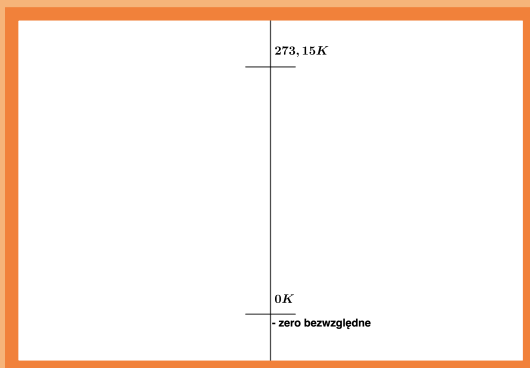


Termodynamika.

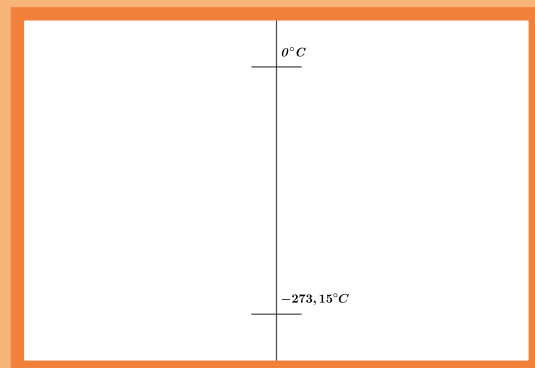
1. Podstawowe pojęcia termodynamiki

Teoria kinetyczno-molekularna budowy materii - wszystkie ciała zbudowane są z atomów lub cząsteczek (molekuł) będących w ruchu, a temperatura związana jest z ruchem tych cząsteczek (lub atomów).

Skala Kelwina (bezwzględna skala temperatur)



Skala Celsjusza



Uwaga!

Temperatury zera bezwzględnego nie można uzyskać, można się jednak do niej zbliżyć.

Temperatura (T) ciała - jest proporcjonalna do średniej energii kinetycznej ruchu postępowego pojedynczej cząsteczki tego ciała.

$$E_{k_{sr}} = \frac{i}{2} \cdot k_B \cdot T, \text{ gdzie:}$$

$E_{k_{sr}}$ - średnia energia kinetyczna [J]

k_B - stała Boltzmanna

$$k_B = 1,38054 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$$

i	liczba atomów w cząsteczce
3	1
5	2
6	>2

Energia wewnętrzna (E_w) - suma energii kinetycznych (ruchu postępowego i obrotowego) i potencjalnych cząsteczek danego ciała. Energia wewnętrzna zależy od temperatury.

Dyfuzja - samorzutne rozprzestrzenianie się jednej substancji w drugą.

Ruch Browna - chaotyczny ruch obiektu (np. pyłek roślinny), który zderza się z cząsteczkami cieczy lub gazu.

2. Przepływ ciepła. Ciepło właściwe.

Przepływ ciepła między dwoma ciałami - nazywamy nadmiar energii wewnętrznej, jaki ciało o temperaturze wyższej przekazuje do ciała o temperaturze niższej.

Formy przekazywania ciepła.

1. Przewodnictwo cieplne - przepływ ciepła między stykającymi się ciałami, np. kubek gorącej herbaty + łyżeczka.
2. Konwekcja - przepływ ciepła następuje dzięki makroskopowemu ruchowi cieczy lub gazu, np. kaloryfer + powietrze.
3. Promieniowanie cieplne - przepływ ciepła za pomocą wysyłania i pochłaniania przez ciała fal elektromagnetycznych, np. Słońce i Ziemia.

Ciepło właściwe (c_w) substancji - informuje ile energii (Q) należy dostarczyć do 1 kg substancji, aby podgrzać ją o 1 K (lub 1°C).

$$c_w = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \Rightarrow Q = c_w \cdot m \cdot \Delta T, \text{ gdzie:}$$

Q - energia/ciepło [J]

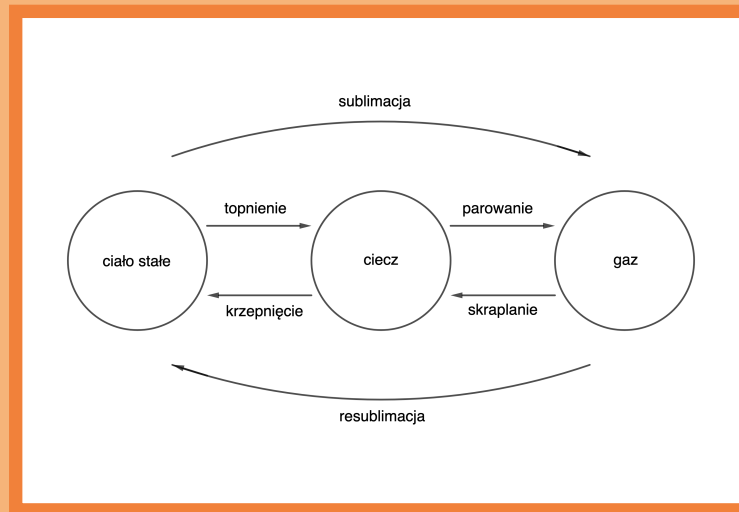
m - masa ciała [kg]

ΔT - zmiana temperatury ciała [K ; $^\circ\text{C}$]

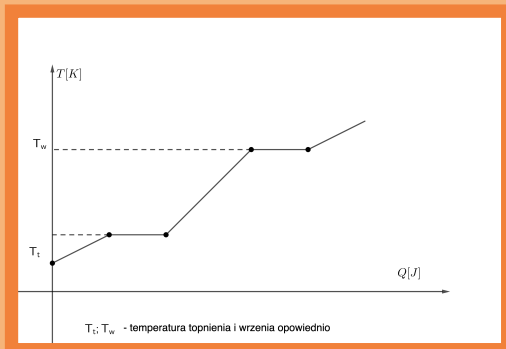
c_w - ciepło właściwe ciała [$\frac{J}{kg \cdot K}$; $\frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$]

3. Przemiany fazowe.

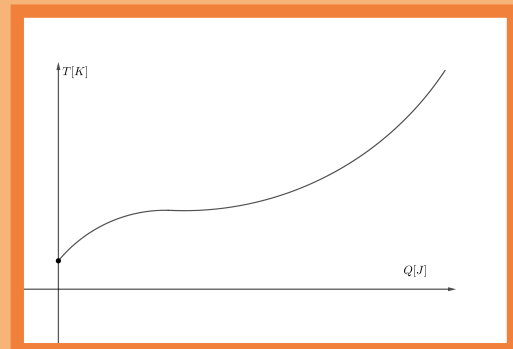
Przemiany fazowe - zmiana stanu skupienia materii.



Ciało krystaliczne (np. lód) - cząsteczki ułożone są symetrycznie.



Ciało bezpostaciowe (np. stearyna - świece) - cząsteczki ułożone są chaotycznie.



Ciepło topnienia (L_t) - informuje ile energii (Q) potrzeba do stopnienia 1 kg substancji w temperaturze topnienia.

$$L_t = \frac{Q}{m}, \text{ gdzie:}$$

Q - energia/ciepło [J]

m - masa ciała [kg]

L_t - ciepło topnienia [$\frac{J}{kg}$]

Ciepło parowania (L_p) - informuje ile energii (Q) potrzeba do odparowania 1 kg substancji.

$$L_p = \frac{Q}{m}, \text{ gdzie:}$$

L_p - ciepło parowania [$\frac{J}{kg}$]

Wrzenie - parowanie cieczy w całej jej objętości. Odbywa się ono w stałej temperaturze.

4. Pierwsza zasada termodynamiki. Mol.

I zasada termodynamiki (szczególny przypadek zasady zachowania energii).

Energię mechaniczną można zmienić na dwa sposoby:

- wymiana ciepła między układem, a otoczeniem,
- siła zewnętrzna wykonuje pracę nad układem.

$$\Delta E_w = Q + W_{zew}, \text{ gdzie:}$$

ΔE_w - zmiana energii wewnętrznej [J]

Q - ciepło [J]

W_{zew} - praca wykonana przez siłę zewnętrzną [J]

Przykład: lody waniliowe + łyżeczka

Ciśnienie (p) - iloraz wartości siły działającej prostopadle do powierzchni i pola tej powierzchni.

$$p = \frac{F}{S}, \text{ gdzie:}$$

F - wartość siły [N]

S - pole powierzchni [m^2]

p - ciśnienie [Pa, $\frac{N}{m^2}$]

Mol substancji (jednostka ilości substancji)

- tyle cząsteczek lub atomów, ile atomów znajduje się w 12g czystego izotopu węgla

$^{12}_6C$, czyli około $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{mol}$ (stała

Avogadra, liczba Avogadra).

Przykład: Tlen O_2

$6,02 \cdot 10^{23}$ - tyle jest cząsteczek tlenu O_2 w naczyniu $\Rightarrow$ w naczyniu jest 1mol tlenu O_2 .

Masa molowa (M lub μ) - masa jednego mola w substancji.

Przykład: Tlen O_2 $M_{O_2} = ?$ lub $\mu_{O_2} = ?$ $M_{O_2} = 2 \cdot 16 = 32 \frac{g}{mol}$ - masa jednego mola tlenu O_2

5. Przemiana izotermiczna.

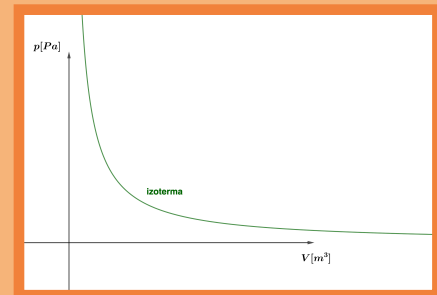
Oznaczenia: T - temperatura, p - ciśnienie, V - objętość, m - masa.

Przemiana gazu - proces, w którym temperatura, ciśnienie i objętość mogą się zmieniać. Zakładamy, że masa gazu jest stała.

Przemiana izotermiczna gazu:

- temperatura i masa są stałe ($T = \text{const}$, $m = \text{const}$),
- Ciśnienie jest odwrotnie proporcjonalne do jego objętości ($p \cdot V = \text{const}$).

Przykład: powolne wciskanie tłoka w strzykawce.

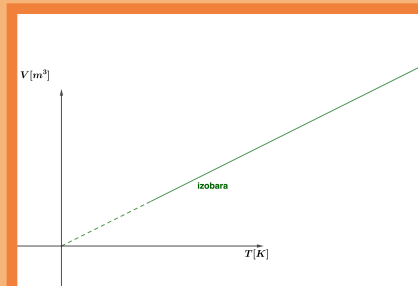


6. Przemiana izobaryczna. Przemiana izochoryczna.

Przemiana izobaryczna gazu:

- ciśnienie i masa są stałe ($p = \text{const}, m = \text{const}$),
- objętość jest wprost proporcjonalna do temperatury ($\frac{V}{T} = \text{const}$).

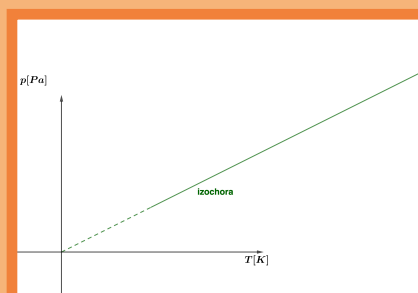
Przykład: butelka + gorąca woda + zimna woda.



Przemiana izochoryczna gazu:

- objętość i masa są stałe ($V = \text{const}, m = \text{const}$),
- ciśnienie jest wprost proporcjonalna do temperatury ($\frac{p}{T} = \text{const}$).

Przykład: ogrzewanie gazu w zamkniętym naczyniu

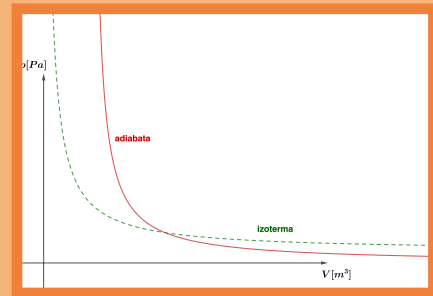


7. Przemiana adiabatyczna.

Przemiana adiabatyczna gazu:

- nie zachodzi wymiana ciepła z otoczeniem,
- temperatura, ciśnienie i objętość ulegają zmianie
($T \neq \text{const}, p \neq \text{const}, V \neq \text{const}$),
- masa gazu jest stała ($m = \text{const}$).

Przykład: bardzo szybkie wciskanie tłoka w strzykawce.



8. Model gazu doskonałego.

Model gazu doskonałego:

- cząsteczki tego gazu są punktami materialnymi,
- cząsteczki tego gazu nie oddziałują ze sobą „na odległość”,
- cząsteczki tego gazu zderzają się sprężysto ze sobą i ściankami naczynia.

Równanie stanu gazu doskonałego:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}. \text{ Założenie: } m = \text{const.}$$

Równanie Clapeyrona:

$$\frac{p \cdot V}{T} = n \cdot R, \quad R = N_A \cdot k_B, \quad n = \frac{m}{M},$$

$$n = \frac{N}{N_A}, \text{ gdzie:}$$

p_1, p_2, p - ciśnienie [Pa]

T_1, T_2, T - temperatura [K]

V_1, V_2, V - objętość [m^3]

n - liczba moli [mol]

R - uniwersalna stała gazowa

$$R = 8,31 \frac{J}{mol \cdot K}$$

N_A - liczba/stała Avogadra

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{mol}$$

k_B - stała Boltzmanna

$$k_B = 1,38054 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$$

m - masa [kg]

M - masa molowa [$\frac{kg}{mol}$]

N - liczba cząsteczek [-]

9. Przemiany gazu doskonałego.

Przypomnienie wzorów:

- równanie stanu gazu doskonałego:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \quad (m = \text{const}),$$

- równanie Clapeyrona: $\frac{p \cdot V}{T} = n \cdot R,$

- I zasada termodynamiki: $\Delta E_w = Q + W_{zew}$
(ΔE_w zależy od ΔT , W_{zew} zależy od ΔV),

- ciepło właściwe: $c_w = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$ (dla ciał stałych i cieczy)

Ciepło molowe (c_m) - informuje ile energii/ ciepła (Q) należy dostarczyć do 1 mola, aby temperatura wzrosła o $1K$ (lub $1^\circ C$).

$$c_m = \frac{Q}{n \cdot \Delta T} \Rightarrow Q = c_m \cdot n \cdot \Delta T, \text{ gdzie:}$$

Q - energia/ciepło [J]

ΔT - zmiana temperatury ciała [K; $^\circ C$]

n - liczba moli [mol]

$$c_m - \text{ciepło molowe} \left[\frac{J}{kg \cdot K}; \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \right]$$

Uwaga!

Ciepło molowe przy stałym ciśnieniu oznaczamy c_{mp} , a przy stałej objętości - c_{mv} .

	Przemiana izotermiczna $T = \text{const},$ $m = \text{const}$ $\Rightarrow n = \text{const}$	Przemiana izobaryczna $p = \text{const}$ $m = \text{const}$ $\Rightarrow n = \text{const}$	Przemiana izochoryczna $V = \text{const}$ $m = \text{const}$ $\Rightarrow n = \text{const}$
Równanie stanu gazu doskonałego	$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$ $p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$	$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$ $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$	$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$ $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$
równanie Clapeyrona	$\frac{p \cdot V}{T} = n \cdot R$ $p \cdot V = n \cdot R \cdot T = \text{const}$	$\frac{p \cdot V}{T} = n \cdot R$ $\frac{V}{T} = \frac{n \cdot R}{p} = \text{const}$	$\frac{p \cdot V}{T} = n \cdot R$ $\frac{V}{T} = \frac{n \cdot R}{p} = \text{const}$
I zasada termodynamiki	$\Delta E_w = Q + W_{zew}$ $\Delta T = 0 \Rightarrow \Delta E_w = 0$ $0 = Q + W_{zew}$ $Q = -W_{zew}$ $W_{zew} = -n \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$ $W_{zew} = -n \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{p_1}{p_2}$	$\Delta E_w = Q + W_{zew}$ $\Delta p = 0$ $\Delta E_w = Q + W_{zew}$ $Q = c_{mp} \cdot n \cdot \Delta T$ $W_{zew} = -n \cdot R \cdot \Delta T$ $W_{zew} = -p \cdot \Delta V$	$\Delta E_w = Q + W_{zew}$ $\Delta V = 0 \Rightarrow \Delta W_{zew} = 0$ $\Delta E_w = Q$ $Q = c_{mv} \cdot n \cdot \Delta T$

10. Ciepło w przemianach gazowych (gaz doskonały).

Energia wewnętrzna gazu doskonałego.

$$E_w = E_k + E_p \quad (E_p \simeq 0)$$

$$E_w = N \cdot E_{ksr} = N \cdot \frac{i}{2} \cdot k_b \cdot T =$$

$$= n \cdot N_A \cdot \frac{i}{2} \cdot k_b \cdot T = n \cdot \frac{i}{2} \cdot R \cdot T$$

$$\text{Jeżeli } n = \text{const, to } \Delta E_w = \frac{i}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T$$

Przemiana izochoryczna.

$$\Delta E_w = Q + W_{zew}$$

$$Q = c_{mv} \cdot n \cdot \Delta T$$

$$c_{mv} \cdot n \cdot \Delta T = \frac{i}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T$$

$$c_{mv} = \frac{i}{2} \cdot R$$

Przemiana izobaryczna.

$$\Delta E_w = Q + W_{zew}$$

$$Q = c_{mp} \cdot n \cdot \Delta T$$

$$W_{zew} = -n \cdot R \cdot \Delta T$$

$$-n \cdot R \cdot \Delta T + c_{mp} \cdot n \cdot \Delta T = \frac{i}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T$$

$$-n \cdot R \cdot \Delta T + c_{mp} \cdot n \cdot \Delta T = c_{mv} \cdot n \cdot \Delta T$$

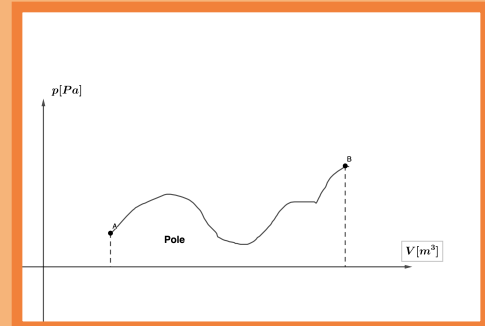
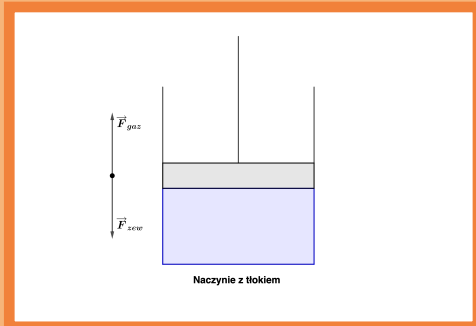
$$c_{mv} = c_{mp} - R$$

$$c_{mp} = c_{mv} + R$$

11. Praca a wykresy przemian gazowych

$$\vec{F}_{zew} \simeq -\vec{F}_{gaz} \Rightarrow W_{zew} \simeq -W_{gaz}$$

Dowolna przemiana. Wykres ciśnienia od objętości.



$$POLE = |W_{zew}| = |W_{gaz}|$$

Uwaga!

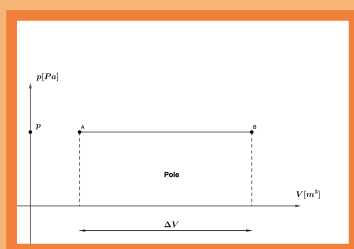
- Jeżeli V rośnie, to $W_{zew} < 0$, $W_{gaz} > 0$ ($\Delta \vec{r}$ i $\vec{F}_{gaz}$ mają zgodny zwrot)
- Jeżeli V maleje, to $W_{zew} > 0$, $W_{gaz} < 0$ ($\Delta \vec{r}$ i $\vec{F}_{zew}$ mają zgodny zwrot)
- Jeżeli $V = const$ to $W_{zew} = 0$, $W_{gaz} = 0$

Przypadki szczególne.

1. Przemiana izobaryczna.

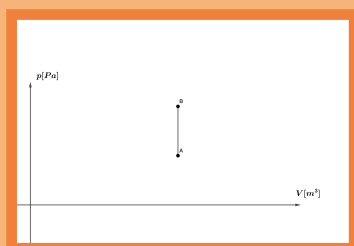
$$W_{zew} = -p \cdot \Delta V$$

$$W_{zew} = -n \cdot R \cdot \Delta T$$



2. Przemiana izochoryczna.

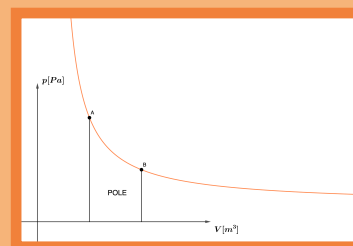
$$W_{zew} = 0$$



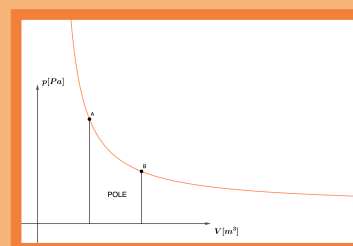
3. Przemiana izotermiczna.

$$W_{zew} = -n \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$W_{zew} = -n \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{p_1}{p_2}$$



4. Przemiana adiabatyczna.



Uwaga!

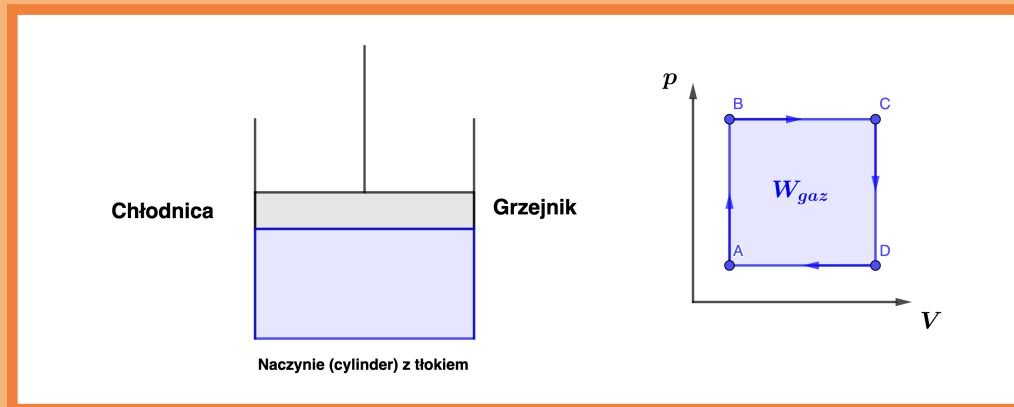
- Jeżeli $W_{zew} > 0$, to powiemy, że siła zewnętrzna wykonuje pracę nad układem (praca została wykonana nad układem),
- Jeżeli $W_{gaz} > 0$, to powiemy, że układ wykonuje pracę (gaz).

12. Silniki cieplne. Druga zasada termodynamiki.

Cykl termodynamiczny - przemiany termodynamiczne, które się powtarzają.

Silnik cieplny - urządzenie, które wykonuje pracę kosztem dostarczonego ciepła.

Przykładowy cykl termodynamiczny



1. $A \rightarrow B$: przemiana izochoryczna.
Podgrzewany gaz, tłok jest zablokowany.
2. $B \rightarrow C$: przemiana izobaryczna (rozprężanie).
Podgrzewany gaz, tłok porusza się w górę.
3. $C \rightarrow D$: przemiana izochoryczna.
Chłodzimy gaz, tłok jest zablokowany.
4. $D \rightarrow A$: przemiana izobaryczna (sprężanie).
Chłodzimy gaz, tłok porusza się w dół.

Sprawność urządzenia termicznego (η):

$$\eta = \frac{E_u}{E_{Do}}, \text{ gdzie:}$$

E_u - energia użyteczna

E_{Do} - energia dostarczona

Druga zasada termodynamiki.

- Pierwsza wersja: ciepło przepływa samorzutnie z ciała o wyższej temperaturze do ciała o niższej temperaturze, nigdy w przeciwną stronę.
- Sprawność każdego silnika cieplnego jest mniejsza niż 100%.

Maksymalna teoretyczna sprawność silnika cieplnego:

$$\eta_{max} = \frac{T_g - T_{ch}}{T_g}, \text{ gdzie:}$$

T_g, T_{ch} - temperatura grzejnika i chłodnicy odpowiednio

Sprawność silnika cieplnego (η):

$$\eta = \frac{W_{gaz}}{Q_g}, \eta = \frac{Q_g - |Q_{ch}|}{Q_g}, \text{ gdzie:}$$

W_{gaz} - praca wykonana przez gaz/silnik/układ

Q_g - ciepło dostarczone z grzejnika do silnika,

$Q_g > 0$

Q_{ch} - ciepło oddane do chłodnicy z silnika,

$Q_{ch} < 0$