

ΟΙ ΝΟΜΟΙ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ

(ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΤΙΚΗΣ ΕΞΙΣΩΣΗΣ)

A. ΣΤΟΧΟΙ

- Η εξοικείωση με τη χρήση απλών πειραματικών διατάξεων.
- Η εξοικείωση σε μετρήσεις θερμοκρασίας, όγκου και πίεσης με τα αντίστοιχα όργανα.
- Η εφαρμογή θεωρητικών γνώσεων στις μεταβολές αερίου.
- Η επιβεβαίωση ότι ο ατμοσφαιρικός αέρας συμπεριφέρεται ως ιδανικό αέριο στις συνθήκες του πειράματος.
- Η εξοικείωση στην κατασκευή γραφικών παραστάσεων και η εξαγωγή συμπερασμάτων από αυτές.
- Η κατανόηση και η εκτίμηση των σφαλμάτων που υπεισέρχονται κατά τις μετρήσεις.

B. ΘΕΜΑ

- Εισάγουμε σταδιακά ορισμένη ποσότητα αέρα σε κλειστό δοχείο και μετράμε κάθε φορά την πίεση του αέρα. Κάνουμε τη γραφική παράσταση της ποσότητας $p \cdot V / T$ του αέρα σε συνάρτηση με τον ολικό αριθμό n των mol του αέρα και επαληθεύουμε την ισχύ της καταστατικής εξίσωσης. Τέλος από τη γραφική παράσταση υπολογίζουμε την παγκόσμια σταθερά R των ιδανικών αερίων.

Γ. ΟΡΓΑΝΑ

- Κυλινδρικός μεταλλικός θάλαμος όγκου ~ 340 mL, κλειστός στο ένα άκρο, στο εσωτερικό του οποίου προσαρμόζεται έμβολο που κινείται μέσω χειρολαβής προώθησης και άγκιστρου επαναφοράς.
- Κυλινδρικό δοχείο από PVC (υδατόλουτρο) μέσα στο οποίο τοποθετείται ο μεταλλικός κυλινδρικός θάλαμος για δημιουργία μεταβαλλόμενων συνθηκών θερμοκρασίας.
- Μεταλλικό μανόμετρο με κλίμακα $0 - 2,5$ bar με υποδιαίρεσεις ανά $0,02$ bar, στο οποίο είναι προσαρμοσμένος εύκαμπτος σωλήνας για τη σύνδεσή του με τον μεταλλικό θάλαμο μέσω κατάλληλης στρόφιγγας τριών εισόδων.
- Ψηφιακό πολύμετρο – θερμομέτρο με αισθητήρα θερμοκρασίας. Για λόγους εξοικονόμησης μπαταρίας κλείνει αυτόματα μετά από λίγα λεπτά λειτουργίας και επανέρχεται σε λειτουργία πατώντας το μπουτόν POWER δύο φορές.
- Βαθμονομημένη κλίμακα μέτρησης του όγκου του αέρα $0 - 360$ mL με υποδιαίρεσεις ανά 2 mL.
- Δύο στρόφιγγες τριών εισόδων κατάλληλα συνδεδεμένες μεταξύ τους.
- Πλαστική σύριγγα των 20 mL με υποδιαίρεσεις ανά 1 mL.



Δ. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ

- Για την πραγματοποίηση και κατανόηση της άσκησης χρειάζονται οι παρακάτω γνώσεις από το σχολικό βιβλίο Κατεύθυνσης της Β' τάξης Γενικού Λυκείου :
 - ✓ Ενότητα 1 – 2 : Οι νόμοι των αερίων (Νόμος του Boyle)
 - ✓ Ενότητα 1 – 3 : Καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων
 - ✓ Ενότητα 1 – 4 : Κινητική θεωρία

Ε. ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΕΙΣ

- Γενική μεταβολή ονομάζεται η μεταβολή μιας ποσότητας ιδανικού αερίου, κατά την οποία καμία από τις ανεξάρτητες μεταβλητές p , V , T δεν παραμένει σταθερή.
- Ο νόμος της γενικής μεταβολής έχει εξίσωση :

$$\frac{p V}{T} = \text{σταθ.} = C_{\text{γεν}} \quad (1\alpha)$$

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} = C_{\text{γεν}} \quad (1\beta)$$

- Η σταθερή $C_{\text{γεν}}$ της γενικής μεταβολής εξαρτάται από τον αριθμό n των mol του αερίου.
- Σε κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, ($p_o = 1 \text{ atm}$ και $T_o = 273 \text{ K}$) μία ποσότητα n mol αερίου καταλαμβάνει όγκο $V_o = n V_{\text{mol}}$, οπότε από τον γενικό νόμο των αερίων προκύπτει το απλούστερο παράδειγμα καταστατικής εξίσωσης, που είναι γνωστή σαν καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων :

$$\frac{p V}{T} = \frac{p_o V_o}{T_o} = \frac{p_o (n V_{\text{mol}})}{T_o} = n \left(\frac{p_o V_{\text{mol}}}{T_o} \right) = n \cdot R \quad \text{ή}$$

$$p V = n R T \quad (2)$$

όπου :

$n = \frac{m}{M}$: ο αριθμός των mol του αερίου

M : η γραμμομοριακή μάζα του αερίου σε kg/mol

R : η παγκόσμια σταθερά των ιδανικών αερίων, που έχει την ίδια τιμή για όλα τα αέρια και η τιμή της εξαρτάται από τις μονάδες των p , V , T :

$$R = \frac{p_o V_{\text{mol}}}{T_o} \Rightarrow \begin{cases} R = \frac{1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{mol}}{273 \text{ K}} = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} & (\text{S.I.}) \\ \text{ή} \\ R = \frac{1 \text{ atm} \cdot 22,4 \text{ L/mol}}{273 \text{ K}} = 0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \end{cases}$$

- Κάθε στιγμή η πίεση του αέρα στο δοχείο είναι :

$$p_{\text{αέρα}} = p_{\text{ατμ}} + p_{\text{μιν}} \quad \text{ή}$$

$$p_{\text{αέρα}} \approx (1,01 + p_{\text{μιν}}) \text{ bar} = (1 + p_{\text{μιν}} / 0,99) \text{ Atm}$$

όπου $p_{\text{ατμ}}$ η ατμοσφαιρική πίεση και $p_{\text{μιν}}$ η ένδειξη (υπερπίεση) του μανομέτρου σε bar.

- Μερικές αντιστοιχίες στις μονάδες πίεσης είναι οι παρακάτω :

$$1 \text{ Atm (φυσική ατμόσφαιρα)} = 1,01325 \text{ bar} = 760 \text{ Torr} = 101325 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ bar} = 0,9869233 \text{ Atm} = 750,0617 \text{ Torr} = 10^5 \text{ Pa}$$

- Η μετατροπή ενός όγκου αέρα V από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος T στους $T_o = 273 \text{ K}$ γίνεται ως εξής :

$$\frac{V}{T} = \frac{V_o}{T_o} \quad \text{ή} \quad V_o = \frac{V T_o}{T} \quad (3)$$

- Η εύρεση του αριθμού n των mol όγκου V_o αέρα γίνεται ως εξής :

$$n = \frac{V_o}{V_{\text{mol}}} \quad (4)$$

- Από την (4) αντικαθιστώντας την (3) βρίσκουμε ότι :

$$n = \frac{V T_o}{T V_{\text{mol}}} \quad (5)$$

ΣΤ. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ

- Το μανόμετρο είναι στηριγμένο στο κολάρο στο πάνω μέρος του μεταλλικού κυλινδρικού θαλάμου.
- Συνδέουμε τον εύκαμπτο σωλήνα του μεταλλικού μανομέτρου μέσω του τριπλού διακόπτη στην αντίστοιχη έξοδο στο πάνω μέρος του κυλινδρικού μεταλλικού θαλάμου.
- Προσαρμόζουμε το αισθητήριο της θερμοκρασίας στην ειδική υποδοχή στο εξωτερικό του κυλινδρικού μεταλλικού θαλάμου.
- Τοποθετούμε προσεκτικά τον κυλινδρικό μεταλλικό θάλαμο μέσα στο άδειο υδατόλουτρο προσέχοντας να προσαρμόσουμε τον λεπτό σωλήνα και το καλώδιο του θερμοζεύγους στην αντίστοιχη εγκοπή στο πάνω μέρος του υδατόλουτρου.
- Προσαρμόζουμε την κλίμακα μέτρησης του όγκου στην ειδική υποδοχή του κυλινδρικού μεταλλικού θαλάμου πίσω από το στέλεχος του εμβόλου.
- Προσαρμόζουμε κατάλληλα το φινιρίσμα του καλωδίου του θερμοζεύγους στην αντίστοιχη υποδοχή του πολυμέτρου, που σημειώνεται σαν (°C) K TYPE THERMOCOUPLE. Ανοίγουμε το ψηφιακό πολύμετρο και θέτουμε τον επιλογέα στην αντίστοιχη θέση.
- Γυρίζουμε τα ρυθμιστικά των τριόδων στρόφιγγων σε τέτοια θέση, ώστε να επιτρέπουν την εισαγωγή αέρα στον κυλινδρικό θάλαμο.
- Πιέζοντας το μοχλό απελευθέρωσης του στελέχους, ανεβάζουμε το έμβολο από το άγκιστρο επαναφοράς, ώστε ο κυλινδρικός μεταλλικός θάλαμος να περιέχει 160 mL αέρα.
- Γυρίζουμε το ρυθμιστικό της κάτω στρόφιγγας, ώστε ο χώρος του θαλάμου να επικοινωνεί μόνο με το μανόμετρο.

Ζ. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Λήψη μετρήσεων

ΠΡΟΣΟΧΗ : Σε κάθε βήμα παρακάτω πρέπει να έχουμε σε κατάλληλη θέση τις στρόφιγγες, ώστε η σύριγγα :

- ✓ να επικοινωνεί μόνο με το περιβάλλον όταν τη γεμίζουμε εισάγοντας αέρα σ' αυτή
- ✓ να επικοινωνεί μόνο με τον μεταλλικό θάλαμο και το μανόμετρο όταν την αδειάζουμε εξάγοντας αέρα προς τον θάλαμο.

1. Σημειώνουμε την ένδειξη θ του ψηφιακού θερμομέτρου στον ΠΙΝΑΚΑ 1, την οποία θα διατηρούμε σταθερή σε όλη τη διάρκεια της μεταβολής.
2. Σημειώνουμε την τιμή $V_{αρχ}$ του αρχικού όγκου του αέρα, που διαβάζουμε στην κλίμακα μέτρησης του όγκου, στον ΠΙΝΑΚΑ 1 (είναι π.χ. $V_{αρχ} = 160$ mL που αντιστοιχούν σε $n_{αρχ}$ mol).
3. Σημειώνουμε σ' αυτή τη θέση την ένδειξη $p_{μαν}$ του μανομέτρου στον ΠΙΝΑΚΑ 1.
4. Εισάγουμε στη σύριγγα από το περιβάλλον αέρα όγκου $V_{\sigma} = 20$ mL, που έστω ότι αντιστοιχούν σε n_{σ} mol, τα οποία υπολογίζονται με τη βοήθεια της σχέσης (5) :

$$n_{\sigma} = \frac{V_{\sigma} T_0}{T V_{mol}}$$

5. Προσθέτουμε στον μεταλλικό θάλαμο τα n_{σ} mol αέρα της σύριγγας. Σημειώνουμε τη νέα τιμή των $(n_{αρχ} + n_{\sigma})$ mol στον ΠΙΝΑΚΑ 1.
6. Σημειώνουμε τη νέα τιμή της ένδειξης $p_{μαν}$ του μανομέτρου στον ΠΙΝΑΚΑ 1.
7. Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία 4 – 6 μέχρι να προσθέσουμε στον μεταλλικό θάλαμο συνολικά $6 n_{\sigma}$ mol αέρα και καταχωρούμε τις αντίστοιχες τιμές ποσότητας n και $p_{μαν}$ στον ΠΙΝΑΚΑ 1, προσέχοντας να διατηρούμε σταθερή τη θερμοκρασία του αέρα.

Επεξεργασία μετρήσεων

1. Υπολογίζουμε την απόλυτη θερμοκρασία T από τη σχέση $T = \theta + 273$ και καταχωρούμε την τιμή στον ΠΙΝΑΚΑ 1.

- Υπολογίζουμε την πίεση p του αέρα του θαλάμου (σε bar και Atm) και συμπληρώνουμε τις αντίστοιχες στήλες του ΠΙΝΑΚΑ 1. [$p \approx (1,01 + p_{\mu\alpha\nu}) \text{ bar} \approx (1 + p_{\mu\alpha\nu}/0,99) \text{ Atm}$].
- Υπολογίζουμε την παράσταση $p \cdot V_{\alpha\rho\chi} / T$ και συμπληρώνουμε την αντίστοιχη στήλη του ΠΙΝΑΚΑ 1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ				
$\theta = \dots\dots\dots \text{ }^\circ\text{C} = \text{στα}\theta.$ $V_{\alpha\rho\chi} = \dots\dots\dots \text{ mL} = \dots\dots\dots \text{ L}$ $T = \dots\dots\dots \text{ K} = \text{στα}\theta.$				
n (mol)	$p_{\mu\alpha\nu}$ (bar)	$p = p_{\alpha\tau\mu} + p_{\mu\alpha\nu}$ (bar)	p (Atm)	$p \cdot V_{\alpha\rho\chi} / T$ (Atm · L / T)
$n_{\alpha\rho\chi}$				
$n_{\alpha\rho\chi} + n_{\sigma}$				
$n_{\alpha\rho\chi} + 2 n_{\sigma}$				
$n_{\alpha\rho\chi} + 3 n_{\sigma}$				
$n_{\alpha\rho\chi} + 4 n_{\sigma}$				
$n_{\alpha\rho\chi} + 5 n_{\sigma}$				
$n_{\alpha\rho\chi} + 6 n_{\sigma}$				

- Συγκρίνουμε τις παραστάσεις $p \cdot V_{\alpha\rho\chi} / T$ που αντιστοιχούν σε κάθε ποσότητα και διατυπώνουμε στον ΠΙΝΑΚΑ 2 το ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ 1 διαγράφοντας τις κατάλληλες υπογραμμισμένες λέξεις.
- Κατασκευάζουμε τη γραφική παράσταση $p \cdot V_{\alpha\rho\chi} / T - n$.
- Διαπιστώνουμε τη μορφή της γραφικής παράστασης $p \cdot V_{\alpha\rho\chi} / T - n$ και διατυπώνουμε στον ΠΙΝΑΚΑ 2 το ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ 2 διαγράφοντας τις κατάλληλες υπογραμμισμένες λέξεις.
- Τι εκφράζει η κλίση της γραφικής παράστασης $p \cdot V_{\alpha\rho\chi} / T - n$; Διατυπώνουμε στον ΠΙΝΑΚΑ 2 το ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ 3 διαγράφοντας τις κατάλληλες υπογραμμισμένες λέξεις.
- Από ποια μεγέθη εξαρτάται η σταθερή $C_{\gamma\epsilon\nu}$ της γενικής μεταβολής; Διατυπώνουμε στον ΠΙΝΑΚΑ 2 το ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ 4 διαγράφοντας τις κατάλληλες υπογραμμισμένες λέξεις.
- Υπολογίζουμε την κλίση της γραφικής παράστασης, η οποία εκφράζει την μέση πειραματική τιμή της σταθεράς R_{π} των αερίων και σημειώνουμε την τιμή της συμπληρώνοντας στον ΠΙΝΑΚΑ 2 το ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ 5.

$$10. \text{Υπολογίζουμε το σφάλμα } \sigma \% = \frac{|R_{\theta} - R_{\pi}|}{R_{\theta}} 100 \% \text{ της μέσης πειραματικής τιμής } R_{\pi} \text{ σε σχέ-}$$

ση με τη θεωρητική τιμή $R_{\theta} = 0,082 \text{ atm} \cdot \text{L} / \text{mol} \cdot \text{K}$ της σταθεράς των αερίων και σημειώνουμε την τιμή του συμπληρώνοντας στον ΠΙΝΑΚΑ 2 το ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ 6.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Η παράσταση $p \cdot V_{\text{αρχ}} / T$ στο πείραμά μας <u>είναι</u> / <u>δεν είναι</u> σταθερή. 2. Η γραφική παράσταση $p \cdot V_{\text{αρχ}} / T - n$ έχει μορφή <u>ευθείας</u> / <u>υπερβολής</u> και αυτό σημαίνει ότι <u>είναι</u> / <u>δεν είναι</u> ανάλογη της ποσότητας n του αέρα. 3. Η κλίση της γραφικής παράστασης $p \cdot V_{\text{αρχ}} / T - n$ <u>εκφράζει</u> / <u>δεν εκφράζει</u> την μέση πειραματική τιμή της σταθεράς R_{π} των αερίων. 4. Η σταθερή $C_{\text{γεν}}$ της γενικής μεταβολής εξαρτάται από <u>την πίεση p</u> / <u>τον όγκο V</u> / <u>τη θερμοκρασία T</u> / <u>τον αριθμό n των mol</u> του αερίου. 5. Η κλίση της ευθείας $p \cdot V_{\text{αρχ}} / T - n$ είναι $R_{\pi} = \dots\dots\dots \text{ atm} \cdot \text{ L} / \text{ mol} \cdot \text{ K}$. 6. Το σφάλμα σ % μεταξύ της μέσης πειραματικής τιμής R_{π} και της θεωρητικής τιμής R_{θ} της σταθεράς των αερίων είναι $\dots\dots\dots$ %. |
|--|

Η. ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Τι συμπεράσματα βγάζουμε από τη μορφή της γραφικής παράστασης $p \cdot V_{\text{αρχ}} / T - n$;
2. Πού οφείλεται η απόκλιση μεταξύ της πειραματικής και της θεωρητικής τιμής της σταθεράς R των αερίων;

