

Megoldás. a) A gáz energiája (valamilyen inerciarendszerből nézve) a tömegközéppont mozgásához tartozó

$$E_{\text{tkp}} = \frac{1}{2} m v_{\text{tkp}}^2$$

energiának és a tömegközépponthoz képest mozgó (és esetleg forgó) molekulák

$$E_b = \frac{f}{2} \frac{m}{M} RT$$

„belső energiájának” összege. (m a gáz össztömege, M a móltömeg, T_0 a gáz hőmérséklete, f pedig a gázmolekulák szabadsági fokainak száma, nitrogénre $f = 5$.)

a) Ha a tartályt hirtelen állítjuk meg (olyan hamar, hogy a gázmolekuláknak még nincs ideje a tartály falának ütközni), akkor a gáz összen energiája változatlan marad, hiszen nincs módunk munkát végezni a gázon. (A fékezéskor végzünk – méghozzá negatív előjelű – munkát, ennek nagysága megegyezik az üres tartály lefékezéséhez szükséges munkával, a gáz energiaviszonyai szempontjából figyelmen kívül hagyható.)

Ha sikerülne ilyen gyors fékezést előidézni (méghozzá úgy, hogy közben a tartály ne roncsolódjon), a gáz felmelegedne. Jóllehet a fékezést követő pillanatban a gáz még nem lenne termikus egyensúlyban (hiszen a molekuláinak átlagsebessége a tartályhoz képest nem az egyensúlyi sebességeloszlásnak megfelelő nulla érték), de a falakkal és egymással történő számos ütközés után a tömegközéppont mozgásából származó „rendezett” energia szétszóródik, kialakul az egyensúly, és a gáz hőmérséklete az eredetinel magasabb T_1 értékre áll be. Az energiamegmaradás törvénye szerint

$$\frac{1}{2} m v_{\text{tkp}}^2 + \frac{f}{2} \frac{m}{M} RT_0 = \frac{f}{2} \frac{m}{M} RT_1,$$

ahonnan

$$T_1 = T_0 + \frac{M v_{\text{tkp}}^2}{f R} = 300 \text{ K} + \frac{0,028 \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \cdot (100 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{5 \cdot 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol K}}} = 306,7 \text{ K}.$$

Megjegyzés. A gáz felmelegítése a tartály hirtelen lefékezésével gyakorlatilag megvalósíthatatlan feladat. Ahhoz, hogy a fenti számolás érvényes legyen, a tartályt sokkal hamarabb kellene megállítanunk, mint amennyi idő alatt az egyes (még a hangsebességnél is gyorsabban mozgó) gázmolekulák a tartály egyik feléből a másikba érnek. A tartály egészének lefékezése úgy történhet, hogy a tartály falának csak bizonyos részeire fejtünk ki erőt; a tartály többi – kívülről nem fékezett – része rugalmas hullámok közvetítésével „veszi észre”, hogy meg kell állnia. Ezek a hullámok is „csak” hangsebességgel terjednek, és igaz ugyan, hogy szilárd közegekben a hangsebesség néhányszor nagyobb, mint a gázokban, nagyságrendi különbség azonban nincs a kétféle terjedési sebesség között. Emiatt szinte lehetetlen a tartályt olyan gyorsan megállítani, ahogy az a fenti megoldás érvényességéhez szükséges lenne.

b) Ha a tartályt lassan, mondjuk egyenletesen lassítva, viszonylag hosszú t idő alatt fékezzük le, akkor a gáz a tartály „első” falát $F = ma = m \frac{v_{\text{tkp}}}{t}$ erővel jobban nyomja, mint a „hátsó” falat, így a fékezés során (az üres tartály lefékezésénél végzendő munkán felül)

$$W = -F \cdot s = -F \cdot \frac{a}{2} t^2 = -m \frac{v_{\text{tkp}}}{t} \cdot \frac{v_{\text{tkp}}}{2t} \cdot t^2 = -\frac{1}{2} m v_{\text{tkp}}^2$$

munkát kell végeznünk. (A negatív előjel arra utal, hogy az erő és az elmozdulás egymással ellentétes irányú.)

Ez a munka éppen annyi, amennyi a tömegközépponti mozgáshoz tartozó energia nullára csökkentéséhez szükséges, s így a gáz belső energiája és azzal együtt a hőmérséklete is változatlan marad.

Megjegyzés. A vizsgált hőtani folyamat lényege jól szemléltethető egy mechanikai példával: egy kiskocsi gurul vízszintes asztalon, s a koci érdes felületű tetején egy hasáb alakú test található.

a) Ha a kiskocsit hirtelen megállítjuk, a rajta levő test megcsúszik, majd a súrlódás hatására megáll és egy kicsit felmelegszik. A keletkező hő éppen a hasáb kezdeti mozgási energiájával egyezik meg, hiszen a kiskocsit megállító külső erők a hasábon nem végeznek munkát.

b) Amennyiben a kiskocsit olyan lassan fékezzük le, hogy a rajta levő test nem csúszik meg, akkor – relatív elmozdulás hiányában – súrlódási hő sem képződik, a hasáb alakú test hőmérséklete változatlan marad. Igaz ugyan, hogy a hasáb mozgási energiája lecsökken, de ez a rá ható külső erők (negatív) munkájának következménye, a test belső energiájának megváltozásával nem hozható kapcsolatba.