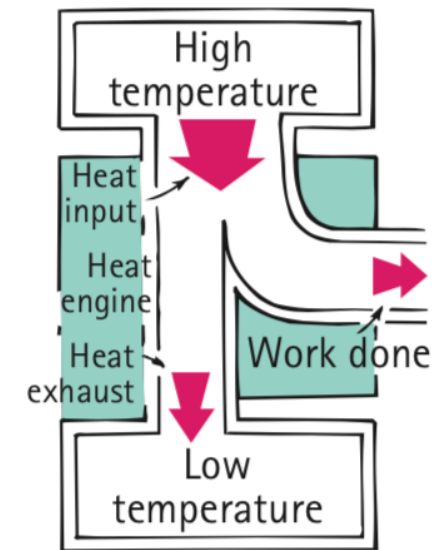
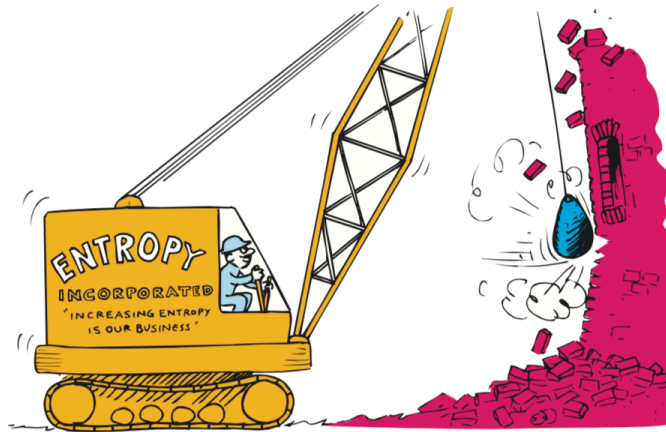
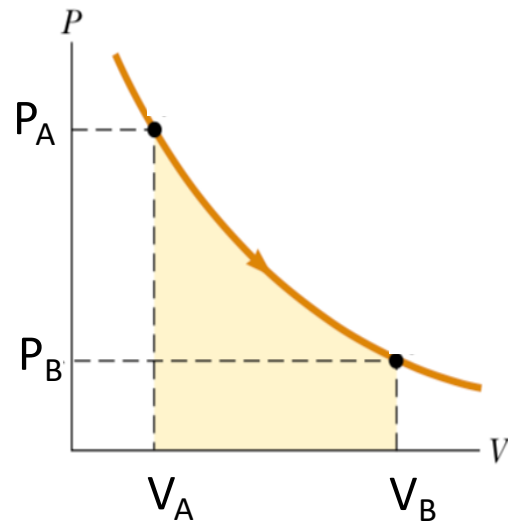


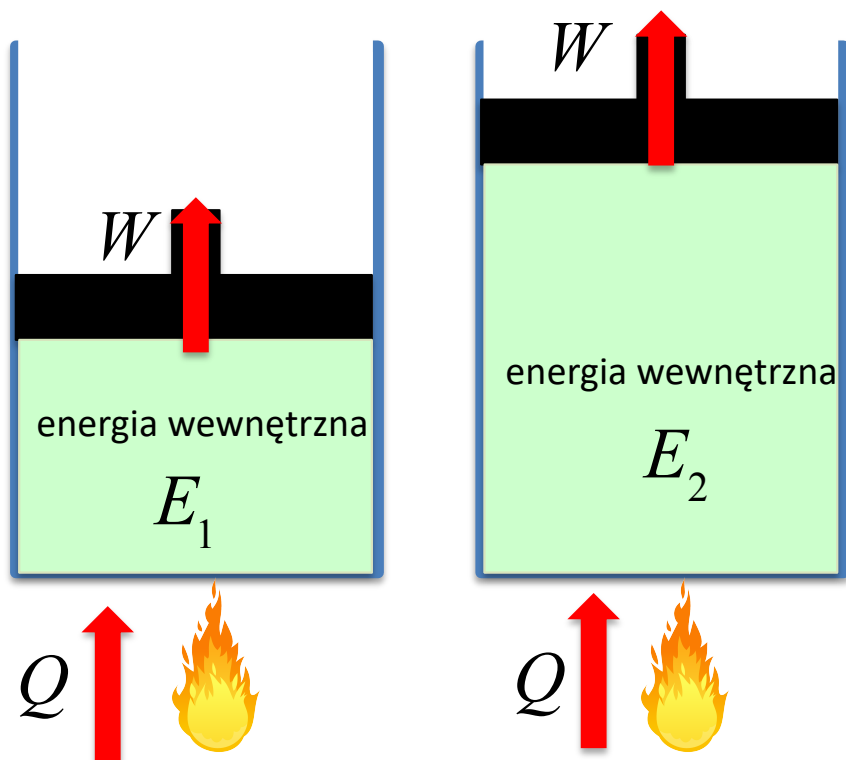
Wykład 5

I i II zasada termodynamiki, silniki cieplne



Pierwsza zasada termodynamiki

Gaz w naczyniu zamkniętym ruchomym tłokiem:



Zmiana energii wewnętrznej układu zamkniętego jest równa energii, która przepływa przez jego granice na sposób ciepła i pracy:

$$\Delta E = Q - W$$

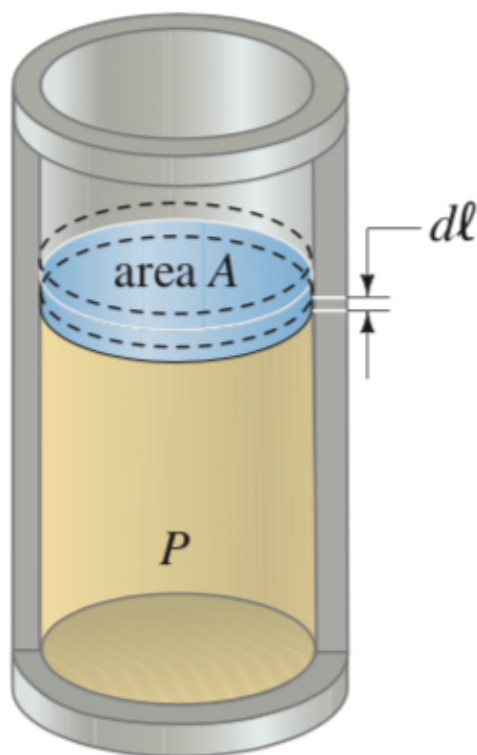
Termodynamiczna konwencja znakowa dla ciepła i pracy

Proces	Konwencja
Ciepło dostarczane do układu	$Q > 0\text{J}$
Ciepło odbierane od układu	$Q < 0\text{J}$
Praca wykonywana przez układ	$W > 0\text{J}$
Praca wykonywana nad układem	$W < 0\text{J}$

Energia wewnętrzna E to całkowita energia zawarta w układzie (energia kinetyczna+ energia wiązań chemicznych +...).

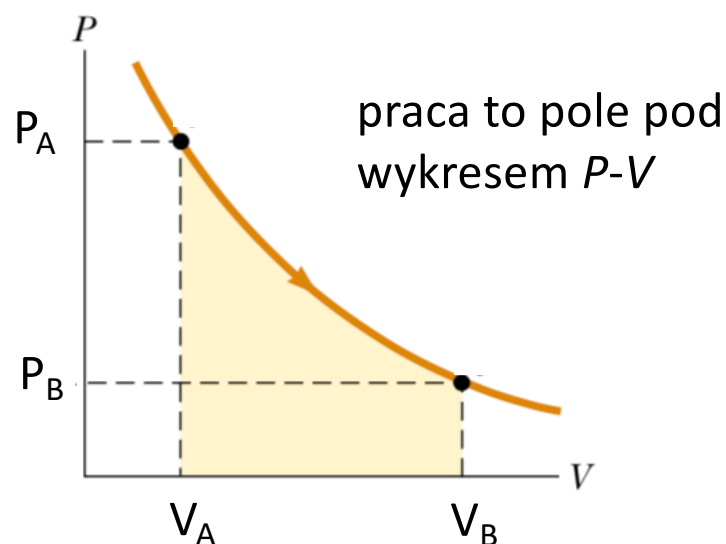
I zasada termodynamiki jest szczególnym wyrazem zasady zachowania energii dla procesów, w których występuje wymiana ciepła.

Praca mechaniczna wykonana przez gaz

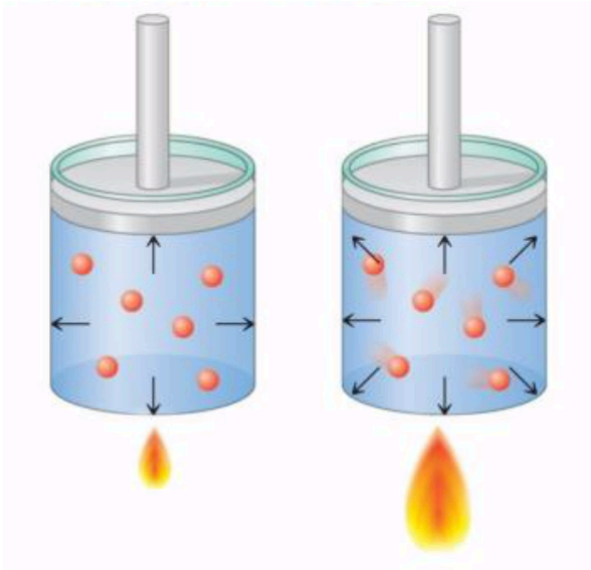


$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{\ell} = PAd\ell = PdV$$

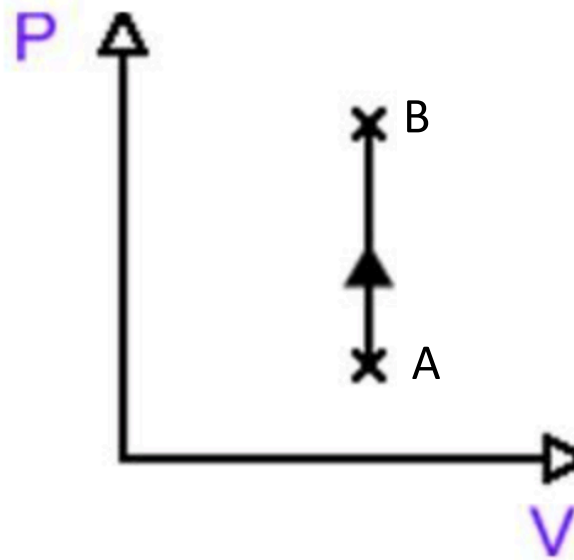
$$W = \int_{V_A}^{V_B} P dV$$



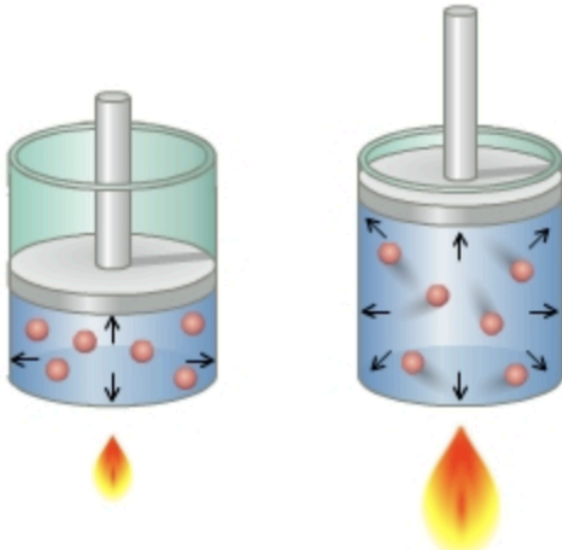
Praca w procesie izochorycznym



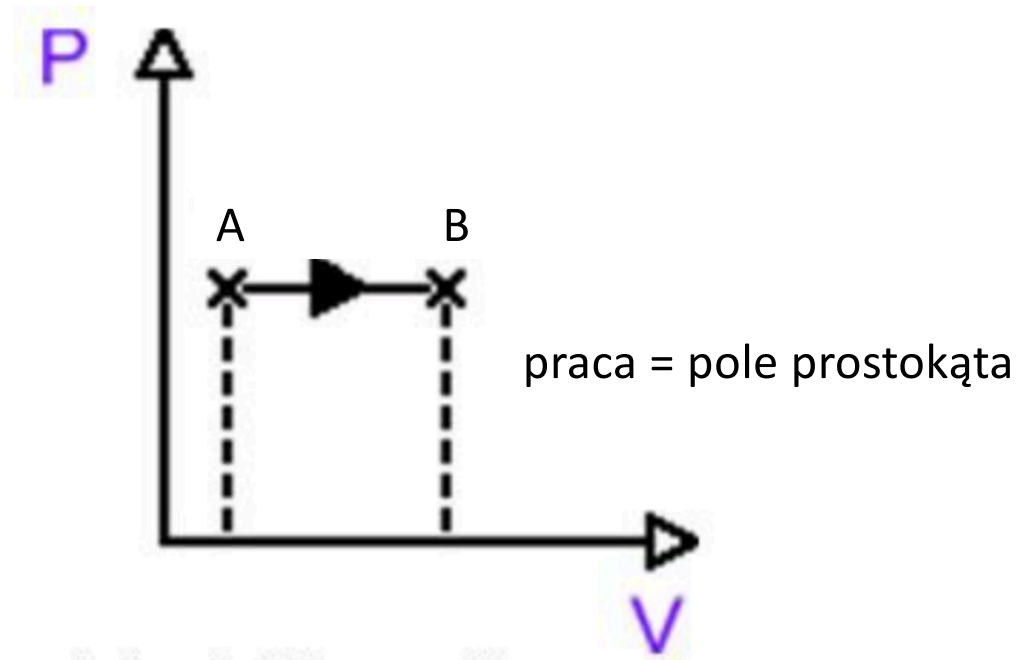
$$dV = 0 \Rightarrow W = \int_{V_A}^{V_B} P dV = 0$$



Praca w procesie izobarycznym

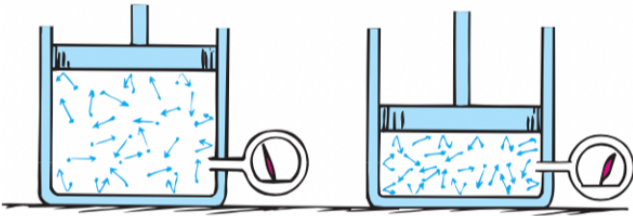


$$P = \text{const} \Rightarrow W = P \int_{V_A}^{V_B} dV = P(V_B - V_A)$$

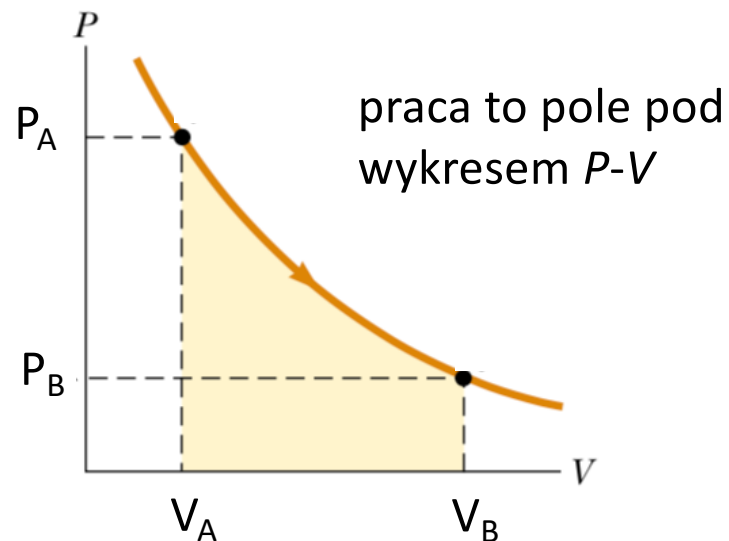


Praca w procesie izotermicznym

$$PV = nRT \Rightarrow P = \frac{nRT}{V}$$

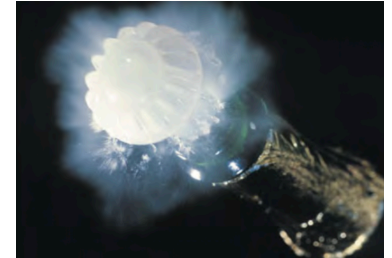


$$W = nRT \int_{V_A}^{V_B} \frac{dV}{V} = nRT \log \frac{V_B}{V_A}$$



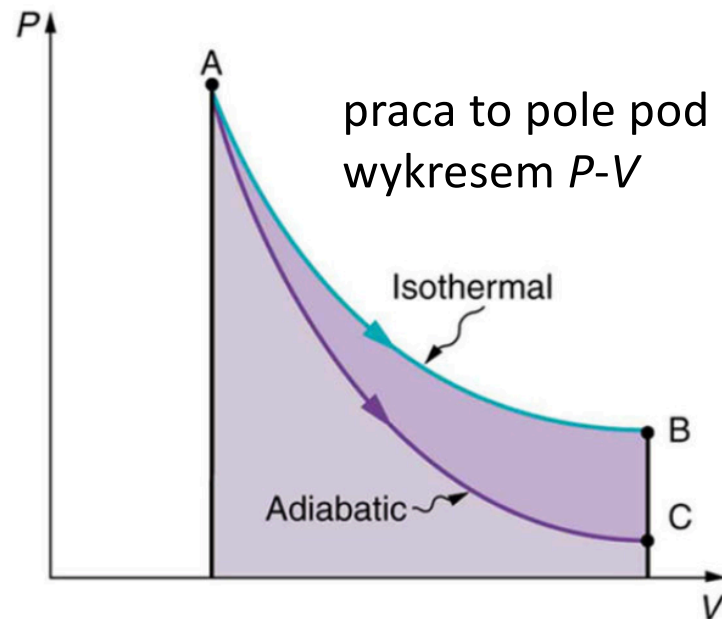
Proces adiabaticzny

Proces adiabaticzny: $Q = 0$ (brak wymiany ciepła z otoczeniem)



W procesie adiabaticznym zamiana energii wewnętrznej może zajść tylko pod wpływem pracy mechanicznej:

$$\Delta E = -W$$



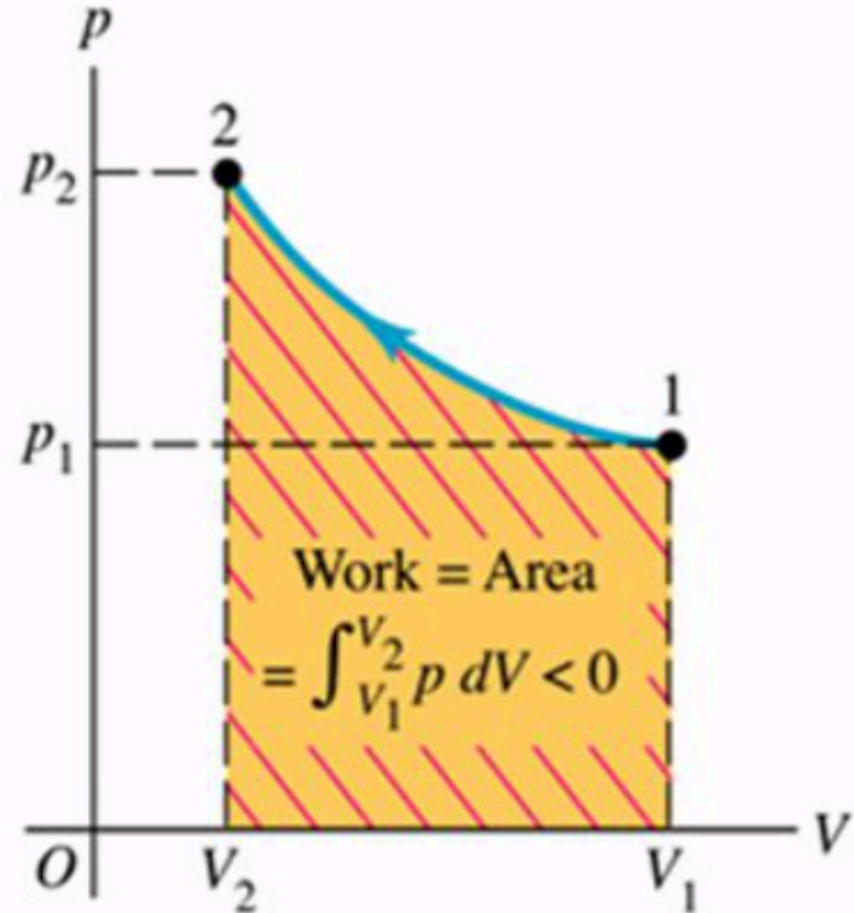
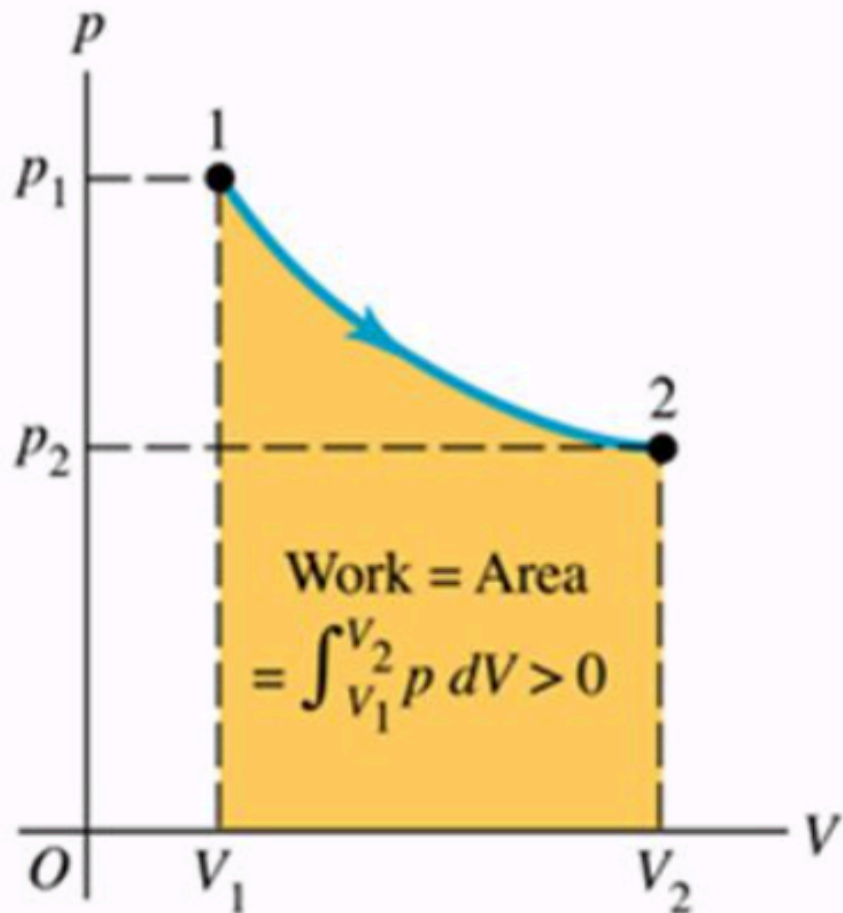
Można pokazać, że dla przemiany adiabaticznej:

$$PV^\gamma = \text{const}$$

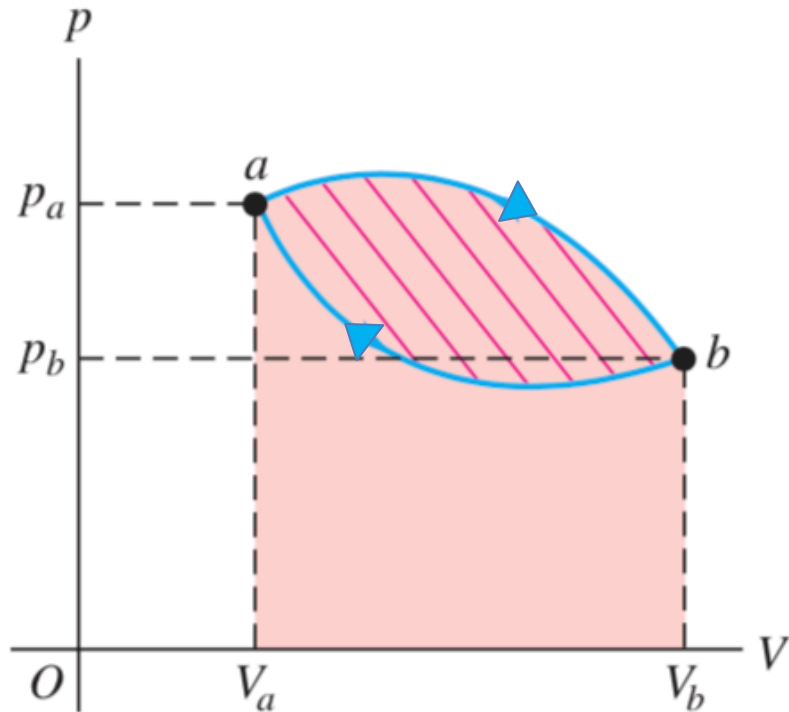
$$\gamma > 1$$

Znak pracy W

- Praca jest dodatnia ($W > 0$), gdy objętość wzrasta w procesie termodynamicznym
- Praca jest ujemna ($W < 0$), gdy objętość maleje w procesie termodynamicznym



Praca w cyklicznych procesach termodynamicznych



$$W = \int_{V_a}^{V_b} P dV$$

praca = pole pod wykresem $P(V)$

Na przedstawionym wykresie, praca wykonana przez układ w jednym cyklu termodynamicznym jest dodatnia i równa jest zakreskowanej powierzchni (tzn. układ wykonał pracę nad otoczeniem). Praca ta realizowana jest kosztem ciepła dostarczonego do układu. Gdyby proces przebiegał w odwrotną stronę – całkowita praca byłaby ujemna.

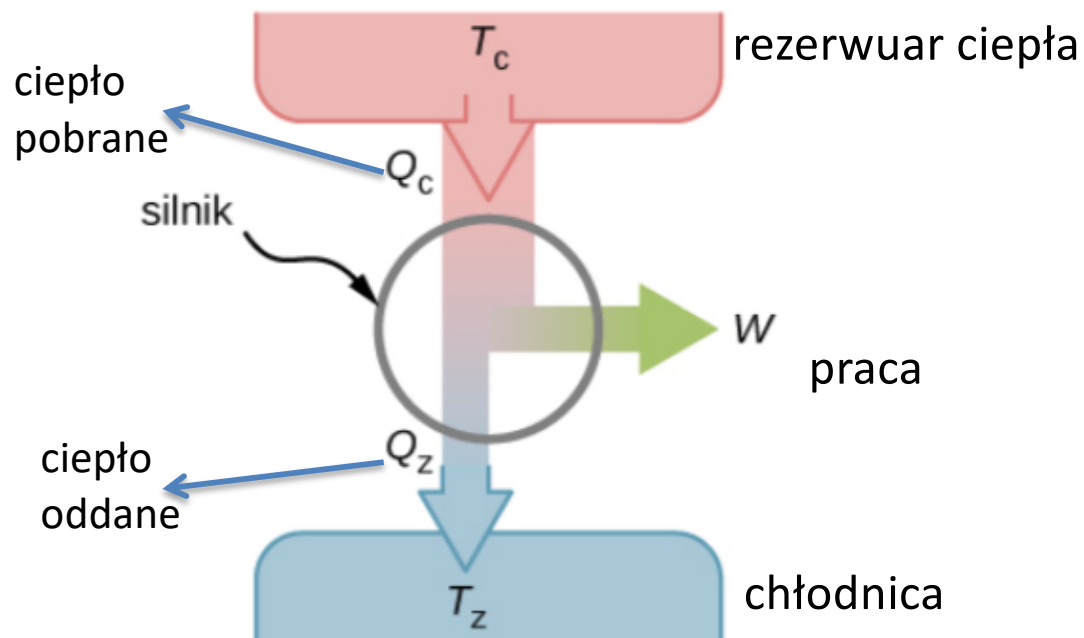
Urządzenia, które zamieniają cyklicznie energię cieplną w mechaniczną to silniki cieplne.

Cykliczne procesy termodynamiczne, podstawy działania silników cieplnych

Cykliczne procesy termodynamiczne, w wyniku których układ wraca do początkowej energii wewnętrznej (do stanu początkowego, $\Delta E = 0$) leżą u podstaw działania silników cieplnych.

Każdy silnik cieplny składa się:

- (a) z rezerwuaru ciepła, z którego czynnik roboczy pobiera energię
- (b) z chłodnicy, do której oddawana jest część pobranej energii
- (c) czynnika roboczego (ciecz, gaz, pary paliw), który część pobranej energii zamienia na pracę



$$\Delta E = (Q_c - Q_z) - W = 0$$

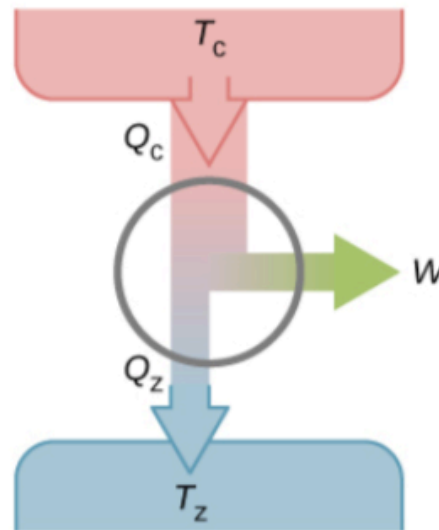
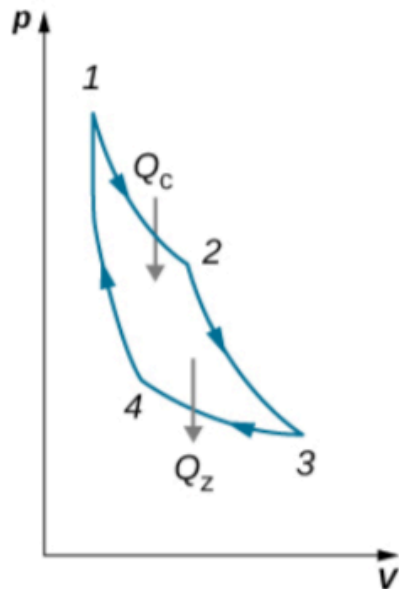
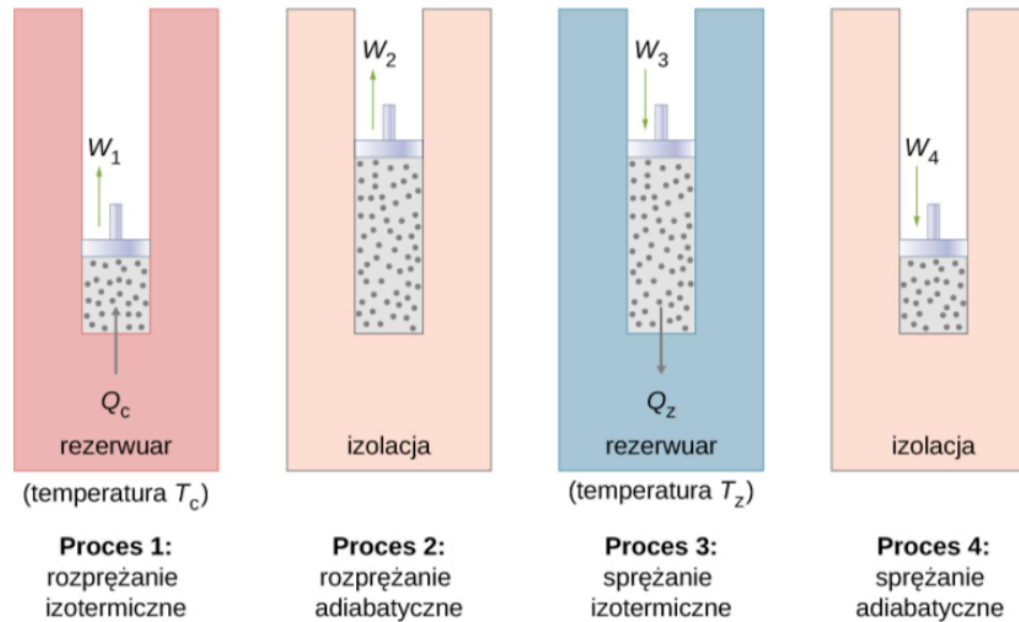
$$W = Q_c - Q_z$$

Sprawność silnika:

$$\eta = \frac{W}{Q_c} = 1 - \frac{Q_z}{Q_c}$$

$\eta < 1 \Rightarrow$ część pobranej energii zawsze tracona jest na ciepło!

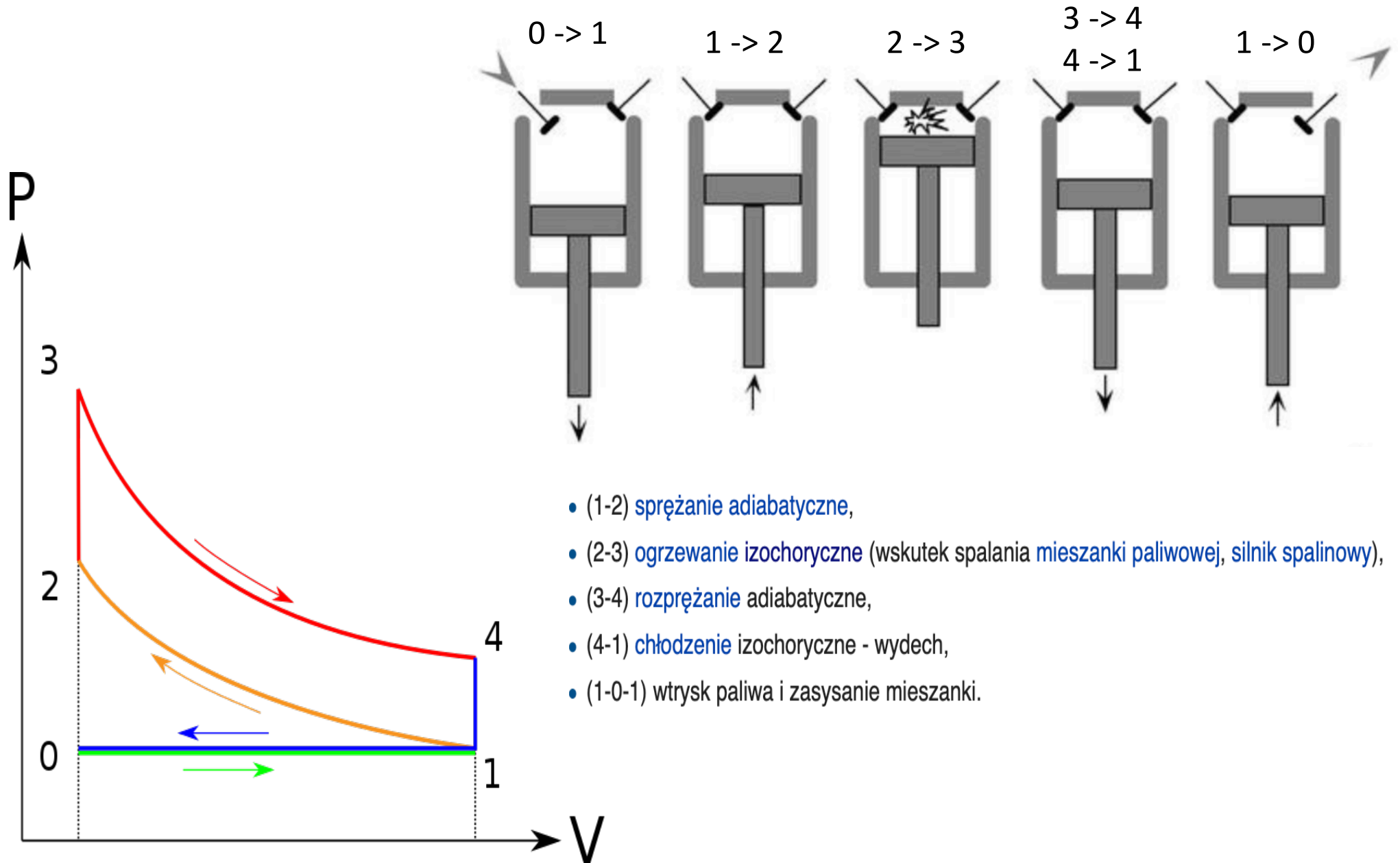
Silnik Carnota – silnik idealny, czyli o największej możliwej sprawności



Dla tego cyklu sprawność silnika:

$$\eta = \frac{W}{Q_c} = 1 - \frac{Q_z}{Q_c} = 1 - \frac{T_z}{T_c}$$

Cykl termodynamiczny dla silnika spalinowego – cykl Otta

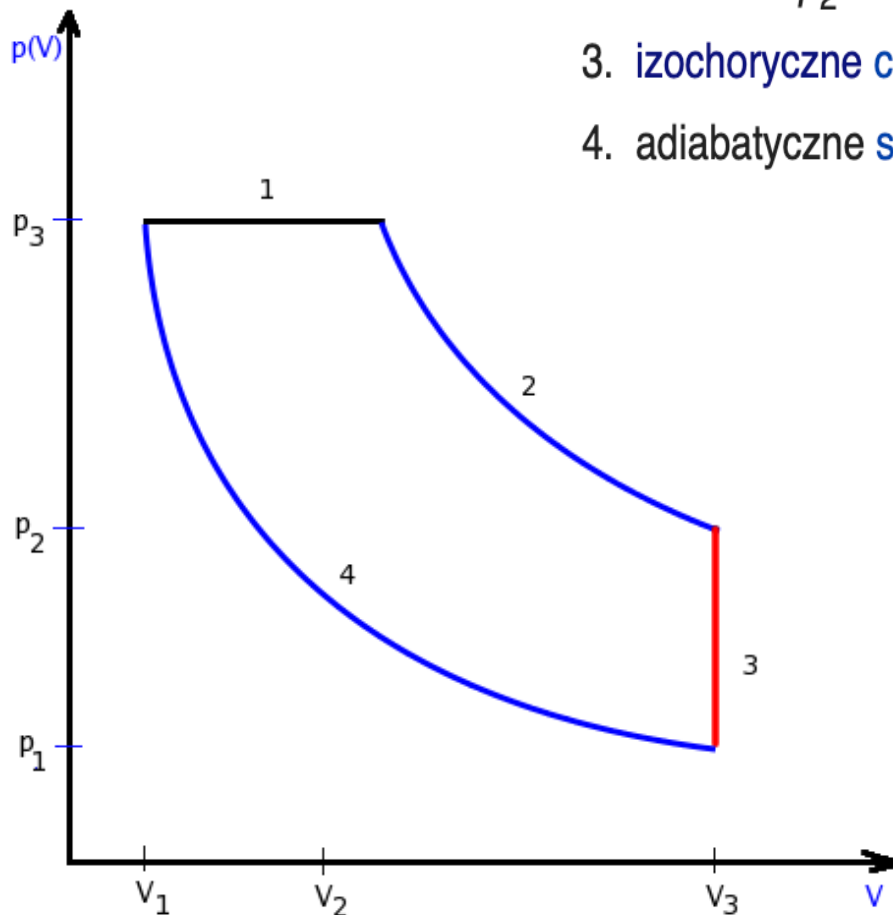


Cykl Otta



Cykl termodynamiczny dla silnika Diesla

1. izobaryczne (przy stałym ciśnieniu) ogrzewanie czynnika w wyniku spalania paliwa; jednocześnie występuje ekspansja czynnika od objętości V_1 do objętości V_2
2. adiabatyczne rozprężanie (adiabata odwracalna) od ciśnienia p_3 do ciśnienia p_2
3. izochoryczne chłodzenie przy objętości V_3
4. adiabatyczne sprężanie (adiabata odwracalna) od ciśnienia p_1 do ciśnienia p_3

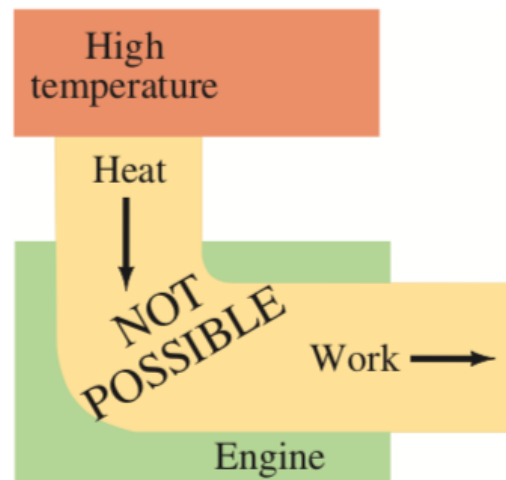


II zasada termodynamiki

wersja dla silników cieplnych

Stwierdzenie Kelvina – Plancka:

Żadne urządzenie nie jest w stanie zamienić danej ilości ciepła całkowicie na pracę mechaniczną (innymi słowy żaden silnik cieplny nie jest w stanie uzyskać 100% sprawności).



Perpetuum mobile II rodzaju jest niemożliwe.

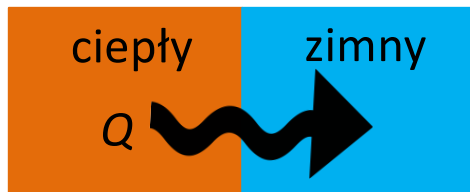
Różne sformułowania II zasady termodynamiki mówią, które procesy są możliwe, a które są niemożliwe, pomimo, że nie są sprzeczne z zasadą zachowania energii (I zasadą termodynamiki).

II zasada termodynamiki - alternatywna wersja

Stwierdzenie R. J. E. Clausius'a:

*Ciepło może spontanicznie przepływać tylko od obiektów ciepłych do obiektów zimnych;
spontaniczny przepływ w drugą stronę jest niemożliwy.*

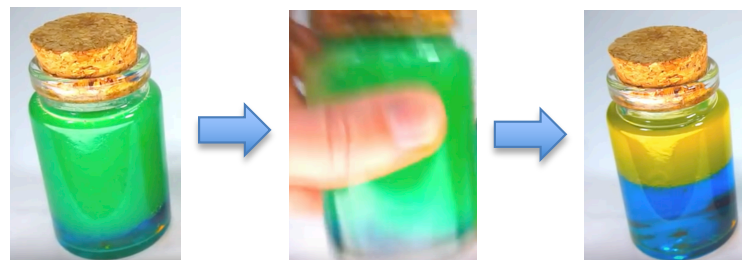
możliwe



niemożliwe



Inne procesy, które nie są zabronione przez I zasadę termodynamiki, ale są niedopuszczalne przez II zasadę:



Entropia

Macroscopic state	Corresponding microscopic states
Four heads	
Three heads, one tails	
Two heads, two tails	
One heads, three tails	
Four tails	

Dla każdego układu najbardziej prawdopodobnym stanem makroskopowym jest ten o największej liczbie odpowiednich stanów mikroskopowych. Jest to jednocześnie stan makroskopowy o największym nieuporządkowaniu, którego miarą jest entropia.

Entropia stanu makroskopowego:

$$S = k \ln w \quad \text{jedn.} \quad \left[\frac{\text{J}}{\text{K}} \right]$$

w - liczba mikrostanów realizujących stan makroskopowy

k - stała Boltzmannna

Entropia

Entropia S podobnie jak energia wewnętrzna jest funkcją stanu dowolnego układu. Interesuje nas zmiana entropii, a nie jej wartość absolutna.

Niewielka zmiana entropii dS układu, do którego dostarczono ciepło dQ w temperaturze T wynosi:

$$dS = \frac{dQ}{T}$$

Zmiana entropii między dwoma stanami a i b wynosi::

$$\Delta S = S_b - S_a = \int_a^b dS = \int_a^b \frac{dQ}{T}$$

Zmiana entropii zależy tylko od początkowego i końcowego stanu układu; nie zależy od procesu termodynamicznego, który przeprowadził układ ze stanu początkowego do stanu końcowego.

II zasada termodynamiki

- ogólne stwierdzenie

Nie jest możliwy żaden proces, w którym całkowita entropia zmniejsza się, gdy uwzględnione zostaną wszystkie elementy układu uczestniczące w procesie:

$$\Delta S = \int_a^b \frac{dQ}{T} \geq 0$$

Równość możliwa jest tylko dla procesów odwracalnych.

Jest to najbardziej ogólne wyrażenie II zasady termodynamiki - słuszne dla wszystkich procesów.