



Politechnika
Wroclawska

Termodynamiczne Podstawy Inżynierii Ciepłej



Politechnika
Wroclawska

Wykład 2

Zasady Zachowania



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

I Zasada Termodynamiki

- Dotyczy pojawiania się i „znikania” ciepła
- Ponieważ ciepło jest jedną z postaci energii, jego pojawieniu się musi towarzyszyć dostarczenie energii.
- Znikaniu ciepła musi towarzyszyć wydzielanie się energii.
- Każde urządzenie które wykorzystuje do swojego działania ciepło, pracuje zgodnie z ową zasadą.



I zasada termodynamiki

- W układzie zachowawczym energia nie może ani powstawać, ani zanikać, może jedynie przeistaczać się z jednej postaci w drugą.
- Nie jest możliwe zbudowanie „perpetuum mobile pierwszego rodzaju”, tj. takiej maszyny, która wykonywałaby pracę w nieskończonej ilości bez pobierania energii z zewnątrz.



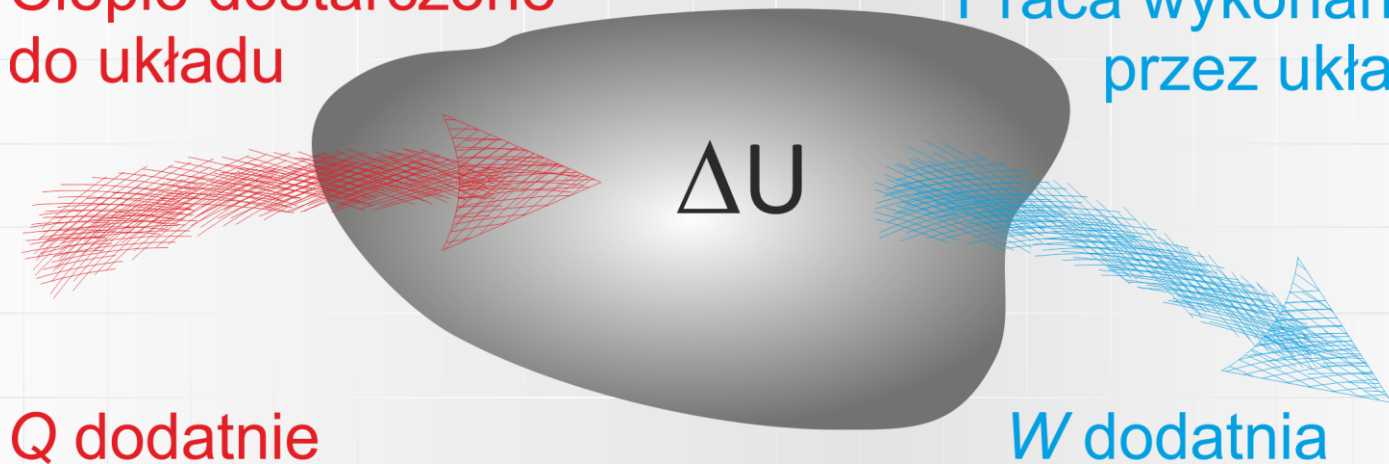
I Zasada Termodynamiki

Ciepło dostarczone do układu zużywa się na zwiększenie jego energii wewnętrznej i na wykonanie przez układ pracy przeciwko siłom zewnętrznym

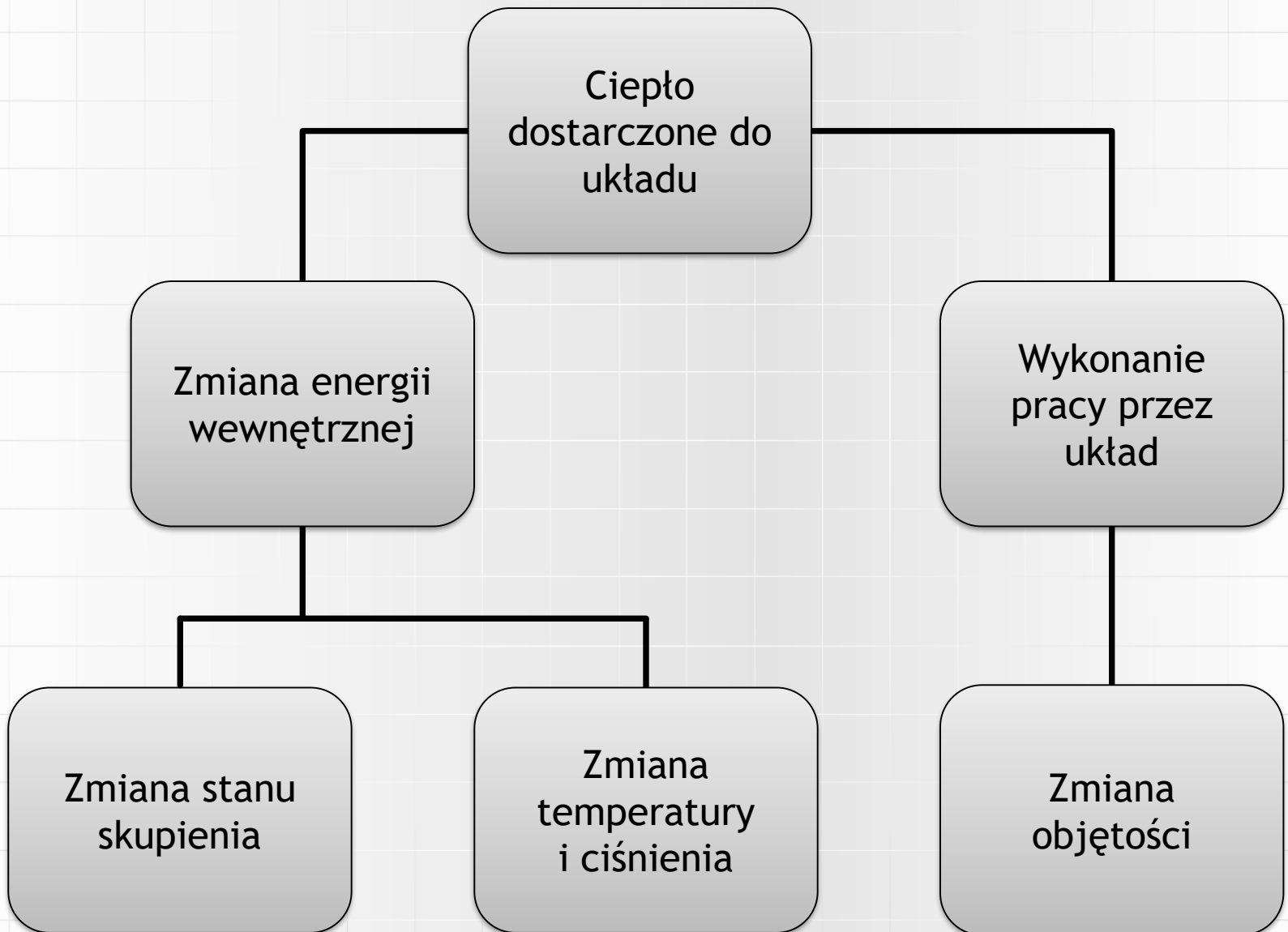
$$\Delta Q = dU + L$$

Ciepło dostarczone
do układu

Praca wykonana
przez układ



I Zasada Termodynamiki



I Zasada Termodynamiki

Konsekwencje:

- Energia wewnętrzna układu jest funkcją stanu, a więc nie zależy od drogi przemiany.
- Układ nie zawiera ani ciepła ani pracy.
- Ciepło i praca są sposobami przekazywania energii pomiędzy układami lub układem i otoczeniem (należy je wyrażać w takich samych jednostkach - w układzie SI jest nią $1\text{J}=1\text{Ws}=1\text{Nm}$).
- Energia układu zamkniętego, który nie wymienia ciepła ani nie wykonuje pracy, nie zmienia się $\Delta U=0$.



I Zasada Termodynamiki – zapis matematyczny

Jeżeli zastosuje się równania bilansu energii do czynnika zamkniętego w nieruchomym systemie termodynamicznym to można zauważyć, że ciepło doprowadzone z zewnątrz jest równe sumie przyrostów energii wewnętrznej systemu i pracy zewnętrznej wykonanej przez system.

$$Q_{z1,2} = U_2 - U_1 + L_{z1,2}$$

Równanie jest matematycznym wyrażeniem I Zasady termodynamiki, z której wynika między innymi, że przyrost energii wewnętrznej systemu następuje w wyniku doprowadzenia ciepła i pracy z zewnątrz. Praca na pokonanie oporów wewnętrznych, takich jak np. tarcie czy opór elektryczny jest identyczna w skutkach z doprowadzaniem ciepła z zewnątrz do układu.

Z tej przyczyny mówi się o cieple tarcia, cieple Joule'a i innych wielkościach, które można ogólnie nazwać ciepłem rozpraszania pracy:

$$Q_{w1,2} = L_{w1,2} \geq 0$$

I zasada Termodynamiki

Ciepło powstające na skutek rozpraszania (dyssypacji) pracy wewnątrz układu jest dla procesów nieodwracalnych dodatnie, a dla przemian odwracalnych równe zero, co jest istotne dla sformułowania drugiej zasady termodynamiki.

Suma zewnętrznego ciepła systemu i ciepła rozpraszania pracy jest nazywana całkowitym ciepłem systemu:

$$Q_{1,2} = Q_{z1,2} + Q_{w1,2}$$

Po dodaniu stronami równań otrzymuje się równanie wyrażające pierwszą zasadę termodynamiki zawierające całkowite ciepło i całkowitą pracę układu:

$$Q_{1,2} = U_2 - U_1 + L_{1,2}$$

I Zasada Termodynamiki

Posługując się pojęciem pracy technicznej powiązanej z pojęciem pracy całkowitej systemu zależnością:

$$Q_{1,2} = U_2 - U_1 + \int_{v_1}^{v_2} p(v) dv$$

równanie wyrażające pierwszą zasadę termodynamiki można przedstawić również w postaci:

$$Q_{1,2} = H_2 - H_1 + L_{t1-2}$$

gdzie entalpia określona jest przez równanie:

$$H = U + pV$$



I Zasada termodynamiki

Dla przemian równowagowych, w których występuje jedynie praca zmiany ciśnienia, praca techniczna bywa przedstawiana w postaci całkowej:

$$L_{t\pi 1,2} = \int_{\pi 1,2} p dV - \int_{\pi 1,2} d(pV) = - \int_{\pi 1,2} V dp = \int_{p_1}^{p_2} V_{\pi}(p) dp$$

Praca techniczna jest dodatnia przy rozprężaniu ($dp < 0$), a ujemna przy sprężaniu ($dp > 0$).

Na wykresie o współrzędnych p - V praca techniczna przemiany równowagowej jest przedstawiona przez pole zawarte między linią przemian jej skrajnymi odciętymi i osią rzędnych.

I Zasada Termodynamiki

Zewnętrzne ciepło przemiany jest powiązane z zewnętrzną pracą techniczną przez równanie wyrażające pierwszą zasadę termodynamiki w postaci:

$$Q_{z\pi 1,2} = H_2 - H_1 + L_{zt\pi 1,2}$$

Po uwzględnieniu, że praca rozpraszana wewnątrz układu jest równa ciepłu rozpraszania pracy (np. ciepłu tarcia) oraz przejściu na wielkości właściwe, otrzymuje się często stosowane równanie w analizie obiegów rzeczywistych:

$$q_{\pi 1,2} = q_{z\pi 1,2} + q_{w\pi 1,2} = h_2 - h_1 - \int_{\pi 1,2} v dp$$

I Zasada Termodynamiki – sposoby zapisu

Umowa techniczna

Według umowy technicznej (Clausiusa) pierwsza zasada termodynamiki jest zapisywana:

$$Q_{\sim 1,2} = U_2 - U_1 + L_{\sim 1,2}; \quad Q_{\sim 1,2} = H_2 - H_1 + L_{\sim t1,2}$$

W umowie tej praca absolutna jest dodatnia podczas ekspansji, zaś praca techniczna w czasie rozprężania:

$$L_{\sim 1,2} > 0 \Rightarrow dV > 0; \quad L_{\sim t1,2} > 0 \Rightarrow dP < 0$$

i odwrotnie:

$$L_{\sim 1,2} < 0 \Rightarrow dV < 0; \quad L_{\sim t1,2} < 0 \Rightarrow dP > 0$$

Pracę uważa się za dodatnią, jeśli wykonana jest przez czynnik termodynamiczny lub system, na korzyść otoczenia i odwrotnie – pracę uważa się za ujemną, jeśli wykonuje ją otoczenie nad czynnikiem termodynamicznym.

I Zasada Termodynamiki – sposoby zapisu

Umowa fizyczna

Według umowy fizycznej (Plancka) pierwsza zasada termodynamiki jest zapisywana:

$$Q_{\sim 1,2} + L_{\sim 1,2} = U_2 - U_1; \quad Q_{\sim 1,2} + L_{\sim t1,2} = H_2 - H_1$$

W tym zapisie, praca absolutna uważana jest za dodatnią, jeśli czynnik podlega kompresji:

$$L_{\sim t1,2} > 0 \Rightarrow dV < 0 \quad \text{i odwrotnie} \quad L_{\sim t1,2} < 0 \Rightarrow dV > 0$$

Podobnie praca techniczna jest dodatnia, gdy czynnik podlega sprężaniu z kompresją lub bez kompresji (izochora)

$$L_{\sim t1,2} > 0 \Rightarrow dP > 0; \quad L_{\sim t1,2} < 0 \Rightarrow dP < 0$$

Praca zarówno absolutna jak i techniczna uważana jest za dodatnią, jeśli otoczenie wykonuje pracę na korzyść czynnika i odwrotnie. Wybór jednej czy drugiej umowy nie ma istotnego znaczenia dla wyników obliczeń, należy tylko wybranej umowy konsekwentnie przestrzegać.

W chłodnictwie dla wygody zapisu niektórych formuł przyjęto umowę fizyczną.

Praca wykonywana na korzyść urządzeń chłodniczych przyjmuje znak dodatni.

II Zasada Termodynamiki

Opisuje przepływ ciepła i jego kierunek.

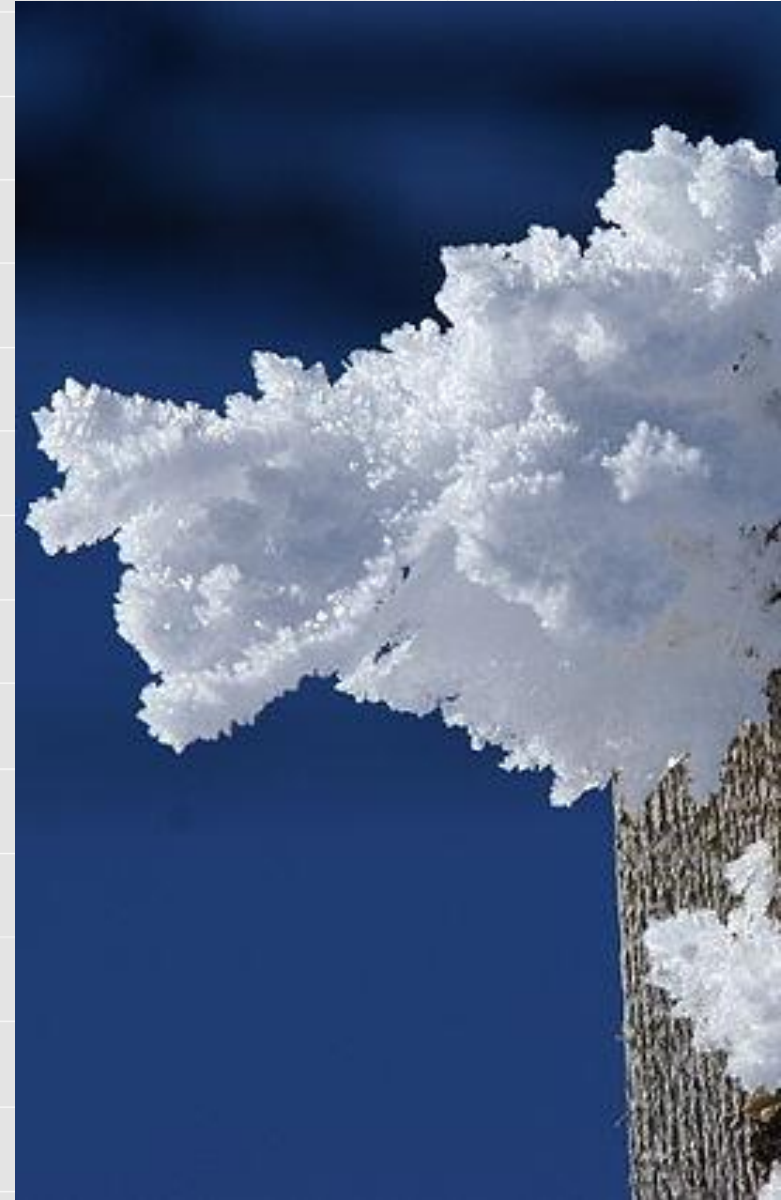
Ciepło zawsze przepływa od ciała o wyższej temperaturze do ciała o temperaturze niższej.

Nigdy na odwrót!



II Zasada Termodynamiki

- Wszystkie zjawiska przyrodzie, obejmujące dostatecznie dużą liczbę cząsteczek, przebiegają w jednym kierunku, którego nie można odwrócić.
- Dwa gazy lub dwie ciecze po zmieszaniu nie rozdzielą się samodzielnie.
- Tylko część energii wewnętrznej można zamienić na mechaniczną. Część trzeba oddać do otoczenia (silnik Carnota).
- Gaz samoistnie rozpręży się z jednego do drugiego pustego naczynia. Sam nie wróci do pierwszego.



II Zasada Termodynamiki

- W układzie termodynamicznie izolowanym w dowolnym procesie entropia nigdy nie maleje

$$\Delta S \geq 0$$

oraz

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

- **Entropia** to termodynamiczna funkcja stanu określa kierunek przebiegu procesów spontanicznych (samorzutnych) w izolowanym układzie termodynamicznym.





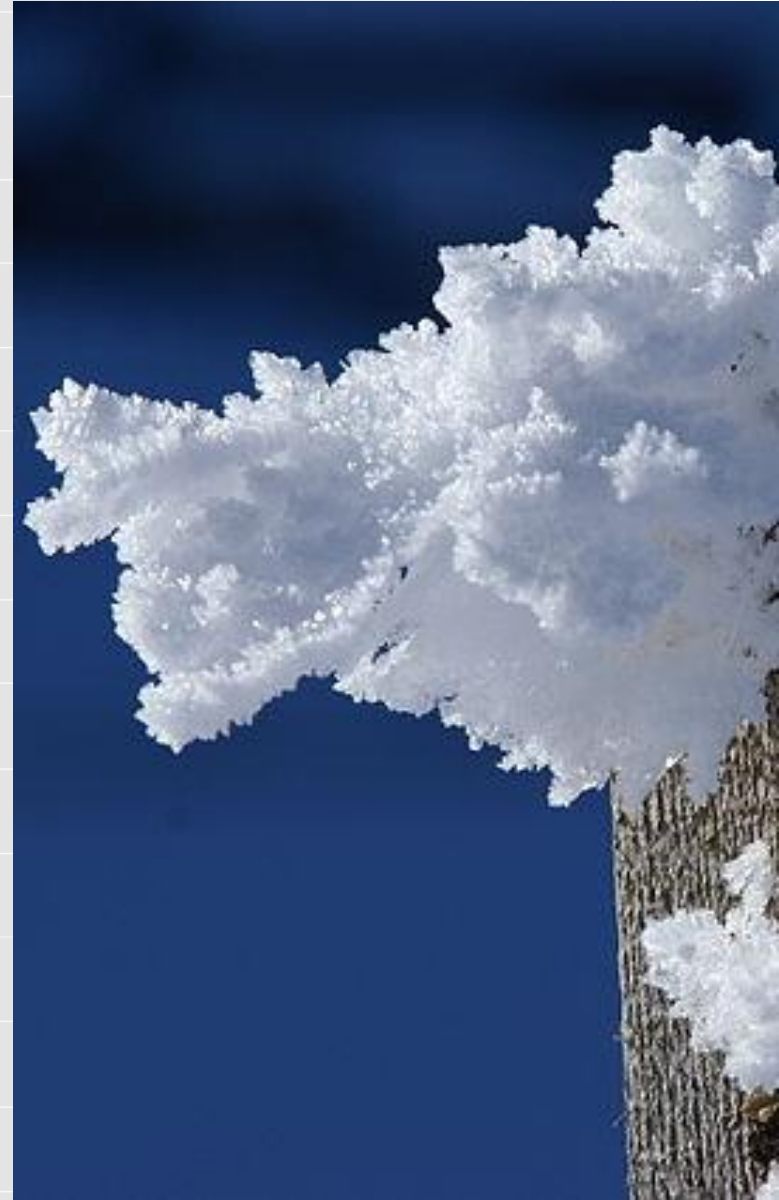
II Zasada Termodynamiki

- Nie istnieje proces termodynamiczny, którego jedynym wynikiem byłoby pobranie ciepła ze zbiornika chłodniejszego i przekazanie go do zbiornika cieplejszego (nie jest możliwe zbudowanie idealnej maszyny chłodzącej).
- Nie istnieje proces termodynamiczny, którego jedynym wynikiem byłoby pobranie ciepła ze zbiornika i całkowita zamiana tego ciepła na pracę mechaniczną.



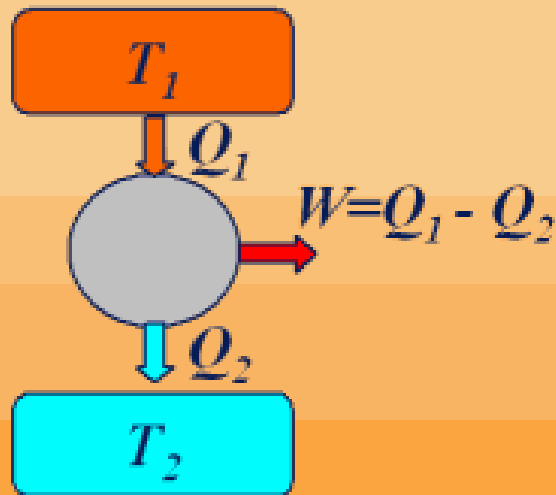
II Zasada Termodynamiki

- Nie możliwe jest zbudowanie silnika termodynamicznego pracującego cyklicznie, który całe pobrane ciepło zamieniałby na prace (nie jest możliwe zbudowanie idealnego silnika cieplnego - czyli perpetuum mobile drugiego rodzaju).
- Entropia układu izolowanego nie maleje.

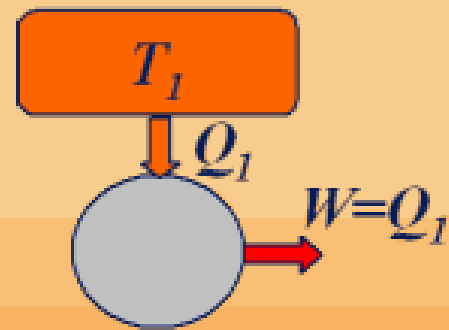


II Zasada Termodynamiki

- Ciepło Q_2 zawsze musi występować



rzeczywisty silnik
cieplny



„doskonały” silnik
cieplny

II Zasada Termodynamiki

W przyrodzie wszystkie przemiany są zasadzie nieodwracalne, np. ze względu na obecność tarcia, a więc entropia wszystkich rzeczywistych układów rośnie. Procesy, w których entropia układu zachowuje stałą wartość, zawsze są idealizacją.

W silniku idealnym wszystkie przebiegające procesy są odwracalne i nie ma strat związanych z niepożądanymi przemianami energii (tarcie, turbulencje).

Można analizować pracę silników rzeczywistych na podstawie działania silnika idealnego.



II Zasada Termodynamiki - wzrostu entropii

Zasada wzrostu entropii:

Entropia zamkniętego układu adiabatycznego podczas przemian nieodwracalnych wzrasta, a podczas przemian odwracalnych nie zmienia się.

Dowolny układ termodynamiczny wraz z otoczeniem stanowią układ odosobniony, który jest szczególnym przypadkiem układu adiabatycznego, gdy brak jest nie tylko wymiany ciepła, lecz i wszystkich innych oddziaływań zewnętrznych.

Do tego przypadku można również zastosować zasadę wzrostu entropii w postaci:

Suma entropii wszystkich ciał biorących udział w zjawisku podczas przemian nieodwracalnych wzrasta, a podczas przemian odwracalnych nie zmienia się.



II Zasada Termodynamiki - wzrostu entropii

$$\oint ds = 0$$

$$dQ = Tds$$

$$\sum \Delta s_i + \Delta s_0 = 0$$

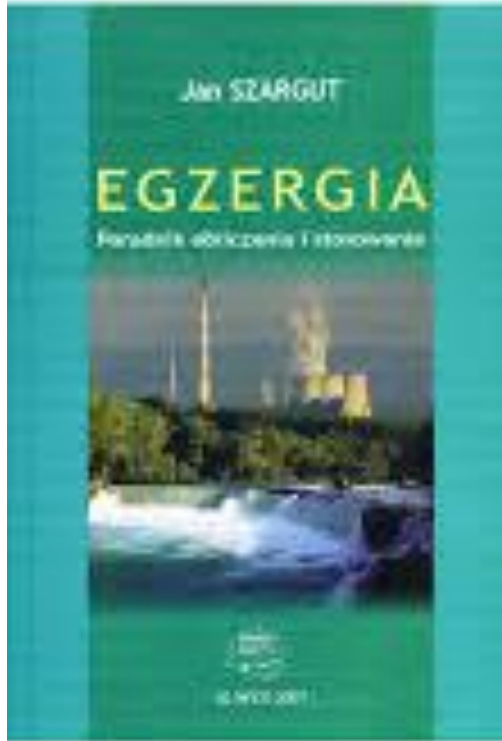
dQ – różniczka zupełna

Powyższe równanie wyraża II zasadę termodynamiki dla systemów równowagowych i procesów odwracalnych.

Dla procesów nieodwracalnych w zewnętrznym adiabatycznym systemie entropia będzie wzrastać:

$$\sum \Delta s_i + \Delta s_0 > 0$$

Energia cieplna



Egzergia – maksymalna praca, jaką układ termodynamicznie otwarty może wykonać w danym otoczeniu przechodząc do stanu równowagi z otoczeniem. Otoczenie traktuje się jako zbiornik nieużytecznej energii i materii o stałej temperaturze. Maksymalną energię uzyskuje się w procesie odwracalnym.

Termin wprowadzony w 1955 r. przez słoweńskiego fizyka Zorana Ranta; zdolność do wykonywania pracy - jest rodzajem energii, która może służyć jako zapas energii; cechuje ją ilość i jakość; ulega zniszczeniu, gdy jest wykorzystywana.

Zgodnie z **drugą zasadą termodynamiki** w procesach nieodwracalnych systemu zamkniętego następuje zamiana egzergii na anergię. W procesach odwracalnych egzergia pozostaje stała. Anergia nie może zostać zamieniona na egzergię.

„Użyteczna” Energia cieplna- Rola i znaczenie „temperatury otoczenia”. Sprawność egzergetyczna

$$Q = E_a + B_a$$

Energia cieplna = egzergia + anergia

Energię cieplną dzieli się (umownie) ze względu na użyteczność na egzergię i energię. Egzergia jest to część energii cieplnej dająca się nieograniczenie zamienić na inny rodzaj energii.

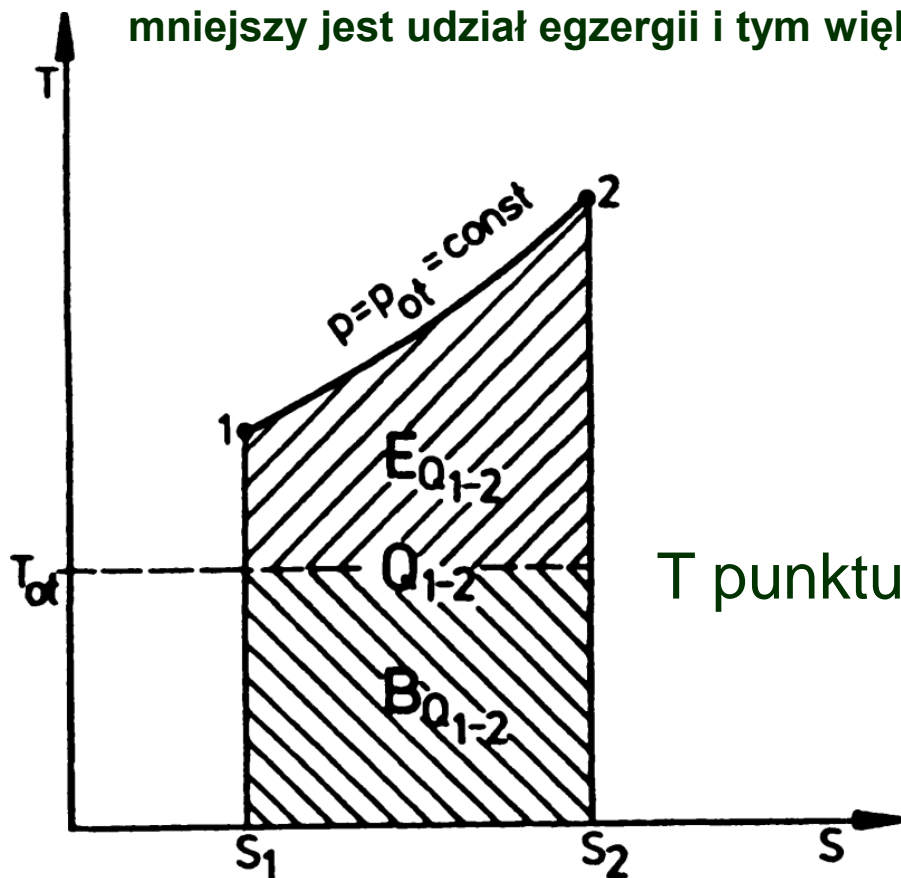
Anergią nazywa się niezamienialną (nieużyteczną) część energii.

Z **pierwszej zasady termodynamiki** wynika, że w zamkniętym systemie suma egzergii i energii pozostaje stała.

$$E_a + B_a = \text{const}$$

Energia cieplna

Poziom temperatury, przy którym przebiega proces ma wyraźny wpływ na udział egzergii i anergii. Czym bliższa jest ta temperatura temperaturze otoczenia, tym mniejszy jest udział egzergii i tym większy udział anergii.



Interpretację graficzną pojęcia egzergii i anergii przedstawiono na rysunku na przykładzie przemiany izobarycznej przebiegającej przy ciśnieniu otoczenia p_{ot} .

Rys. Egzergia i anergia na wykresie T-S

Energia cieplna

$$Q_{1-2} = \int_1^2 T dS ,$$

$$Q_{1-2} = B_{Q_{1-2}} + E_{Q_{1-2}} ,$$

$$B_{Q_{1-2}} = T_{\alpha} \int_1^2 dS ,$$

$$E_{Q_{1-2}} = \int_1^2 (T - T_{\alpha}) dS = \int_1^2 \left(1 - \frac{T_{\alpha}}{T}\right) dQ ,$$

a więc

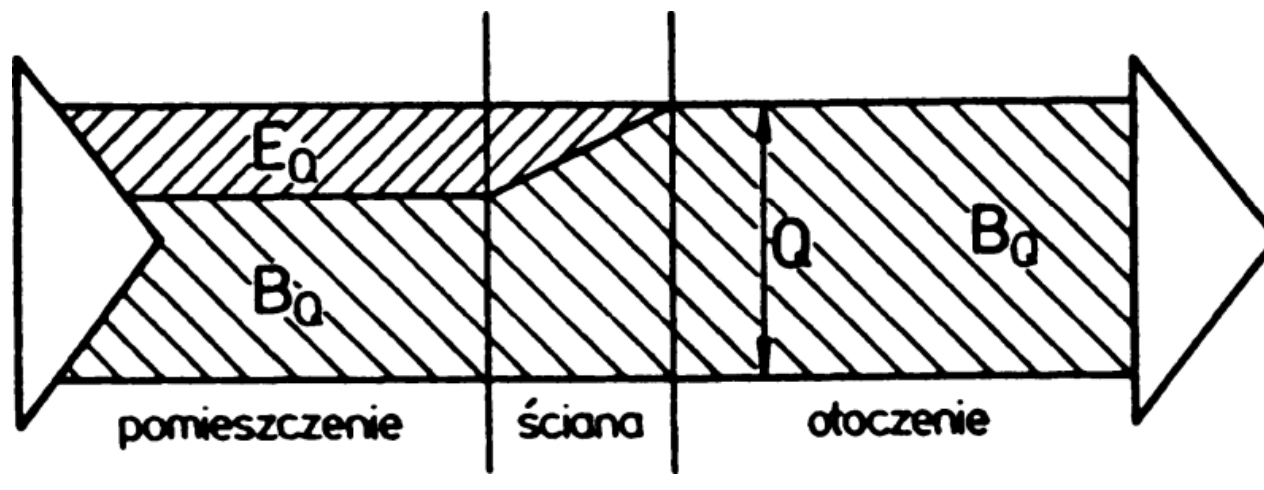
$$E_{Q_{1-2}} = Q_{1-2} - T_{\alpha} \int_1^2 \frac{dQ}{T} .$$

We wzorach powyższych oznaczają:

- T_{ot} - temperatura otoczenia,
- Q - całkowita energia cieplna,
- B_Q - anergia,
- E_Q - egzergia.

Energia cieplna

- Temperatura pomieszczenia leży powyżej temperatury otoczenia, to z pomieszczenia do otoczenia przepływa pewien strumień ciepła, który zależy od izolacyjności ścian i różnicy temperatur pomiędzy pomieszczeniem i otoczeniem. Na poziomie temperatury otoczenia całe ciepło przepływające przez ściany jest czystą energią. W pomieszczeniu musi składać się ono w części z egzergii, bo temperatura pomieszczenia leży powyżej temperatury otoczenia. Przy przejściu przez ściany ilość egzergii spada, bo spada również temperatura.




Ocena różnych systemów ogrzewania

Sprawność egzergetyczna ϕ zdefiniowana jako stosunek egzergii odzyskanej do egzergii doprowadzonej do systemu.

W tabeli przedstawiono sprawności egzergetyczne różnych systemów ogrzewania powietrza w odniesieniu do doprowadzanej egzergii pierwotnej.

Rodzaj ogrzewania	Sprawność egzergetyczna ϕ [%]
Ogrzewanie piecowe	3,8
Bezpośrednie ogrzewanie energią elektryczną z:	
- elektrociepłowni	2,4
- elektrowni wodnej	5,3
Ogrzewanie parą z elektrociepłowni	7,7
Ogrzewanie pompą ciepła napędzaną energią elektryczną z:	
- elektrociepłowni	7,1
- elektrowni wodnej	15,6

- 
-
- Można przyjąć, że sprawność egzergetyczna określa tzw. stopień niedoskonałości lub jakości procesu w porównaniu z idealnym odwracalnym procesem termodynamicznym. Oczywiście w rzeczywistych procesach termodynamicznych sprawność jest zawsze mniejsza od jedności
 - Sprawność egzergetyczna – dla silnika cieplnego – stosunek sprawności rzeczywistego silnika pracującego pomiędzy temperaturami T_1 i T_2 do sprawności cyklu Carnota dla tych temperatur;

III Zasada Termodynamiki

jest określeniem minimalnego stanu do jakiego możemy doprowadzić ciało poprzez jego chłodzenie. Mówi nam ona, iż nie możemy tak schłodzić danego ciała aby osiągnęło ono temperaturę 0 K.

Entropia zależna jest od temperatury oraz od innych zmiennych parametrów układu, tzn. $S=S(T,X)$, gdzie parametr X określa fizyczną własność układu, której zmiana w pewnych granicach pociąga za sobą zmianę entropii.

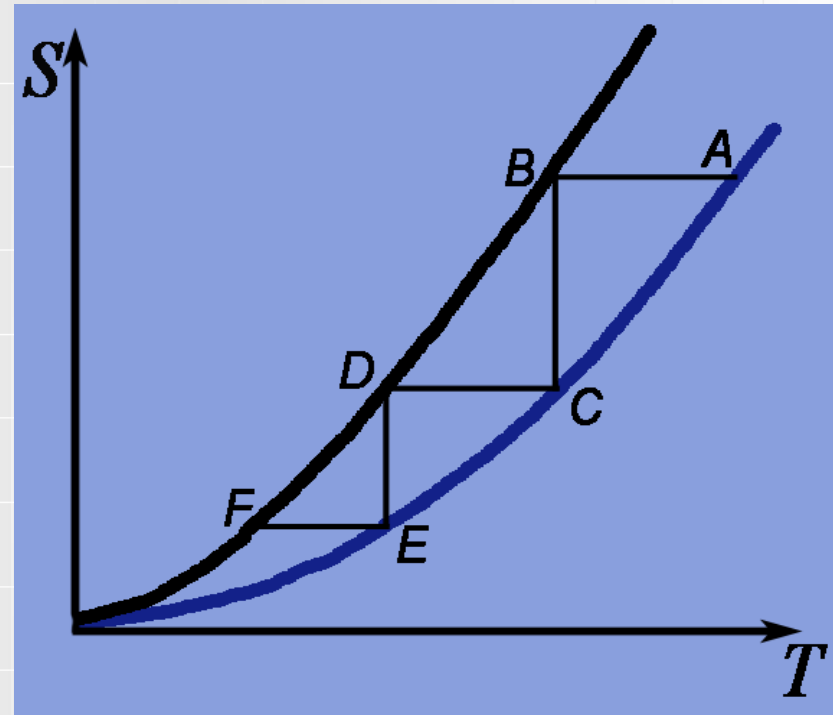
Nie jest możliwe osiągnięcie temperatury zera bezwzględnego (absolutnego), czyli 0 K.



III Zasada Termodynamiki

Zależności entropii kryształu doskonałego od temperatury dla dwu różnych ciśnień $p_1 > p_2$.

Przemiany dla odcinków pionowych odpowiadają izotermom, wzdłuż poziomych adiabatom. Powtórzenie sekwencji rozprężania adiabatycznego i sprężania izotermicznego powoduje hipotetyczne obniżenie temperatury, jednak nie można osiągnąć temperatury 0 K wykonując skończoną liczbę kroków. Z termodynamicznego punktu widzenia temperatura zera bezwzględnego jest nieosiągalna.



Wszystkie substancje charakteryzuje pewien stopień termicznego nieuporządkowania w temperaturach przekraczających $T=0$ K. Wynika z tego, że entropia jakiejkolwiek substancji w temperaturze pokojowej jest większa od zera, tzn. wszystkie entropie bezwzględne są dodatnie.

Alternatywne sformułowania III ZT

- Niemożliwe jest za pomocą jakiegokolwiek postępowania, niezależnie od stopnia jego wyidealizowania, sprowadzenie dowolnego układu do temperatury zera bezwzględnego poprzez skończony ciąg działań.
- Niemożliwe jest za pomocą jakiegokolwiek postępowania, niezależnie od stopnia jego wyidealizowania, sprowadzenie wartości entropii dowolnego układu do entropii zera bezwzględnego poprzez skończoną liczbę kroków.
- Entropia substancji tworzących doskonałe kryształy dąży do zera, gdy temperatura dąży do 0 K.



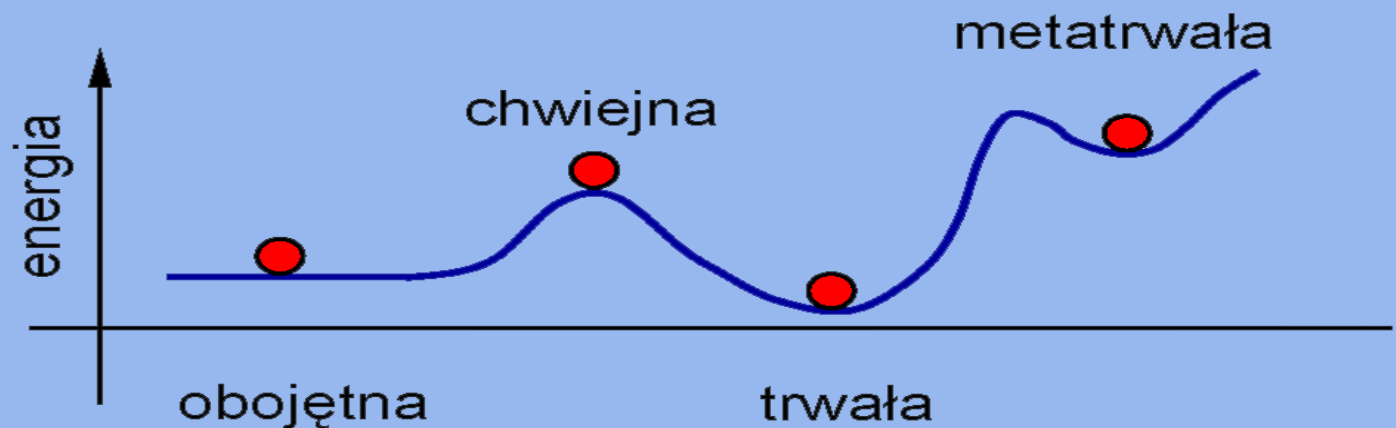
Zerowa Zasada Termodynamiki

Każdy układ izolowany, niezależnie od stanu początkowego, dochodzi po pewnym czasie do stanu równowagi termodynamicznej.

Warunkiem równowagi termodynamicznej jest występowanie równowagi chemicznej, mechanicznej i termicznej.

Osiągnięcie stanu równowagi zajmuje pewien czas zależny od stanu początkowego i od warunków oddziaływania części składowych układu.

Różne stany równowagi



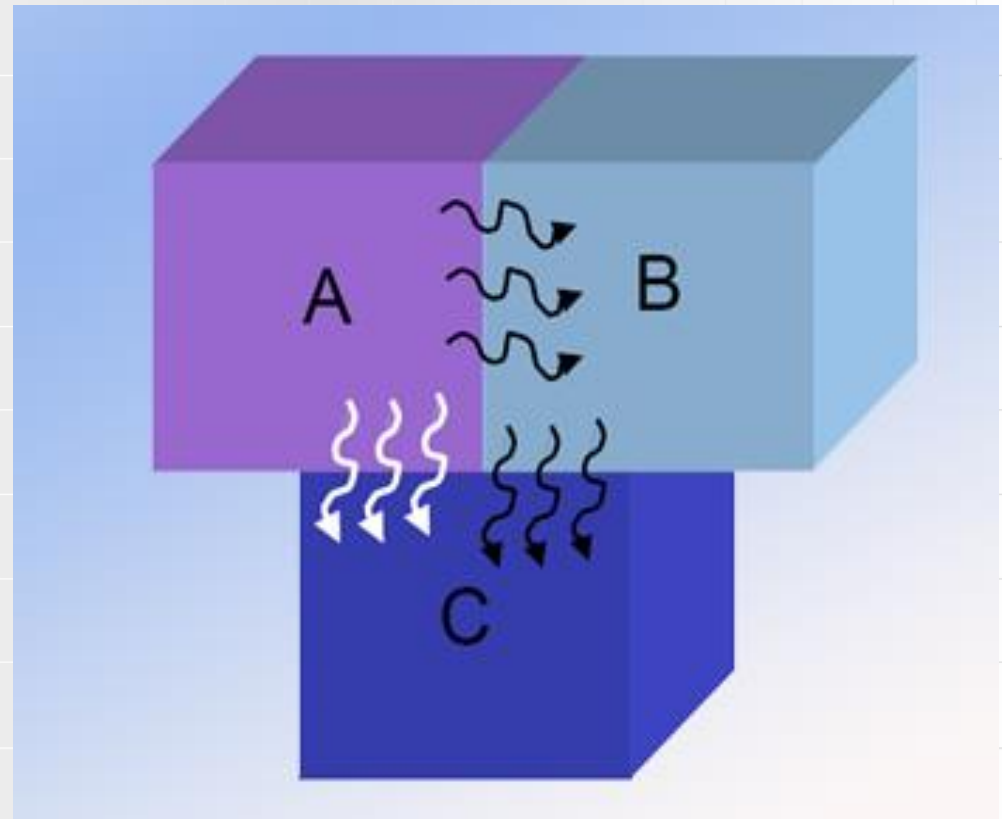
Zerowa Zasada Termodynamiki

Wszystkie układy, które są równowadze termicznej układem odniesienia C mają tą samą temperaturę.

Ciało w równowadze termodynamicznej ma wszędzie tę samą temperaturę.

Temperatura to taka wielkość fizyczna, która dla układów A, B i C jest równa, gdy ustaje przepływ ciepła. Układy będą ze sobą równowadze termodynamicznej.

Temperatura jest podstawową wielkością charakteryzującą zjawiska cieplne i wskazuje kierunek przepływu energii cieplnej.



Pojęcia i definicje.

Co wynika z I i II Zasady termodynamiki?

Obniżanie temperatury ciał wskutek ich współdziałania z naturalnym lub sztucznym otoczeniem związane jest ze zmniejszeniem ich energii termodynamicznej $U(T, x_i)$.

Zgodnie z pierwszą zasadą termodynamiki

$$U_1 - U_2 = -Q_{\sim 1,2} - W_{\sim 1,2}$$

czyli

$$U_1 - U_2 = -Q_{\sim 1,2} + \sum_i \int_{\sim 1,2} x_i dx_i$$

Spadek energii, i w konsekwencji temperatury $(T_1 - T_2) > 0$, może być uzyskany w najprostszym przypadku bez wykonywania pracy i bez procesów fizykochemicznych, czyli gdy $W_{\sim 1,2} = 0$ i odpowiednio

$$\sum_i \int_{1,2} x_i dx_i = 0$$

tylko wskutek współdziałania termicznego, zwanego przekazywaniem ciepła.
Jest to - innymi słowy - chłodzenie izochoryczne:

$$U_1 - U_2 = Q_{v1,2}$$

Pojęcia i definicje

Najczęściej w procesie zmiany temperatury uczestniczy zespół ciał, w którego skład wchodzi:

- ciało, którego temperaturę należy obniżyć/ podwyższyć ,
- ciało robocze, np. czynnik obiegowy,
- ciało pośredniczące w wymianie ciepła,
- otoczenie (substancje otoczenia naturalnego).

Jeśli w procesie obniżania lub utrzymywania temperatury jakiegoś ciała uczestniczą tylko substancje otoczenia naturalnego, np. płyny, to taki sposób realizacji procesu nazwiemy chłodzeniem naturalnym lub krótko – chłodzeniem.

Jeśli natomiast w procesie obniżenia lub utrzymywania temperatury ciała uczestniczą substancje o temperaturze obniżonej, w stosunku do temperatury otoczenia naturalnego, w sposób sztuczny, np. przez realizację lewobieźnego obiegu termodynamicznego, to taki sposób nazwiemy chłodzeniem sztucznym lub krótko – ziębieniem.

Pojęcia i definicje-czynniki chłodnicze

Istotną rolę w działaniu ziębiarki spełniają płyny, uczestniczące w realizacji procesów obiegu ziębniczego, zwane czynnikami chłodniczymi, do których są zaliczane:

- czynniki termodynamiczne obiegowe, których przemiany składają się na termodynamiczny obieg ziębienia, nazywane czynnikami ziębniczymi lub ziębnikami, np. R22, NH₃, R134a, R504, CO₂;
- czynniki pośredniczące w przekazywaniu ciepła, krążące między czynnikami obiegowymi a oziębianym ciałem, zwane solankami lub ogólniej ziębiwami, np. roztwór wodny CaCl₂, oziębiana woda lub MgCl₂.
- czynniki chłodzące stosowane do chłodzenia, czyli do odprowadzania ujemnego ciepła obiegu, zwane chłodziwami, np. woda chłodząca skraplacz, powietrze chłodzące sprężarkę ziębniczą, itp.

Pojęcia i definicje- łańcuch chłodniczy

Technologie chłodnicze umożliwiają znaczne przedłużenie czasu przechowywania żywności w sposób zapewniający zachowanie jej odżywczych, smakowych, aromatycznych i innych właściwości. Aby te wymagania mogły być spełnione konieczne jest zapewnienie tzw. „łańcucha chłodniczego konserwacji żywności”.

łańcuch chłodniczy tworzą takie **obiekty chłodnicze** jak chłodnie, przetwornie, obiekty transportowe, lody chłodnicze, chłodziarki, termobagi- torby termiczne; chłodziarki kempingowe lub zamrażarki domowe. Każdy z tych obiektów składa się z wielu elementów konstrukcyjnych w tym, przede wszystkim elementów typowo chłodniczych.

Odpowiednie temperatury wewnątrz tych obiektów zapewniają **systemy ziębienia**, w skład których wchodzi maszyny i urządzenia, służące do sztucznego chłodzenia, czyli ziębienia. Kompletne urządzenie do sztucznego chłodzenia, zainstalowane wewnątrz obiektów, są nazywane

instalacjami chłodniczymi,
urządzeniami ziębniczymi,
agregatami lub ziębiarkami.

Pojęcia i definicje. Kriogenika

Nauce zajmującej się zakresem bardzo niskich temperatur nadano nazwę kriologia, a technice osiągnięcia tych temperatur kriogenika.

Słowo kriogenika pochodzi od słów greckich „kruos”, co oznacza „zimno” i „genos” – „pochodzenie” lub „tworzenie”. Pojęcie to stosuje się na określenie metod uzyskiwania i wykorzystywania temperatur niższych od 120 K, a dokładnie 111,1 K, tj. temperatury wrzenia metanu pod ciśnieniem normalnym. Temperatura wrzenia ciekłego metanu jest umowną granicą wyodrębniającą kriogenikę z chłodnictwa i zaproponowaną przez XIII Międzynarodowy Kongres Chłodnictwa w 1971 roku.

Uzyskanie niskich temperatur zawsze związane jest z nakładem energii w postaci mechanicznej, elektrycznej, chemicznej lub magnetycznej.

Obecnie dostępne technologie pozwalają osiągnąć niskie temperatury rzędu 10^{-8} K (adiabatyczne rozmagnesowanie jąder miedzi), czy nawet 10^{-9} K (chłodzenie laserowe atomów obojętnych prowadzące do powstania kondensatu Bosego-Einsteina), jednak praktyczne znaczenie mają temperatury wyższe, uzyskiwane przez odparowanie skroplonych gazów pod ciśnieniem normalnym, równe np. 4,2 K dla helu, czy 77,4 K dla azotu.

Pytania Wykład 2.

1. Podaj I zasadę termodynamiki w zapisie i formie stosowanym w technice chłodniczej.
2. Czego dotyczy II zasada termodynamiki ?
3. Co to jest egzergia i sprawność egzergy.
4. Czy możliwe jest osiągnięcie temperatur 0°K ?
5. Zasada wzrostu entropii.