

Tegyük fel, hogy a dugattyú súrlódásmentesen mozoghat, továbbá azt, hogy a folyamat végig egyensúlyi állapotokon keresztül megy végbe.

Ha a dugattyú elmozdulása x és $0 \leq x \leq \frac{l}{2}$, akkor a h higanyszint magasabb ugyan az eredeténél, de még semennyi higany nem folyt ki a tartályból. A higany térfogatának állandóságából

$$(l - x)ah = l \frac{a}{2} a, \quad \text{vagyis} \quad h = \frac{l}{l - x} \frac{a}{2}.$$

A folyadék által kifejtett nyomás (a higany „hidrosztatikai” nyomása) a felszíntől mért távolsággal egyenesen arányos, emiatt számolhatunk átlagos nyomással: $p_{\text{átlag}} = \rho g h / 2$. A higany az $A = a^2$ keresztmetszetű dugattyú ah területű részére

$$F = p_{\text{átlag}} ah = \rho g \left(\frac{l}{l - x} \right)^2 \frac{a^3}{8}$$

erőt fejt ki. Ha ehhez az erőhöz hozzáadjuk a p_0 külső légnyomásból származó $p_0 a^2$ erőt, majd elosztjuk a dugattyú teljes A keresztmetszetével, megkapjuk a hélium p nyomását. Ezt a mennyiséget célszerű a gáz $V = a^2(l + x)$ térfogatával kifejezni:

$$p(V) = \rho g \frac{a}{8} \left(\frac{l}{2l - V/a^2} \right)^2 + p_0.$$

A két szélső helyzetben a térfogatok és nyomások ($p_0 = 10^5$ Pa-lal számolva: $V_1 = 0,02 \text{ m}^3$ és $p_1 = 103\,400$ Pa, illetve $V_2 = 0,03 \text{ m}^3$ és $p_2 = 113\,600$ Pa.

A folyamat második részében, amikor $\frac{l}{2} < x < l$, a higany lassan kifolyik a tartályból. Mivel a folyadékszint magassága nem változik, a dugattyúra kifejtett nyomás állandó, a hélium tehát izobár módon tágul. A folyamat végén, amikor már szinte az összes higany kifolyt, a nyomás $p_3 = p_2 = 113\,600$ Pa, a gáz térfogata pedig $V_3 = 0,04 \text{ m}^3$.

Írjuk fel az egyesített gáztörvényt a hélium kezdeti és végső állapotára:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_3 V_3}{T_3}, \quad \text{ahonnan} \quad T_3 = T_1 \frac{p_3}{p_1} \frac{V_3}{V_1} = 659 \text{ K} = 386 \text{ }^\circ\text{C}.$$

A gáz belső energiájának megváltozása a folyamat során

$$\Delta E = E_3 - E_1 = \frac{3}{2} p_3 V_3 - \frac{3}{2} p_1 V_1 = 3714 \text{ J}.$$

A hélium által végzett mechanikai munka két tag összegeként számítható ki. A higany tömegközéppontja $\frac{3}{4}a$ magassággal megemelkedett, ehhez $W_1 = \rho g l a (a/2) \cdot \frac{3}{4}a = 204 \text{ J}$ munkavégzés szükséges. Másrészt a külső légnyomással szemben is kell munkát végezni (a légkört egy kicsit „felemeljük”), ennek $W_2 = p_0 a^2 l = 2000 \text{ J}$ felel meg. A hőtan első főtétele szerint a héliummal közlendő hő: $Q = \Delta E + W_1 + W_2 = 5918 \text{ J}$.

Sarlós Ferenc (Baja, III. Béla Gimn., III. o.t.)