

# Entropia

## Plan seminarium:

1. Przypomnienie (Energia, I zasada termodynamiki)
2. II zasada termodynamiki (różne sformułowania)
3. Próba połączenia sformułowań
4. Entropia
5. Skąd się bierze porządek?
6. Własności entropii

**Energia** – jest to zdolność do wykonywania pracy.

Sposoby przekazywania energii:

praca

ciepło

**I Zasada Termodynamiki**

$$\Delta Q = U + W$$

Ciepło dostarczone do układu zostaje zamienione na energię wewnętrzną oraz pracę jaką wykona ten układ.

U – energia wewnętrzna. Jest to **funkcja stanu**, nie zależy ona od drogi przemiany tylko od stanu początkowego i końcowego.

## **II Zasada Termodynamiki**

### **Czego dotyczy?**

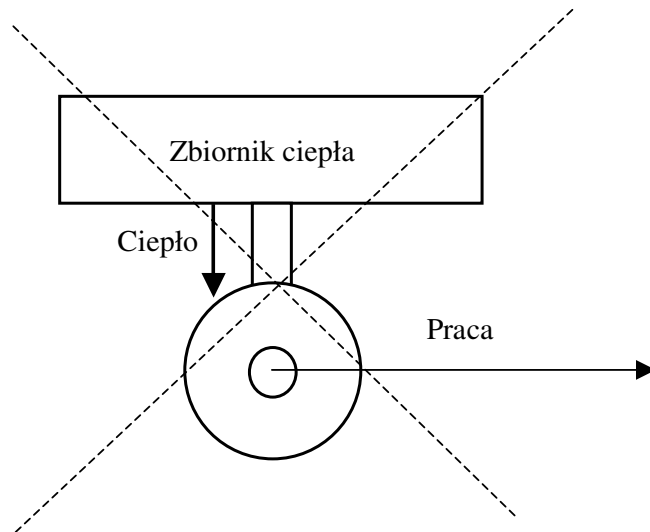
Kierunku procesów **samorzutnych i nieodwracalnych** takich jak tarcie, „przepływ” ciepła, rozprężanie gazu.

### **Kilka sformułowań:**

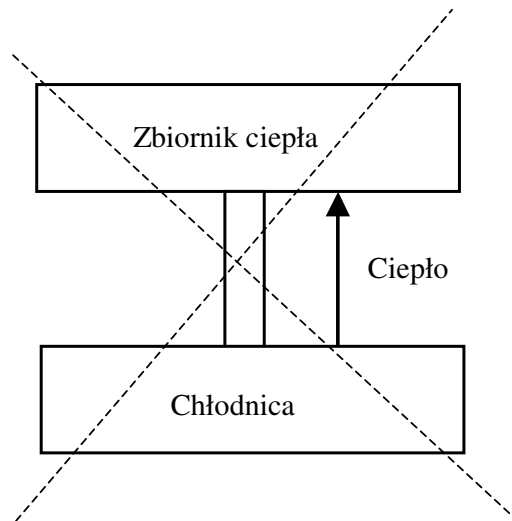
Nie możliwe jest skonstruowanie maszyny działającej cyklicznie, która w ciągu każdego cyklu swego działania będzie pobierała energię tylko z zewnątrz na sposób ciepła i oddawała równoważną jej pracę. Po zakończeniu cyklu taka maszyna musiałaby być dokładnie w takim samym stanie co na jego początku (bez żadnych zmian w otoczeniu).

**Kelvin:** Każdy silnik musi mieć chłodnicę.

Czyli: niemożliwy jest proces, w którym całe ciepło jest zamieniane na pracę.



**Clausius:** ciepło **SAMORZUTNIE** nie płynie z ciał zimniejszych do cieplejszych.



Co łączy powyższe sformułowania?

## ENTROPIA

$$\Delta S = \frac{Q}{T}$$

### Praca nie zmienia entropii

#### Równoważność sformułowań Kelvina i Clausiusa

**Kelvin:** nie możliwy jest proces, w którym całe ciepło jest zamieniane na pracę.

Układ: *Silnik, który całe ciepło zamienia na pracę.*

1. Pobieramy ciepło ze zbiornika
2. Jego entropia maleje
3. Całe ciepło zamieniamy na pracę
4. Praca nie zmienia entropii
5. Ogólnie w cyklu entropia spadała

**Proces jest niemożliwy**

**Clausius:** ciepło SAMORZUTNIE nie płynie z ciał zimniejszych do cieplejszych.

Układ: *szklanka z zimną wodą ogrzewa gorący piec.*

1. Energia opuszcza zimne ciało, jej entropia spada (duży spadek entropii)
2. Energia ogrzewa piec (mały wzrost entropii)
3. Ogólnie w cyklu mamy spadek entropii

**Proces jest niemożliwy**

**Entropia pozwala połączyć wszystkie sformułowania II zasady termodynamiki.**

$$\Delta S \geq \frac{Q}{T}$$

**Energia wszechświata jest stała.**

**Entropia wszechświata stale rośnie.**

**Układy dążą do osiągnięcia maksimum entropii.**

## Interpretacja entropii

- entropia określa „jakość” energii (im wyższa entropia tym „gorsza” energia)
- Boltzmann: miara nieuporządkowania układu (ciało stałe, ciecz, gaz)

$$S = -k_B \ln W$$

gdzie  $W$  to ilość mikrostanów.

- teoria informacji: entropia = „ilość” brakującej informacji

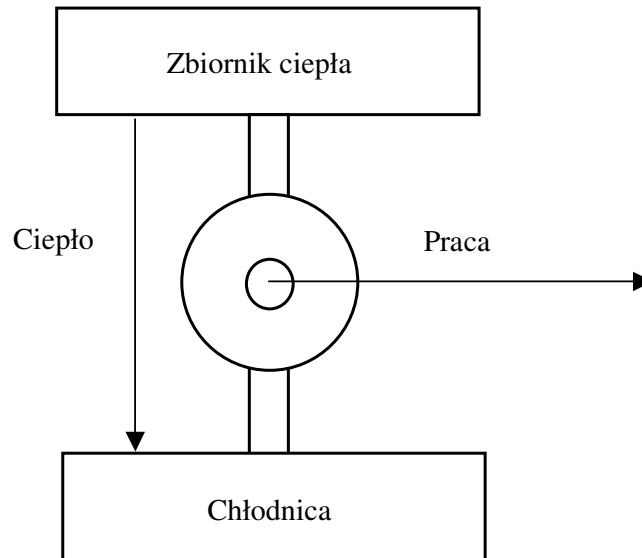
## **Dlaczego we wszechświecie powstają enklawy porządku?**

1. Żadna zmiana nie zachodzi w oderwaniu od reszty wszechświata (nie ma układów idealnie izolowanych).
2. Lokalnie możemy mieć spadek porządku, jednak do tego potrzebna jest **siła napędowa**.
3. Podczas zdarzenia konstruktywnego mamy lokalny spadek entropii, jednak towarzyszy mu zdarzenie dysypatywne (siła napędowa) która powoduje wzrost entropii.

**Przez tworzenie porządku zwiększamy nieporządek we wszechświecie!**



## Do czego potrzebna jest chłodnica?



Carnot – sprawność silnika cieplnego:

$$\eta = 1 - \frac{T_{CH}}{T_Z}$$

## Własności entropii

1. Wymiar:

$$[S] = \frac{J}{K}$$

2. W mechanice kwantowej nie istnieje obserwabla odpowiadająca entropii.

3. W mechanice kwantowej  $S$  wyraża się wzorem:

$$S(\rho) = -k_B \text{Tr}(\rho \ln \rho)$$

4. Wklęsłość

$$S(\rho) \geq \lambda_1 S(\rho_1) + \lambda_2 S(\rho_2)$$

5.  $S$  jest addytywna

$$S(\rho) = S(\rho_1) + S(\rho_2)$$

6. Praca nie zwiększa entropii