

# 5. Druhý zákon termodynamiky

## Učebný cieľ kapitoly

Logicky patrí 2. zákon termodynamiky k 1. zákonu, charakterizujúcemu kvantitatívne podmienky premeny tepla na prácu. Zaradili sme ho však až na tomto mieste, pretože mnohé poznatky získané v predchádzajúcich kapitolách (termodynamické zmeny stavov, tepelné obeh) nám bližšie objasnia dôsledky tohto zákona.

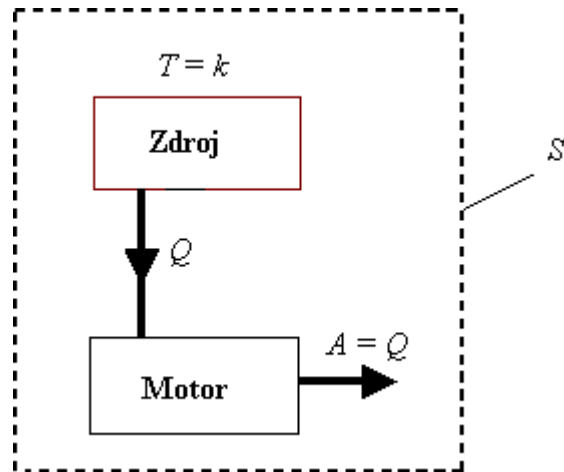
1. zákon termodynamiky, ktorým sme sa zatiaľ zaoberali, je svojím charakterom rázu čisto kvantitatívneho, vyjadruje zákon zachovania energie, aplikovaný na termodynamické procesy: dodané teplo sa premení na ekvivalentný prírastok vnútornej energie a mechanickú prácu alebo naopak. Nehovorí nič o kvalite týchto procesov, o podmienkach, za ktorých sú uskutočniteľné. Z praxe je známe, že premenu práce na teplo možno uskutočniť bez obmedzenia a s účinnosťou  $\eta = 1$  (napr. rozkrútený zotrvačník sa po čase sám od seba zastaví - výsledkom je zohriatie ložísk, hriadeľa a vzduchu), zatiaľ čo opačná premena má veľmi obmedzujúce podmienky (nemožno zohriať ložiská a hriadeľ, a tým uviesť zotrvačník do pohybu), t.j. na jej realizáciu potrebujeme zložité mechanické zariadenie s účinnosťou premeny je  $\eta < 1$ . Rovnako ako v uvedenom príklade všetky procesy v prírode majú svoj *prirodený smer*, pričom prirodzeným smerom je myslená *zmena samovoľná*, prebiehajúca bez vonkajšieho zásahu a smerujúca k rovnovážnemu stavu. Napr. teleso v gravitačnom poli sa pohybuje samovoľne len v smere znižujúcej sa potenciálnej energie, plyn expanduje samovoľne len z tlaku vyššieho na tlak nižší, teplo prechádza samovoľne len z telesa teplejšieho na chladnejšie atď. 1. zákon termodynamiky, resp. zákon zachovania energie nemôže k týmto premenám povedať nič viac, akože celková energia sa nemení.

Učebným cieľom tejto kapitoly je naučiť sa princípy druhého zákona termodynamiky a tri spôsoby jej formulácie. Čitateľ sa tiež oboznámi s obsahom tretieho zákona termodynamiky.

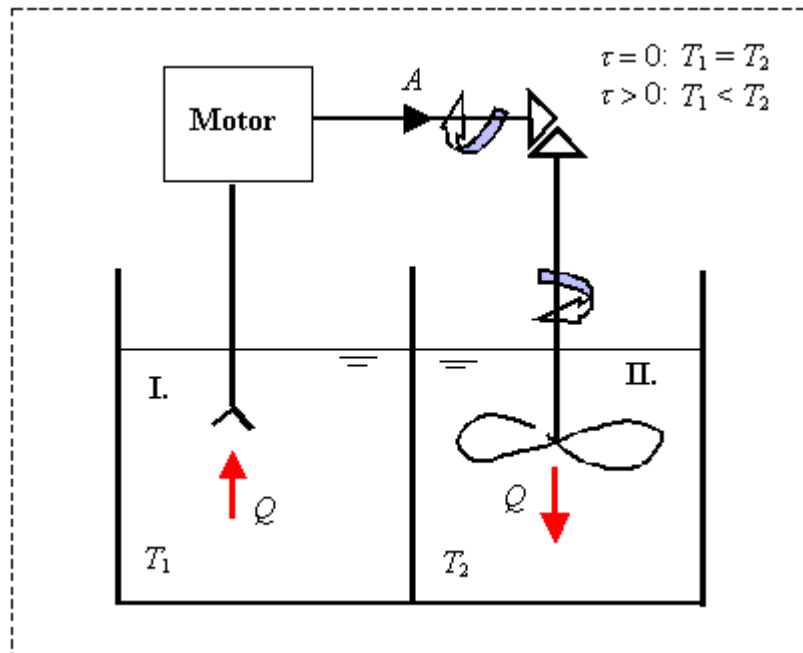
## 5.1 ZÁKLADNÉ FORMULÁCIE

2. zákon termodynamiky dopĺňa 1. zákon tým, že definuje podmienky premien. Vyjadruje jednosmernosť prírodných procesov, aplikovanú na termodynamické procesy. Existuje niekoľko ekvivalentných formulácií. Prvú vyslovil Clausius (r.1850):

1. *Teplo nemôže prechádzať samovoľne z telesa chladnejšieho na teplejšie.* Túto na prvý pohľad samozrejmu axiómu, ktorú ľahko pochopíme, pretože vyjadruje naše empirické skúsenosti, má už menej samozrejme dôsledky, obsiahnuté v ďalšej formulácii, ktorej autormi sú Thompson a Planck (r.1851):
2. *Nemožno zostrojiť periodicky pracujúci tepelný stroj, ktorý by nespôsobil iné zmeny, než by produkoval prácu odnímaním ekvivalentného množstva tepla z jedného zdroja so stálou teplotou.* Takéto zariadenie nazval Ostwald perpetuum mobile 2.rádu a jeho bloková schéma je na obr.7.12. Umožňovalo by získavanie práce z prakticky nekonečnej zásoby tepla okolia (vody, vzduchu, pôdy).



br.5.1 Perpetuum mobile 2.rádu  
bloková schéma



obr.5.2 Perpetuum mobile 2.rádu  
princiálna schéma

Perpetuum mobile 2. rádu neodporuje zákonu zachovania energie, ale je v rozpore s 2. zákonom termodynamiky o prirodzenom smere vývoja javov, vyjadrenom pre termodynamické procesy v Clausiusovej formulácii. Dôkazom je napr. činnosť zariadenia podľa schémy na obr. 5.2.

Zásobník tepla je rozdelený priehradkou na dve časti. Na začiatku činnosti v čase  $\tau = 0$  je teplota v oboch častiach vyrovnaná,  $T_1 = T_2$ . Motor M odoberá teplo  $Q$  z časti I. zásobníka, mení ho na mechanickú prácu  $A$ , ktorá sa v časti II. zásobníka mení prostredníctvom rotora R na trenie, t. j. teplo. Celé zariadenie je od okolia izolované, vonkajšie vplyvy sú vylúčené. V dôsledku činnosti zariadenia by sa ľavá časť zásobníka neustále ochladzovala, pravá časť otepľovala, teda uskutočňoval by sa *samovolne* (bez dodania *vonkajšej* práce) prechod tepla z telesa chladnejšieho na teplejšie, čo odporuje Clausiusovej formulácii.

### 3. Entropia izolovanej sústavy môže len narastať

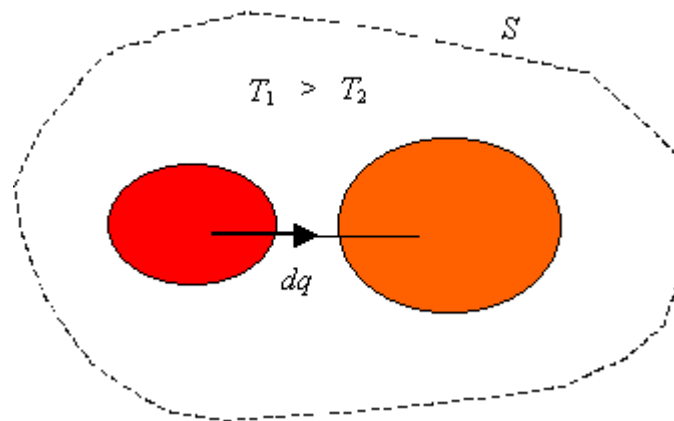
Lahko dokážeme, že aj táto formulácia vyplýva z formulácie prvej - Clausiusovej. Sledujme zmenu entropie izolovanej sústavy, v ktorej sa nachádzajú telesá s rôznymi teplotami, pre jednoduchosť uvažujme dve telesá s teplotami  $T_1$  a  $T_2$  (obr. 5.3.):

- a. Ak  $T_1 = T_2$ , teplo sa nevymieňa,  $dq = 0$ , zmena entropie sústavy daná súčtom zmien entropií jej prvkov je nulová.

$$ds = ds_1 + ds_2 = 0$$

- b. Ak  $T_1 > T_2$ , (teplo prechádza z telesa teplejšieho na chladnejšie) vymení sa za čas  $d\tau$  teplo  $dq$  a entropia sústavy sa zmení tak, že jedna časť sústavy teplo odovzdá ( $-dq$ ) druhá časť sústavy teplo získa ( $+dq$ )

$$ds = ds_1 + ds_2 = -\frac{dq}{T_1} + \frac{dq}{T_2} = dq \left( -\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} \right) > 0$$



obr.5.3 Prenos tepla v izolovanej sústave

## 5.2 2. ZÁKON A ENTROPIA

Z príkladu na obr.5.3 je zrejmé, že rast entropie súvisí s výmenou tepla medzi dvomi zásobníkmi s teplotami  $T_1$  a  $T_2$ . Odovzdávaním tepla sa postupne teploty vyrovnávajú, rast entropie sa spomaľuje, sústava speje k rovnovážnemu stavu, pri ktorom sa teploty vyrovnajú a entropia dosiahne maximum. *Entropia* je teda *mierou vývoja stavu*, mierou rovnovážnosti stavu. V rovnovážnom stave predstavuje sústava jeden zásobník tepla jednej teploty a podľa Planckovej formulácie nie je schopná vykonávať prácu. Naopak, s rastúcim rozdielom teplôt zdroja a chladiča účinnosť premeny tepla na prácu narastá (ako vyplýva z rozboru priameho Carnotovho obehu, preberaného v kap.4.3). Z tohto hľadiska možno chápať *entropiu ako mieru degradácie energie*, rovnovážny stav s maximom entropie reprezentuje totálnu degradáciu energie. 2. zákon nemá matematickú formuláciu. Niekedy za ňu býva považovaný vzťah

$$\oint ds = 0$$

podľa ktorého je entropia stavová veličina. Z neho vyplýva ďalej, že pre uskutočnenie tepelného obehu po uzavretej krivke, musíme teplo do obehu aj privádzať ( $dq > 0$ ) aj odvádzať ( $dq < 0$ ). To sme už dokázali v úvodnej kapitole o obehoch (kap.4.1), rovnica (4-1).

Nemôže teda existovať perpetuum mobile 2. rádu, podľa obr.5.1 - v súlade s 2. (Planckovou) formuláciou 2. zákona termodynamiky.

### **5.3 TRETÍ ZÁKON TERMODYNAMIKY**

Hovorí, že *nemožno zostrojiť chladiaci stroj, ktorý by vychladil látku na absolútnu nulu  $T = 0$  K*. Je zovšeobecnením experimentálne overených poznatkov, že pri  $T \rightarrow 0$  sa entropia, tepelná rozťažnosť a tepelná vodivosť všetkých látok blížia k nule. Pre predmet našich ďalších úvah nie je tento zákon dôležitý, preto sa s ním nebudeme podrobnejšie zaoberať.