

*Soluție – Problema a II-a*

**Ușa frigiderului (10 puncte)**

Spațiul util din interiorul unui frigider poate fi asimilat unui cub cu latura  $\ell = 1\text{ m}$ . Se deschide ușa frigiderului aflat într-o cameră în care se găsește aer uscat – complet lipsit de vapori de apă – care are temperatura  $t_{\text{cameră}} = 40^\circ\text{C}$  și presiunea  $p_{\text{atmosferică}} = 10^5\text{ N/m}^2$ . După închiderea ușii frigiderului, temperatura din interiorul acestuia scade până la atingerea temperaturii de funcționare  $t_{\text{frigider}} = -10^\circ\text{C}$ .

a. Determină presiunea la care ajunge aerul din frigider după închiderea ușii și atingerea temperaturii de funcționare, dacă frigiderul este perfect etanș.

b. Presupune că ușa frigiderului se poate asimila cu o față a cubului cu latura  $\ell = 1\text{ m}$  care se rotește fără eforturi. Estimează valoarea minimă a forței cu care trebuie trasă ușa, de un mâner aflat la jumătatea muchiei opuse celei cu balamale, pentru a se deschide, după ce aerul cald ce a pătruns în frigider este adus la  $t_{\text{frigider}} = -10^\circ\text{C}$  și dacă frigiderul este perfect etanș.

c. Presupune că ai deschis ușa frigiderului și că apoi ai închis-o, dar în urma acestei operații, garnitura ușii nu a mai închis etanș compartimentul din interiorul frigiderului. În această situație, după  $\tau = 15\text{ minute}$  de la închiderea ușii frigiderului, presiunea în interiorul și în exteriorul frigiderului este cea atmosferică, iar temperatura din interiorul frigiderului este aceea de funcționare. Determină, pentru intervalul de timp  $\tau$ , viteza medie de variație a masei de aer din frigider.

Cunoști valoarea constantei universale a gazelor  $R = 8,3\text{ kJ/(kmol} \cdot \text{K)}$  și masa molară a aerului  $\mu_{\text{aer}} = 29\text{ kg/kmol}$ .

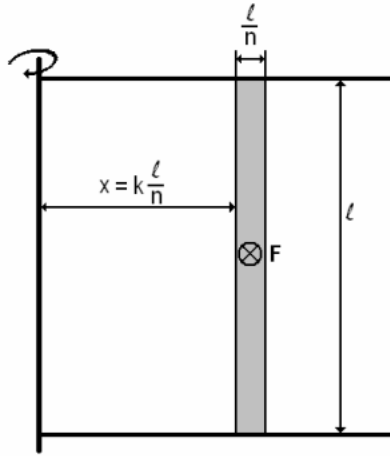
a. Dacă presiunea atmosferică în cameră este  $p_{\text{atmosferică}} = 10^5\text{ N/m}^2$  se poate determina expresia presiunii  $p_{\text{aer rece}}$  a aerului răcit în frigider până la temperatura  $t_{\text{frigider}} = -10^\circ\text{C}$ . În cursul răcirii aerul din incintă evoluează izocor și are - după răcire – presiunea  $p_{\text{aer rece}}$  cu expresia

$$p_{\text{aer rece}} = p_{\text{atmosferică}} \cdot \frac{T_{\text{frigider}}}{T_{\text{cameră}}} \quad (1)$$

Valoarea numerică a acestei presiuni este

$$p_{\text{aer rece}} \cong 8,4 \cdot 10^4\text{ N/m}^2 \quad (2)$$

b. Imaginează-ți divizarea suprafeței ușii frigiderului în  $n$  „fâșii” dreptunghiulare identice cu laturile lungi de lungime  $\ell$ , paralele cu latura în jurul căreia se rotește ușa.



Pe cea de a  $k$  „fâșie” îngustă, cu lățimea  $\ell/n$  diferența dintre presiunea exterioară și cea interioară determină apariția unei forțe  $F_{\text{elementara}}$ , perpendiculară pe ușă și îndreptată spre interiorul frigiderului. Expresia matematică a mărimii acestei forțe este

$$F_{\text{elementara}} = \frac{\ell^2}{n} \cdot (p_{\text{atmosferica}} - p_{\text{aer rece}}) \quad (3)$$

Forța determină apariția unui moment elementar, a cărui mărime are expresia

$$M_{\text{elementar}} = F_{\text{elementara}} \cdot \frac{\ell \cdot k}{n} = \frac{\ell^3 \cdot k}{n^2} \cdot (p_{\text{atmosferica}} - p_{\text{aer rece}}) \quad (4)$$

Momentul total  $M$  determinat de acțiunea forțelor de presiune asupra ușii este suma momentelor elementare. Expresia sa este

$$M = \frac{\ell^3}{n^2} \cdot (p_{\text{atmosferica}} - p_{\text{aer rece}}) \cdot \sum_{k=1}^n k \quad (5)$$

Deoarece

$$\sum_{k=1}^n k = n(n+1)/2 \quad (6)$$

Pentru o „divizare foarte mărunță”, a suprafeței ușii frigiderului, adică pentru o valoare a lui  $n$  foarte mare,

$$M = \frac{\ell^3}{2} \cdot (p_{\text{atmosferica}} - p_{\text{aer rece}}) \quad (7)$$

Forța minimă  $f_{\text{min}}$ , care trebuie aplicată mânerului pentru deschiderea ușii are expresia

$$f_{\text{min}} = \frac{M}{\ell} = \frac{\ell^2}{2} \cdot (p_{\text{atmosferica}} - p_{\text{aer rece}}) \quad (8)$$

Valoarea numerică a forței minime este

$$f_{\text{min}} \cong 8 \cdot 10^3 \text{ N} \quad (9)$$

Valoarea obținută, foarte mare, nu este – practic – necesară deoarece frigiderul nu este perfect etanș, astfel că în incintă, după închidere, pătrunde aer din cameră și diferența de presiune între exterior și interior dispare.

c. Pentru aerul aflat inițial în frigider, imediat după deschiderea ușii, se poate scrie ecuația de stare sub forma

$$p_{\text{atmosferica}} \cdot l^3 = \frac{m_{\text{initial}}}{\mu_{\text{apa}}} \cdot R \cdot T_{\text{camera}} \quad (10)$$

După egalarea presiunii și atingerea temperaturii de funcționare, ecuația de stare pentru aerul din frigider se poate scrie sub forma

$$p_{\text{atmosferica}} \cdot l^3 = \frac{m_{\text{final}}}{\mu_{\text{apa}}} \cdot R \cdot T_{\text{frigider}} \quad (11)$$

Masa de aer  $\Delta m$  intrată în frigider în timpul  $\tau$  are expresia

$$\Delta m = \frac{p_{atmosferica} \cdot l^3 \cdot \mu_{aer}}{R} \cdot \left( \frac{1}{T_{frigider}} - \frac{1}{T_{camera}} \right) \quad (12)$$

iar viteza de variație a masei de aer în frigider are expresia

$$\frac{\Delta m}{\tau} = \frac{p_{atmosferica} \cdot l^3 \cdot \mu_{aer}}{R \cdot \tau} \cdot \left( \frac{1}{T_{frigider}} - \frac{1}{T_{camera}} \right) \quad (13)$$

și valoarea numerică

$$\frac{\Delta m}{\tau} = \frac{10^5 \times 29}{8310 \times 900} \cdot \left( \frac{1}{263} - \frac{1}{313} \right) kg/s \cong 0,235 g/s \quad (14)$$

*Soluție propusă de:*

*Delia DAVIDESCU – Centrul Național pentru Curriculum și Evaluare în Învățământul Preuniversitar – Ministerul Educației  
Cercetării și Tineretului*

*Conf. univ. dr. Adrian DAFINEI - Facultatea de Fizică – Universitatea București*