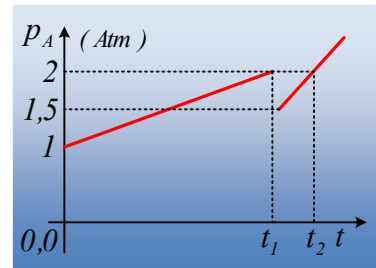
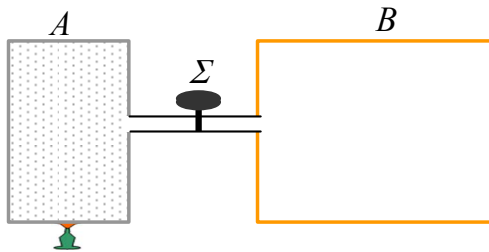


### Η θέρμανση και η «αποσυμπίεση» ενός αερίου.

Το Α δοχείο του σχήματος όγκου  $V$ , περιέχει ένα αέριο σε θερμοκρασία  $27^{\circ}\text{C}$  και επικοινωνεί με λεπτό σωλήνα μέσω κλειστής στρόφιγγας  $\Sigma$ , με δοχείο Β διπλάσιου όγκου με θερμομονωτικά τοιχώματα, το οποίο είναι κενό.



Σε μια στιγμή  $t=0$ , αρχίζουμε να θερμαίνουμε το δοχείο Α, ενώ τη στιγμή  $t_1$  ανοίγουμε για λίγο την στρόφιγγα, την οποία ξανακλείνουμε γρήγορα. Στο παραπάνω διάγραμμα δίνεται η γραφική παράσταση της πίεσης του αερίου στο δοχείο Α σε συνάρτηση με το χρόνο.

- i) Να εξηγήσετε το είδος της μεταβολής στην οποία υπόκειται το αέριο στο χρονικό διάστημα  $0-t_1$ .
- ii) Να υπολογιστεί η θερμοκρασία του αερίου στο δοχείο Α, λίγο πριν ανοίξουμε τη στρόφιγγα.
- iii) Να βρεθεί το ποσοστό των μορίων του αερίου, το οποίο μεταφέρεται από το Α δοχείο στο Β με ανοικτή τη στρόφιγγα.
- iv) Αφού υπολογίσετε την απόλυτη θερμοκρασία του αερίου στο Α δοχείο τη στιγμή  $t_2$  να κάνετε ένα ποιοτικό διάγραμμα της θερμοκρασίας στο Α δοχείο, σε συνάρτηση με το χρόνο.
- v) Να υπολογιστεί η πίεση και η θερμοκρασία του αερίου στο Β δοχείο τη στιγμή  $t_2$ .

#### Απάντηση:

- i) Από τη στιγμή  $t=0$ , μέχρι τη στιγμή που ανοίγουμε τη στρόφιγγα, το αέριο θερμαίνεται με σταθερό όγκο, συνεπώς η μεταβολή είναι μια ισόχωρη θέρμανση.
- ii) Για την ισόχωρη μεταβολή, ισχύει ο νόμος του Charles:

$$\frac{p_0}{T_0} = \frac{p_1}{T_1} \rightarrow T_1 = \frac{p_1}{p_0} T_0 = \frac{2 \text{ atm}}{1 \text{ atm}} (273 + 27) \text{ K} = 600 \text{ K}$$

- iii) Το αποτέλεσμα του ανοίγματος της στρόφιγγας είναι, μια ποσότητα αερίου να μεταφερθεί στο Β δοχείο, με αποτέλεσμα να μειωθεί η πίεση στην τιμή  $1,5 \text{ atm}$ . Από την καταστατική εξίσωση για το αέριο στο Α δοχείο, ελάχιστα πριν το άνοιγμα και ελάχιστα μετά το κλείσιμό της στρόφιγγας παίρνουμε:

$$p_1 V = nRT_1 \quad \text{και} \quad p'_1 V = n'RT'_1$$

Όμως με το άνοιγμα της στρόφιγγας δεν θα περάσουν στο Β δοχείο, ούτε τα μόρια με τις μεγαλύτερες ταχύτητες, ούτε αυτά με τις μικρότερες ταχύτητες, επιλεκτικά! Έτσι η μέση μεταφορική κινητική ενέργεια των μορίων που θα έρθουν στο Β δοχείο, θα είναι ίδια με τη μέση μεταφορική κινητική ενέργεια των μορίων που θα παραμείνουν στο Α δοχείο. Αλλά τότε δεν θα έχουμε καμιά αλλαγή στην θερμο-

κρασία του αερίου, στο Α δοχείο, αφού δεν μεταβάλλεται η ενέργεια των μορίων και  $\bar{K} = \frac{3}{2}kT$ , οπότε

$T_1 = T_1'$  και με διαίρεση των παραπάνω καταστατικών παίρνουμε:

$$\frac{p_1 V}{p_1' V} = \frac{n R T_1}{n' R T_1} \rightarrow \frac{p_1}{p_1'} = \frac{n}{n'} \rightarrow$$

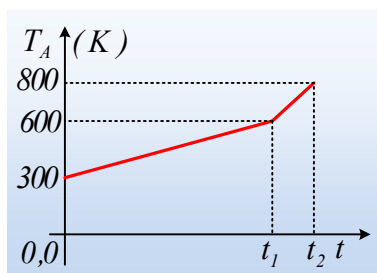
$$n' = \frac{p_1'}{p_1} n = \frac{1,5 \text{ atm}}{2 \text{ atm}} n = \frac{3}{4} n = 0,75 n = \frac{75}{100} n$$

Βλέπουμε δηλαδή ότι στο Α δοχείο παρέμειναν τα 75 στα 100 mol, οπότε έχουν παραμείνει και το 75% των μορίων του αερίου, αλλά τότε στο Β δοχείο μεταφέρθηκαν τα υπόλοιπα 25% των μορίων.

iv) Εφαρμόζουμε ξανά για την ισόχωρη μεταβολή, το νόμο του Charles ανάμεσα στην κατάσταση με το κλείσιμο της στρόφιγγας και την κατάσταση τη στιγμή  $t_2$ :

$$\frac{p_1'}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \rightarrow T_2 = \frac{p_2}{p_1'} T_1 = \frac{2 \text{ atm}}{1,5 \text{ atm}} 600 \text{ K} = 800 \text{ K}$$

Αλλά τότε με βάση τις παραπάνω τιμές και λαμβάνοντας υπόψη ότι, η πίεση σε κάθε χρονικό διάστημα, αυξάνεται γραμμικά, οπότε με βάση το νόμο του Charles και η απόλυτη θερμοκρασία θα αυξάνεται γραμμικά, αφού  $\frac{p}{T} = \text{σταθ} \rightarrow p = \text{σταθ} \cdot T$  η ζητούμενη γραφική παράσταση, θα είναι όπως στο παρακάτω διάγραμμα.



v) Με βάση τα προηγούμενα, η μέση μεταφορική κινητική ενέργεια των μορίων του αερίου στο Β δοχείο, είναι ίση με την αντίστοιχη ταχύτητα των μορίων στο Α δοχείο. Αλλά τότε και η θερμοκρασία στο δοχείο Β θα είναι ίση με  $T_B = T_1 = 600 \text{ K}$ . Έτσι παίρνοντας τις καταστατικές εξισώσεις για τα αέρια στα δύο δοχεία παίρνουμε:

$$p_A V = n R T_A \quad \text{και} \quad p_B \cdot 2V = n_B R T_B$$

Οπότε παίρνοντας τις αρχικές συνθήκες για το αέριο στο δοχείο Α και λαμβάνοντας υπόψη ότι  $n_B = 1/4 n$  (ερώτημα iii), με διαίρεση κατά μέλη έχουμε:

$$\frac{p_A V}{p_B \cdot 2V} = \frac{n R T_A}{n_B R T_B} \rightarrow \frac{p_A}{2 p_B} = \frac{n T_A}{\frac{1}{4} n T_B} \rightarrow$$

$$p_B = p_A \frac{T_B}{8 T_A} = 1 \text{ atm} \cdot \frac{600 \text{ K}}{8 \cdot 300 \text{ K}} = 0,25 \text{ atm}$$

**Σχόλια:**

- 1) Στο χρονικό διάστημα  $0-t_1$  η πίεση μεταβάλλεται γραμμικά με το χρόνο, συνεπώς η συνάρτηση  $p-t$  είναι της μορφής  $p=at+\beta$ , όπου για  $t=0$   $p=1\text{atm}$ , οπότε με αντικατάσταση έχουμε:

$$1 = a \cdot 0 + \beta \rightarrow \beta = 1\text{atm}.$$

Εξάλλου για  $t=t_1$ ,  $p=2\text{atm} \rightarrow 2 = at_1 + 1 \rightarrow a = \frac{1}{t_1}$  και η εξίσωση γράφεται:

$$p = \frac{1}{t_1}t + 1 \quad (\text{μονάδες στο S.I.})$$

Αλλά τότε ερχόμενοι στην  $p = \text{σταθ} \cdot T \rightarrow p = CT \rightarrow T = \frac{p}{C}$  ή

$$T = \frac{p}{C} = \frac{1}{Ct_1}t + \frac{1}{C}$$

$$T = At + B$$

Όπου  $A = \frac{1}{Ct_1}$  και  $B = \frac{1}{C}$ . Αλλά τότε και η απόλυτη θερμοκρασία είναι 1<sup>ου</sup> βαθμού συνάρτηση του χρόνου, με αποτέλεσμα η γραφική της παράσταση να είναι ευθεία γραμμή.

- 2) Η κλίση στο διάγραμμα  $T-t$  (αλλά και  $p-t$ ) είναι μεγαλύτερη στο χρονικό διάστημα  $t_2-t_1$ . Η κλίση αυτή δείχνει το ρυθμό μεταβολής της θερμοκρασίας, πράγμα που σημαίνει ότι στη μονάδα του χρόνου αυξάνεται περισσότερο η θερμοκρασία του αερίου για  $t > t_1$ . Αυτό συμβαίνει αφού μικρότερη ποσότητα αερίου, απορροφά πια το ίδιο ποσό θερμότητας.
- 3) Η λύση της άσκησης στηρίχτηκε στη γνώση της θεωρίας των αερίων, χωρίς να χρησιμοποιήσουμε θεωρία θερμοδυναμικής και μεγέθη όπως εσωτερική ενέργεια, θερμότητα ή  $C_p$ , μεγέθη που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε εναλλακτική αποδεικτική διαδικασία.

### Υλικό Φυσικής-Χημείας

Γιατί το να μοιάζεις πράγματα, είναι καλό για όλους...

Επιμέλεια:

Διονύσης Μάργαρης