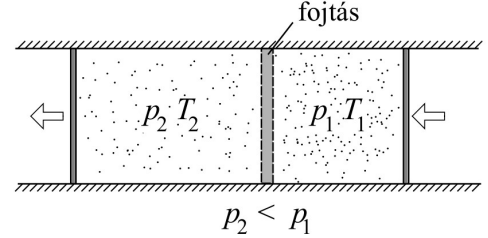


Olimpiai szakköri feladatok

2018. december 10.

1. Joule–Thomson-kísérlet

A következőkben ismertett Joule–Thomson-jelenség lehetőségét nyújt gázok hatékony hűtésére még alacsony hőmérsékletek esetén is. A kísérleti berendezés a következő: egy mindkét végén dugattyúval ellátott, hengeres tartály belsejét egy rögzített, porózus (lyukacsos) fal osztja két részre (lásd az *ábrát*), a henger gáz tölti ki. A tartály fala és a dugattyúk anyaga igen jó hőszigetelő.



A kísérlet kezdetén a p_1 nyomású gáz a jobb oldali térrészben helyezkedik el, a bal oldali dugattyú pedig a porózus falnál áll. Ezután a két dugattyút lassan, egyenletesen mozgatni kezdjük a nyílak irányába, ezért a gáz elkezd átdiffundálni a porózus falon. A fal fojtóhatása következtében a bal oldalon a gáz p_2 nyomása kisebb lesz, mint a jobb oldali p_1 nyomás, de mindvégig ügyelünk rá, hogy a nyomásértékek ne változzanak. A folyamat addig tart, amíg a gáz teljes egészében át nem kerül a bal oldali térrészbe.

a) Mutassuk meg, hogy a gáz minőségétől függetlenül a folyamat során megmarad az $E + pV$ mennyiség, ahol E az átnyomott gáz belső energiája, p a nyomása, V pedig a térfogata!

b) Ha ideális gázzal végeznénk a Joule–Thomson-kísérletet, hogyan változna a gáz hőmérséklete az átnyomás során?

A Joule–Thomson-kísérletben a valódi gázok az ideálistól eltérően viselkednek. A reális gázokat jó közelítéssel leíró Van der Waals-állapotegyenlet és a gáz E belső energiáját megadó formula 1 mólnyi gázmennyiségre a következő:

$$\left(p + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT, \quad E = C_V T - \frac{a}{V}, \quad (1)$$

ahol a és $b \ll V$ anyagtól függő, pozitív állandók, C_V az állandó térfogaton vett mólhő, R pedig az egyetemes gázállandó. A következőkben vizsgáljunk 1 mol reális gázt, és tegyük fel, hogy a jobb és a bal térfél közötti $\delta p = p_2 - p_1$ nyomáskülönbség kicsiny, azaz $|\delta p| \ll p_1$. Ekkor hasonlóan kicsiny lesz az átnyomási folyamat végére a gáz $\delta V = V_2 - V_1$ térfogatváltozása és $\delta T = T_2 - T_1$ hőmérséklet-változása is: $|\delta V| \ll V_1$, $|\delta T| \ll T_1$.

c) Az (1) egyenletek és az **a)** részben bizonyított megmaradási törvény felhasználásával mutassuk meg, hogy ilyen feltételek esetén a nyomáskülönbség és a gáz hőmérséklet-változása közötti kapcsolat vezető rendben

$$\delta T = \left(\frac{\gamma}{pV} - \lambda\right) \delta p \quad (2)$$

alakú, ahol γ és λ konstasok! Mekkora γ és λ értéke? (*Útmutatás:* Hanyagoljuk el az ab -t tartalmazó tagokat, és csak a vezető rendű tagokat hagyjuk meg a végén.)

d) Ha a valódi gáz kezdeti hőmérséklete nagyobb egy bizonyos T_i (ún. inverziós) hőmérsékletnél, akkor a Joule–Thomson-kísérlet során a gáz felmelegszik, ellenkező esetben lehűl. A (2) összefüggésben a $pV \approx RT$ közelítést használva határozzuk meg a reális gáz T_i inverziós hőmérsékletét a -val és b -vel kifejezve!

2. Régóta ismertek az úgynevezett nemlineáris ellenállások, melyek ellenállásának hőmérsékletfüggését széles körben vizsgálták. Készíthető olyan ellenállás, melynek kezdeti $R_1 = 50 \Omega$ ellenállása $R_1 = 100 \Omega$ értékre ugrik $T_1 = 100^\circ\text{C}$ hőmérsékleten, illetve az ellenállás hűtésekor az ellenállás $T_2 = 99^\circ\text{C}$ -on ugrik vissza a kezdeti értékre (lásd az *ábrát*).

Egy másik kísérletben állandó értékű, $U_1 = 60 \text{ V}$ feszültséget kapcsolnak ugyanerre az ellenállásra, aminek hatására az ellenállás hőmérséklete $T_3 = 80^\circ\text{C}$ -on stabilizálódott. Végül $U_2 = 80 \text{ V}$ feszültséget kapcsolnak az ellenállásra, és ekkor spontán módon kialakuló áramoscillációt észleltek az áramkörben.

Határozzuk meg az áramoscilláció periódusidejét, és ábrázoljuk grafikusán az áramerősséget az idő függvényében!

A laboratóriumban a levegő hőmérséklete $T_0 = 20^\circ\text{C}$ -os volt. Feltételezhetjük, hogy az ellenállás hőleadása teljes mértékben hővezetéssel történik, ami egyenesen arányos az ellenállás, illetve a labor levegőjének hőmérsékletkülönbségével. Az ellenállás hőkapacitása $C = 3 \text{ J/K}$.

