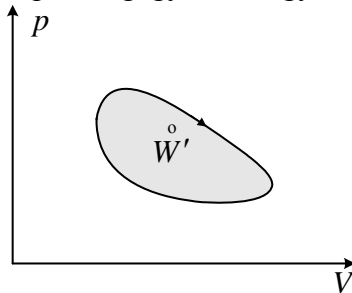


8. Erőgépi és hűtőgépi körfolyamatok. Carnot-féle körfolyamat és hatásfoka. Redukált hő. Reverzibilis és irreverzibilis folyamatok. Entrópia. A termodinamika második főtétele. Folyadékok és szilárd anyagok hőtana. Hőtágulás. Szilárd anyagok fajhője. Halmazállapot változások

Körfolyamatok, a Carnot ciklus:

Körfolyamatoknak nevezzük az olyan állapotváltozások sorozatát, melynek során a kiindulási és végállapot megegyezik, s így a rendszer belső energiája nem változik.



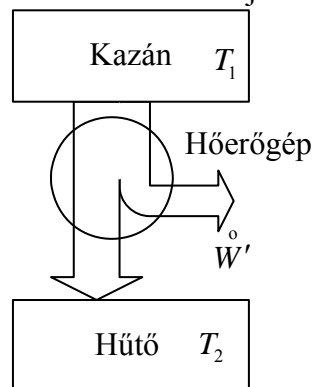
$$\Delta E = Q + W, \quad -W = Q$$

$$W' = Q$$

A körfolyamat során a felvett és leadott hő algebrai összege egyenlő a körfolyamat során a rendszer által végzett munkával. Bármilyen körfolyamatra igaz, hogy az egy ciklus alatt hasznosítható munka egyenlő a p - V állapotsíkon ábrázolt körfolyamat által körülfogott terület nagyságával. A hőt megfelelő kazán és hűtő alkalmazásával ciklikusan részben mechanikai munkává alakító berendezést hőerőgépnak nevezzük. A hőerőgépi körfolyamat termikus hatásfoka alatt értjük a hasznos munka és a kazánból egy ciklus során felvett vagy befektetett hő hányadosát.

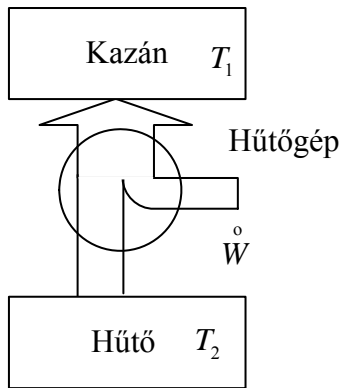
$$\eta = \frac{W'}{Q_{be}}$$

Erőgépi körfolyamat esetén: $W' > 0$. Ilyenkor a rendszer hőt vesz fel a kazántól melynek egy részét leadja a hűtőnek, és közben pozitív munkát végez. A hőerőgép a felvett hő egy részét tehát ciklusonként pozitív mechanikai munkává alakítja.

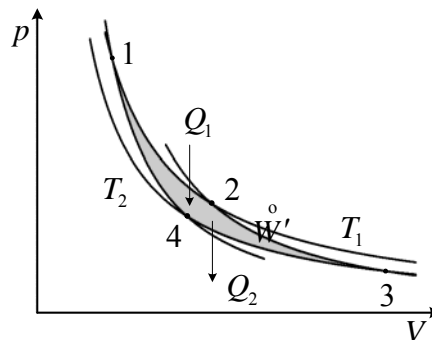


A körfolyamatok fordított körüljárási irányban is lejátszhatóak. Ilyenkor a folyamatot a gázon végzett munkavégzések tartják fenn, s a ciklus során az alacsony hőmérsékletű hőtartály hőmérséklete csökken, a magasabb hőmérsékletű hőtartály hőmérséklete nő. Ez a hűtőgép és a hőszivattyú működési elve. A hűtőgépek mechanikai munkavégzés révén hőt szállítanak az alacsonyabb hőmérsékletű hőtartályból a magasabb hőmérsékletű hőtartályba. A hűtött térből elvont hő a hasznos eleme a folyamatnak. Hűtőgépi körfolyamat esetén:

$$W' < 0.$$



Mind elméleti mind gyakorlati szempontból fontos kérdés, hogy milyen az a körfolyamat, amely a kazánból felvett hőnek legnagyobb hányadát alakítja hasznosítható munkává. S. Carnot kimutatta, hogy ebből a szempontból az ideális hőerőgép ciklusát izoterm tágulási, adiabatikus tágulási, izoterm összenyomási és adiabatikus összenyomási folyamatok határolják.



Jelölje a Carnot-ciklusban Q_1 a kazánból felvett hőt, Q_2 a hűtőnek leadott hőt, ekkor a termikus hatásfok:

$$\eta = \frac{\overset{\circ}{W'}}{Q_{be}} = \frac{\overset{\circ}{Q}}{Q_{be}} = \frac{Q_1 + Q_2}{Q_1}$$

Legyen a munkavégző közeg ideális gáz, jelölje T_1 a kazán T_2 a hűtő hőmérsékletét, akkor belátható, hogy

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Ez a kifejezés a Carnot körfolyamat termikus hatásfoka. A Carnot körfolyamat hatásfoka tehát csak a folyamatban résztvevő hőtartályok hőmérsékletétől függ, s független a gáz anyagi minőségétől. Egy hőerőgép csak úgy működhet, ha egy melegebb és egy hidegebb környezettel van kölcsönhatásban az izoterm szakaszokon. Az ideális hőerőgép a gáz belső energiájának legfeljebb egy részét hasznosíthatja. Ez a hányados az ideális hőerőgép elvi hatásfoka s ennek értéke mindig kisebb 1-nél.

Carnot tétele: Bizonyítható, hogy a Carnot körfolyamat hatásfoka a legjobb mindazon körfolyamatok között ami a T_1 és T_2 hőmérsékletek között lejátszódhat.

$$\frac{Q_1 + Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}, \text{ így } 1 + \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}, \text{ és } \frac{Q_2}{T_2} = -\frac{Q_1}{T_1}$$

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0$$

Egy elemi termodinamikai folyamatra az elemi redukált hő:

$$e.r.h. = \frac{\delta Q}{T}$$

$$\text{Például az } 1 \rightarrow 2 \text{ állapotváltozásra } \int_1^2 \frac{\delta Q}{T_1} = \frac{1}{T_1} \int_1^2 \delta Q = \frac{Q_1}{T_1}$$

A Carnot körfolyamatra tehát a redukált hők összege zérus. $\oint \frac{\delta Q}{T} = 0$.

A termodinamika II. főtétele, az entrópia fogalma:

Reverzibilisnek nevezzük az olyan termodinamikai folyamatokat, amelyek visszafelé is végrehajthatóak anélkül, hogy a környezetben maradandó változás lépne fel. A kvázi sztatikus folyamat annál közelebb áll a reverzibilis folyamathoz, minél sűrűbben vannak az egyensúlyállapotok. A Carnot körfolyamattól feltételeztük, hogy kvázi sztatikus tehát reverzibilis. Az összes súrlódással járó folyamat irreverzibilis. A természetben lejátszódó folyamatok mind irreverzibilisek. A reverzibilis folyamatok ideális határesetet jelentenek.

A termodinamika első főtétele kimondja, hogy a természetben lejátszódó folyamatoknál az energia változatlan marad, de nem mond semmit a folyamatok irányáról. A termodinamika II. főtétele szerint nem lehetségesek olyan körfolyamatok, amelynek egyetlen eredménye az, hogy egy hőtartályból felvett hővel egyenértékű munkavégzés történik (Thomson). Belátható, hogy amennyiben a Carnot-ciklus megvalósításakor a dugattyú, súrlódással mozog, akkor a termikus hatásfokra az alábbi összefüggés nyerhető:

$$\eta \leq 1 - \frac{T_2}{T_1}, \text{ ebből következik, hogy } \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} \leq 0, \text{ másképpen:}$$

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$$

A Clausius egyenlőtlenség szerint a redukált hők összege egy körfolyamat során nem lehet pozitív.

Az entrópia egy állapotfüggvény, melynek értéke pl. az A és B állapotokra jellemző, és megváltozása pedig a reverzibilis úton végbemenő folyamathoz szükséges redukált hők összege.

$$\Delta S = S(B) - S(A) = \int_A^B \frac{\delta Q}{T}$$

Tapasztalati tény (axióma), hogy a hőszigetelt sokelemű anyaghalmazban csak olyan folyamat mehet végbe, amely során nő a halmaz entrópiája (fokozódik a rendezetlenség). Ha az entrópia elérte maximumát, akkor tovább nem változik, beáll a termikus egyensúly. Ez a hőtan II főtétele, és ez szabja meg a folyamatok irányát. Adiabaticus rendszerben

$$\Delta S \geq 0.$$

Folyadékok és szilárd anyagok hőtana:

1. Hőtágulás:

A szilárd és folyékony anyagokban a hőmérséklet növelésével az alkotórészek rezgési energiája megnő, az egyes részecskék egyensúlyi állapotai eltávolodnak egymástól, s az anyag kitágul. A lineáris hőtágulás törvénye szerint egy vékony rúd hosszának változása arányos az eredeti l_0 hosszával, a hőmérséklet ΔT megváltozásával, és α a lineáris hőtágulás együtthatója az anyagi minőségre jellemző állandó.

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

$$l = l_0 + \Delta l = l_0(1 + \alpha \Delta T)$$

A térfogati hőtágulás törvénye szerint egy szilárd test térfogatának változása arányos az eredeti V_0 térfogatával, a hőmérséklet ΔT megváltozásával, és a β térfogati hőtágulási együttható az anyagi minőségre jellemző állandó. Könnyen belátható, hogy szilárd testek esetén a térfogati hőtágulási együttható $\beta = 3\alpha$. Folyadékok esetében csak a térfogati hőtágulási együtthatónak van jelentése.

$$\Delta V = V_0 \beta \cdot \Delta T,$$

$$V = V_0 + \Delta V = V_0(1 + \beta \cdot \Delta T)$$

2. A fajhő értelmezése szilárd anyagokra és folyadékokra, Dulong-Petit szabály:

A kristályt melegítve, a rezgési energia növekszik. A kristályban egy részecske a tér három irányában mozoghat, és három irányban távolodhat el az egyensúlyi helyzetétől, a különböző irányokba történő kitérésekhez tartozó kölcsönhatási energiákra is $\bar{\varepsilon}_x = \frac{1}{2}kT$ átlagos energia jut az ekvipartíció törvényének megfelelően. A kristályban a szabadsági fokok száma tehát $f = 6$, így egy részecske átlagos energiája:

$$\bar{\varepsilon} = 6 \frac{1}{2} kT = 3kT,$$

a kristály energiája pedig: $E = N\bar{\varepsilon} = 3NkT$. A kristály energiájának megváltozása pedig:

$$\Delta E_{12} = N\bar{\varepsilon} = 3Nk\Delta T.$$

Ha a kristállyal Q_{12} hőt közlünk, akkor $Q_{12} = \Delta E_{12}$, mivel a térfogati munka elhanyagolható:

$$W_{12} = 0, \text{ így } Q_{12} = 3Nk\Delta T = C\Delta T.$$

A szilárd test hőkapacitása alatt értjük az alábbi mennyiséget: $C = 3Nk$.

A Dulong-Petit szabály szerint a kristály hőkapacitása csak a golyók számától függ, független az anyagi minőségtől.

$$Q_{12} = \frac{3Nk}{m} m \Delta T = c m \Delta T,$$

ahol c a szilárd test fajhője:

$$c = \frac{3Nk}{m} = \frac{3k}{\frac{m}{N}} = \frac{3k}{m_o}$$

Megmérve a fajhőt, kiszámítjuk egy részecske m_o tömegét.

3. Halmazállapot változások

Olvasás: A tapasztalat szerint a m tömegű anyag megolvasztásához szükséges hő arányos a megolvasztott mennyiség tömegével s az arányossági tényezőt olvadáshőnek nevezzük.

$Q = L_o m$. Az anyagi minőségre jellemző olvadáshő:

$$L_o = \frac{Q}{m}, \text{ mértékegysége: } [L_o] = \frac{J}{kg}.$$

Az olvadással ellentétes folyamat a kristályosodás vagy fagyás.

Forrás: A forrás egy olyan párolgási jelenség, amely a folyadék teljes térfogatára kiterjed. A forrás ponti hőmérsékletéhez tartozó párolgáshő a forráshő. A tapasztalat szerint az elforráláshoz szükséges hő arányos az elforralt anyag mennyiségével, $Q = L_f m$. Az anyagi

minőségre jellemző forráshő: $L_f = \frac{Q}{m}$, mértékegysége: $[L_f] = \frac{J}{kg}$.

A párolgással és a forrással ellentétes folyamat a lecsapódás vagy kondenzáció.