

KOVÁCS ENDRE, PARIPÁS BÉLA,

FIZIKA I.

6



A Műszaki Földtudományi Alapszak tananyagainak kifejlesztése a
TÁMOP 4.1.2-08/1/A-2009-0033 pályázat keretében valósult meg.

VI. A TERMODINAMIKA ELSŐ FŐTÉTELE

1. BELSŐ ENERGIA

Energia: E

Egy termodinamikai rendszer **belső energiáján** (E_b) a részecskék egymáshoz képesti (relatív) mozgásához tartozó **kinetikus energiát** és a részecskék egymással való kölcsönhatásához tartozó **potenciális energiát** értjük.

PÉLDA

Például, ha egy gázpalackot a fejünk fölé emelünk, a gáz belső energiája nem változik (sem a gázpalack sebességétől, sem a Föld felszínétől való távolságtól nem függ).

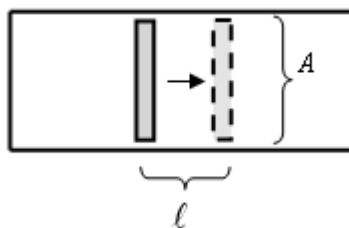
PÉLDA

Magasról leejtünk egy vasgolyót és az belefúródik a talajba. Ekkor távolról nézve a *mozgási energiája* eltűnt. Valójában persze az energia nem veszett el, csak átalakult *belső energiává*.

Ebben a konkrét példában emelkedett a talaj és a golyó hőmérséklete, vagyis a részecskék egymáshoz képesti *mozgási energiája*. Emellett néhány talajszemcse elhasadt, molekulák egymástól eltávolodtak, a köztük lévő (negatív) kötési energia abszolút értékben kisebb lett, tehát a belső energia emiatt is növekedett.

2. MUNKAVÉGZÉS

A **térfogati munka** értelmezése: tegyük fel, hogy egy hengeres edényben (keresztmetszete A) gáz van, és a gáz kitágul, a gázt határoló dugattyú ℓ utat tesz meg.



Nyomás: p

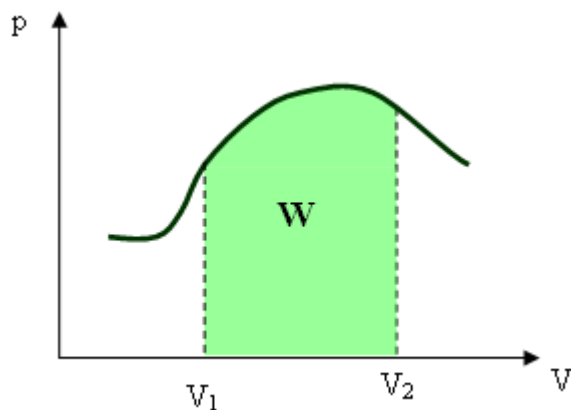
Munka: W

A gáz p nyomást fejt ki a dugattyúra, ez pA nagyságú erőt jelent. Ennek munkáját W^* -gal jelöljük:

$$W^* = \int_0^{\ell} F ds = \int_0^{\ell} p A ds = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

mivel a térfogatváltozás $A\ell$.

Általában is igaz a gáz által végzett ún. térfogati munkára, hogy $W^* = \int_{V_1}^{V_2} p dV$, vagyis a folyamatot a p-V diagramon ábrázolva a munka a görbe alatti terület.



Általában a hőtanban munkán térfogatváltozásból adódó munkát értünk.

Ha pl. a fejünk fölé emeljük a korábban említett gázpalackot, akkor ugyan munkát végzünk rajta, de ez nem **térfogati munka**. Nem a gáz **belső energiáját** növeli, hanem csak a Földdel való gravitációs potenciális energiáját, ami nem tartozik a belső energiához.

Tehát a környezet által a gázon végzett munka (ezt jelöljük \overline{W} -vel) a gáz által végzett \overline{W}^* munka (-1)-szerese. A fenti példában ez abból következik, hogy amekkora erőt a gáz kifejti a dugattyúra, akkora erőt fejt ki a dugattyú is a gázra, csak ellentétes irányút (Newton III, erő-ellenerő).

Ha a gáz **tágul**, és a (külső) nyomás nem nulla, akkor a gáz végez **pozitív** munkát. Ha viszont a gázt a környezete **összenyomja**, akkor a gázon végzett a környezete pozitív munkát, tehát a gáz által végzett munka **negatív**.

3. HŐKÖZLÉS, FAJHŐ, KALORIMETRIA

Hő: Q

Egy test energiája úgy is nőhet, hogy egy magasabb hőmérsékletű test energiát (hőt) ad át neki, de makroszkopikus elmozdulás nincs. Ezt az energiamennyiséget a rendszer által felvett **hőnek** nevezzük, jele Q . Ez is az energia egy formája, mértékegysége a J (Joule, ejtsd: *zsúl*). A rendszer által a környezetének leadott hőt Q^* -gal jelöljük, $Q^* = -Q$.

Összefoglalva:

W	A rendszeren végzett munka
$W^* (= -W)$	A rendszer által végzett munka
Q	A rendszer által felvett hő
$Q^* (= -Q)$	A rendszer által leadott hő

Fajhő: c

Mólhő: C

Hőmérséklet: T

Tömeg: m

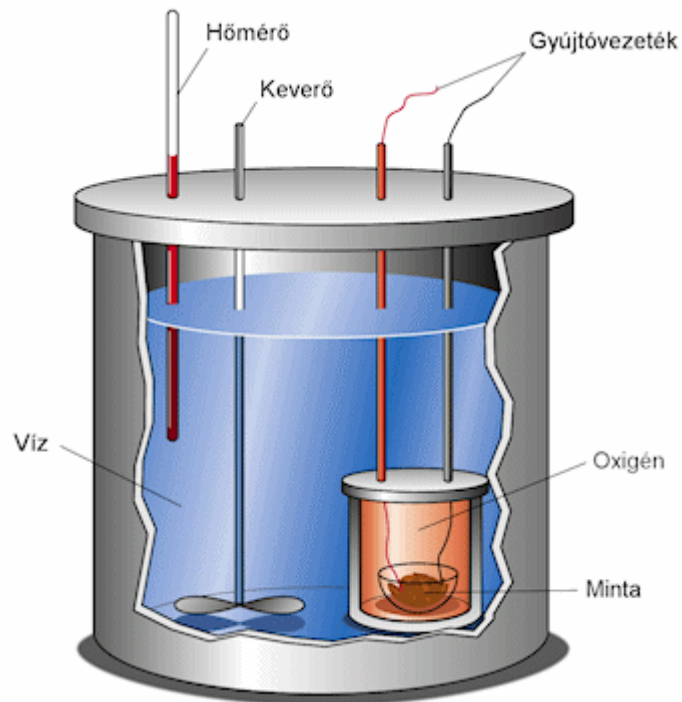
Általában egy adott rendszer hőmérsékletváltozása arányos a vele **közölt hővel**. [1] Az arányossági tényező a rendszer **hőkapacitása**: $Q = C\Delta T$. Ha a rendszer egy anyagból áll, bevezethetjük a **fajhő** (jele: c) fogalmát a következőképpen: $Q = cm\Delta T$, vagyis a fajhő az **egységnyi tömegű anyag hőmérsékletének egy fokkal való növeléséhez szükséges hőmennyiség**. Tehát a hőkapacitás egy konkrét (esetleg többfajta anyagból álló) rendszerre, a fajhő pedig egy anyagra vonatkozik (amely nem csak elem, hanem vegyület, ötvözet, stb., is lehet). A hőkapacitás és a fajhő közti kapcsolat: $C = cm$.

Ha nem az anyag tömege, hanem a mólszáma ismert, akkor a fentiekhez hasonló egyenlet írható fel az ún. **mólhőre** (ezt többféleképp szokták jelölni, mi maradjunk a C -nél): $Q = Cn\Delta T$, vagyis a mólhő azt fejezi ki, hogy egy mólnyi anyag egy fok hőmérséklet-változásához mennyi hő(energia) kell.

Kalorimetria

A hőmennyiség és **fajhő** mérésére szolgáló eljárásokat közös néven *kalorimetriának* nevezzük. Ennek alapeszköze a *kaloriméter*. Ez egy hőszigetelt edény, amelyben ismert fajhőjű, tömegű és hőmérsékletű folyadék van, tehát együttes hőkapacitásuk (C_1) ismert. A kaloriméterbe ismert tömegű és hőmérsékletű, ismeretlen fajhőjű anyagot tesznek. Utóbbi által leadott hő megegyezik a kaloriméter által felvett hővel, a közös hőmérsékletet jelöljük T_k -val. A $C_1(T_k - T_1) = c_2 m_2 (T_2 - T_k)$ egyenletből meghatározható az ismeretlen fajhő.

Kalorimétereket nem csak fajhő, hanem pl. olvadáshő vagy égéshő meghatározására is használnak. Utóbbi esetben $mL_{\dot{e}}$ az égés során felszabaduló hő, ez egyenlő a kaloriméter által felvett hővel. Ezt szemlélteti az alábbi ábra.



Kaloriméter

A kaloriméterbe ismert tömegű és hőmérsékletű, ismeretlen fajhőjű anyagot tesznek, melyet elégetve a keletkezett hőmennyiség a környezetének átadódik, így mérhető.

Általában, ha összekeverünk különböző m_i tömegű, T_i hőmérsékletű és c_i fajhőjű anyagot, akkor a közös **hőmérséklet**

$$T_k = \frac{\sum_i c_i m_i T_i}{\sum_i c_i m_i}$$

lesz, a hőmérsékletek hőkapacitásokkal súlyozott átlaga.

Nagyon fontos, hogy a **belső energia** a rendszer egy **állapotát** jellemzi, a rendszer makroszkopikus paraméterei meghatározzák. A munka és a **közölt hő** mindig egy **folyamatot** jellemez, amelynek kiinduló és végpontja is egy-egy állapot.

SZÁMOLÁSI FELADAT

FELADAT 1.

Fürdővizet szeretnénk készíteni, azonban sajnos karbantartás miatt nincs hálózati melegvíz. A csapból csupán 12°C-os víz folyik. Mekkora mennyiségű vizet kell felmelegítenünk a gáztűzhelyen 80°C-ra,

hogy azt a már fürdőkádba eresztett 30l hideg vízhez keverve 37°C-os fürdővizet kapjunk?

Megoldás

A kalorimetriát kell használnunk e feladat megoldásához. Az összekeverés után kialakuló közös **hőmérséklet** az egyes részek hőmérsékleteinek hőkapacitásokkal súlyozott átlaga lesz. Mivel azonban csak vizet használunk aminek a fajhőjét állandónak vesszük, ezért esetünkben a fajhővel egyszerűsíthetünk. Így a keverés utáni hőmérséklet az egyes részek hőmérsékleteinek tömegekkel súlyozott átlaga lesz. Tehát:

$$T_k = \frac{m_1 \cdot T_1 + m_2 \cdot T_2}{m_1 + m_2} \quad (1)$$

Ezen képletből az m_2 tömeget kifejezve:

$$m_2 = m_1 \cdot \frac{T_1 - T_k}{T_k - T_2} \quad (2)$$

A példában 30l hidegvizet használunk, amely tömege jó közelítéssel 30kg. Így már mindent ismerünk a (2) egyenlet bal oldalán. Tehát a hozzákeverendő meleg víz tömege: $m_2 = 17,44\text{kg}$.

SZÁMOLÁSI FELADAT

FELADAT 2.

Egy 5kg tömegű dinnyét a napon hagyunk 1 óra hosszára. Így a dinnye hőmérséklete 6°C-ot emelkedett. A dinnye fajhője 4100 J/kgK. Számítsa ki, hogy milyen magasra emelné fel a dinnyét az így bekövetkezett belsőenergia-változás, ha a hőenergia teljes mértékben átalakítható lenne helyzeti energiává ($g=9,81 \text{ m/s}^2$)?

Megoldás

A dinnye belsőenergia-változása arányos annak tömegével és a hőmérsékletváltozásával, továbbá arányossági tényező a dinnye **fajhője**:

$$\Delta E_b = cm\Delta T$$

ami esetünkben $\Delta E_b = 123000\text{J}$. A kérdés az, hogy ez az energia milyen magasra emelné fel a dinnyét. Egy test helyzeti energia arányos annak tömegével, a gravitációs gyorsulással és egy kitétetett zéró szinttől mért magassággal:

$$E_k = mgh$$

Ha 100%-ban átalakítható lenne a belső energia, akkor $E_k = \Delta E_b$. Tehát a magasságot kifejezve:

$$h = \frac{\Delta E_b}{mg} = 2460\text{m}$$

Tehát majdnem 2,5km (!) magasra emelné ekkora energia a dinnyét.

4. A HŐTAN ELSŐ FŐTÉTELE

A hőtan első főtétele kimondja, hogy a termodinamikai rendszer **belső energiájának** megváltozása egyenlő a rendszerrel **közölt hő** és a rendszeren végzett munka összegével.

$$\Delta E_b = Q + W$$

Munka alatt itt **térfogati munkát** értünk, mint ahogy azt korábban jeleztük.

Tehát – nyilvánvalóan – ha a rendszeren pozitív munkát végez a környezet, ill. (pozitív) hőt közlünk, akkor növekszik a belső energiája, míg ha a rendszer végez (pozitív) munkát, ill. közöl hőt a környezetével, akkor csökken a belső energiája.

A rendszert egy adott A állapotából általában sokféleképp eljuttathatjuk egy másik, mondjuk B állapotba, és az összes ilyen folyamatra a belső energia megváltozása ugyanaz, csak az A és a B pontoktól függ. A munkavégzés és a közölt hő viszont a konkrét folyamattól függően mindig más és más lehet, de az összegük azonos bármely A és B közötti folyamatra.

Az első főtételt nemcsak véges, hanem végtelenül kicsiny (más szóval: infinitezimális) megváltozásokra is felírhatjuk: $dE_{\text{b}} = dQ + dW$. Ezt úgy is nevezik, hogy a tétel *differenciális alakja*.

Megjegyezzük, hogy a belső energia általában nem csak hőközléssel és térfogati munkával növelhető, hanem pl. elektromágneses kölcsönhatás segítségével végzett munkával is. Ez esetben ezt a W -be bele kell számítani, ám itt ilyesmivel nem foglalkozunk.

[1] Halmazállapot-változás esetén pl. ez nem áll fent.