

Problema experimentală nr. 1 – Porozitate (10 puncte)

I. Urme pe nisipul plajei

Imaginează-ți că alergi pe o plajă, în apropierea apei. Precizează dacă - imediat după trecerea unui val - suprafața de pe nisip, din jurul tălpii tale:

- (a) rămâne aproape neschimbată;
- (b) devine mai udă;
- (c) devine mai uscată;

Justifică, pe scurt, răspunsul.



II. Bureți metalici

Pulberile metalice poroase folosite pentru producerea catalizatorilor, pentru stocarea gazelor etc. sunt ansambluri de particule străbătute de canale, având o structură asemănătoare unor bureți.

În figura 1 este prezentată o porțiune dintr-o particulă sferică de pulbere străbătută de canale și înconjurată de alte particule. Sferele care constituie o pulbere poroasă sunt străbătute de rețele de pori (figura 2). Desenul din figura 2 nu este realizat „la scară”.

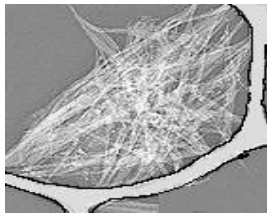


Figura 1

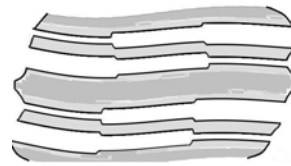


Figura 2

Prin microscopie optică se determină că particulele sferice ale unei pulberi metalice au raza $R = 200 \mu\text{m}$ și că porii cei mai largi observați la suprafața unei particule sferice din acest tip de pulbere au diametrul $d_1 = 10 \mu\text{m}$. Porii pot fi modelați printr-o succesiune de cilindri cu raze și lungimi diferite. Ambele capete ale unui por ies la suprafața particulei, astfel că nu există pori „înfundați”. În cele ce urmează, consideră că temperatura sistemului rămâne constantă.

A. Într-o seringă de 10cm^3 se introduce volumul $V = 6 \text{cm}^3$ de pulbere metalică. Masa pulberii introduse în seringă este $m_p = 1,2 \text{g}$. Se închide orificiul pentru ac al seringii și se comprimă aerul din seringă. Relația dintre volumului seringii (delimitat de piston) și presiunea din seringă este descrisă de datele din tabelul 1.

Sarcina de lucru nr.1

1.a. Descrie pe scurt o metodă prin care folosind datele furnizate și o reprezentare grafică adecvată să poți determina densitatea materialului masiv din care a fost produsă pulberea metalică poroasă.

1.b. Calculează valoarea densității materialului masiv din care a fost produsă pulberea metalică poroasă.

Tabelul 1

Nr. crt.	Volum (cm^3)	Presiune ($N \cdot m^{-2}$)
1	10	$1,000 \times 10^5$
2	9	$1,116 \times 10^5$
3	8	$1,263 \times 10^5$
4	7	$1,455 \times 10^5$
5	6	$1,714 \times 10^5$

B. În seringa al cărui orificiu pentru ac a fost închis se introduce volumul $V = 6,00 \text{ cm}^3$ de pulbere poroasă peste care se adaugă volumul $v_\ell = 4,00 \text{ cm}^3$ dintr-un lichid care nu udă materialul poros.

La început lichidul nu pătrunde în pulberea poroasă alcătuită din sfere - „burete”, identice ca dimensiune și porozitate, străbătute de canale de tipul celor prezentate în figura 2. În absența comprimării, aerul ocupă în pulbere atât locul liber care are volumul v_a dintre sferele care formează pulberea poroasă cât și canalele de diametre diferite din sfere. Volumele acestor canale sunt notate cu v_I, v_{II}, \dots , în ordinea descrescătoare a diametrelor acestora (notate respectiv cu d_I, d_{II}, \dots). În cursul rezolvării poți folosi următoarelor notații:

Notația	Mărimea fizică
v_m	Volumul materialului solid din sfere
v_a	Volumul aerului dintre sfere în starea inițială
v_I	Volumul porilor cu cel mai mare diametru
v_{II}	Volumul porilor cu diametrul al doilea ca lungime
...	
v_s	Volumul sferelor (material plus canale)
V	Volumul total al pulberii poroase
v_ℓ	Volumul lichidului

Se comprimă lent lichidul care începe să pătrundă în materialul poros, îndepărtând aerul. Dependența de presiune a volumului de sub piston este reprezentată grafic în figura 3, iar datele numerice referitoare la comprimare sunt cumulate în tabelul 2.

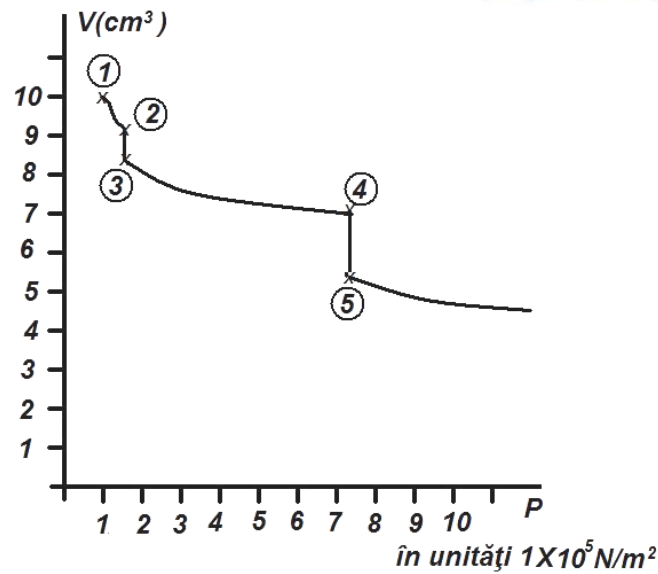


Figura 3

Tabelul 1

	①	②	③	④	⑤
$P(N \cdot m^{-2})$	$1,0 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^5$	$8,0 \cdot 10^5$	$8,0 \cdot 10^5$
$V (cm^3)$	10,00	9,16	8,74	7,07	5,11

Sarcina de lucru nr.2

- 2.a. Descrie pe scurt fenomenele care se produc în interiorul seringii, în timpul apăsării pistonului.
- 2.b. Precizează câte tipuri de pori sunt în particulele de pulbere metalică din seringă. Justifică răspunsul.
- 2.c. Determină valoarea volumul ocupat de particulele de pulbere metalică.
- 2.d. Determină valoarea volumului total pentru fiecare tip de pori.
- 2.e. Determină aria suprafeței porilor din pulberea metalică din seringă.
- 2.f. Estimează numărul de particule din volumul de material poros studiat.
- 2.g. Estimează lungimile totale ale porilor de fiecare tip, existenți într-o particulă.
- 2.h. Estimează numărul total de canale dintr-o particulă din pulberea metalică poroasă din seringă.

I. Urme pe nisipul plajei – Soluție

Atunci când apa trece înainte și înapoi pe nisipul plajei, particulele de nisip de pe plajă sunt rearanjate. Ele se „împachetează” foarte bine lăsând între ele spații extrem de mici astfel încât apa este expulzată din spațiile dintre particulele de nisip. Atunci când apăsarea piciorului determină o presiune suplimentară asupra nisipului, spațiile dintre firele de nisip se deschid permițând pătrunderea apei. Ca urmare suprafața din jurul piciorului care exercită presiunea devine mai uscată.

II. Bureți metalici – Soluție

Sarcina de lucru nr.1

1.a. Volumul real al aerului din seringă este diferența dintre volumul curent al seringii – (valoarea tabelată) și volumul necunoscut al materialului pulberii, v_m . Aerul din seringă descrie o transformare izotermă.

$$(V - v_m) \cdot p = k \tag{1}$$

sau

$$V = k \frac{1}{p} + v_m \tag{2}$$

Se poate adăuga tabelului 1 coloana $1/p$ și se poate face reprezentarea grafică a funcției descrisă prin relația (2).

Nr. crt.	Volum (cm^3)	Presiune ($N \cdot m^{-2}$)	1/Presiune ($m^2 \cdot N^{-1}$)
1	10	$1,000 \times 10^5$	$1,000 \times 10^{-5}$
2	9	$1,116 \times 10^5$	$0,896 \times 10^{-5}$
3	8	$1,263 \times 10^5$	$0,792 \times 10^{-5}$
4	7	$1,455 \times 10^5$	$0,687 \times 10^{-5}$
5	6	$1,714 \times 10^5$	$0,583 \times 10^{-5}$

Graficul dependenței $V = V\left(\frac{1}{p}\right)$ este o dreaptă a cărei intercepție la origine furnizează valoarea volumului v_m al materialului pulberii.

Expresia matematică ce descrie dependența $V = V\left(\frac{1}{p}\right)$ din figura 4 este

$$V = 9,58 \cdot \left(\frac{1}{p}\right) + 0,41 \tag{3}$$

Combinând relațiile (2) și (3) se obține volumul materialului - suport pentru particulele poroase

$$v_m = 0,41 cm^3 \tag{4}$$

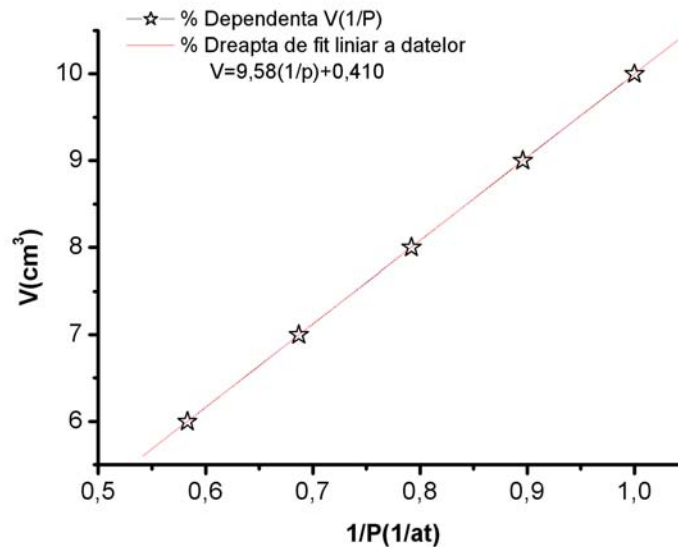


Figura 4

1.b. În timp ce densitatea pulberii poroase ρ_p este

$$\rho_p = \frac{1,2 \times 10^{-3}}{6 \times 10^{-6}} = 200 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \quad (5)$$

densitatea ρ_m a materialului masiv din care a fost făcută pulberea este cu mult mai mare

$$\rho_m = \frac{1,2 \times 10^{-3}}{0,41 \times 10^{-6}} = 2926 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \quad (6)$$

Valoarea numerică din relația (6) reprezintă răspunsul la sarcina de lucru 1.b.

Sarcina de lucru nr.2

2.a. În procesul 1 → 2, ca urmare a comprimării realizate cu ajutorul pistonului, lichidul elimină aerul dintre particule și ocupă locul acestora. Aerul eliberat este comprimat în seringă.

În procesul 2 → 3 aerul este eliminat din capilarele cu rază mare. Odată ce presiunea pentru umplerea capilarului s-a atins, procesul se desfășoară fără opreliște până la eliminarea totală a aerului din acest tip de capilare.

În procesul 3 → 4 are loc este comprimarea izotermă a aerului.

În procesul 4 → 5 se produce umplerea celui de-al doilea tip de capilare cu lichid, eliminarea aerului din aceste capilare și comprimarea la noua presiune a aerului din pori și dintre particule.

Procesele 2 → 3 și 4 → 5 sunt procese izobare; ele reprezintă „umplerea” porilor cu lichidul care nu udă materialul poros. Această umplere - care se face prin eliminarea aerului - se produce atunci când presiunea exterioară este suficientă pentru a permite depășirea presiunii capilare care împiedică pătrunderea lichidului în tuburi.

După atingerea stării ⑤ singurul proces care se mai petrece este comprimarea izotermă a aerului.

2.b. Deoarece în reprezentarea grafică din figura 3 există doar două „praguri” corespunzătoare proceselor 2 → 3, respectiv 4 → 5 se poate concluziona că există doar două tipuri de pori.

Precizarea de mai sus reprezintă răspunsul la sarcina de lucru 2.b.

2.c. Starea ① este starea inițială în care lichidul nu a pătruns în pulbere. În această stare volumul V_1 delimitat de piston este compus din

$$V_1 = v_s + v_a + v_\ell \quad (7)$$

În procesul $1 \rightarrow 2$, ca urmare a comprimării realizate cu ajutorul pistonului, lichidul elimină aerul dintre particule și ocupă locul acestora. Aerul eliberat este comprimat în seringă astfel că

$$V_2 = v_s + v_a \frac{P_1}{P_2} + v_\ell \quad (8)$$

Combinând expresiile din relațiile (7) și (8) se obține

$$V_2 = V_1 + v_a \left(\frac{P_1}{P_2} - 1 \right) \quad (9)$$

În procesul $2 \rightarrow 3$ aerul este eliminat din capilarele cu rază mare. La terminarea procesului, volumul V_3 al obiectelor din seringă este alcătuit din volumul particulelor în care a intrat parțial lichid, volumul lichidului și volumul aerului dintre particule împreună cu cel din prima categorie de pori comprimat la presiunea curentă.

$$V_3 = (v_s - v_I) + v_\ell + (v_a + v_I) \frac{P_1}{P_2} = V_1 + (v_a + v_I) \cdot \left(\frac{P_1}{P_2} - 1 \right) \quad (10)$$

În procesul $3 \rightarrow 4$ are loc este comprimarea izotermă a aerului. În starea ④ volumul materialului din seringă este

$$V_4 = V_1 + (v_a + v_I) \cdot \left(\frac{P_1}{P_4} - 1 \right) \quad (11)$$

În procesul $4 \rightarrow 5$ se produce umplerea celui de-al doilea tip de capilare cu lichid, eliminarea aerului din aceste capilare și comprimarea la noua presiune a aerului din pori și dintre particule.

$$\begin{cases} V_5 = (v_s - v_I - v_{II}) + v_\ell + (v_a + v_I + v_{II}) \frac{P_1}{P_4} \\ V_5 = V_1 + (v_a + v_I + v_{II}) \cdot \left(\frac{P_1}{P_4} - 1 \right) \end{cases} \quad (12)$$

După atingerea stării ⑤ singurul proces care se mai petrece este comprimarea izotermă a aerului.

Conform relației (9)

$$\begin{cases} v_a = \frac{V_2 - V_1}{\left(\frac{P_1}{P_2} - 1 \right)} \\ v_a = \frac{9,16 - 10}{\left(\frac{1}{1,6} - 1 \right)} = 2,24 \text{ cm}^3 \end{cases} \quad (13)$$

Deoarece volumul total din seringă este alcătuit inițial din pulbere, lichid și aerul dintre particule volumul total al particulelor de pulbere, în conformitate cu relația (7) este

$$\begin{cases} v_s = V_1 - v_\ell - v_a \\ v_s = 3,76 \text{ cm}^3 \end{cases} \quad (14)$$

Valoarea numerică din relația (14) reprezintă răspunsul la sarcina de lucru 2.c.

2.d. Utilizând relația (10) se obține

$$\left\{ \begin{array}{l} v_I = \frac{V_3 - V_1}{\left(\frac{P_1}{P_2} - 1\right)} - v_a \\ v_I = \frac{8,74 - 10}{\frac{1}{1,6} - 1} - 2,24 = 1,12 \text{ cm}^3 \end{array} \right. \quad (15)$$

Pentru cel de-al doilea tip de pori, conform relației (12) rezultă că:

$$\left\{ \begin{array}{l} v_{II} = \frac{V_5 - V_1}{\left(\frac{P_1}{P_4} - 1\right)} - v_a - v_I \\ v_{II} = \frac{5,11 - 10}{\frac{1}{8} - 1} - 3,36 = 2,23 \text{ cm}^3 \end{array} \right. \quad (16)$$

Valorile numerice din relațiile (15) și (16) reprezintă răspunsul la sarcina de lucru 2.d.

2.e. În reprezentarea grafică din figura 3, procesele izobare $2 \rightarrow 3$ și $4 \rightarrow 5$ indică „umplerea” porilor cu lichidul care nu udă materialul poros. Umplerea porilor se produce atunci când presiunea exterioară permite depășirea presiunii capilare, ce împiedică pătrunderea lichidului în tuburi.

$$P_{\text{capilar}} = \frac{2\sigma}{r} \quad (17)$$

Conform enunțului, porii de rază maximă (care se umplu primii) au raza $r_1 = 5 \mu\text{m}$. Cum primul prag de presiune apare la $P_2 = 1,6 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$, coeficientul de tensiune superficială al lichidului în contact cu materialul pulberii este

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma = \frac{P_2 \cdot r_1}{2} \\ \sigma = 400 \text{ mN/m} \end{array} \right. \quad (18)$$

Întrucât a doua presiune de prag $P_4 = 8 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ este de cinci ori mai mare decât presiunea pentru umplerea porilor largi, rezultă că porii următori au raza de cinci ori mai mică, $r_2 = 1 \mu\text{m}$.

Aria secțiunii transversale a porilor largi este

$$\left\{ \begin{array}{l} S_I = \pi \cdot r_1^2 \\ S_I = \pi \cdot 25 \times 10^{-12} \text{ m}^2 = 78,5 \times 10^{-12} \text{ m}^2 \end{array} \right. \quad (19)$$

Prin urmare, lungimea totală a porilor de primul tip este

$$\left\{ \begin{array}{l} \ell_I = \frac{v_I}{S_I} \\ \ell_I = \frac{1,12 \times 10^{-6}}{78,5 \times 10^{-12}} = 14267 \text{ m} \end{array} \right. \quad (20)$$

Aria secțiunii transversale a porilor mici este

$$\left\{ \begin{array}{l} S_{II} = \pi \cdot r_{II}^2 \\ S_{II} = \pi \cdot 1 \times 10^{-12} \text{ m}^2 = 3,14 \times 10^{-12} \text{ m}^2 \end{array} \right. \quad (21)$$

Prin urmare, lungimea totală a porilor de al doilea tip este

$$\begin{cases} \ell_{II} = \frac{V_{II}}{S_{II}} \\ \ell_{II} = \frac{2,23 \times 10^{-6}}{3,14 \times 10^{-12}} = 710191 m \end{cases} \quad (22)$$

Aria suprafeței porilor din prima categorie este

$$\begin{cases} SL_I = 2\pi \cdot r_I \cdot \ell_I \\ SL_I = 2\pi \cdot 5 \times 10^{-6} \cdot 14267 m^2 = 0,448 m^2 \end{cases} \quad (23)$$

iar a celor din a doua categorie este

$$\begin{cases} SL_{II} = 2\pi \cdot r_{II} \cdot \ell_{II} \\ SL_I = 2\pi \times 10^{-6} \cdot 710191 m^2 = 4,462 m^2 \end{cases} \quad (24)$$

Aria suprafeței totale a porilor este

$$S_{total} = 4,91 m^2 \quad (25)$$

Observație: Raportul dintre aria suprafeței porilor și masa materialului este mare

$$\begin{cases} \eta = \frac{S_{total}}{m} \\ \eta = \frac{4,91}{1,2 \times 10^{-3}} \approx 4 m^2 / g \end{cases} \quad (26)$$

ceea ce explică utilizarea pulberilor poroase la producerea de catalizatori, sau la stocarea prin adsorbție a gazelor.

Valoarea numerică din relația (25) reprezintă răspunsul la sarcina de lucru 2.e.

2.f. Volumul unei particule este

$$\begin{cases} V_{particulă} = \frac{4\pi \cdot R^3}{3} \\ V_{particulă} = \frac{4\pi \cdot (200 \times 10^{-6})^3}{3} \\ V_{particulă} = 8,37 \times 10^{-12} m^3 \end{cases} \quad (27)$$

Numărul N de particule din volumul de material poros studiat este

$$\begin{cases} N = \frac{V_s}{V_{particulă}} \\ N = \frac{3,76 \times 10^{-6}}{8,37 \times 10^{-12}} \cong 4,5 \times 10^5 \end{cases} \quad (28)$$

Valoarea numerică din relația (28) reprezintă răspunsul la sarcina de lucru 2.f.

1.g. Lungimea canalelor de primul tip dintr-un por este

$$\ell_{I,particula} = \frac{14267}{4,5 \times 10^5} \cong 31 \times 10^3 \mu m \quad (29)$$

Lungimea canalelor din al doilea tip de por este

$$\ell_{II,particula} = \frac{710191}{4 \times 10^5} = 1,7 m \quad (30)$$

Valorile numerice din relațiile (29) și (30) reprezintă răspunsul la sarcina de lucru 2.g.

2.h. Dacă se presupune că un canal are o lungime medie de $100 \mu m$, atunci numărul de canale cu diametru mare dintr-o particulă este

$$\begin{cases} n_{I,canale} = \frac{l_{I,particula}}{L_{medie}} \\ n_{I,canale} = \frac{31 \cdot 10^3 \mu m}{100 \mu m} = 310 \end{cases} \quad (31)$$

Numărul de canale cu diametru mic dintr-o particulă este

$$\begin{cases} n_{II,canale} = \frac{l_{II,particula}}{L_{medie}} \\ n_{II,canale} = \frac{1,7 m}{100 \mu m} = 17000 \end{cases} \quad (32)$$

Numărul total de canale dintr-o particulă din pulberea metalică este

$$\begin{cases} n_{total} = n_{I,canale} + n_{II,canale} \\ n_{total} = 17310 \end{cases} \quad (33)$$

Valoarea numerică din relația (33) reprezintă răspunsul la sarcina de lucru 2.h.

© Soluție propusă de:

Prof. Dr. Delia DAVIDESCU

Conf. univ. dr. Adrian DAFINEI