

## 2.2.7 První termodynamický zákon

**Předpoklady:** 2206

**Pomůcky:** stříkačka.

Shrneme obsah této kapitoly:

Neuspořádaný pohyb částic látek způsobuje, že tělesa mají **vnitřní energii**  $U$ , která roste s teplotou (s rychlostí pohybu částic).

Vnitřní energii tělesa můžeme měnit dvěma způsoby:

**konáním práce  $W$**

- $W > 0$ , když okolí koná práci na tělesu
- $W < 0$ , když těleso koná práci na okolí

**tepelnou výměnou  $Q$**

- $Q > 0$ , když těleso teplo přijímá (zvyšuje se energie neuspořádaného pohybu částic tělesa, okolí tělesa má vyšší teplotu)
- $Q < 0$ , když těleso teplo odevzdává (snižuje se energie neuspořádaného pohybu částic tělesa, okolí tělesa má nižší teplotu)

**Př. 1:** Při pumpování vzduchu do pneumatiky stlačujeme v pístu pumpičky vzduch. Popiš, jak se při stlačování mění vnitřní energie vzduchu v pumpičce. Koná se při stlačování vzduchu práce? Dochází k tepelné výměně? Urči znaménka veličin  $\Delta U$ ,  $W$ ,  $Q$  (pokud nejsou nulové).

Vzduch v pumpičce se zahřívá (můžeme si ověřit dotekem)  $\Rightarrow$  zvyšuje se jeho vnitřní energie  $\Rightarrow \Delta U > 0$

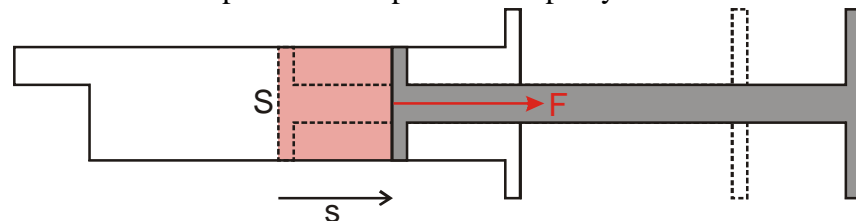
Na píst pumpičky musíme tlačit silou  $\Rightarrow$  konáme práci  $\Rightarrow$  práce vykonaná na plynu okolím je kladná  $W > 0$ .

Vzduch je po stlačení (a zahřátí) teplejší než okolí  $\Rightarrow$  vzduch v pumpičce odevzdává teplo okolí  $\Rightarrow Q < 0$

**Pedagogická poznámka:** Do třídy si beru stříkačku, na které předchází příklad modelujeme.

**Př. 2:** Stlač co nejvíce píst stříkačky. Poté píst uvolni a sleduj, co se děje. Vysvětli pohyb pístu. Urči znaménko práce.

Píst se začne vracet do původní polohy (až do ní se však nevrátí). Stlačením se zvýšil tlak vzduchu v pístu, jakmile přestaneme na píst tlačit ruka, tlak vzduchu uvnitř pístu přetlačí okolní vzduch a píst se začne posunovat zpátky.



Práci koná vzduch uvnitř pístu (působí ve směru posunutí)  $\Rightarrow W < 0$ .

**Př. 3:** Vysvětli mikroskopicky, proč při konání práce klesá teplota plynu.

Plyn koná práci  $\Rightarrow$  zvětšuje svůj objem  $\Rightarrow$  částice plynu musí odstrčit okolní tělesa  $\Rightarrow$  aby je odstrčily, musí jim předat část své energie  $\Rightarrow$  zmenší se rychlost jejich neuspořádaného pohybu  $\Rightarrow$  sníží se teplota plynu.

Zkoumáme změny energie vzduchu v pumpičce. Stlačením jsme jeho vnitřní energii zvětšili, tepelnou výměnou se studenějším okolím se jeho vnitřní energie zmenšuje. Čím víc energie dodané stlačením uteče ve formě tepla z pumpičky, tím méně její vnitřní energie vzroste  $\Rightarrow$  mezi veličinami  $\Delta U$ ,  $W$  a  $Q$  existuje vztah.

**Př. 4:** Najdi vztah mezi veličinami  $\Delta U$ ,  $W$  a  $Q$ .

Na zvýšení vnitřní energie zbude ta část energie dodané prací, které neunikne tepelnou výměnou  $\Rightarrow \Delta U = W + Q$  (v našem případě platí  $Q < 0 \Rightarrow$  ve vzorci nemusíme odečítat, protože hodnota přičítaného tepla je záporná).

Rovnici  $\Delta U = W + Q$  nazýváme **první termodynamický zákon**.

Přírůstek vnitřní energie soustavy  $\Delta U$  se rovná součtu práce  $W$  vykonané okolními tělesy působícími na soustavu silami a tepla  $Q$  odevzdaného okolními tělesy soustavě.

Dva speciální případy dějů:

- $Q = 0$  (adiabatický děj). Nedochozí k výměně tepla s okolím  $\Rightarrow \Delta U = W$  (změna vnitřní energie se rovná práci)
- $W = 0$ . Při ději se nekoná práce  $\Rightarrow \Delta U = Q$  (změna vnitřní energie se rovná teplu předanému tepelnou výměnou).

**Př. 5:** Plyn vykonal práci 400 J a přijal od svého okolí teplo 600 J. Jak se při tomto ději změnil jeho objem? Jak se změnila jeho vnitřní energie? Jak se změnila jeho teplota? Zkus najít příklad podobného děje v praxi.

Práci konal plyn:

- $W = -400 \text{ J}$ ,
- objem plynu se zvětšil (plyn musel "odtlačit" okolí).

Plyn přijal teplo od okolí  $\Rightarrow Q = 600 \text{ J}$ .

Dosadíme do 1. termodynamického zákona:  $\Delta U = W + Q = -400 + 600 \text{ J} = 200 \text{ J} \Rightarrow$  Vnitřní energie plynu se zvýšila o 200 J  $\Rightarrow$  zvýšila se i jeho teplota.

Tímto způsobem pracují elektrárny. Vodní pára získává v kotli tepelnou výměnou energii, část této energie se mění v generátoru na práci (výroba elektrické energie), část energie zvýší vnitřní energii páry, které se pak zbavujeme pomocí chlazení (chladící věže).

**Př. 6:** Urči pro následující děje znaménka termodynamických veličin:

- a) Stlačený vzduch v pístu pumpičky (jeho teplota se rovná teplotě místnosti) nadzvedne píst.
- b) Do ledničky dáme skleněnou láhev s plynem a necháme ji chladnout.
- c) Z ledničky vynadáme balónek a necháme ho v místnosti ohřát. Balónek se rozpíná.

- d) Balónek s vodíkem letí vzhůru, ochlazuje se a rozpíná se.
- e) Rozžhavené spaliny v pístu motoru velmi rychle roztlačují píst.
- f) Vodní pára získává v parogenerátoru energii a roztáčí turbínu.

a) Stlačený vzduch v pístu pumpičky (jeho teplota se rovná teplotě místnosti) nadzvedne píst.  
 $W < 0$  (práci koná vzduch v pístu),  $Q > 0$  (vzduch se při nadzvedávání ochlazuje a tak začne probíhat tepelná výměna od teplejšího okolí),  $\Delta U < 0$  (tepelná výměna se snaží udržet teplotu vzduchu na teplotě místnosti, ale zřejmě nebude mít dostatek času)

b) Do ledničky dáme skleněnou láhev s plynem a necháme ji chladnout.  
 $W = 0$  (práce se nekoná),  $Q < 0$  (plyn se v ledničce ochlazuje),  $\Delta U < 0$

c) Z ledničky vyndáme balónek a necháme ho v místnosti ohřát. Balónek se rozpíná.  
 $W < 0$  (balónek zvětšuje objem  $\Rightarrow$  koná práci odtlačováním okolí),  $Q > 0$  (vzduch se při ohřívání od teplejšího okolí),  $\Delta U > 0$  (teplota plynu se zvýší)

d) Balónek s vodíkem letí vzhůru, ochlazuje se a rozpíná se.  
 $W < 0$  (balónek zvětšuje objem  $\Rightarrow$  vodík koná práci odtlačováním okolí),  $Q < 0$  (vodík se ochlazuje od studenějšího okolí),  $\Delta U < 0$  (teplota vodíku se snižuje)

e) Rozžhavené spaliny v pístu motoru velmi rychle roztlačují píst.  
 $W < 0$  (práci konají spaliny v pístu),  $Q < 0$  (spaliny jsou teplejší než okolí a tak teplo odevzdávají),  $\Delta U < 0$  (spaliny se ochlazují)

f) Vodní pára získává v parogenerátoru energii a roztáčí turbínu.  
 $W < 0$  (pára roztáčí turbínu a koná tak práci),  $Q > 0$  (parogenerátor dodává teplo),  $\Delta U > 0$  (i po průchodu turbínou je pára teplejší než před zahříváním)

Poslední případ rozebereme z trochu jiné strany.

Místo práce, kterou vykonají okolní tělesa na našem tělese, použijeme práci  $W'$ , kterou vykoná naše těleso. Platí  $W = -W'$ . Dosadíme do prvního termodynamického zákona:

$$\Delta U = W + Q = -W' + Q'$$

$Q = \Delta U + W'$  - teplo dodané tělesu se spotřebuje na vykonání práce a zvýšení vnitřní energie (tato věta velmi dobře popisuje o co jde v tepelných elektrárnách).

**Shrnutí:**