

Termodynamika

Energia wewnętrzna ciał

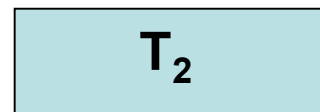
Cząsteczki ciał stałych, cieczy i gazów znajdują się w nieustannym ruchu oddziałując ze sobą. Sumę energii kinetycznej oraz potencjalnej oddziałujących cząsteczek nazywamy energią wewnętrzną ciała. Makroskopową miarą energii wewnętrznej ciał jest parametr termodynamiczny zwany **temperaturą**.

Dwa ciała (układy fizyczne) różniące się temperaturą (energią wewnętrzną) mogą sobie przekazywać energię za pomocą różnych mechanizmów:

1. Oddziaływań bezpośrednich bez wymiany cząsteczek – przewodnictwa cieplnego
2. Przepływu cząsteczek z jednego układu do drugiego – konwekcji cieplnej
3. Za pośrednictwem promieniowania elektromagnetycznego – promieniowania cieplnego.

Proces przekazywania energii ciału o niższej temperaturze przez ciało o wyższej temperaturze zachodzi aż do wyrównania ich temperatur – osiągnięcia równowagi termodynamicznej.

Nierównowaga termodynamiczna



$$T_1 > T_2$$

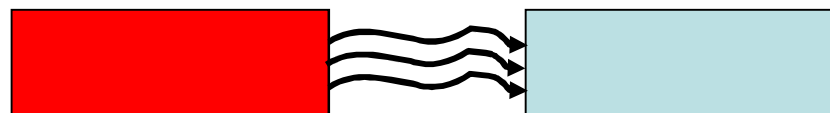
Przekazywanie energii wewnętrznej



Przewodnictwo

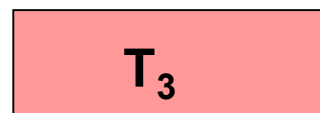
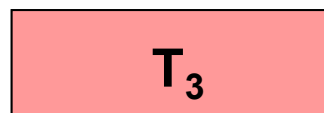


Konwekcja



Promieniowanie

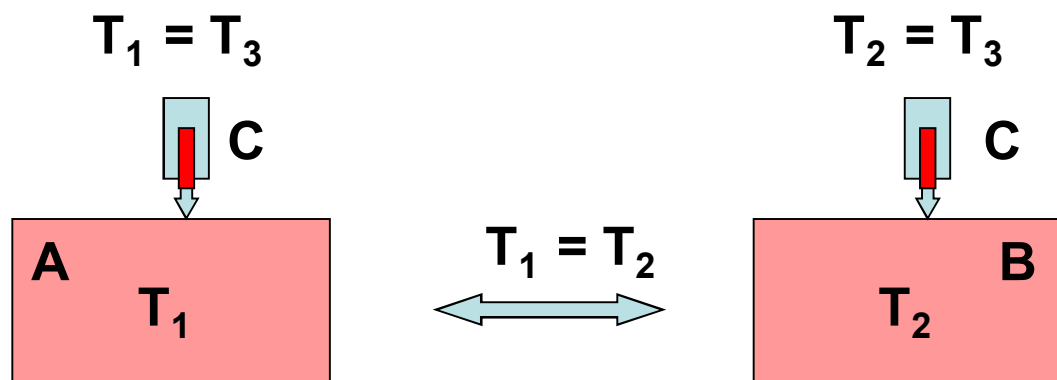
Równowaga termodynamiczna



$$T_1 > T_3 > T_2$$

Zerowa zasada termodynamiki

Temperatura jest makroskopowym parametrem termodynamicznym układu.



Jeżeli ciało A jest w równowadze termodynamicznej z ciałem C i ciało B jest także w równowadze termodynamicznej z ciałem C to ciała A i B są ze sobą w równowadze termodynamicznej.

Ciało C nazywamy ciałem termometrycznym lub **termometrem**.

Ciało termometryczne musi posiadać pewną własność fizyczną której wartość zależy liniowo od temperatury.

$$X(T) = a \cdot T \quad \Rightarrow \quad T = \frac{X(T)}{a}$$

Pomiar temperatury

Aby przy pomocy wybranego ciała termometrycznego móc mierzyć temperaturę trzeba określić współczynnik α , czyli wyskalować termometr oraz określić stały punkt odniesienia, jednakowy dla wszystkich termometrów.

Bezwzględna skala temperatur

Jako jednostkę temperatury w układzie SI przyjęto jeden Kelwin (1 K).

Jako stały punkt odniesienia przyjęto tzw. punkt potrójny wody, temperaturę w której współistnieją wszystkie trzy jej fazy: stała ciekła i gazowa. Punkt potrójny wody odpowiada temperaturze **273,16 K**.

$$T = \frac{X(T)}{X(273,16 K)} \cdot 273,16 [K]$$

Temperaturę $T = 0 K$ nazywamy zerem bezwzględnym. Ustaje w niej ruch cieplny cząsteczek i atomów.

Porównanie używanych skal temperatury

Skala Celsjusza

$$t_C = T - 273,15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Stopień Celsjusza [1 °C] jest równy 1 K.

Punkt potrójny wody – 0 °C

Temperatura wrzenia wody pod ciśnieniem normalnym - 100 °C

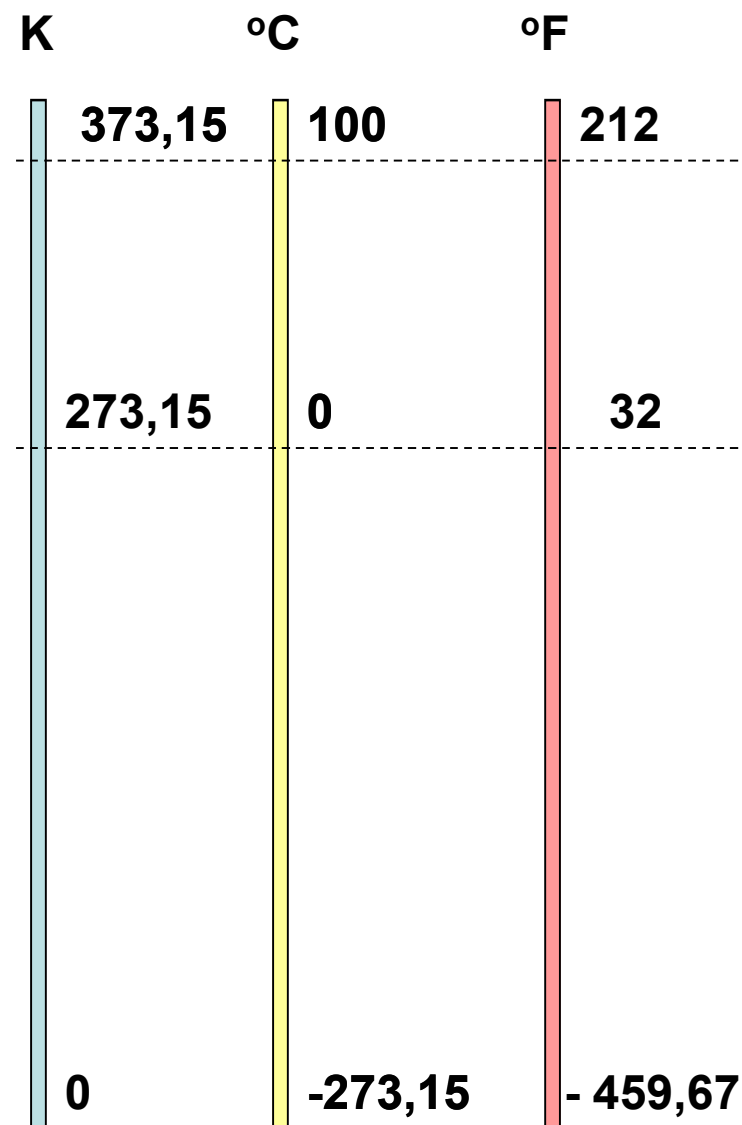
Skala Farenhaita

$$t_F = 32^\circ\text{F} + \frac{9}{5} \cdot t_C$$

Stopień Farenhaita [1 °F] jest równy) 0,556 °C.

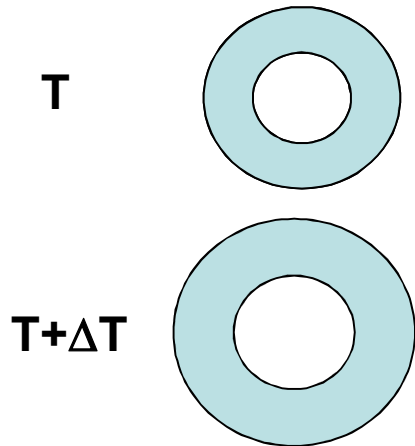
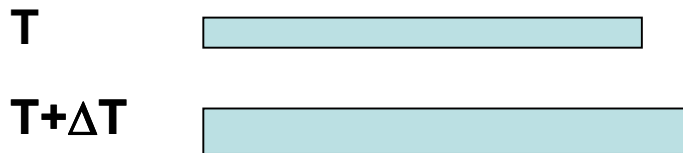
Punkt potrójny wody – 32 °F

Temperatura wrzenia wody pod ciśnieniem normalnym - 212 °F



Rozszerzalność cieplna ciał

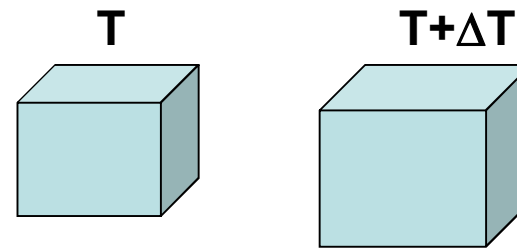
Rozszerzalność liniowa



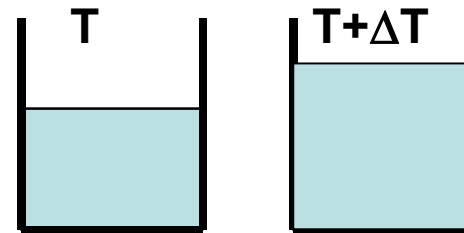
$$\Delta l = \alpha \cdot l \cdot \Delta T$$

$$\alpha = \frac{1}{l} \cdot \frac{\Delta l}{\Delta T}$$

Rozszerzalność objętościowa



$$\Delta V = 3 \cdot \alpha \cdot l \cdot \Delta T$$



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

$$\beta = \frac{1}{V} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta T}$$

Współczynniki rozszerzalności liniowej niektórych substancji

Substancja	α ($^{\circ}\text{C}$) ⁻¹
Glin	$23 \cdot 10^{-6}$
Mosiądz	$19 \cdot 10^{-6}$
Miedź	$17 \cdot 10^{-6}$
Szkło zwyczajne	$9 \cdot 10^{-6}$
Szkło hartowane	$3,2 \cdot 10^{-6}$
Guma twarda	$80 \cdot 10^{-6}$
Lód	$51 \cdot 10^{-6}$
Stop inwar	$0,7 \cdot 10^{-6}$
Ołów	$29 \cdot 10^{-6}$
Stal	$11 \cdot 10^{-6}$

Ciepło jako forma przekazywania energii

Ciepło (Q) – ilość przekazanej lub odebranej układowi przez otoczenie energii wewnętrznej powodującej jego zmianę temperatury.

$Q > 0 \Rightarrow$ ciepło przekazywane jest do układu

$Q < 0 \Rightarrow$ ciepło odbierane jest z układu

Jednostką ciepła jest 1 dżul (J)

lub 1 kaloria (cal) – ilość ciepła potrzebna do podniesienia temperatury jednego grama wody od temperatury $14,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $15,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

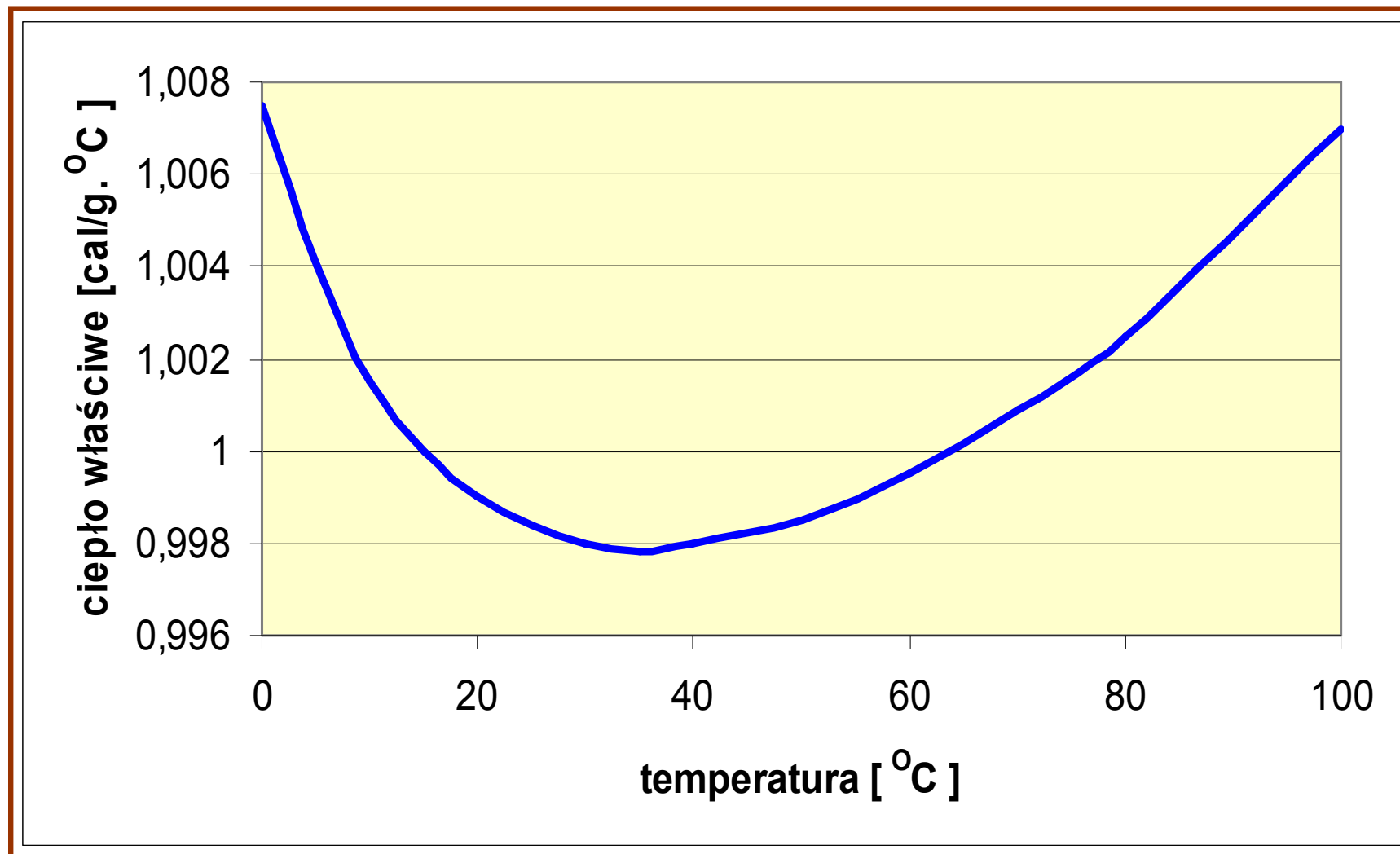
$$1 \text{ kcal} = 1000 \text{ cal} = 4186 \text{ J}$$

Pojemność cieplna (C) – ilość ciepła potrzebna do zmiany temperatury danego ciała o 1 K.

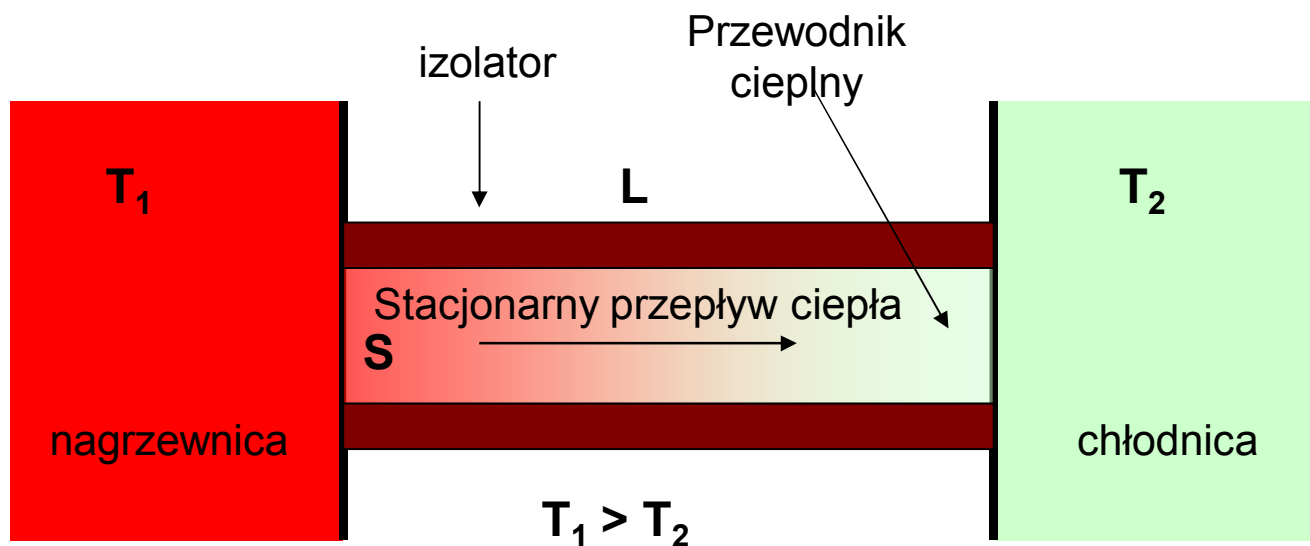
Ciepło właściwe (c) – pojemność cieplna jednostki masy substancji z której zbudowane jest dane ciało.

Obie wielkości zależą od temperatury.

Zmiany ciepła właściwego wody z temperaturą



Przewodnictwo ciepła



Równanie przewodnictwa
cieplnego

$$\frac{dQ}{dt} = k \cdot S \cdot \frac{dT}{dx}$$

Stacjonarny przepływ
ciepła

$$\Delta Q = k \cdot S \cdot \frac{T_1 - T_2}{L} \cdot \Delta t$$

	Przewodność cieplna [kcal / s . m . °C]
Srebro	$9,9 \cdot 10^{-2}$
Miedź	$9,2 \cdot 10^{-2}$
Aluminium	$4,9 \cdot 10^{-2}$
Mosiądz	$2,6 \cdot 10^{-2}$
Stal	$1,1 \cdot 10^{-2}$
Ołów	$8,3 \cdot 10^{-3}$
Beton	$2 \cdot 10^{-4}$
Szkło	$2 \cdot 10^{-4}$
Korek	$4 \cdot 10^{-5}$
Azbest	$2 \cdot 10^{-5}$
Lód	$4 \cdot 10^{-4}$
Woda	$2 \cdot 10^{-5}$
Wodór	$3,3 \cdot 10^{-5}$
Powietrze	$5,7 \cdot 10^{-6}$
Tlen	$5,6 \cdot 10^{-6}$

Praca jako sposób zmiany energii wewnętrznej układu

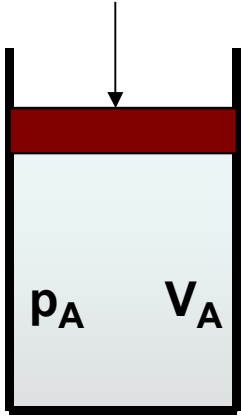
Praca (W) – wykonana nad układem lub przez układ powoduje zmianę jego energii wewnętrznej wyrażającej się zmianą temperatury.

$W > 0 \Rightarrow$ praca wykonywana jest przez układ

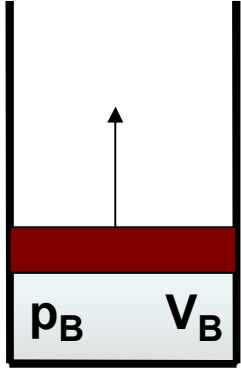
$W < 0 \Rightarrow$ praca wykonywana jest nad układem

Jednostką pracy jest 1 dżul (J)

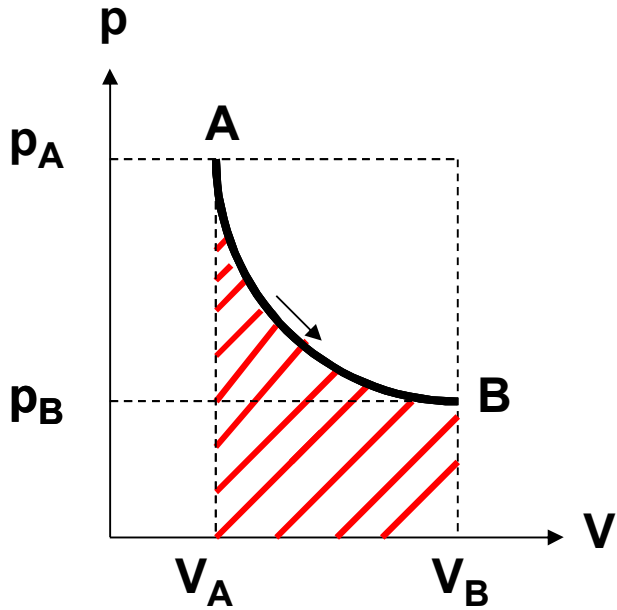
Gaz w zbiorniku z ruchomym tłokiem



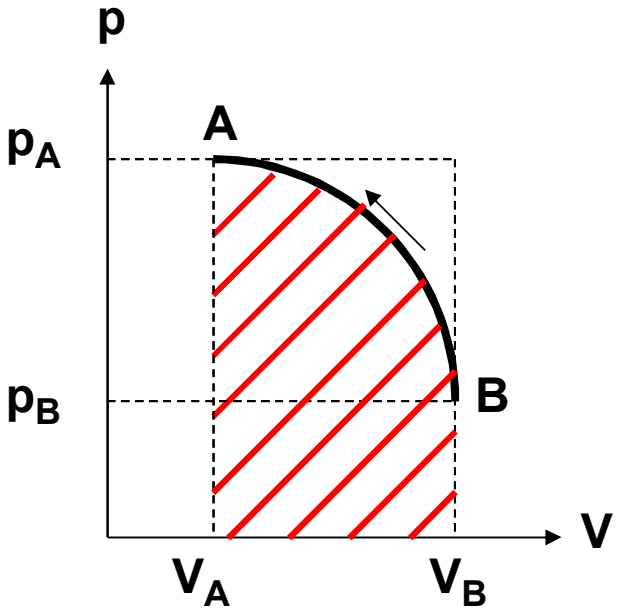
$$W = \int dW = \int_{V_A}^{V_B} p(V) \cdot dV$$



Sprężanie

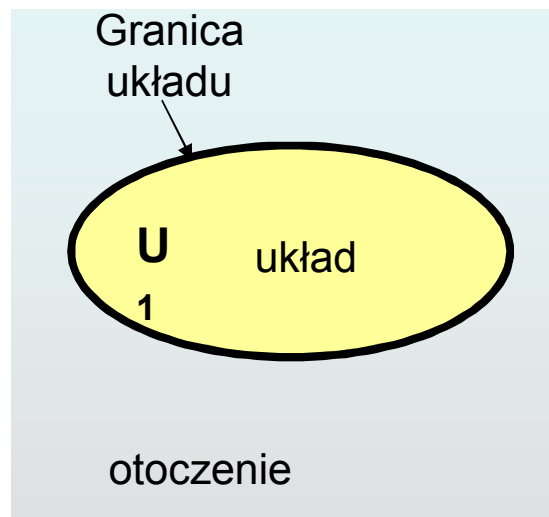


Rozprężanie

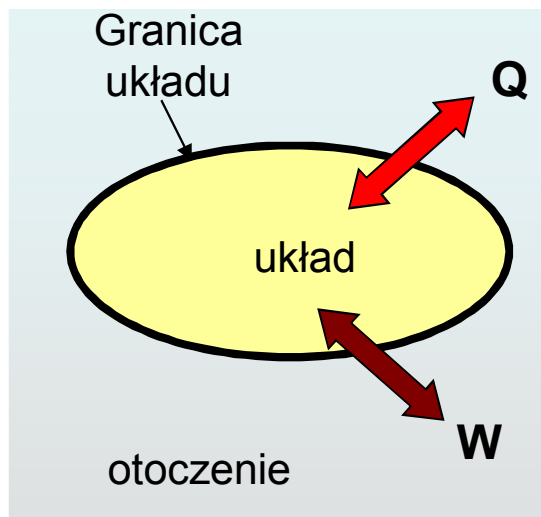


Pierwsza zasada termodynamiki

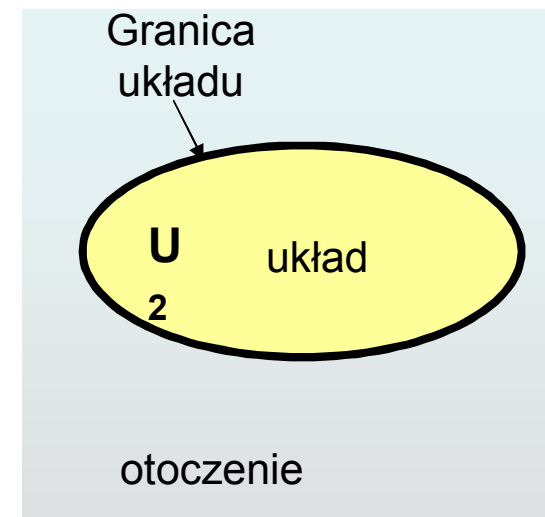
Początkowy stan
równowagi



Oddziaływanie
z otoczeniem



Końcowy stan
równowagi

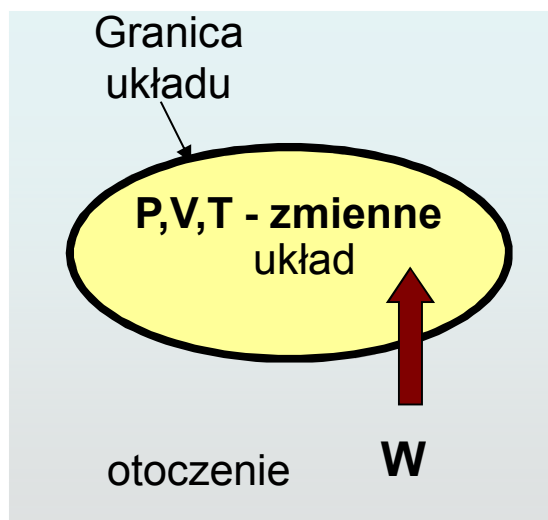


$$U_2 - U_1 = W_{WYK} - W_{WE} + Q_{DOST} - Q_{ODB}$$

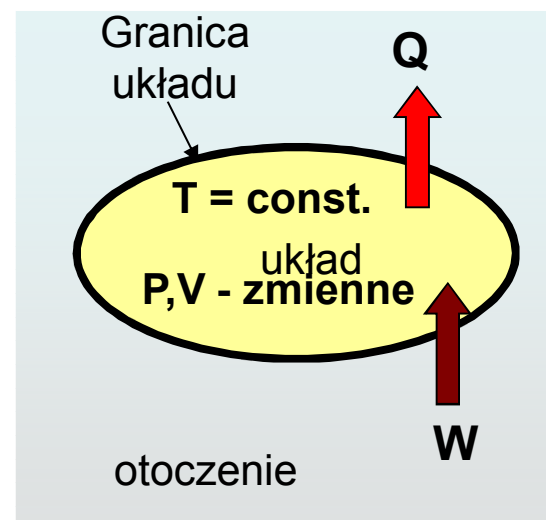
$$\Delta U = \Delta Q - \Delta W$$

Energia wewnętrzna jest parametrem termodynamicznym zwanym funkcją stanu układu.

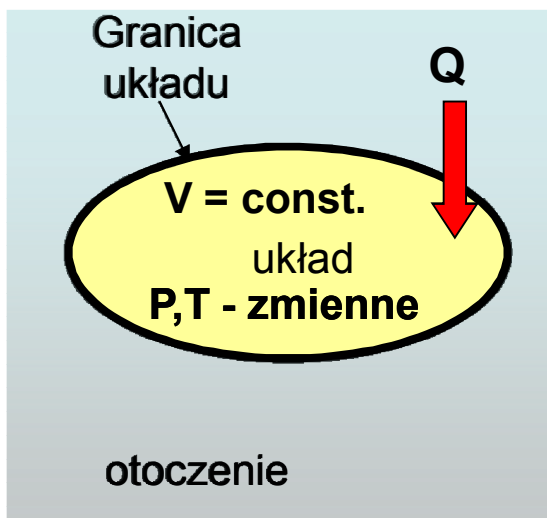
Proces adiabatyczny



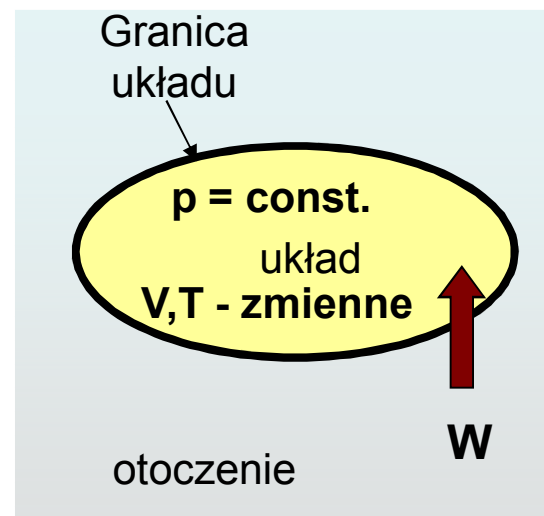
Proces izotermiczny



Proces izochoryczny



Proces izobaryczny



Druga zasada termodynamiki

Istnieje parametr termodynamiczny będący funkcją stanu układu zwany **entropią**. W przyrodzie mogą zachodzić tylko te procesy termodynamiczne w których suma entropii układu i jego otoczenia nie maleje.

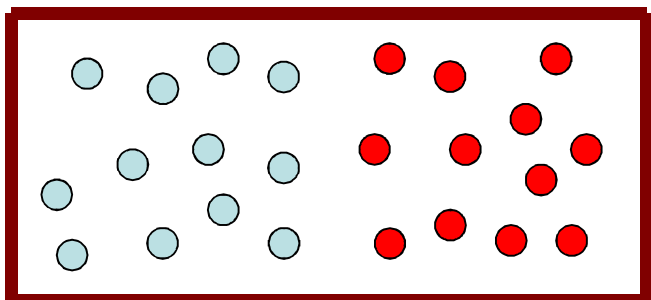
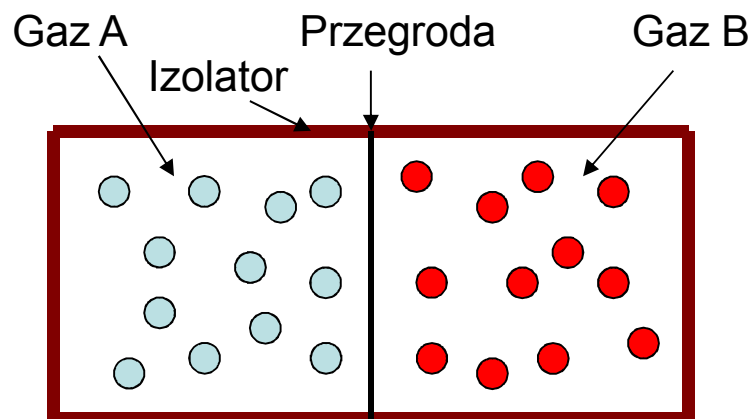
$$\Delta S \geq 0$$

Jeżeli suma entropii układu i otoczenia przed i po procesie jest taka sama – proces jest odwracalny.

Jeżeli suma entropii układu i otoczenia po procesie jest większa niż przed – proces jest nieodwracalny.

Rzeczywiste procesy termodynamiczne zachodzą zawsze ze zwiększeniem całkowitej entropii. Można zmniejszyć entropię układu wykonując nad nim pracę kosztem wzrostu entropii otoczenia.

Entropia a prawdopodobieństwo stanu układu

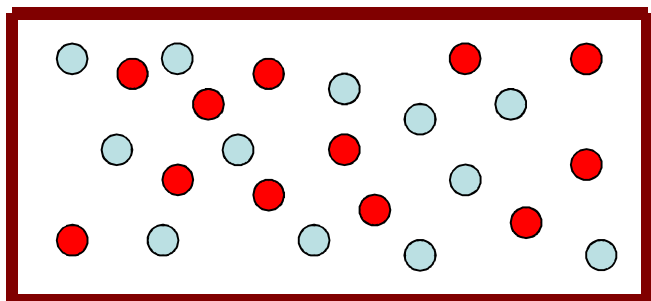


S_1

Stan mniej
prawdopodobny
entropia mniejsza

U_1

$$U_1 = U_2$$



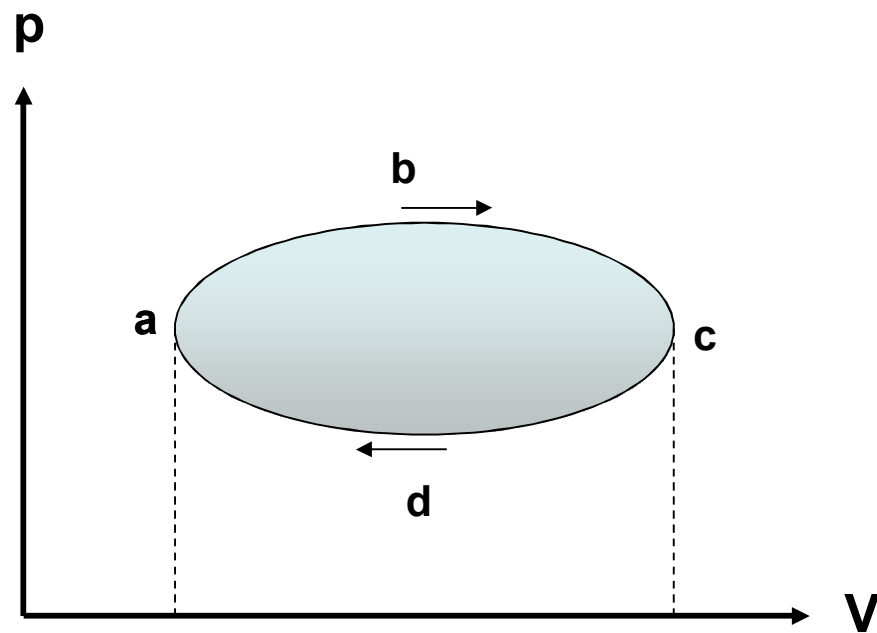
S_2

Stan bardziej
prawdopodobny
entropia większa

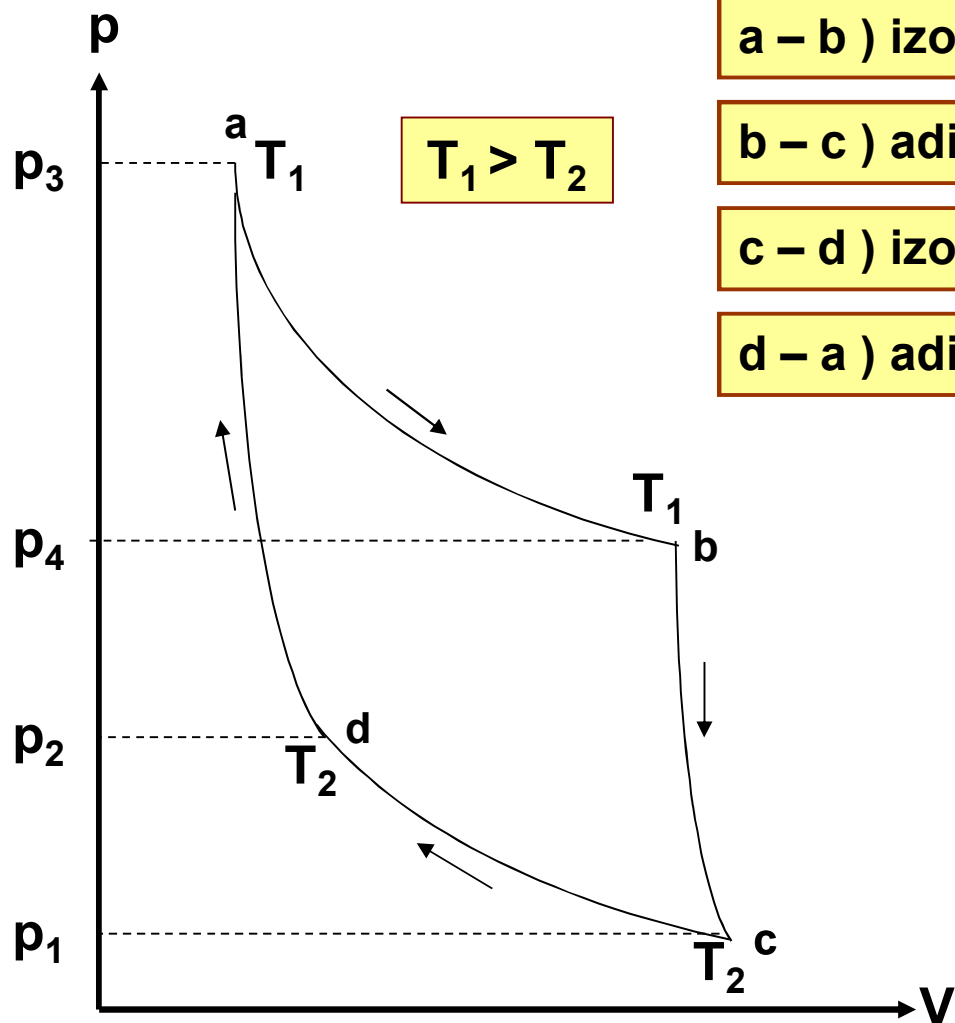
U_2

$$S_1 < S_2$$

Cykl termodynamiczny



Cykl Carnota



a – b) izotermiczne rozprężanie

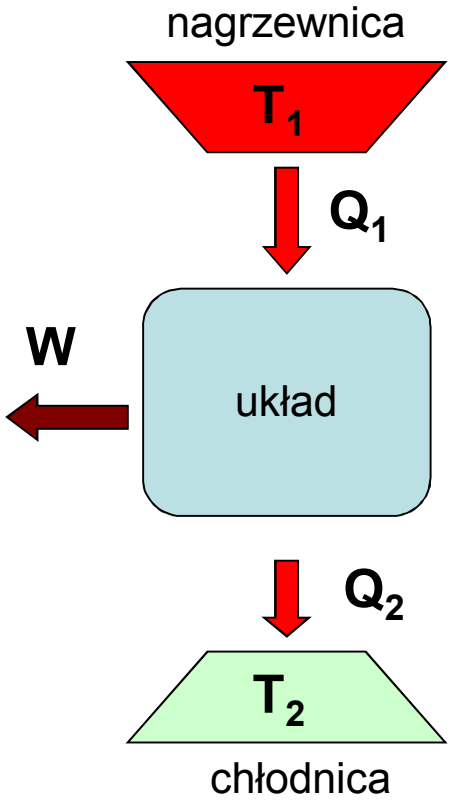
b – c) adiabatyczne rozprężanie

c – d) izotermiczne sprężanie

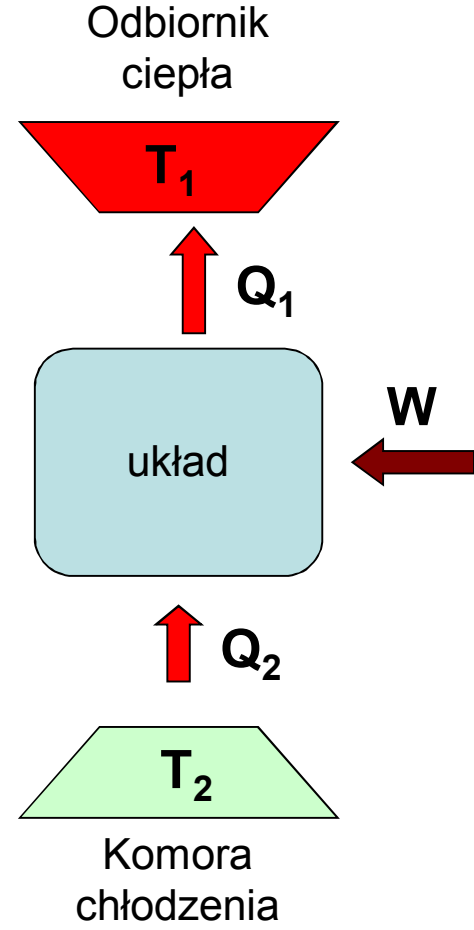
d – a) adiabatyczne sprężanie

Maszyny cieplne

Silnik cieplny



Maszyna chłodząca



$$W = Q_1 - Q_2$$

Sprawność silnika cieplnego

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$