

Νόμοι των αερίων

Σκοπός

Ο σκοπός αυτής της άσκησης είναι να μελετηθούν ταυτόχρονες μεταβολές της θερμοκρασίας, του όγκου και της πίεσης αερίου σύμφωνα με την καταστατική εξίσωση του ιδανικού αερίου. Θα μελετηθούν επίσης η ισόχωρη μεταβολή και η ισόθερμη μεταβολή.

Πειραματικός Εξοπλισμός

Θα χρησιμοποιήσουμε συσκευή μελέτης του ιδανικού αερίου που επιτρέπει ταυτόχρονη μέτρηση θερμοκρασίας και πίεσης ενός αερίου καθώς συμπιέζεται. Επίσης η συσκευή διαθέτει σφαίρα σταθερού όγκου με αισθητήρες θερμοκρασίας και πίεσης (Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Συσκευή για την μελέτη του ιδανικού αερίου.

Θεωρητικό υπόβαθρο

Το 1662, ο Robert Boyle ανακάλυψε ότι το γινόμενο της πίεσης (P) και του όγκου (V) ενός αερίου σε σταθερή θερμοκρασία είναι σταθερό.

$$PV = k_1 \quad (1)$$

όπου, k_1 είναι μια σταθερά. Επομένως, η πίεση και ο όγκος είναι αντιστρόφως ανάλογα.

Το 1787, ο Jacques Charles επαλήθευσε πειραματικά ότι ο όγκος και η θερμοκρασία (T) ενός αερίου σε σταθερή πίεση είναι ευθέως ανάλογα.

$$V = k_2 T \quad (2)$$

όπου, k_2 είναι μια σταθερά.

Το 1802, ο Joseph Gay-Lussac ανακάλυψε την αναλογία μεταξύ της πίεσης και της θερμοκρασίας ενός αερίου με σταθερό όγκο:

$$P=k_3T \quad (3)$$

όπου, K_3 είναι μια σταθερά.

Η καταστατική εξίσωση του ιδανικού αερίου συνδυάζει τις τρεις παραπάνω συσχετίσεις. Συνδέει την απόλυτη πίεση (P) και τον όγκο (V) ενός αερίου με την απόλυτη θερμοκρασία (T) σε βαθμούς Kelvin.

$$PV=nRT \quad (4)$$

όπου n είναι ο αριθμός γραμμομορίων αερίου και R είναι η σταθερά του ιδανικού αερίου.

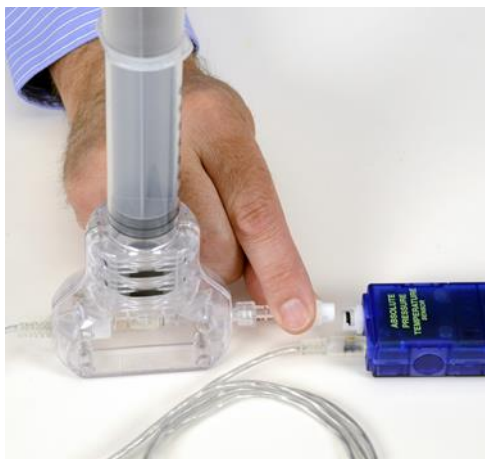
Μέρος Πρώτο – Ιδανικό Αέριο

Ρυθμίσεις

Η σύριγγα της καταστατικής εξίσωσης ιδανικού αερίου επιτρέπει ταυτόχρονη μέτρηση θερμοκρασίας και πίεσης ενός αερίου καθώς συμπιέζεται. Το βύσμα (stereo jack 3.5 mm) συνδέεται με ένα θερμίστορ μικρής θερμικής αδράνειας το οποίο είναι κολλημένο στο άκρο της σύριγγας για να μετράει θερμοκρασιακές αλλαγές μέσα στην σύριγγα. Το βύσμα μπαίνει κατευθείαν στον αισθητήρα.

Ο λευκός πλαστικός ταχυσύνδεσμος των σωληνώσεων συνδέεται στην μέτρησης πίεσης του αισθητήρα: Με μια ελαφρά περιστροφή κλειδώνει στην θύρα (Σχήμα 2). Αυτός ο λευκός πλαστικός ταχυσύνδεσμος μπορεί να αποσυνδεθεί και να επανασυνδεθεί κατά την διάρκεια του πειράματος για να επιτρέψει διαφορετικές αρχικές θέσεις του εμβόλου. Όλα τα διάφανα πλαστικά εξαρτήματα είναι κολλημένα και δεν μπορούν να αφαιρεθούν.

Το έμβολο είναι εξοπλισμένο με μηχανικό στοπ που προστατεύει το θερμίστορ και επιτρέπει επίσης μια γρήγορη, προκαθορισμένη αλλαγή του όγκου. Ποτέ μην χτυπάτε το έμβολο κάτω προς το τραπέζι. Πάντα να κρατάτε την σύριγγα και το έμβολο όπως φαίνεται στο Σχήμα 3 όταν πρόκειται να συμπιέσετε το αέριο.



Σχήμα 2. Σύνδεση του αισθητήρα.



Σχήμα 3. Συμπίεση της σύριγγας.

Εκτέλεση της άσκησης

1. Αποσυνδέστε τον ταχυσύνδεσμο από τον αισθητήρα. Πιέστε το έμβολο της σύριγγας μέχρι το τέρμα, έως ότου η λαβή του εμβόλου να βρει στο μηχανικό στοπ. Καταγράψτε αυτόν τον ελάχιστο όγκο. Πρέπει να είναι κοντά στα 20 cc.
2. Ρυθμίστε το έμβολο στα 40 cc και καταγράψτε την τιμή στον Πίνακα Ι (“Table I”) και στην συνέχεια συνδέστε ξανά τον ταχυσύνδεσμο στον αισθητήρα.

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι: Όγκος σύριγγας

Αρχικός όγκος (ml)	Τελικός όγκος (ml)

3. Ξεκινήστε την εγγραφή δεδομένων. Συμπιέστε γρήγορα το έμβολο μέχρι τέρμα και κρατήστε το συμπιεσμένο. Η λαβή του εμβόλου πρέπει να βρίσκεται στο στοπ.
4. Παρακολουθήστε τις γραφικές παραστάσεις της πίεσης και της θερμοκρασίας και συνεχίστε να κρατάτε το έμβολο μέχρι να μην αλλάζουν πλέον οι ενδείξεις. Αυτό θα διαρκέσει περίπου 10 δευτερόλεπτα.
5. Όταν η θερμοκρασία και η πίεση σταθεροποιηθούν, αφήστε το έμβολο. Και πάλι, παρακολουθήστε τις γραφικές παραστάσεις και περιμένετε έως ότου οι ενδείξεις να μην αλλάζουν πλέον.

6. Διακόψτε την συλλογή δεδομένων.

Επεξεργασία μετρήσεων

1. Κοιτάξτε τα διαγράμματα πίεσης και θερμοκρασίας. Συσχετίστε τις αλλαγές στην πίεση και την θερμοκρασία με την κίνηση του εμβόλου.

2. Τι συνέβη στην θερμοκρασία όταν συμπιέστηκε ο αέρας; Γιατί;

3. Ποια είναι η θερμοκρασία ισορροπίας του αερίου όταν συμπιέστηκε; Γιατί; Ποια είναι η πίεση ισορροπίας; Γιατί δεν επιστρέφει στην αρχική πίεση;

4. Τι συνέβη στην θερμοκρασία κατά την διάρκεια της εκτόνωσης (όταν απελευθερώσατε το έμβολο); Γιατί; Είναι μικρότερη από την θερμοκρασία δωματίου; Μειώνεται η πίεση κάτω από την αρχική πίεση; Τι θα έπρεπε να κάνετε για να συμβεί αυτό;

5. Μετρήστε την αρχική θερμοκρασία (T_1) και την πίεση (P_1) του αερίου από τα δεδομένα σας λίγο πριν το συμπιέσετε. Μπορείτε να επισημάνετε μια περιοχή (κάντε κλικ και σύρετε) στο διάγραμμα και αυτά δεδομένα θα εμφανιστούν στον πίνακα δεδομένων. Αυτά τα δεδομένα αντιστοιχούν σε έναν αρχικό όγκο (V_1) 40 cc.

6. Επισημάνετε την περιοχή στο διάγραμμα θερμοκρασίας όπου αυτή μεγιστοποιείται. Επιλέξτε το μέρος όπου η θερμοκρασία μεγιστοποιείται, όχι η πίεση. Χρειάζεται ο αισθητήρας θερμοκρασίας περίπου 1/2 δευτερόλεπτο για να ανταποκριθεί. Καταγράψτε την μέγιστη θερμοκρασία (T_2) και την μέγιστη πίεση (P_2). Αυτά τα δεδομένα αντιστοιχούν στον όγκο (V_2) των 20 cc. Σημείωση: Εάν ο συμπιεσμένος όγκος που φαίνεται στην σύριγγα είναι διαφορετικός από 20 cc, χρησιμοποιήστε αυτήν την διαφορετική τιμή.

7. Χρησιμοποιήστε την καταστατική εξίσωση του ιδανικού αερίου για να δείξετε ότι η αναλογία όγκων μπορεί να εκφραστεί ως:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1 P_2}{T_2 P_1}$$

όπου ο δείκτης 1 αναφέρεται στην αρχική κατάσταση (όγκος = 40 cc) και ο δείκτης 2 αναφέρεται στην τελική κατάσταση (όγκος = 20 cc) μετά τη συμπίεση.

8. Χρησιμοποιήστε τις τιμές πίεσης και θερμοκρασίας για να υπολογίσετε τον λόγο των όγκων. Να συγκρίνετε τον λόγο αυτόν με τον πραγματικό λόγο; Είναι περίπου ίδιοι;

Μέρος Δεύτερο – Σταθερή Θερμοκρασία

Εκτέλεση της άσκησης

1. Αποσυνδέστε τον ταχυσύνδεσμο από τον αισθητήρα. Ρυθμίστε το έμβολο στα 50 cc και στην συνέχεια, συνδέστε ξανά τον ταχυσύνδεσμο στον αισθητήρα.
2. Ξεκινήστε εγγραφή των δεδομένων. Πιέστε το έμβολο στα 45 cc και κρατήστε το σε αυτήν τη θέση. Παρακολουθήστε την θερμοκρασία στην ψηφιακή οθόνη και περιμένετε μέχρι να πέσει κοντά στην θερμοκρασία δωματίου. Σημειώστε την τελική θερμοκρασία. Κάθε φορά που συμπιέζετε τον αέρα με αυτήν τη σειρά, περιμένετε έως ότου η θερμοκρασία επιστρέψει κοντά σε αυτήν την τιμή.
3. Συμπιέστε το έμβολο στα 40 cc και κρατήστε το σε αυτήν τη θέση. Παρακολουθήστε την θερμοκρασία και κρατήστε το έμβολο στα 40 cc έως ότου η θερμοκρασία πέσει στην τιμή που σημειώσατε στο βήμα 2. Μην απελευθερώσετε το έμβολο.
4. Συμπιέστε το έμβολο στα 35 cc και περιμένετε μέχρι να μειωθεί η θερμοκρασία όπως πριν.
5. Επαναλάβετε για 30 cc και 25 cc.
6. Σταματήστε την εγγραφή δεδομένων.

Επεξεργασία μετρήσεων

1. Μελετώντας το διάγραμμα πίεσης-όγκου, δοκιμάστε διάφορα “QuickCalcs” στον άξονα του όγκου (Volume axis) για να δείτε ποιο δίνει ευθεία γραμμή. Στην συνέχεια, κάντε μια γραμμική προσαρμογή καμπύλης (linear curve-fit) για να δείτε πόσο καλά ταιριάζει.
2. Πώς σχετίζονται η απόλυτη πίεση και ο όγκος σύμφωνα με τα αποτελέσματά σας; Υπό ποιες προϋποθέσεις ισχύει αυτή η σχέση;

3. Ποιες φυσικές ποσότητες συνθέτουν την κλίση της ευθείας γραμμής στο διάγραμμα;

4. Χρησιμοποιήστε την τιμή της κλίσης για να προσδιορίσετε τον αριθμό γραμμομορίων (n) αέρα στην σύριγγα. Δώστε προσοχή στις μονάδες!

5. Κοιτάξτε προσεκτικά το διάγραμμα απόλυτης πίεσης–όγκου. Γιατί υπάρχει μετατόπιση στον άξονα στον όγκο; Που οφείλεται αυτός ο επιπλέον όγκος;

Μέρος Τρίτο – Σταθερός Όγκος

Ρυθμίσεις

Η συσκευή απολύτου μηδενός αποτελείται από μια άδεια σφαίρα που λειτουργεί σαν δοχείο σταθερού όγκου καθώς η συσκευή τοποθετείται σε λουτρό με νερό σε διάφορες θερμοκρασίες. Συνδέστε το βύσμα (jack) στην θύρα θερμοκρασίας για να μετρήσετε την θερμοκρασία χρησιμοποιώντας το θερμίστορ που είναι ενσωματωμένο στο τοίχωμα της σφαίρας. Συνδέστε τον ταχυσύνδεσμο στην θύρα πίεσης για να μετρήσετε την πίεση μέσα στη σφαίρα.

Θα χρειαστείτε μια πηγή ζεστού νερού και μια πηγή κρύου νερού (ή πάγου).

Βαθμονόμηση αισθητήρα πίεσης: Μπορεί να είναι απαραίτητη η βαθμονόμηση του αισθητήρα απόλυτης πίεσης. Ο αισθητήρας θα πρέπει να μετράει 101 kPa όταν τον εξισώνετε με την ατμοσφαιρική πίεση. Εάν δεν μετράει την σωστή τιμή, ανοίξτε το εργαλείο βαθμονόμησης (Calibration tool) στα αριστερά της οθόνης και βαθμονομήστε την πίεση χρησιμοποιώντας το "One Standard (1 point offset)"

Εκτέλεση

1. Ρυθμίστε τον ρυθμό σάρωσης ('sample rate') στα 10 Hz. Δημιουργήστε στο λογισμικό μία γραφική παράσταση Θερμοκρασίας (°C) – Απόλυτης Πίεσης. Δημιουργήστε έναν πίνακα Θερμοκρασία και Απόλυτη Πίεση. Επιλέξτε χειροκίνητη δειγματοληψία ('Manual sampling' στο Setup Menu).
2. Γεμίστε ένα από τα πλαστικά δοχεία με αρκετό ζεστό νερό για να καλύψετε την σφαίρα (Σχήμα 4). Γεμίστε ένα άλλο δοχείο με πάγο και νερό. Γεμίστε το τρίτο δοχείο με νερό σε θερμοκρασία δωματίου. Βυθίστε εντελώς την σφαίρα στο ζεστό νερό. Βεβαιωθείτε ότι ο λευκός ταχυσύνδεσμος πίεσης είναι συνδεδεμένος

στον αισθητήρα αφού τοποθετήσετε την σφαίρα στο ζεστό νερό, έτσι ώστε ο αριθμός γραμμομορίων αερίου να έχει ρυθμιστεί ενώ βρίσκεται στο ζεστό νερό.

- Ξεκινήστε την εγγραφή δεδομένων. Βυθίστε εντελώς την σφαίρα και περιμένετε να σταθεροποιηθούν η πίεση και η θερμοκρασία. Κάντε κλικ στο πλήκτρο “Keep” για να αποθηκεύσετε αυτό το ζεύγος δεδομένων.
- Βάλτε την σφαίρα στο παγωμένο νερό και βυθίστε την πλήρως. Μην συνδέσετε ξανά τον ταχυσύνδεσμο. Περιμένετε να επέλθει ισορροπία και στην συνέχεια κάντε κλικ στο πλήκτρο “Keep”.
- Βάλτε την σφαίρα στο νερό θερμοκρασίας δωματίου. Ανακατέψτε το νερό για να πάρετε μια ομοιόμορφη θερμοκρασία και κάντε κλικ στο πλήκτρο “Keep” όταν η πίεση και η θερμοκρασία σταθεροποιηθούν.
- Πατήστε το πλήκτρο “Stop”.
- Ξεκινήστε μια νέα μέτρηση και βάλτε την σφαίρα στο παγωμένο νερό και εξισώστε την πίεση αποσυνδέοντας και στην συνέχεια επανασυνδέοντας τον ταχυσύνδεσμο, ενώ η σφαίρα βρίσκεται στο παγωμένο νερό. Αυτό κάνει την σφαίρα να έχει διαφορετική ποσότητα αερίου μέσα της. Μόλις σταθεροποιηθεί η πίεση και η θερμοκρασία, πατήστε “Keep”.
- Βάλτε την σφαίρα στο νερό θερμοκρασίας δωματίου και πατήστε το “Keep” μόλις σταθεροποιηθεί η θερμοκρασία.
- Τέλος, βάλτε την σφαίρα στο ζεστό νερό, περιμένετε να σταθεροποιηθούν οι ενδείξεις και στην συνέχεια, πατήστε το πλήκτρο “Keep”. Μετά πατήστε “Stop”.
- Επαναλάβετε αυτήν την διαδικασία, εξισώνοντας πρώτα την πίεση στο λουτρό θερμοκρασίας δωματίου, μετά πηγαίνετε στο λουτρό πάγου και μετά πηγαίνετε στο λουτρό ζεστού νερού.

Επεξεργασία μετρήσεων

Προσδιορισμός του απόλυτου μηδενός

Εξ ορισμού, η πίεση ενός αερίου είναι μηδέν στο απόλυτο μηδέν. Βρείτε την θερμοκρασία στην οποία $P = 0$ για κάθε εκτέλεση. Θα πρέπει να ταιριάζετε μια ευθεία γραμμή σε κάθε εκτέλεση για να το κάνετε αυτό.

	▶ Set	✕ Set
	Run	Absolute Zero (°C)
1	Ice Water First	-270.6
2	Hot Water First	-270.9
3	Room Temp First	-272.0
4		
5		
Mean	--	-271.2
Std. Dev.	--	0.7

1. Με την χρήση παχυμέτρου, μετρήσετε την διάμετρο της σφαίρας και να υπολογίσετε τον όγκο της. Είναι αυτή η μέτρηση μικρότερη ή μεγαλύτερη από τον πραγματικό όγκο της σφαίρας; Γιατί;

2. Χρησιμοποιήστε τον καταστατική εξίσωση του ιδανικού αερίου για να δείξετε ότι ένα διάγραμμα θερμοκρασίας έναντι πίεσης οδηγεί σε ευθεία γραμμή με κλίση που δίνεται από:

$$\text{κλίση} = \frac{V}{nR}$$

3. Προσδιορίστε την κλίση αυτής της γραμμής από το διάγραμμα θερμοκρασίας–πίεσης για μία από τις εκτελέσεις σας. Χρησιμοποιήστε τις τιμές σας για να προσδιορίσετε τον αριθμό γραμμομορίων (n) αέρα στη σφαίρα. Δώστε προσοχή στις μονάδες!

Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις

Γράψτε μια περίληψη των αποτελεσμάτων σας. Ποια είναι τα γενικά συμπεράσματα που μπορείτε να εξάγετε από τα αποτελέσματά σας; Για παράδειγμα, πώς αλλάζει η πίεση ενός αερίου όταν ο όγκος μειώνεται σε σταθερή θερμοκρασία;

Δώστε την αριθμητική τιμή του απολύτου μηδενός που προσδιορίσατε, συμπεριλαμβανομένης της αβεβαιότητας, της αποδεκτής τιμής και της ποσοστιαίας διαφοράς μεταξύ τους. Ήταν η τιμή που βρήκατε χαμηλότερη ή υψηλότερη από την αποδεκτή τιμή; Η αποδεκτή τιμή εμπίπτει στα όρια της αβεβαιότητας της μέτρησής σας; Γιατί ή γιατί όχι;