A **P. 4333.** feladat megoldása kapcsán több versenyzőben is felmerült a gondolat: milyen függvénnyel írhatók le a reális anyagok adiabatái?

A reális gázok izotermáira a legismertebb közelítés a *Van der Waals-állapotegyenlet* felhasználásával adódik:

$$\left(p+\frac{a}{V^2}\right)(V-b)=\text{állandó},\quad \text{ha } T=\text{állandó}.$$

Tudjuk azonban, hogy ennek az izotermának van olyan szakasza, amely pozitív meredekségű:

$$\left(\frac{\Delta p}{\Delta V}\right)_{T=\text{áll.}}>0.$$

Lehetséges ez? Az ezen szakaszon fekvő pontok *instabil* állapotokat reprezentálnak, mivel $\Delta V>0$-hoz $\Delta p>0$ tartozik (vagyis az anyag magától felrobban), illetve $\Delta V<0$ esetén $\Delta p<0$ (tehát az anyag magától összeomlik). A Van der Waals-izotermának ezek a szakaszai tehát *lehetetlen folyamatokat* jelölnek ki.

Azt is tudjuk, hogy a lehetetlen folyamat helyett egy „vízszintes” szakasz jelenik meg a (p,V) diagramon, amely folytonosan, de töréssel csatlakozik az izoterma ívekhez. A vízszintes izoterma mentén halmazállapot-változáson (fázisátalakuláson) megy át a reális anyag.

Van der Waals-közelítésben az adiabata:

$$\left(p+\frac{a}{V^2}\right)(V-b)^\kappa=\text{állandó},\quad \text{ahol } \kappa=\frac{c_p}{c_V}.$$

Joggal gyanakodhatunk azonban, hogy ennek a $p(V)$ függvénynek is lesznek irreális folyamatot reprezentáló részei. Nem is érdemes ezen az úton tovább kísérleteznünk, inkább induljunk ki valamelyik reális anyagon elvégzett mérésből! Ehhez nyújtanak segítséget a vízmérnöki gyakorlatban használt diagramok, vízgőz táblázatok.

Ami a vízgőz izotermákat illeti, ezek a $(p;V)$ koordináta-rendszerben valóban olyanok, amilyennek sejtettük: lecsapódás közben $p=$ állandó, ha $T=$ állandó; míg a száraz (vízcseppeket nem tartalmazó) gőz izotermája eléggé hasonlít az ideális gáz izotermájához: jó közelítésben

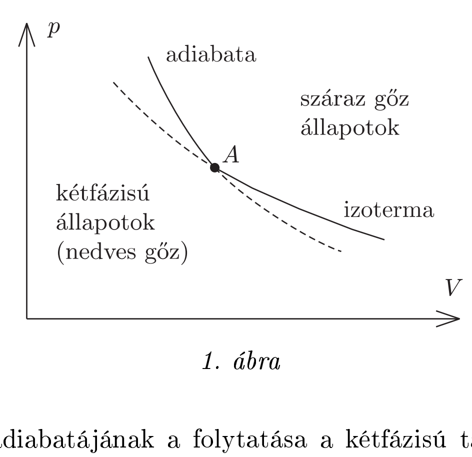
$$p\sim\frac{1}{V},\quad \text{ha}\quad T=\text{állandó}.$$

Hogyan néznek ki a vízgőz adiabaták? Induljunk ki a száraz gőz állapotból! A mérések szerint az ilyen vízgőz adiabatának az egyenlete:

$$pV^{1,3}=\text{állandó},\qquad \text{vagyis}\qquad p\sim\frac{1}{V^{1,3}}.$$

Ha ezt értelmezni szeretnénk, kínálkozik az $1{,}3\approx\frac{9}{7}$ közelítés. A kinetikus modellben ez olyan molekulákból álló gáznak felel meg, amelyeknek 7 szabadsági fokuk van. Jó fantáziával meg is indokolhatja valaki ezt a 7-et, de nem érdemes erőltetni. Már csak azért sem, mert a vízgőz fajhője nem állandó, hanem a hőmérséklettől függ. Vegyük észre, hogy a víz–vízgőz kétfázisú tartomány határa a $p-V$ diagramon olyan görbe, amely a $p_1\sim\frac{1}{V}$ izotermánál meredekebb, de a $p_2\sim\frac{1}{V^{1,3}}$ adiabatánál enyhébb meredekségű. Csak így értelmezhető ugyanis az a tapasztalat, hogy a lecsapódás megkezdéséhez a száraz vízgőzt izotermikusan össze kell nyomni, adiabatikusan azonban növelni kell a térfogatát.

Az izoterma az *1. ábrán* A-val jelölt állapot elérése után a kétfázisú tartományban vízszintesen folytatódik tovább. De hogyan folytatódik az adiabata?



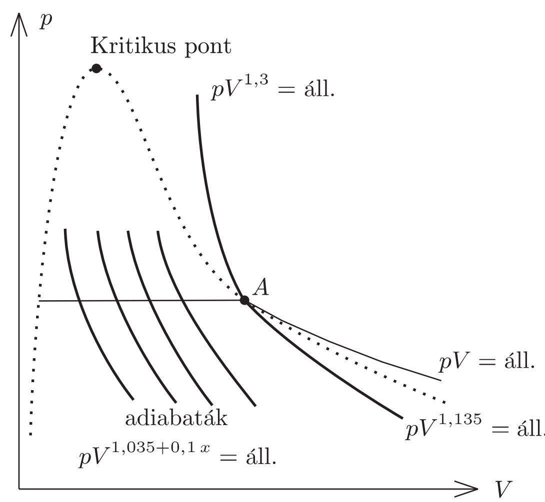
1. ábra

A mérések szerint a száraz gőz adiabatájának a folytatása a kétfázisú tartományban is $p\sim\frac{1}{V^\alpha}$ függvénnyel közelíthető, ahol azonban $\alpha=1{,}135$. Ebből következik, hogy a kétfázisú tartományt „jobbról” határoló görbe még ennél is „lankásabb” kell, hogy legyen.

Már csak az a kérdés, hogy ha a kétfázisú tartományban bárhol felveszünk egy pontot (kijelölünk egy állapotot) és ebből kezdjük adiabatikusan tágítani a rendszert, akkor találunk-e jól közelítő „adiabatikus függvényt”. A mérések szerint ezt az adiabatát egy olyan $p \sim \dfrac{1}{V^\alpha}$ függvény közelíti legjobban, ahol

$$\alpha = 1{,}035 + 0{,}1\,x.$$

Itt x jelenti a vízgőz tömegének az össztömeghez viszonyított kezdeti arányát (*2. ábra*). (Az *1. ábrán* látható A pontban, mivel ez határpont, ahol a teljes rendszer vízgőzből áll, $x = 1$. Így adódik az ottani $\alpha = 1{,}135$-ös kitevő.)



2. ábra

Felhasznált irodalom

[1] M. W. Zemansky: *Heat and Thermodinamics.*

[2] V. A. Kuzovljev: *Műszaki hőtan.*

Radnai Gyula