*Fizika szakkörön egy példatárból az alábbi feladat kerül elő:*

„Egy függőlegesen álló, henger alakú edényt kb. fele magasságáig megtöltünk vízzel, majd lezárjuk. Az alap- és fedőlap jó hővezető, a henger oldalfala hőszigetelő. Az alaplapot $-10$ °C-ra hűtjük, a fedőlapot 110 °C-ra melegítjük, s a továbbiakban ezen a hőmérsékleten tartjuk. Hosszú idő elteltével hogyan oszlanak meg magasság szerint a különböző halmazállapotok az edényben?"

*A nebulók különböző könyvekben kutakodnak. Tóni szerint a jég úszik a vízen, a folyékony víznek tehát alul kell lennie. Réka szerint középen kell lennie a víznek, hiszen forró gőzzel érintkezik. Bea, miközben adatokat keres, felfedezi, hogy a gázok hővezetőképessége néhány táblázatban – feltehetően elírás folytán – nagyobbnak van feltüntetve a víz vagy a jég hővezető képességénél, más táblázatok és könyvek szerint azonban a gázok hővezető képessége sokszorosan kisebb. (Bea szerint is így logikus.)*

*Segítsünk nekik megtalálni a helyes választ a feladat kérdésére!*

**Megoldás.** A hővezetésre felírható legegyszerűbb összefüggés (ebben a különböző könyvek és táblázatok egyetértenek) a következő:

$$\Phi = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = -\lambda A \frac{\Delta T}{\Delta x}.$$

Itt $\Phi$ jelenti a hőáramot, vagyis az $A$ keresztmetszeten a $T$ hőmérséklet növekedésének irányában másodpercenként áthaladó rendezetlen energiát. Minthogy ez az energia mindig a magasabb hőmérsékletű helyről halad az alacsonyabb hőmérsékletű hely felé, ezért negatív az arányossági tényező. A fenti összefüggéssel definiált pozitív $\lambda$ mennyiséget nevezik hővezetési együtthatónak, ennek mértékegysége SI rendszerben $\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{m\,K\,s}}$.

A hővezetési együttható jellemzi a hővezető képességet, ez az, ami néhány táblázatban – feltehetően elírás folytán – hibásan szerepel. A helyes értékek (lásd például a Nemzeti Tankönyvkiadó „Négyjegyű függvénytáblázatok, összefüggések és adatok" 2005-ös 2., javított kiadásának 216., 214. és 212. oldalát) a következők:

$$\begin{aligned}
\text{vízgőzre (18 °C-on)} \qquad & \lambda_{\mathrm{g}} = 18{,}0 \cdot 10^{-3} \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{m\,K\,s}}, \\
\text{levegőre (18 °C-on)} \qquad & \lambda_{\mathrm{l}} = 24{,}2 \cdot 10^{-3} \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{m\,K\,s}}, \\
\text{vízre (18 °C-on)} \qquad & \lambda_{\mathrm{v}} = 587 \cdot 10^{-3} \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{m\,K\,s}}, \\
\text{jégre (0 °C-on)} \qquad & \lambda_{\mathrm{j}} = 2200 \cdot 10^{-3} \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{m\,K\,s}}.
\end{aligned}$$

A jobb összehasonlíthatóság kedvéért emeltük ki mindegyik adatból a $10^{-3}$ tényezőt.

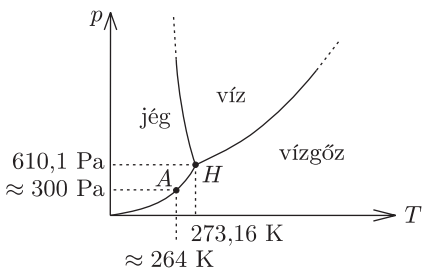
Igaz, hogy a hővezetési együtthatók függnek a hőmérséklettől, de nem változnak olyan erősen, hogy elfedjék azt a tényt, mely szerint a gázok hővezető képessége sokkal-sokkal kisebb, mint a folyadékoké, illetve a szilárd anyagoké. A gázoknál csak a vákuum lehet jobb hőszigetelő. (A dupla ablak, vagy a réteges öltözködés előnye éppen a levegő rossz hővezetésén alapul.)

Szemléletesen tehát azt mondhatjuk, hogy a feladatbeli henger felső felében hőszigetelő, alsó felében hővezető réteg helyezkedik el, vagyis a két réteg közös határának hőmérséklete sokkal közelebb van a hővezető réteg alsó hőmérsékletéhez, mint a hőszigetelő réteg felső hőmérsékletéhez. Jelen esetben, a hővezetési tényezők konkrét adatait figyelembe véve $-6$ °C körüli hőmérséklet alakul ki a két réteg határán.

Van olyan víz, ami alul $-10$ °C-os, felül $-6$ °C-os? A víz túlhűthető, az igaz, de a túlhűtött vízben aligha maradhat fenn ilyen hőmérsékletkülönbség, mert ez belső áramlást indít, s e túlhűtött víz pillanatok alatt kifagy: ilyen hőmérsékleteken a *jég* a stabil fázis.

A jég viszont még jobb hővezető, mint a víz, tehát a feladatban kérdezett végállapot a következő: *alul jég, felette levegő és egy kevés vízgőz keveréke, víz pedig egyáltalán nem lesz a hengerben!* A jég és a gáz határán a hőmérséklet $-9$ °C körül stabilizálódik.

Van ilyen alacsony hőmérsékletű vízgőz? Van. Tekintsük a $H_2O$ $(p,T)$ diagramját! Az *1. ábrán* feltüntettük azt az $A$ állapotot, amely a jég–gőz határfelületén alakul ki. A telített vízgőz nyomása itt mintegy 300 Pa, ami a $10^5$ Pa körüli nyomású levegőhöz képest nagyon kicsi, ezért lesz olyan kevés vízgőz a jég fölötti levegőben. ($H$-val a $H_2O$ hármaspontját jelöltük. Az ábra *nem* méretarányos.)



*1. ábra*