

I. megoldás. A könnyen táguló burok ugyanazt a szerepet tölti be, mint egy tartályt lezáró csőben könnyen mozgó dugattyú, a továbbiakban tehát ezt a szóhasználatot fogjuk követni.

Ha a külső nyomást lassan csökkentjük, akkor dugattyú lassan mozdul el, közbenső állapotai lényegében egyensúlyinak tekinthetők. Ilyenkor a belső gáz állapotváltozása adiabatikus, a belső energiájának csökkenése éppen a gáz által végzett tágulási munkával egyenlő.

A második esetben, amikor a külső légnyomást hirtelen csökkentjük, a dugattyúra ható erők eredője nem lesz nulla. A dugattyú tehát gyorsulni kezd, sebessége eleinte nő, majd az egyensúlyi helyzeten átlendülve fokozatosan lassulva megáll, és elindul visszafele. Ha nem lenne sűrűdés (sem a dugattyú és a tartály fala között, sem pedig a gáz „belső sűrűdése” nem játszana szerepet), akkor a dugattyú sosem állna meg, a térfogata, a nyomása és hőmérséklete is periodikusan váltakozna, nem lenne értelme tehát a gáz kialakuló hőmérsékletéről beszélni. A valóságban azonban nem ez történik, a rezgés előbb-utóbb megáll, mert a dugattyú (rendezett) mozgási energiája disszipálódik, a rendezetlen hőmozgásnak megfelelő belső energiát növeli.

A gáz végső (egyensúlyi) térfogata, és ezzel arányosan a belső energiája és a hőmérséklete a második esetben nem lehet ugyanakkora, mint amekkora ezek a mennyiségek az első (adiabatikus) esetben, hanem azoknál nagyobb, hiszen a belső energia csökkenése kisebb, mint a gáz által végzett tágulási munka, és az energiakülönbség (vagy annak egy része) a sűrűdésen keresztül „visszakerül” a gáz + dugattyú rendszerbe.

A tartályban (burokban) levő gáz hőmérséklete tehát akkor csökken jobban, ha a külső nyomás *lassan* csökken.

Katona Gergely (Budapest, ELTE Trefort Á. Gyak. Gimn. 12. o.t.) dolgozata alapján

II. megoldás. Az első (lassú nyomáscsökkenésnek megfelelő) esetben a gáz állapotváltozása megfordítható (reverzibilis). A gyorsan csökkenő külső nyomásnál a rendszer közbenső állapotai nem tekinthetők egyensúlyinak, burok gyors mozgásba, majd a disszipatív folyamatok hatására a rendszer állapotváltozása megfordíthatatlan (irreverzibilis).

A hőtan II. főtétele értelmében egy rendszer entrópiájának ΔS változása reverzibilis folyamatoknál a $\Delta Q/T$ mennyiségek összege (integrálja), irreverzibilis folyamatoknál pedig ennél nagyobb. Az első esetben a folyamat reverzibilis, továbbá (a burok hőszigetelése miatt) nincs hőközlés ($\Delta Q = 0$), így $\Delta S_{\text{rev}} = 0$. A második (gyors nyomáscsökkenésnek megfelelő) esetben a folyamat irreverzibilis, a gázzal közölt hő pedig vagy nulla (ha a rezgés csillapodását a gáz belső sűrűdése okozza), vagy pedig pozitív (ha a burok sűrűdése is számottevő). Akármelyik eset áll is fenn, $\Delta S_{\text{irrev}} > 0$.

Egy bizonyos mennyiségű gáz entrópiájának megváltozása független a folyamat részleteitől, a kezdeti állapot és a végállapot egyértelműen meghatározza. Másképp megfogalmazva: az entrópia *állapotjelző*, amely kifejezhető más állapotjelzőkkel, pl. a nyomással és a hőmérséklettel. Belátható (pl. egy izoterm és egy izobár állapotváltozást tekintve), hogy mólnyi mennyiségű, C_p izobár mólhőjű gázra

$$S(T, p) = C_p \cdot \ln T - R \cdot \ln p + S_0,$$

a (T_0, p_0) állapotból (T, p) állapotba kerülő gáz entrópiaváltozása

$$\Delta S = C_p \ln \frac{T}{T_0} - R \cdot \ln \frac{p}{p_0}.$$

A vizsgált folyamatokban a kezdeti p_0 és végső p nyomás aránya ugyanakkora, a reverzibilis és az irreverzibilis entrópiaváltozás közötti különbségből tehát a végső hőmérsékletek közötti különbségre következtethetünk:

$$\Delta S_{\text{irrev}} > S_{\text{rev}} \quad \Rightarrow \quad T_{\text{gyors}} > T_{\text{lassú}}.$$

A burokban levő gáz tehát gyorsan csökkentett külső nyomás esetén kevésbé hűl le, mint amikor a nyomáscsökkenés lassan következik be.

Ravasz Mária-Magdolna (Sepsiszentgyörgy, Mikes K. Líceum 12. o.t.) és *Szabó László* (Temesvár, Bartók B.

Líceum 12. o.t.)