatura



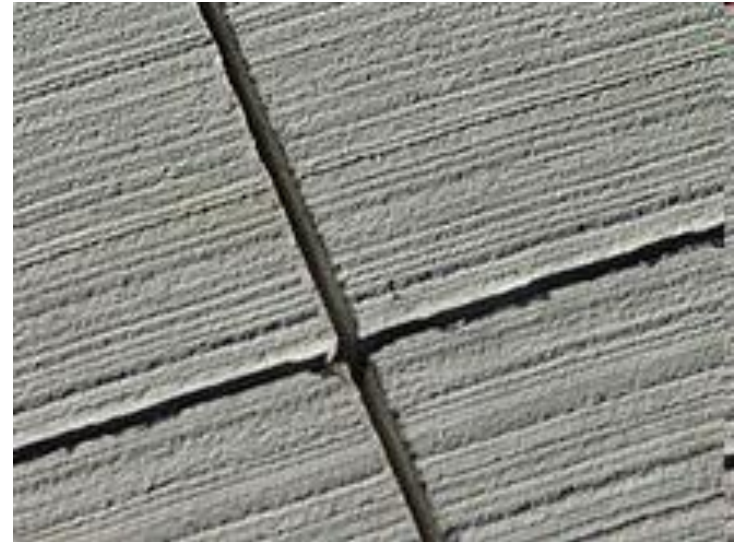
Temperatura

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



Rozszerzalność cieplna



Rozszerzalność cieplna

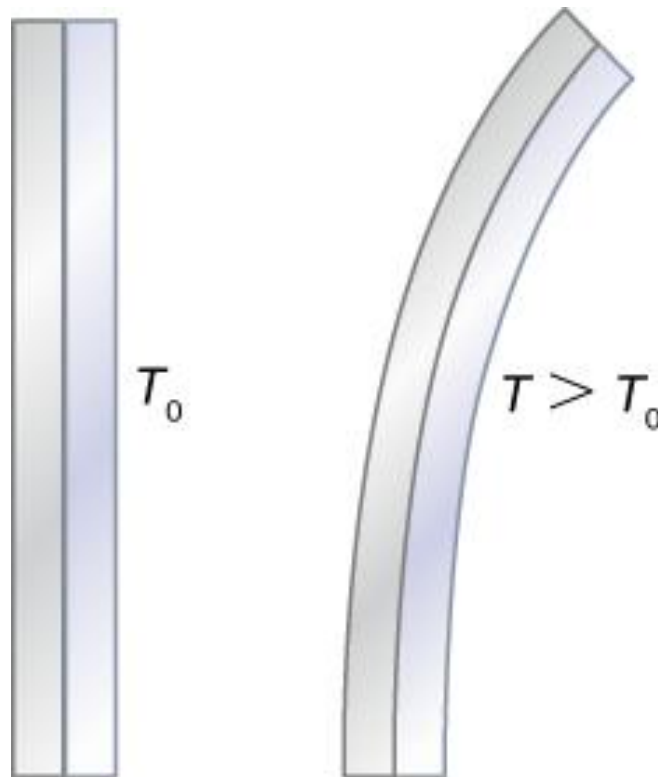
- Co jest przyczyną rozszerzalności cieplnej?
- Wzrost temperatury oznacza wzrost energii kinetycznej poszczególnych atomów, z których ciała są zbudowane.
- Ze wzrostem energii kinetycznej cząsteczek (ze wzrostem temperatury) rośnie średnia odległość między cząsteczkami (atomami), czyli substancja się rozszerza.
- Dla większości substancji można założyć, że żaden kierunek nie jest wyróżniony (ciała izotropowe), więc wraz ze wzrostem temperatury wymiary ciała wzrosną o taki sam współczynnik w każdym kierunku.
- Jak stwierdzono doświadczalnie, rozszerzalność cieplna zależy od temperatury, rodzaju substancji oraz początkowej długości i jest opisana wzorem

$$\frac{\Delta L}{\Delta T} = \alpha L \text{ lub } \Delta L = \alpha L \Delta T$$

- gdzie L to długość początkowa, $\Delta L/\Delta T$ to zmiana długości w odniesieniu do zmiany temperatury, α jest współczynnikiem rozszerzalności liniowej.

Rozszerzalność cieplna

- Zjawisko rozszerzalności cieplnej jest podstawą działania np. paska bimetalu.
- Przyrząd ten może być używany jako termometr.
- Może być także zastosowany jako automatyczny przełącznik, który włącza lub wyłącza układ elektryczny przy pewnej temperaturze.



Rozszerzalność cieplna

- Związek pomiędzy objętością a temperaturą jest wyrażony przez zależność

$$\frac{\Delta V}{\Delta T} = \beta V \text{ lub } \Delta V = \beta V \Delta T$$

- gdzie β jest współczynnikiem rozszerzalności objętościowej.
- Można pokazać, że $\beta = 3 \alpha$.
- Rozszerzalność objętościowa jest zdefiniowana dla płynów, ale liniowa i powierzchniowa już nie.
- Przyczyną tego jest fakt, że zmiana długości czy powierzchni płynu zawsze zależy od kształtu pojemnika, w którym się on znajduje.

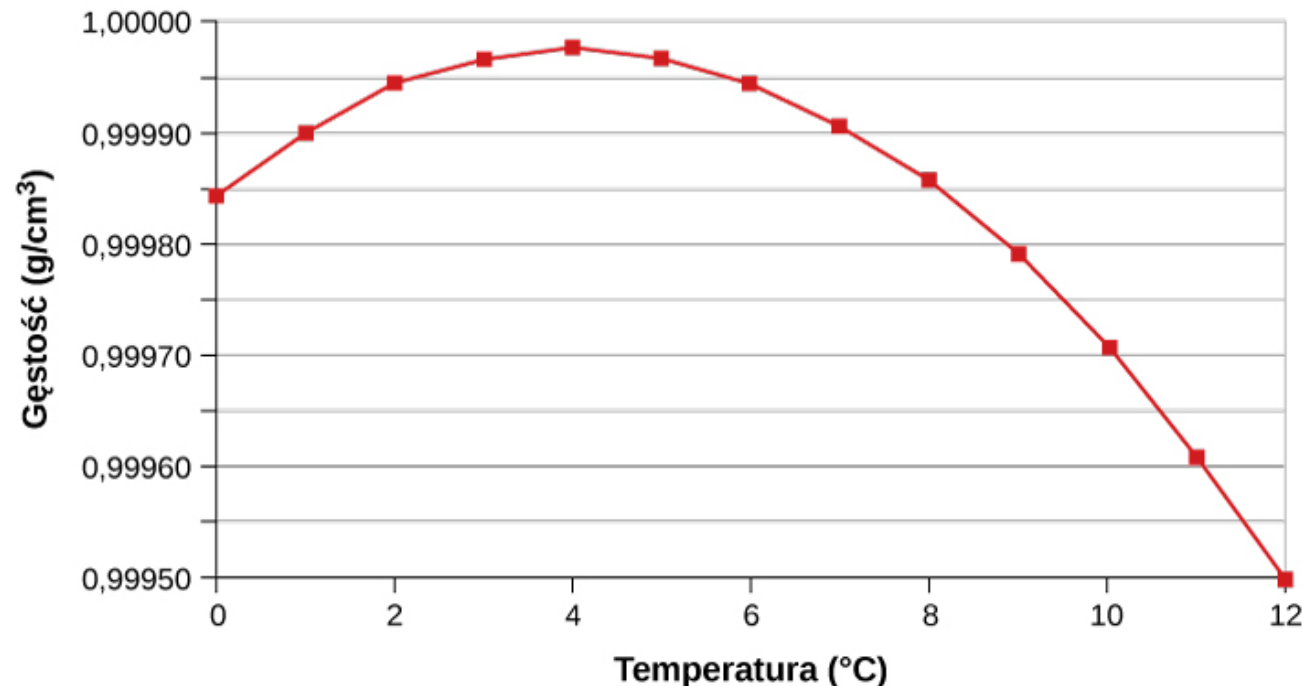
Rozszerzalność cieplna

Materiał	Współczynnik rozszerzalności liniowej $\alpha(^{\circ}\text{C}^{-1})$	Współczynnik rozszerzalności objętościowej $\beta(^{\circ}\text{C}^{-1})$
<i>Ciała stałe</i>		
Aluminium	$25 \cdot 10^{-6}$	$75 \cdot 10^{-6}$
Mosiądz	$19 \cdot 10^{-6}$	$56 \cdot 10^{-6}$
Miedź	$17 \cdot 10^{-6}$	$51 \cdot 10^{-6}$
Złoto	$14 \cdot 10^{-6}$	$42 \cdot 10^{-6}$
Żelazo lub stal	$12 \cdot 10^{-6}$	$35 \cdot 10^{-6}$
<i>Ciecze</i>		
Eter		$1650 \cdot 10^{-6}$
Alkohol etylowy		$1100 \cdot 10^{-6}$
Benzyna		$950 \cdot 10^{-6}$
Gliceryna		$500 \cdot 10^{-6}$

Rozszerzalność cieplna

- W ogólności ciała rozszerzają się, gdy rośnie temperatura.
- Woda jest jednym z najważniejszych wyjątków od tej reguły.
- Rozszerza się ona wraz z rosnącą temperaturą (jej gęstość maleje) dla temperatur większych niż 4 st. C.
- W tej temperaturze osiąga największą swoją gęstość.
- Rozszerza się także wraz z malejącą temperaturą pomiędzy 4 st. C a 0 st. C.

Gęstość czystej wody



Rozszerzalność cieplna

- Niezwykle ciekawym skutkiem tego zjawiska jest zamarzanie wody w stawie.
- Gdy woda bliska powierzchni stawu ochładza się do 4 st. C, staje się gęstsza niż pozostała woda i opada na dno.
- W ten sposób na powierzchni stawu gromadzi się warstwa wody cieplejszej, która znowu jest ochładzana.
- Jednak gdy temperatura warstwy znajdującej się przy powierzchni stawu spadnie poniżej 4 st. C, gęstość wody w tej warstwie staje się mniejsza niż gęstość wody na dnie, przez co pozostaje ona przy powierzchni.
- W rezultacie powierzchnia stawu może zamarznąć.
- Powierzchniowa warstwa lodu izoluje wodę znajdującą się głębiej od bardzo zimnego powietrza.
- Ze względu na tę nietypową właściwość wody ryby i inne organizmy wodne mogą przetrwać w wodzie o temperaturze znajdującej się pod powierzchnią lodu.

Ciepło

- **Ciepło** jest sposobem przekazywania energii spowodowanego różnicą temperatury i może zmieniać temperaturę ciała.
- Wymiana ciepła to przepływ energii z jednego miejsca lub materiału do innego w wyniku różnicy temperatur.
- Wymiana ciepła jest podstawą takich codziennych czynności jak gotowanie czy ogrzewanie mieszkania.
- Każdy układ cieplny posiada **energię wewnętrzną**, która jest sumą energii mechanicznych wszystkich cząsteczek układu.
- Energia wewnętrzna jest wprost proporcjonalna do temperatury układu.
- Ciepło jest spontanicznym przekazywaniem energii z powodu różnicy temperatur.

Ciepło

- Skoro ciepło jest formą przekazywania energii, jego jednostką w układzie SI jest dżul (J).
- Inną popularną jednostką energii jest kaloria - cal, zdefiniowana jako ilość energii potrzebna do zmiany temperatury 1g wody o 1 st., pomiędzy a 14,5 a 15,5 st. C.
- Często także używa się jednostki kilokaloria - kcal, która określa ilość ciepła potrzebną do ogrzania 1 kg wody o 1 st. C.
- Jako że zwykle masę podajemy w kilogramach, kilokaloria jest wygodną jednostką energii.
- Co ciekawe, potocznie mówimy, że tabliczka czekolady ma 530 „kalorii”. Precyzyjna wypowiedź wymaga jednak użycia prawidłowej jednostki kcal.

Ciepło

Mechaniczny równoważnik ciepła

- Okazuje się, że możliwa jest także zmiana temperatury substancji w wyniku wykonania pracy, która przekazuje energię do układu lub ją z niego zabiera.
- To odkrycie pomogło ustalić, że ciepło jest formą energii (James Joule (1818–1889)).
- Mechaniczny równoważnik ciepła jest to praca potrzebna, aby wytworzyć takie same efekty jak wymiana ciepła.
- W jednostkach używanych do opisu tych dwóch równoważnych wielkości wartość tego przelicznika wynosi

$$1 \text{ kcal} = 4186 \text{ J}$$

Ciepło

- Zwiększenie energii wewnętrznej przez wymianę ciepła daje identyczne rezultaty jak jej zwiększenie poprzez pracę.
- Nawet jeżeli układ ma dobrze zdefiniowaną energię wewnętrzną, to określenie, jaką jej część uzyskał on w wyniku wymiany ciepła, a jaką w wyniku wykonania pracy, jest niemożliwe.
- Wielkość, która zależy wyłącznie od aktualnego stanu, w jakim znajduje się układ, a nie zależy od jego historii, nazywana jest **funkcją stanu**.
- Takimi funkcjami stanu są temperatura i energia wewnętrzna.
- Ciepło i praca nie są funkcjami stanu.

Ciepło

- Jeżeli w układzie nie zachodzą przemiany fazowe ani nie jest wykonywana praca przez układ lub nad układem, to przekazane ciepło jest wprost proporcjonalne do zmiany temperatury i do masy układu.

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

- gdzie ΔQ oznacza przekazane ciepło, m to masa substancji, a ΔT to zmiana temperatury.
- Współczynnik c nosi nazwę **ciepła właściwego** i zależy od substancji i jej fazy.
- Ciepło właściwe jest liczbowo równe ilości ciepła potrzebnej do zmiany temperatury 1 kg substancji o 1 st.
- Jednostką ciepła właściwego w układzie SI jest J/(kg K).
- Ciepło właściwe gazów zależne jest od tego czy w czasie podgrzewania utrzymywana jest stała wielkość objętości czy ciśnienia.

Ciepło

Substancja	Ciepło właściwe (c)	
<i>Ciała stałe</i>	J / (kg °C)	kcal / (kg °C) ¹
Aluminium	900	0,215
Beton, granit (średnio)	840	0,2
Miedź	387	0,0924
Szkło	840	0,2
Złoto	129	0,0308
Ludzkie ciało (średnio w 37 °C)	3500	0,83
Lód (średnio, −50 °C do 0 °C)	2090	0,5
Żelazo, stal	452	0,108
Ołów	128	0,0305
Srebro	235	0,0562

Ciepło

Substancja	Ciepło właściwe (c)	
Ciecze		
Benzen	1740	0,415
Etanol	2450	0,586
Gliceryna	2410	0,576
Rtęć	139	0,0333
Woda (15 °C)	4186	1
Gazy ²		
Powietrze (suche)	721(1015)	0,172(0,242)
Amoniak	1670(2190)	0,399(0,523)
Dwutlenek węgla	638(833)	0,152(0,199)
Azot	739(1040)	0,177(0,248)
Tlen	651(913)	0,156(0,218)

Ciepło

Obliczanie ciepła potrzebnego do ogrzania substancji

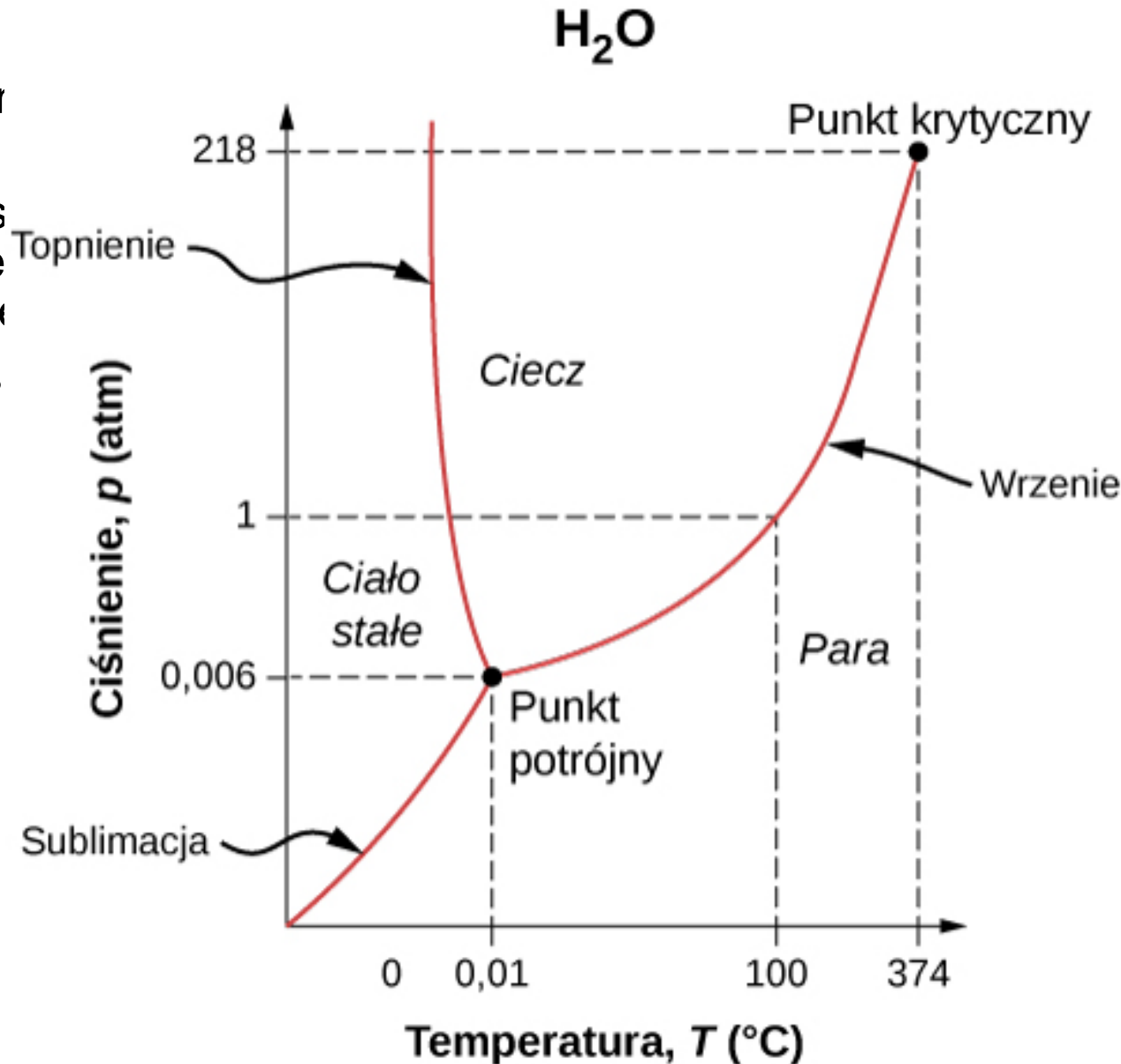
Półkilogramowy aluminiowy rondel wypełniony 0,25 l wody stoi na piecu i jest ogrzewany od temperatury 20°C do 80°C .

- a. Jaką ilość ciepła należy dostarczyć do podgrzania wody?
- b. Jaką ilość ciepła należy dostarczyć do podgrzania rondla?

Przemiany fazowe

Diagramy fazowe

- To, w jakiej fazie znajduje się substancja w danej temperaturze i ciśnieniu.
- Dlatego też wykres fazowy jest używany do określania właściwości termodynamicznych substancji w różnych warunkach.
- Taki wykres nazywamy diagramem fazowym.

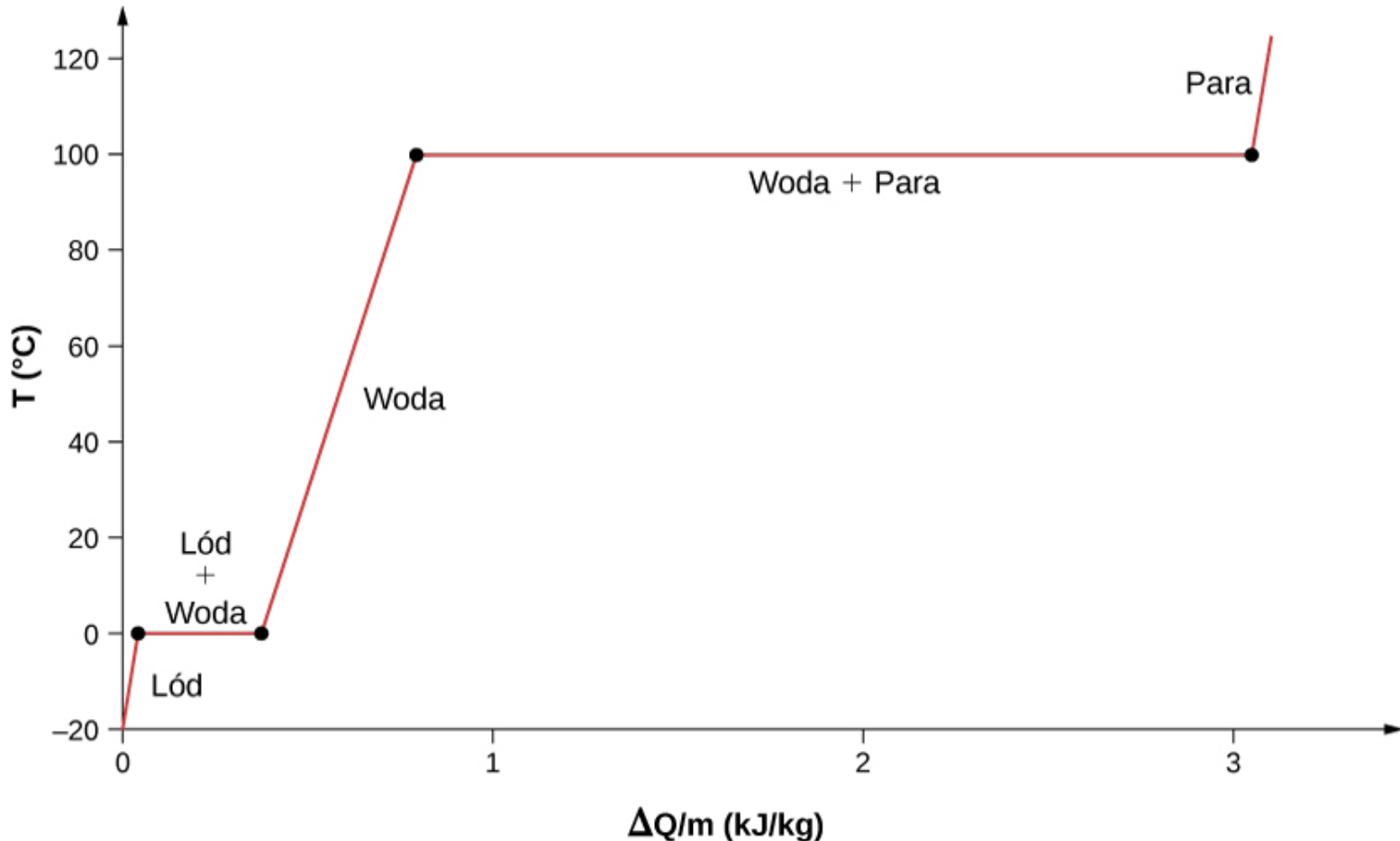


Przemiany fazowe

- W temperaturze topnienia fazy stała i ciekła są w równowadze.
- Jeśli dostarczymy ciepło, pewna ilość substancji będąca w fazie stałej stopi się, a jeśli ciepło odprowadzimy, pewna ilość tej substancji będąca w fazie ciekłej zakrzepnie.
- Sytuacja jest nieco bardziej skomplikowana dla równowagi pomiędzy fazami ciekłą i gazową.
- Zasadniczo, fazy ciekła i gazowa są w równowadze w każdej temperaturze.
- Fazę gazową nazywamy parą, kiedy ta istnieje w temperaturze poniżej temperatury wrzenia. W przypadku wody jest tak na przykład przy temperaturze 20 st. C.
- Ciecz znajdująca się w zamkniętym naczyniu i w stałej temperaturze paruje, dopóki ciśnienie gazu nie osiągnie pewnej wartości odpowiadającej ciśnieniu pary nasyconej, która z kolei zależy od rodzaju gazu i temperatury.
- W takiej równowadze, jeśli dostarczymy ciepło, część cieczy wyparuje, a jeśli ciepło odprowadzimy, część gazu się skropli.

Przemiany fazowe

- Do tej pory omawialiśmy wymianę ciepła, w wyniku której następuje zmiana temperatury.
- Podczas przejść fazowych wymiana ciepła nie powoduje jednak żadnych zmian temperatury.



Przemiany fazowe

- Co się dzieje z ciepłem dostarczonym do układu podczas procesu topnienia i wrzenia?
- Aby stopić ciało stałe, trzeba do niego dostarczyć energię potrzebną do rozerwania wiązań między cząsteczkami, tak aby w cieczy mogły się one swobodnie poruszać.
- Energia kinetyczna tych cząsteczek jest taka sama jak w ciele stałym, dlatego nie następuje wzrost temperatury układu.
- Podobnie się dzieje podczas parowania cieczy.
- Odwrotny proces występuje w trakcie zamarzania bądź skraplania, kiedy to energia zostaje odprowadzona z układu w postaci ciepła po to, aby cząsteczki mogły zostać zebrane z powrotem razem przez siły przyciągania.

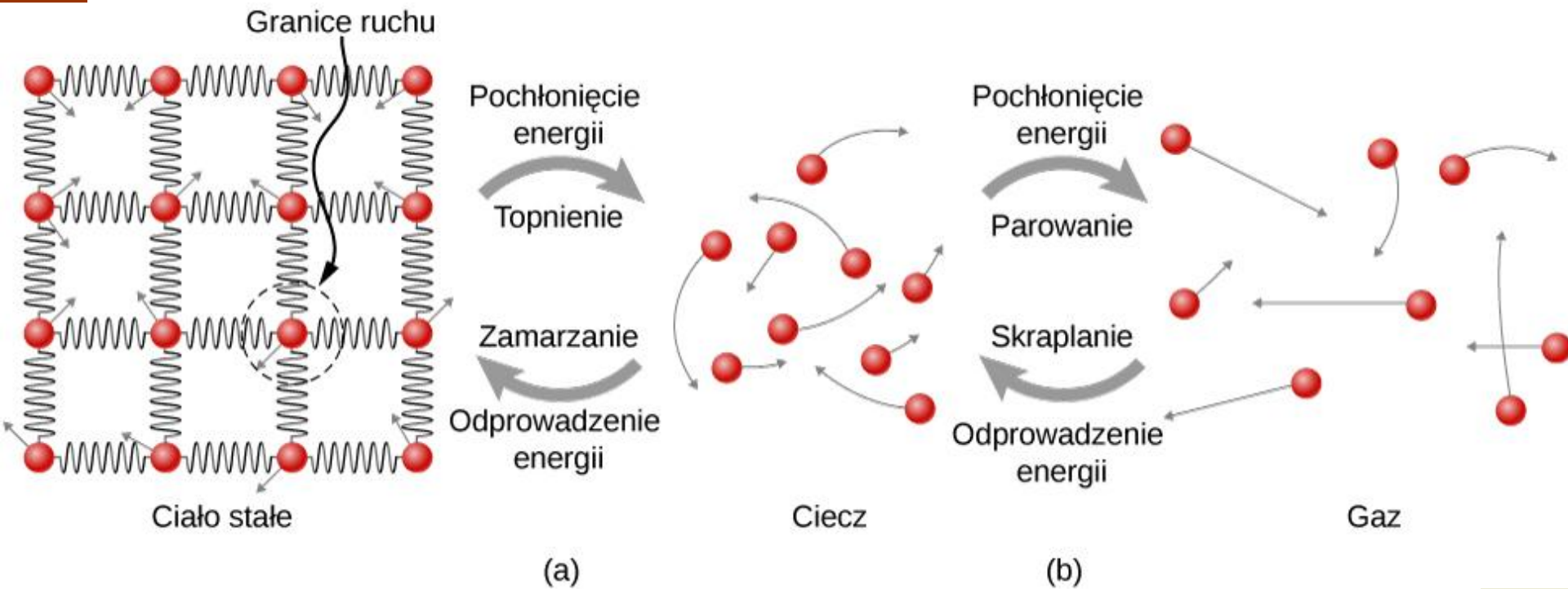
Przemiany fazowe

- 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.
- Energia potrzebna do wyparowania jednostki masy danej substancji nazywana jest ciepłem parowania.
- Siła wiązań zależy od rodzaju cząsteczek.
- Ciepło pochłonięte lub uwolnione przez jednostkę masy danej substancji podczas zmiany jej fazy wyrażone jest przez

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

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

Przemiany fazowe



Przemiany fazowe

 c_{top}
 c_{par}

Substancja	Temperatura topnienia ($^{\circ}$, C)	c_{top}		Temperatura wrzenia ($^{\circ}$, C)	c_{par}	
		kJ / kg	kcal / kg		kJ / kg	kcal / kg
Hel ⁴	-272,2 (0,95 K)	5,23	1,25	-268,9 (4,2 K)	20,9	4,99
Wodór	-259,3 (13,9 K)	58,6	14	-252,9 (20,2 K)	452	108
Azot	-210 (63,2 K)	25,5	609	-195,8 (77,4 K)	201	48
Tlen	-218,8 (544 K)	13,8	3,3	-183 (90,2 K)	213	50,9
Etanol	-114	104	24,9	78,3	854	204
Amoniak	-75	332	79,3	-33,4	1370	327
Rtęć	-38,9	11,8	2,82	357	272	65
Woda	0	334	79,8	100	2256 ⁵	539
Siarka	119	38,1	9,1	444,6	326	77,9
Ołów	327	24,5	5,85	1750	871	208

Przemiany fazowe

Obliczanie końcowej temperatury towarzyszącej zmianie fazy

Trzy kostki lodu zostały użyte do schłodzenia wody gazowanej mającej temperaturę 20°C i masę $0,25\text{ kg}$.

Temperatura lodu wynosi 0°C i każda kostka lodu ma masę 6 g .

Założmy, 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.

Mechanizmy przekazywania ciepła

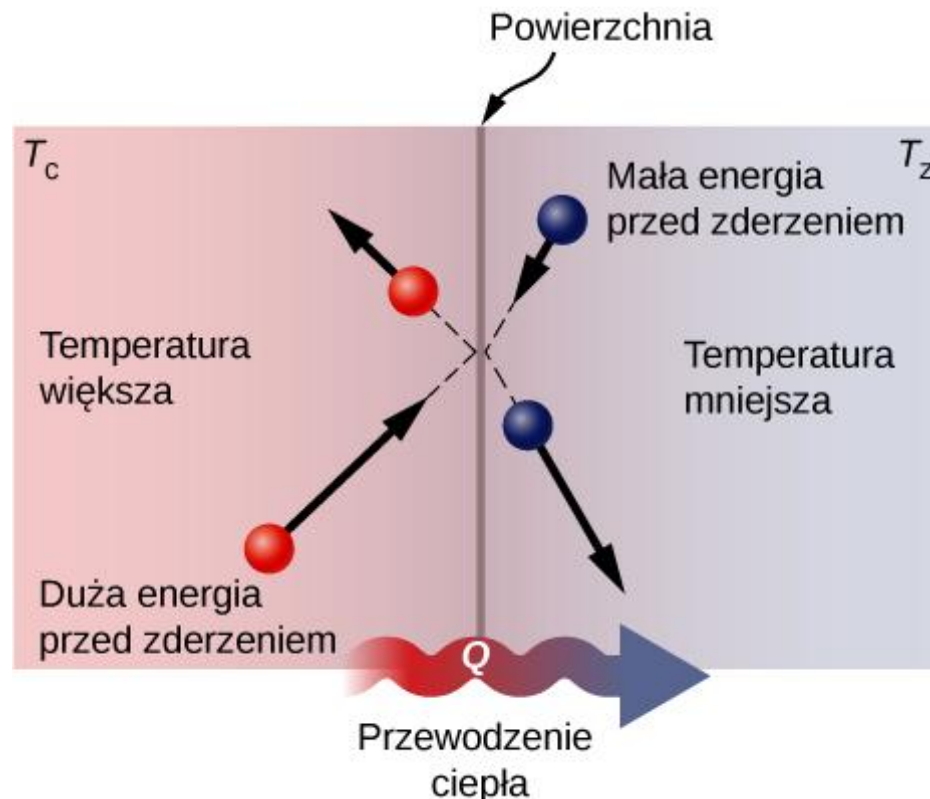
- Kiedy tylko pojawia się różnica temperatury, następuje przepływ ciepła.
- Przepływ ciepła może odbywać się bardzo szybko, jak na rozgrzanej patelni, lub powoli, jak przez ścianki lodówki turystycznej.
- Można wymienić trzy mechanizmy odpowiedzialne za przepływ ciepła:
 - Przewodnictwo ciepłe jest wymianą ciepła między materią, która się nie porusza, poprzez fizyczny kontakt. To przewodnictwo ciepłe odpowiedzialne jest za wymianę ciepła z palnika na piecu przez dno patelni do jedzenia znajdującego się na niej.
 - Konwekcja jest wymianą ciepła przez ruch materii. Ten rodzaj przepływu ciepła występuje na przykład w obiegu powietrza.
 - Wymiana ciepła przez promieniowanie. Promieniowanie mikrofalowe, promieniowanie podczerwone to rodzaj promieniowania elektromagnetycznego (emitowany) lub pochłaniany (absorbowany). Przykładem jest ogrzewanie Ziemi przez Słońce.



Mechanizmy przekazywania ciepła

Przewodzenie

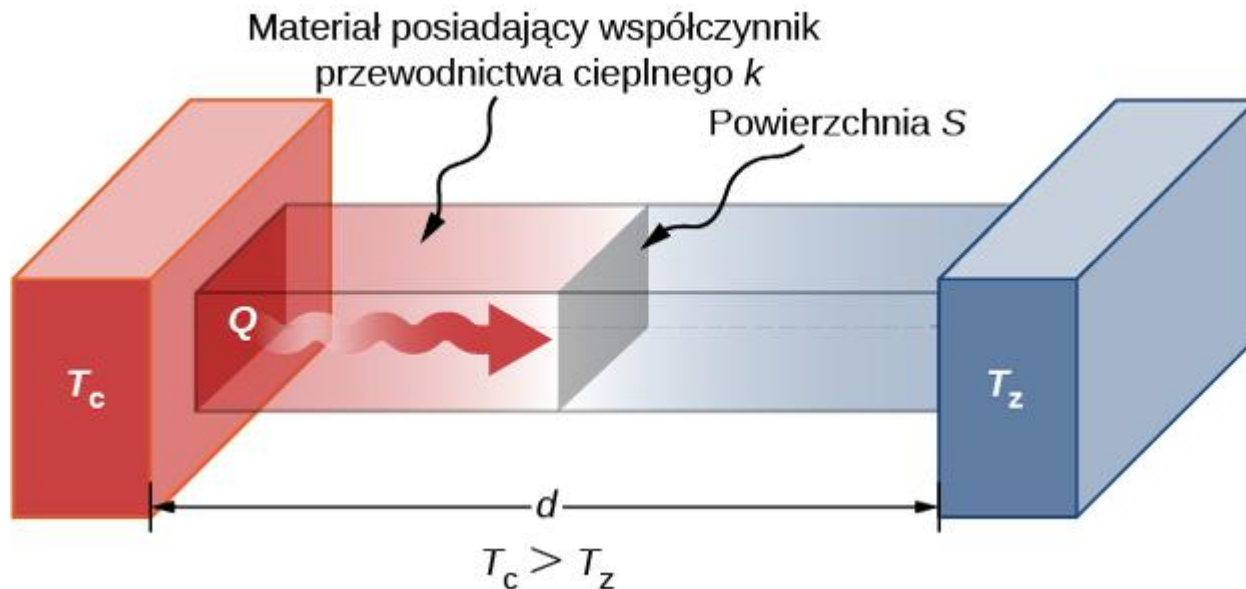
- Pewne materiały przewodzą energię ciepłą szybciej niż inne.
- Średnia energia kinetyczna cząsteczek w cieplejszym ciele jest większa od energii w ciele zimniejszym.
- Jeśli dwie cząsteczki zderzą się ze sobą, to energia zostanie przekazana od cząsteczki o większej energii do cząsteczki o mniejszej energii.



Mechanizmy przekazywania ciepła

Przewodzenie

- Szybkość wymiany ciepła wzrasta wraz ze wzrostem różnicy temperatury.
- Przewodzenie ciepła jest wprost proporcjonalne do obszaru styku.
- Na szybkość przewodzenia ciepła wpływa także grubość materiału, przez który to ciepło przepływa.



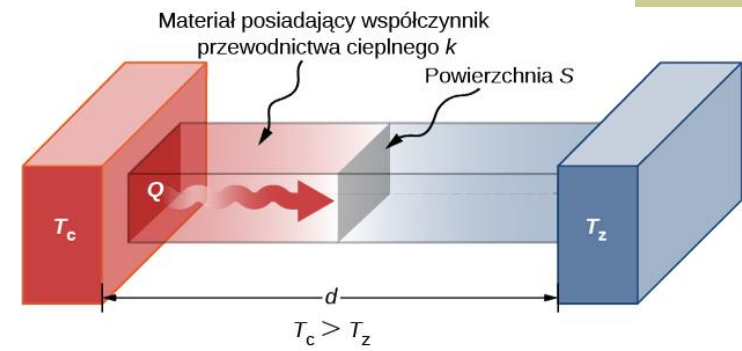
Mechanizmy przekazywania ciepła

Przewodzenie

- Szybkość przewodzenia ciepła przez płytę materiału jest wyrażona przez

$$P = \frac{dQ}{dt} = \frac{kS(T_c - T_z)}{d}$$

- gdzie P jest mocą lub szybkością przewodzenia ciepła, a k jest współczynnikiem przewodnictwa cieplnego



Mechanizmy przekazywania ciepła

Material	Przewodność cieplna k (W / (m °C))
Diamant	2000
Srebro	420
Miedź	390
Złoto	318
Aluminium	220
Stal	80
Stal (nierdzewna)	14
Lód	2,2
Szkło (zwykcyjne)	0,84
Beton	0,84
Woda	0,6

Mechanizmy przekazywania ciepła

Materiał	Przewodność cieplna k (W / (m °C))
Tkanka tłuszczowa (bez krwi)	0,2
Azbest	0,16
Płyta gipsowa	0,16
Drewno	0,08 – 0,16
Śnieg (suchy)	0,1
Korek	0,042
Szklana wełna	0,042
Wełna	0,04
Puch z pierza	0,025
Powietrze	0,023
Polistyrenowa pianka	0,01

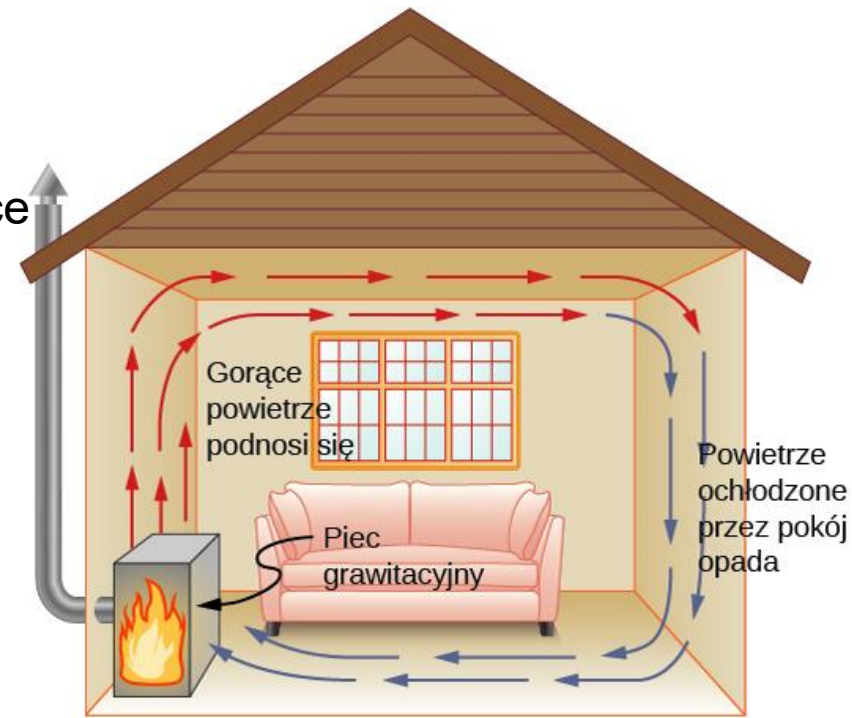
Mechanizmy przekazywania ciepła

Konwekcja

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

Z życia codziennego

- podczas schładzania się ciała człowieka w upalny dzień poprzez pocenie - ciepło pochodzące ze skóry powoduje odparowanie potu, obniżając temperaturę ciała.



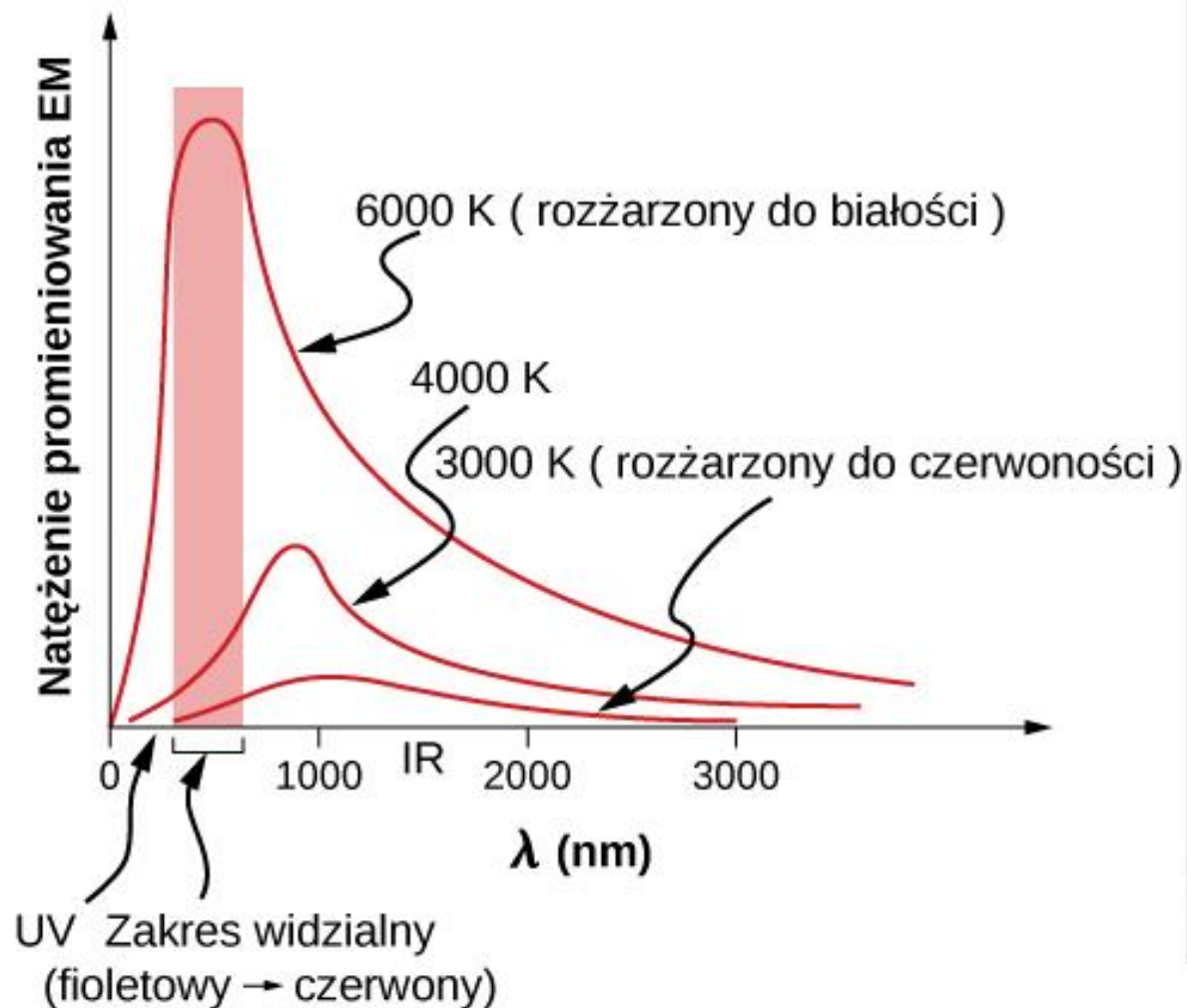
Mechanizmy przekazywania ciepła

Promieniowanie

- Gorące ciało emituje fale elektromagnetyczne, które są absorbowane.
- Do rozchodzenia się (propagacji) fal elektromagnetycznych nie potrzeba żadnego ośrodka.
- Różnym długościom fal elektromagnetycznych przyporządkowano różne nazwy (od najdłuższej do najkrótszej długości fali): fale radiowe, mikrofae, promieniowanie podczerwone, światło widzialne, promieniowanie ultrafioletowe, promieniowanie X (rentgenowskie) i promieniowanie gamma.
- W świetle widzialnym długość fali determinuje barwę – najdłuższej fali odpowiada kolor czerwony, z kolei najkrótszej fioletowy – tak więc zmiane temperatury odpowiada zmiana koloru.
- Promieniowanie podczerwone jest dominującą formą promieniowania emitowanego nawet przez obiekty chłodniejsze niż grzałka elektryczna czy stal.
- Energia promieniowania jako funkcja długości fali zależy od natężenia promieniowania.

Mechanizmy przekazywania ciepła

Promieniowanie



Mechanizmy przekazywania ciepła

Mechanizmy przekazywania ciepła

Przykład:

Powierzchnia człowieka – około 1m^2

Zdolność emisyjna – około 0,75; Temperatura otoczenia $T_e = 20^\circ\text{C} = 293\text{K}$

Temperatura człowieka około $T = 37^\circ\text{C} = 310\text{K}$

$$P_{net} = \varepsilon \sigma (T^4 - T_e^4) = 0.75 * 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4} \cdot 1\text{m}^2 \left((310\text{K})^4 - (293\text{K})^4 \right) = 79\text{W}$$

W czasie doby $24\text{h} = 86400\text{s}$, tracimy

$$Q = P_{net} \cdot t = 79\text{W} \cdot 86400\text{s} = 6.8 \times 10^6 \text{ J}$$

Jeśli jemy 2000 kcal dziennie, czyli $2000 * 1000 * 4.2 \text{ J} = 8.4 \times 10^6 \text{ J}$

Inne: $T_e = 30^\circ\text{C} \Rightarrow P = 34\text{W}$

$T_e = 18^\circ\text{C} \Rightarrow P = 88\text{W}$, na dzień $Q = 7.6 \times 10^6 \text{ J}$

Dziękuję za uwagę!