

6. A belső energia. Extenzív, intenzív állapotjelzők. Hőközlés, munkavégzés. Kvázisztatikus térfogati munka. A hőtán első főtétele. A kinetikus gázelmélet elemei, a gáz nyomása. Az egyatomos ideális gáz belső energiája. Szabadsági fok fogalma. Ekvipartíció tétele.

Hőtán

Tárgyalásának két irányzata:

1. fenomenologikus, leíró módszer, az anyag szerkezetét nem vizsgálja
2. statisztikus mechanikai tárgyalásmód, részecskék mozgásának, kölcsönhatásának vizsgálata

A mi tárgyalásunk döntően fenomenologikus lesz, az ideális gáz belső energiájának származtatásától eltekintve.

A sokelemű anyagalmazok belső energiájára utaló jelek:

A tapasztalatok szerint a sokelemű anyagalmazoknak belső energiája van. Erre utal például a sűrűlódás, amikor a mozgási energia egy része elvész a folyamatban, de a test és a felület kissé felmelegszik. Szintén a belső energiára utal a Brown mozgás. A kálium-permanganát (KMnO_4) oldódása vízben azt mutatja, hogy a víz részecskéi nagysebességgel ütköznek a festék rögöcskéikkel. Tapasztalataink szerint ez a sebesség a növekvő hőmérséklettel nő. A részecskéknek tehát sebességük, és így mozgási energiájuk van. Mivel számuk igen nagy $6 \cdot 10^{23}$ nagyságrendű ez a mozgási energia nem hanyagolható el.

Belső energia:

A sokelemű anyagalmaz belsőenergiája magában foglalja a molekulák rendezetlen mozgásához tartozó kinetikus energiát és a Van der Waals kölcsönhatásuk potenciális energiáját. Nem tartozik a belső energiába a rendezett mozgás kinetikus energiája, és a külső mezőkkel való kölcsönhatás potenciális energiája.

Állapotjelzők: A sokelemű anyagalmaz egészére vonatkozó makro fizikai műszerrel mérhető mennyiségek. Például nyomás, térfogat, hőmérséklet, tömeg stb.

1. **Extenzív mennyiségek:** tartományon értelmezettek és összeadóak (additívak)
térfogat V
tömeg m
belső energia E
2. **Intenzív mennyiségek:** pontban értelmezettek és kiegyenlítődéek
nyomás p
hőmérséklet T

Termikus egyensúly: Ha a sokelemű anyagalmazban az intenzitás paraméterek helyről helyre változnak, megindul az extenzív mennyiségek áramlása. A folyamat akkor ér véget, ha az intenzív paraméterek kiegyenlítődéek, s eloszlásuk homogénné vált. Ekkor termikus egyensúlyról beszélünk.

A tapasztalatok szerint a sokelemű anyagalmaz energiája megváltoztatható például

- rendezett mozgás révén (hengerbe zárt gáz összenyomása dugattyúval), ilyenkor **munkavégzésről** beszélünk (W)
- rendezetlen mozgás révén (gáztartály a fűtőtesten), ezt hő közlésnek nevezzük (Q)

A hőtán I. főtétele:

A termodinamika, vagy hőtán I. főtétele értelmében a sokelemű anyagalmaz belső energiájának megváltozása egyenlő a rendszeren végzett munka és a rendszerrel közölt hő összegével.

$$\Delta E = Q + W$$

$Q > 0$ a környezet hőt közöl a rendszerrel

$Q < 0$ a rendszer hőt ad le

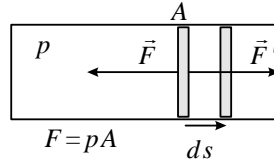
W a környezet munkája a rendszeren

W' a rendszer munkája a környezeten

$$W' = -W .$$

Kvázi sztatikus térfogati munka:

- közel egyensúlyi állapotokon keresztül valósul meg (lassú)
- tekintsünk folyadékot vagy gázt



\vec{F} a környezet által kifejtett erő, \vec{F}' a gáz által kifejtett erő, és $\vec{F} = -\vec{F}'$.

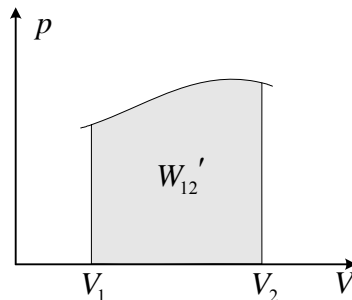
$$|\vec{F}| = |\vec{F}'| = pA$$

$\delta W = -pAd s$, mivel tágul a gáz, így $dV = Ad s$

Az elemi kvázi sztatikus térfogati munka: $\delta W = -pdV$. Véges folyamatra pedig:

a környezet munkája: $W_{12} = -\int_{V_1}^{V_2} pdV$, a rendszer munkája pedig $W'_{12} = \int_{V_1}^{V_2} pdV$.

A rendszer által végzett munka geometriai jelentése: a pV síkon a görbe alatti terület.



Ha $dV > 0$ a gáz kitágul, akkor $\delta W = -pdV < 0$, illetve $\delta W' = pdV > 0$.

Ha $dV < 0$ a gázt összenyomjuk, akkor $\delta W = -pdV > 0$, illetve $\delta W' = pdV < 0$.

A hőtan első főtétele elemi folyamatra:

A belső energia elemi megváltozása egyenlő az elemi végzett munka és az elemi közölt hő összegével

$$dE = \delta W + \delta Q$$

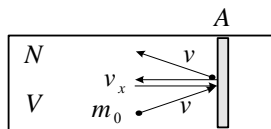
A belső energia állapotjellemző, míg a munkavégzés és a hő közlés folyamatjellemzők.

Gázok hőtana:

Tekintsünk a továbbiakban ideális gázt.

1. az összes molekula saját térfogata elhanyagolható az edény térfogatához képest
2. a molekulák közötti kohéziós erő elhanyagolható
3. a rendszertelen mozgás során a molekulák a fallal és egymással ütköznek, ez utóbbi igen ritka
4. a molekulák ütközését teljesen rugalmasnak tételezzük fel
5. a gáz egyatomos (pontoszerű golyócskák)

Tekintsük az alábbi dugattyúval elzárt hengert. Legyen N golyók száma, m_0 egy golyó tömege, V térfogat, és v_x a falra merőleges sebesség komponens. A térfogategységben levő golyók száma $n = \frac{N}{V}$.



- egy részecske falra merőleges lendületváltozása $\Delta p_x = 2m_0 v_x$,
- adott Δt idő alatt $v_x \Delta t A$ térfogatból származó golyók ütközhetnek a fallal,
- számuk $n v_x \Delta t A$, így
- a teljes lendületváltozásuk $\Delta p = \Delta p_x n v_x \Delta t A$

A dugattyúra kifejtett erő:

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{2m_0 v_x n v_x \Delta t A}{\Delta t} = 2m_0 v_x^2 n A.$$

Az ebből származó nyomás pedig

$$p = \frac{F}{A} = 2m_0 v_x^2 n.$$

Mivel a részecskék sebessége nem egyforma v_x^2 -et cseréljük $\overline{v_x^2}$ -ra. Csak a részecskék egyik fele mozog ebben az irányban így a 2-es szorzót elhagyhatjuk, $p = m_0 \overline{v_x^2} n$.

Mivel az atomok ugyanolyan valószínűséggel mozognak bármely irányban, így jogos feltételezni, hogy

$$\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2}$$

A részecskék sebességnégyzet átlaga

$$\overline{v^2} = \overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2}, \text{ így } \overline{v^2} = 3\overline{v_x^2}, \text{ illetve } \overline{v_x^2} = \frac{1}{3}\overline{v^2}$$

$$p = m_0 \frac{1}{3}\overline{v^2} n$$

$$p = \frac{1}{2} m_0 \overline{v^2} \frac{2}{3} \frac{N}{V}$$

$$pV = \frac{2}{3} N \frac{1}{2} m_0 \overline{v^2}$$

Bevezetve egy részecske átlagos mozgási energiáját: $\overline{\varepsilon} = \frac{1}{2} m_0 \overline{v^2}$, $E = N\overline{\varepsilon}$ az ideális gáz belső energiája. Ideális gáz esetén a Van der Waals-féle potenciális energia elhanyagolható

$$pV = \frac{2}{3} N\overline{\varepsilon}, \text{ így}$$

$$E = \frac{3}{2} pV$$

Az egymástól független energiatárolási lehetőségek számát szabadsági foknak nevezzük, jele: f . Egyatomos gáz esetén $f = 3$, kétatomos molekulák esetén $f = 5$, többatomos molekulájú a gáz esetén $f = 6$.

$$E = \frac{f}{2} pV = f N \bar{\varepsilon}_x$$

$$\bar{\varepsilon}_x = \frac{pV}{2N}$$

Tapasztalataink alapján célszerű a hőmérsékletet, mint az egy szabadsági fokra jutó energiával arányos mennyiséget definiálni. A gáz T abszolút hőmérséklete alatt egy gázcsepe egy szabadsági fokára jutó átlagos energiával arányos mennyiséget értünk:

$$\bar{\varepsilon}_x = \frac{1}{2} kT$$

ahol a k az arányossági tényező neve Boltzmann állandó. Az ekvipartíció tétele kimondja, hogy időátlagban a gáz bármelyik részecskéjére és bármely szabadságfokára azonos energia $\frac{1}{2} kT$ jut.