



Κινητική θεωρία των αερίων

Νόμοι των αερίων

Μετά τη μελέτη αυτού του κεφαλαίου θα μπορείς:

- Να διακρίνεις τη μακροσκοπική από τη μικροσκοπική εξέταση ενός αερίου.
- Να ορίζεις το ιδανικό αέριο μακροσκοπικά και μικροσκοπικά και να διακρίνεις τις συνθήκες υπό τις οποίες τα πραγματικά αέρια υπακούουν στους νόμους που προέκυψαν για τα ιδανικά αέρια.
- Να γράφεις τις εξισώσεις που περιγράφουν τις μεταβολές των ιδανικών αερίων καθώς και την καταστατική εξίσωση τους.
- Να αποδίδεις τις μεταβολές των ιδανικών αερίων σε διαγράμματα με άξονες p - V , p - T και V - T .
- Να συνδέεις τη θερμοκρασία του αερίου με τη μέση κινητική ενέργεια των μορίων του.

Οι καταστάσεις της ύλης

Η ύλη διακρίνεται σε τρεις βασικές καταστάσεις:

- Τα στερεά: είναι τα σώματα με σταθερό σχήμα και σταθερό όγκο
- Τα υγρά: είναι τα σώματα με σταθερό όγκο αλλά μεταβλητό σχήμα (παίρνουν το σχήμα του δοχείου στο οποίο περιέχονται)
- Τα αέρια: είναι τα σώματα με μεταβλητό σχήμα και μεταβλητό όγκο (καταλαμβάνουν πάντα όλο τον όγκο του δοχείου που περιέχονται)

Στερεά

Σε ένα στερεό σώμα τα μόρια βρίσκονται σε συγκεκριμένες θέσεις το ένα σε σχέση με το άλλο, εξαιτίας πολύ ισχυρών διαμοριακών δυνάμεων, με αποτέλεσμα το σώμα να μην αλλάζει ούτε σχήμα ούτε όγκο.

Καταστάσεις των υλικών-Προσομοίωση



Υγρά

Σε ένα υγρό σώμα τα μόρια μπορούν να κινούνται το ένα σε σχέση με το άλλο, χωρίς όμως να απομακρύνονται μεταξύ τους, εξαιτίας αρκετά ισχυρών διαμοριακών δυνάμεων. Έτσι το σώμα μπορεί να αλλάζει σχήμα αλλά όχι όγκο.

Καταστάσεις των υλικών-Προσομοίωση



Αέρια

Σε ένα αέριο σώμα τα μόρια μπορούν να κινούνται ανεξάρτητα το ένα από το άλλο, λόγω των πολύ ασθενών διαμοριακών δυνάμεων. Έτσι το σώμα μπορεί να αλλάζει σχήμα αλλά και όγκο.

Καταστάσεις των υλικών-Προσομοίωση



Μακροσκοπική και Μικροσκοπική μελέτη

Μακροσκοπική είναι η μελέτη ενός αερίου με τη μέτρηση μακροσκοπικών μεταβλητών του αερίου, όπως η πίεση (p), η θερμοκρασία (T) και ο όγκος (V). Οι μεταβλητές αυτές ονομάζονται έτσι διότι “βλέπουν” το αέριο σαν ένα σώμα, και όχι ως σύνολο μορίων.

Μικροσκοπική είναι η μελέτη ενός αερίου μέσω της μελέτης της συμπεριφοράς των μορίων του, δηλαδή μέσω του υπολογισμού των ταχυτήτων των μορίων. Η μελέτη αυτή βέβαια δεν γίνεται για κάθε μόριο ξεχωριστά, αλλά είναι στην ουσία μια στατιστική ανάλυση.

Μακροσκοπική μελέτη

Όπως αναφέραμε, στην μακροσκοπική μελέτη χρησιμοποιούμε τις τρεις μακροσκοπικές μεταβλητές, τον όγκο, τη θερμοκρασία και την πίεση.

Όγκος ($V\text{-m}^3$): Εκφράζει το μέγεθος του χώρου που καταλαμβάνει το αέριο.

Θερμοκρασία ($T\text{-K}$): Οφείλεται στις ταχύτητες των μορίων του αερίου. Χαρακτηρίζει ένα αέριο ως θερμότερο ή ψυχρότερο από το περιβάλλον του.

Πίεση ($p\text{-N/m}^2$): Ορίζεται ως το πηλίκο της μέσης δύναμης ΣF που ασκούν τα μόρια του αερίου στα τοιχώματα του δοχείου, προς το εμβαδόν της επιφάνειας του τοιχώματος:

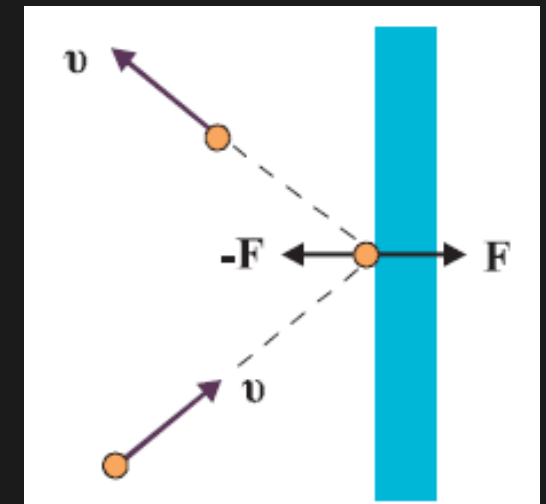
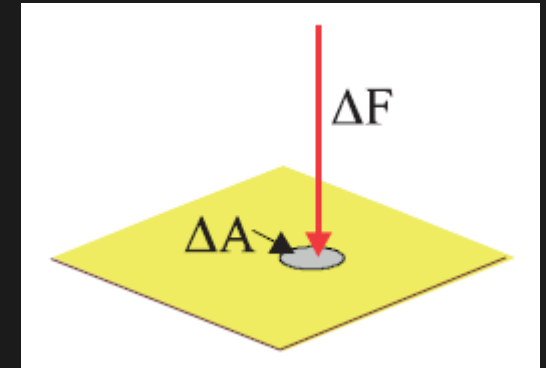
$$p = \frac{\Sigma F}{A}$$

Μακροσκοπική μελέτη

Πίεση (p -N/m²): είναι το μονόμετρο μέγεθος που ορίζεται ως το πηλίκο του μέτρου της δύναμης που ασκείται κάθετα σε κάποια επιφάνεια προς το εμβαδόν της επιφάνειας:

$$p = \frac{\Delta F}{\Delta A}$$

Στην περίπτωση ενός αερίου που είναι κλεισμένο σ' ένα δοχείο η πίεση που ασκείται στα τοιχώματα του δοχείου οφείλεται στις δυνάμεις που ασκούν τα μόρια του αερίου στα τοιχώματα κατά τις κρούσεις τους με αυτά.



Νόμοι των αερίων

Οι νόμοι των αερίων είναι στην ουσία οι σχέσεις μεταξύ των μακροσκοπικών μεταβλητών. Κάθε τριάδα των μακροσκοπικών μεταβλητών (p , V , T) χαρακτηρίζει μια συγκεκριμένη κατάσταση του αερίου. Αν κάποια από τις τρεις μεταβλητές αλλάξει, η αλλαγή αυτή θα επηρεάσει τουλάχιστον μια από τις άλλες δύο, και έτσι το αέριο θα μεταβεί σε μια άλλη κατάσταση με διαφορετική τριάδα μακροσκοπικών μεταβλητών. Στην προσπάθειά μας να βρούμε τις σχέσεις ανάμεσα στις μεταβλητές, θα κρατάμε μια από τις τρεις σταθερή και θα εξετάζουμε τη σχέση των άλλων δύο.

Νόμος του Boyle-Ισόθερμη μεταβολή

Έστω ότι με κάποιον τρόπο καταφέρνουμε να διατηρήσουμε τη θερμοκρασία ενός αερίου σταθερή. Αυτό π.χ. μπορεί να επιτευχθεί εάν βαπτίσουμε το δοχείο που περιέχει το αέριο, σε ένα λουτρό σταθερής θερμοκρασίας.

Λεκτική διατύπωση: Η πίεση ορισμένης ποσότητας αερίου υπό σταθερή θερμοκρασία είναι αντιστρόφως ανάλογη με τον όγκο του.

Μαθηματική διατύπωση: $pV = \text{σταθ.}$ με $T = \text{σταθ}$

Αν θεωρήσουμε ότι το αέριο αρχικά ήταν σε μια κατάσταση (p_A, V_A, T) και μετά την μεταβολή μεταβαίνει σε μια κατάσταση (p_B, V_B, T) , τότε θα ισχύει:

$$p_A \cdot V_A = p_B \cdot V_B$$

Νόμος του Boyle-Ισόθερμη μεταβολή

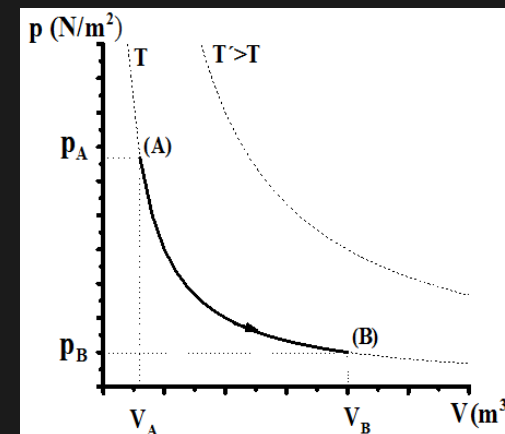
Μια ισόθερμη μεταβολή στην οποία αυξάνεται ο όγκος, θα ονομάζεται **ισόθερμη εκτόνωση**.

Μια ισόθερμη μεταβολή στην οποία μειώνεται ο όγκος, θα ονομάζεται **ισόθερμη συμπίεση**.

Αφού ο όγκος και η πίεση είναι αντιστρόφως ανάλογα ποσά, η γραφική παράσταση της ισόθερμης μεταβολής σε διάγραμμα p - V θα είναι μια υπερβολή:

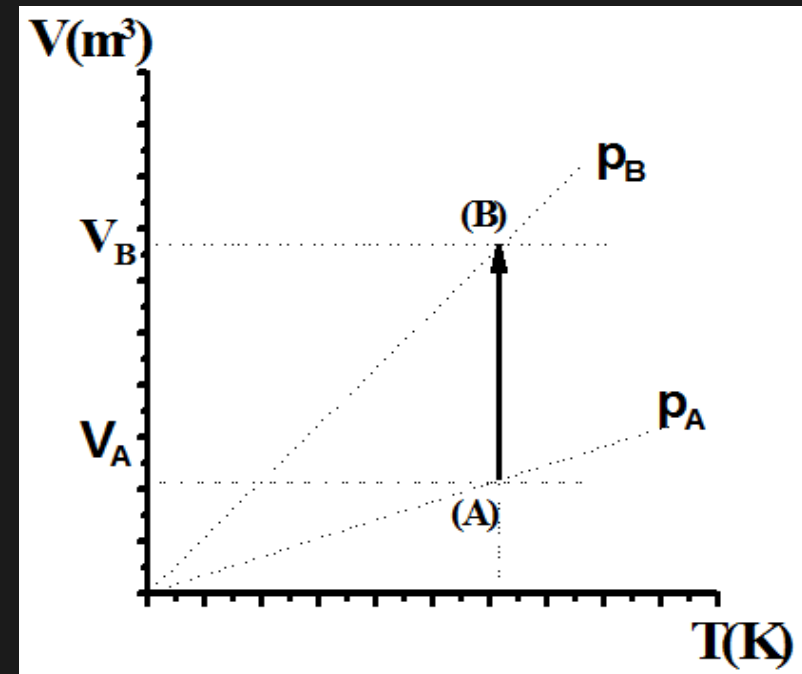
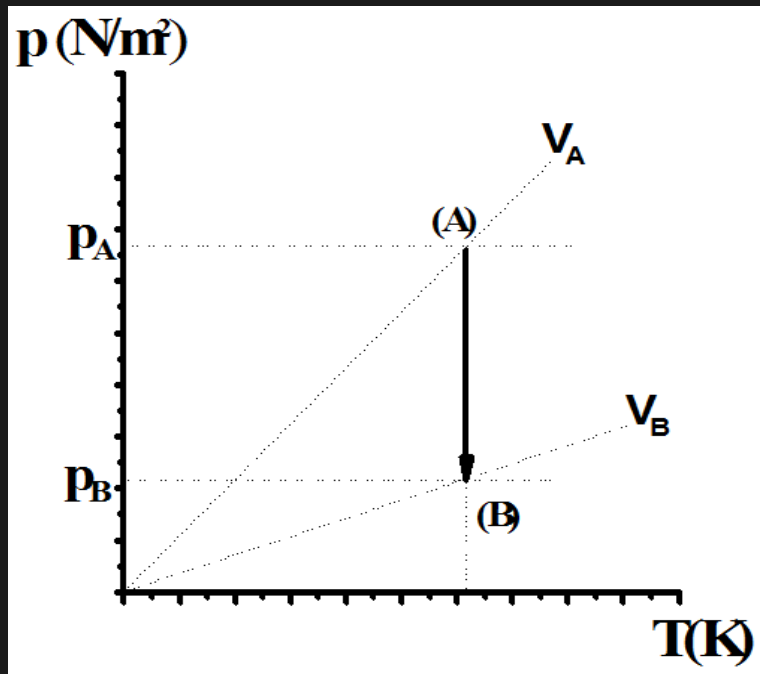
Ας πειραματιστούμε

Διάγραμμα



Νόμος του Boyle-Ισόθερμη μεταβολή

Μπορούμε όμως να παραστήσουμε την ισόθερμη μεταβολή και διαγράμματα p - T και V - T :



Νόμος του Charles-Ισόχωρη μεταβολή

Έστω ότι μια ποσότητα αερίου βρίσκεται σε δοχείο με ανένδοτα τοιχώματα, δηλαδή σε δοχείο που ο όγκος του παραμένει σταθερός, ανεξάρτητα από τις μεταβολές της πίεσης και της θερμοκρασίας.

Λεκτική διατύπωση: Η πίεση ορισμένης ποσότητας αερίου σταθερού όγκου, είναι ανάλογη με τη θερμοκρασία του.

Μαθηματική διατύπωση: $\frac{p}{T} = \text{σταθ}$ με $V = \text{σταθ}$

Αν θεωρήσουμε ότι το αέριο αρχικά ήταν σε μια κατάσταση (p_A, V, T_A) και μετά την μεταβολή μεταβαίνει σε μια κατάσταση (p_B, V, T_B) , τότε θα ισχύει:

$$\frac{p_A}{T_A} = \frac{p_B}{T_B}$$

Νόμος του Charles-Ισόχωρη μεταβολή

Μια ισόχωρη μεταβολή στην οποία αυξάνεται η θερμοκρασία, θα ονομάζεται **ισόχωρη θέρμανση**.

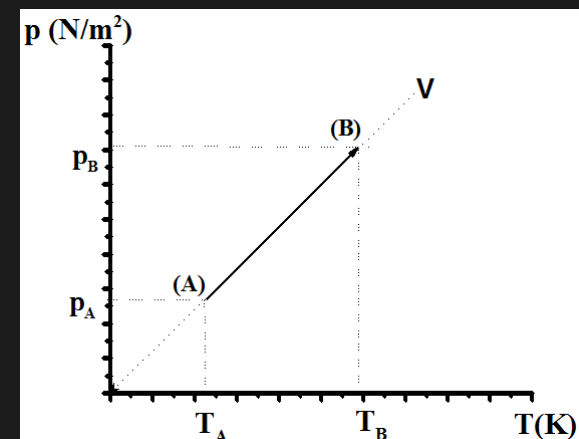
Μια ισόχωρη μεταβολή στην οποία μειώνεται η θερμοκρασία, θα ονομάζεται **ισόχωρη ψύξη**.

Αφού η θερμοκρασία και η πίεση είναι ανάλογα ποσά, η γραφική παράσταση της ισόχωρης μεταβολής σε διάγραμμα p - T θα είναι μια ευθεία που διέρχεται νοητά από την αρχή των αξόνων:

Λέμε ότι διέρχεται **νοητά** διότι σε χαμηλές θερμοκρασίες τα αέρια δεν συμπεριφέρονται ως ιδανικά και έτσι δεν ισχύει η αναλογία.

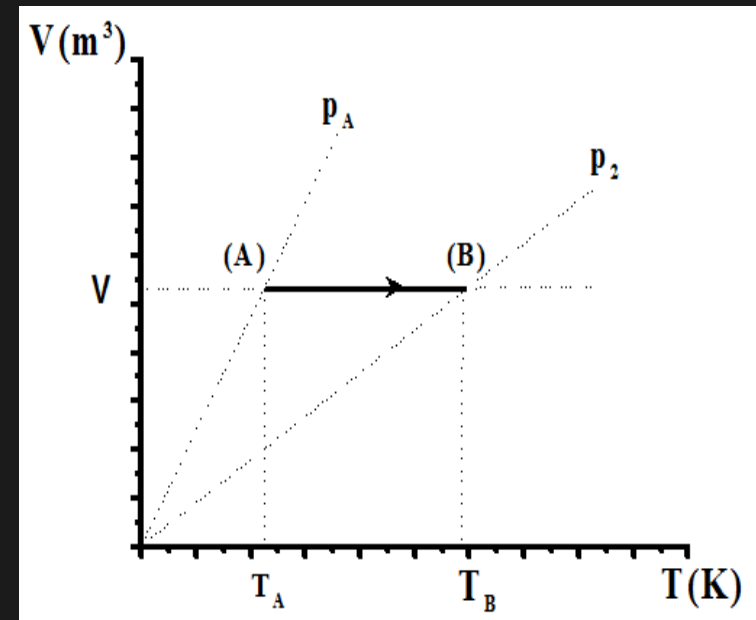
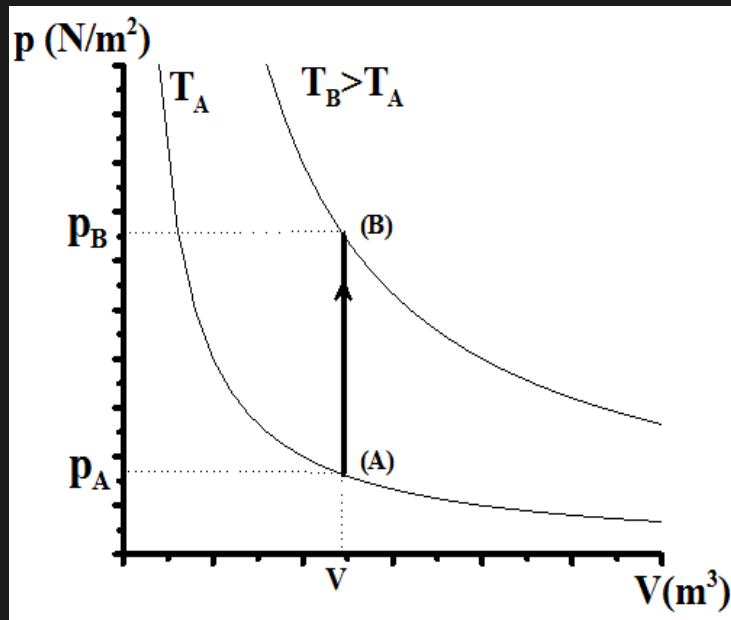
[Ας πειραματιστούμε](#)

Διάγραμμα



Νόμος του Charles-Ισόχωρη μεταβολή

Μπορούμε όμως να παραστήσουμε την ισόχωρη μεταβολή και διαγράμματα p - V και V - T :



Νόμος των Gay-Lussac-Ισοβαρής μεταβολή

Έστω ότι μια ποσότητα αερίου βρίσκεται σε δοχείο με ελεύθερο έμβολο, έτσι ώστε η πίεση να παραμένει σταθερή.

Λεκτική διατύπωση: Ο όγκος ορισμένης ποσότητας αερίου σταθερής πίεσης, είναι ανάλογος με τη θερμοκρασία του.

Μαθηματική διατύπωση: $\frac{V}{T} = \text{σταθ}$ με $p = \text{σταθ}$

Αν θεωρήσουμε ότι το αέριο αρχικά ήταν σε μια κατάσταση (p, V_A, T_A) και μετά την μεταβολή μεταβαίνει σε μια κατάσταση (p, V_B, T_B) , τότε θα ισχύει:

$$\frac{V_A}{T_A} = \frac{V_B}{T_B}$$

Νόμος των Gay-Lussac-Ισοβαρής μεταβολή

Μια ισοβαρής μεταβολή στην οποία αυξάνεται ο όγκος και συνεπώς η θερμοκρασία, θα ονομάζεται **ισοβαρής εκτόνωση ή θέρμανση**.

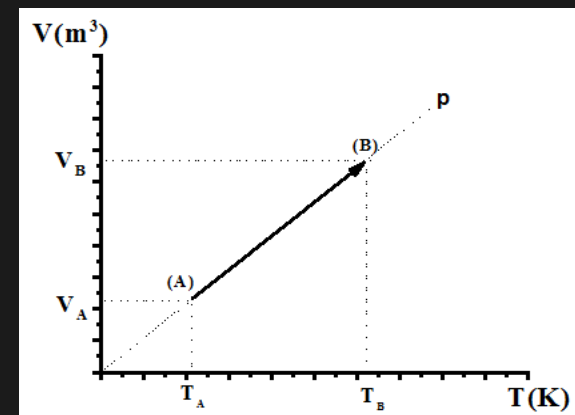
Μια ισοβαρής μεταβολή στην οποία μειώνεται ο όγκος και συνεπώς η θερμοκρασία, θα ονομάζεται **ισοβαρής συμπίεση ή ψύξη**.

Αφού η θερμοκρασία και ο όγκος είναι ανάλογα ποσά, η γραφική παράσταση της ισόχωρης μεταβολής σε διάγραμμα V-T θα είναι μια ευθεία που διέρχεται νοητά από την αρχή των αξόνων:

Λέμε ότι διέρχεται **νοητά** διότι σε χαμηλές θερμοκρασίες τα αέρια δεν συμπεριφέρονται ως ιδανικά και έτσι δεν ισχύει η αναλογία.

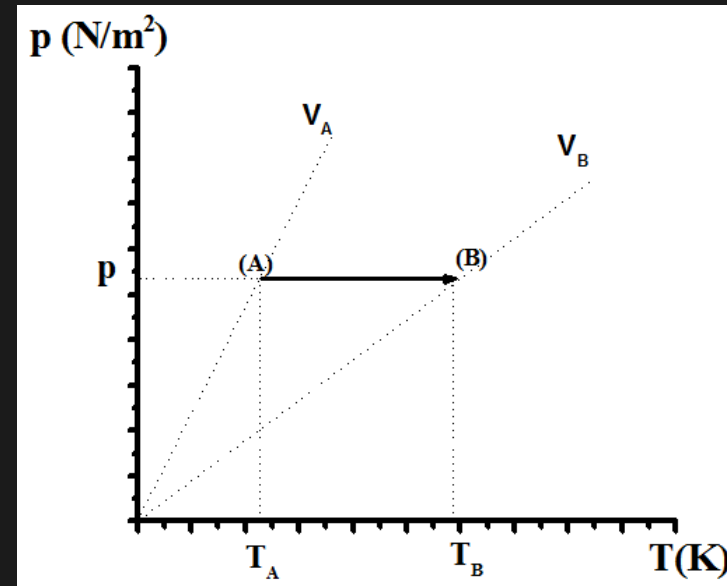
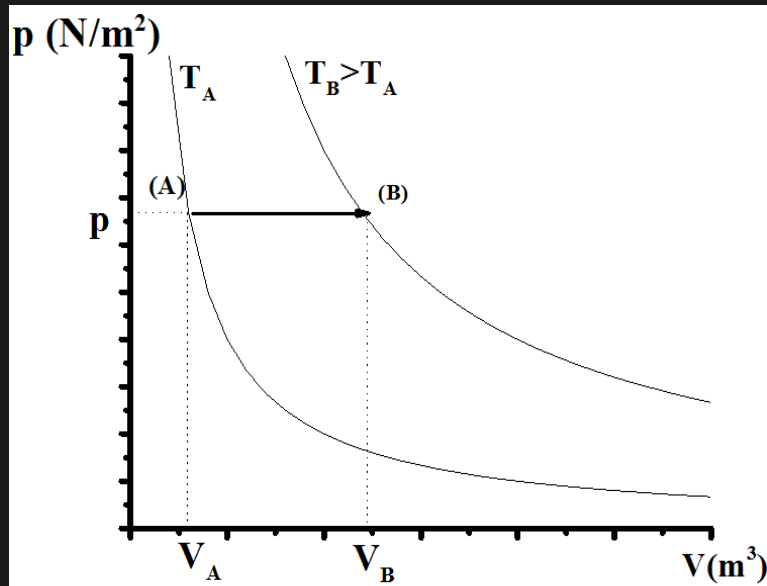
[ΑΣ πειραματιστούμε](#)

Διάγραμμα



Νόμος των Gay-Lussac-Ισοβαρής μεταβολή

Μπορούμε όμως να παραστήσουμε την ισοβαρή μεταβολή και διαγράμματα p - V και p - T :



Ιδανικό αέριο-Μικροσκοπικός ορισμός

Ένα αέριο ονομάζεται ιδανικό όταν:

- Τα μόρια του αερίου συμπεριφέρονται σαν μικρές ελαστικές σφαίρες.
- Στα μόρια δεν ασκούνται δυνάμεις εκτός από τη στιγμή της κρούσης τους με άλλα μόρια ή με τα τοιχώματα του δοχείου.
- Οι κρούσεις με τα τοιχώματα του δοχείου είναι ελαστικές.
- Ο συνολικός όγκος των μορίων του αερίου είναι πολύ μικρότερος από τον όγκο που καταλαμβάνει το αέριο.

Καταστατική εξίσωση Ιδανικό αέριο-Μακροσκοπικός ορισμός

Οι τρεις παραπάνω νόμοι των αερίων συνοψίζονται σε έναν νόμο που περιγράφει μακροσκοπικά την κατάσταση ενός αερίου χρησιμοποιώντας τις τρεις θερμοδυναμικές μεταβλητές p , V , T . Ο νόμος αυτός ονομάζεται **καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων**.

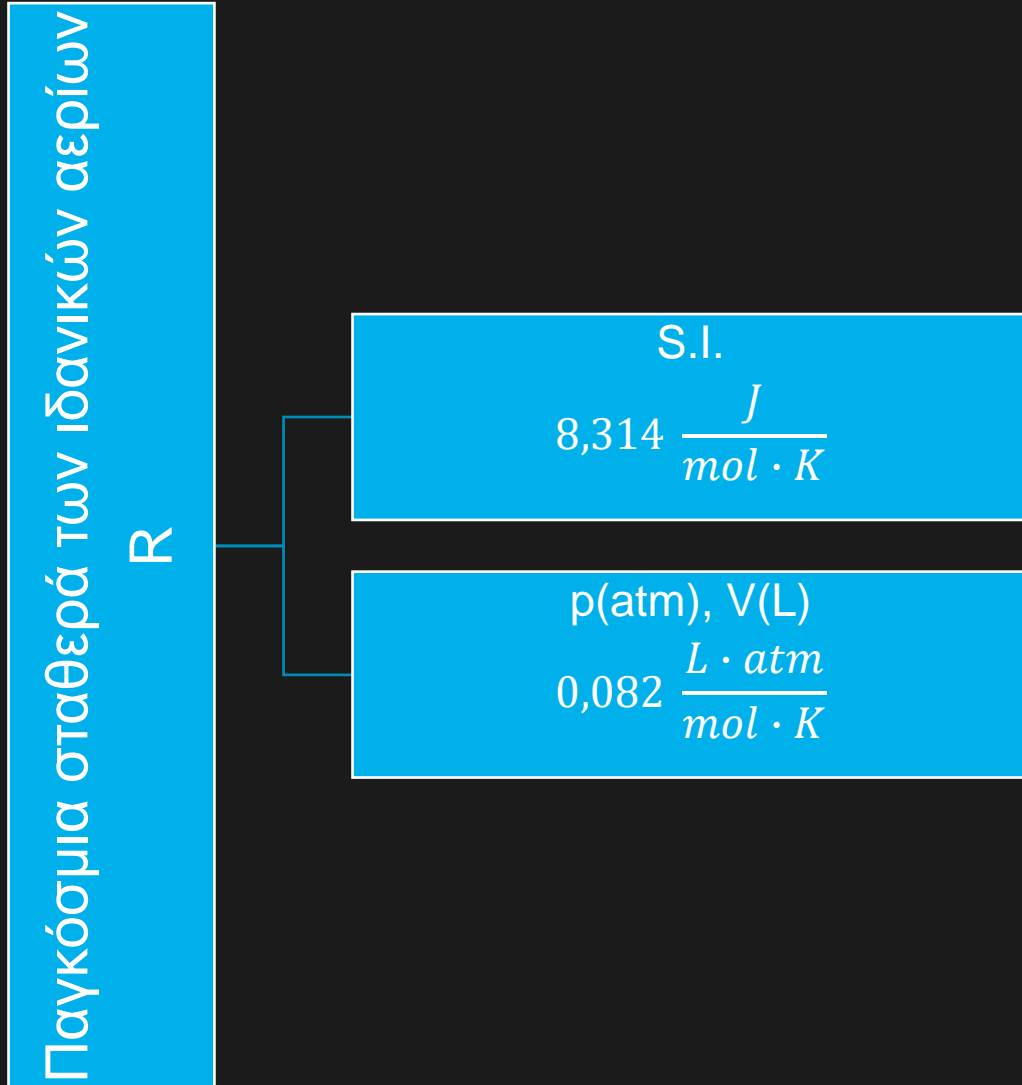
Μαθηματική διατύπωση: $pV = nRT$

όπου:

p η πίεση, V ο όγκος, T η θερμοκρασία, n ο αριθμός των mol και R η παγκόσμια σταθερά των αερίων.

Παγκόσμια σταθερά των ιδανικών αερίων

Η τιμή της σταθεράς R καθορίζεται από το σύστημα μονάδων μέτρησης που χρησιμοποιούμε:



Πίεση και πυκνότητα

Αν αντικαταστήσουμε τον αριθμό των mol με $n = \frac{m}{M}$ η καταστατική εξίσωση γίνεται:

$$p \cdot V = \frac{m_{ολ}}{M} RT \Rightarrow p = \frac{m_{ολ}}{V} \frac{RT}{M} \Rightarrow$$

$$p = \frac{\rho RT}{M}$$

Όπου M η σχετική μοριακή μάζα του αερίου (μοριακό βάρος)

Κινητική θεωρία των αερίων

Σύνδεση μακροσκοπικών και μικροσκοπικών μεταβλητών

Η κινητική θεωρία υπολογίζει την πίεση σε συνάρτηση με τη ταχύτητα των μορίων:

$$p = \frac{1}{3} \frac{N m \overline{u^2}}{V}$$

όπου:

p : πίεση

V : όγκος δοχείου

N : αριθμός μορίων αερίου

$\overline{u^2}$: μέση τιμή των τετραγώνων των ταχυτήτων των μορίων του αερίου.

Κινητική θεωρία των αερίων

Σύνδεση μακροσκοπικών και μικροσκοπικών μεταβλητών

$$p = \frac{1}{3} \frac{Nm\overline{u^2}}{V} \Rightarrow pV = \frac{2}{3} N \frac{1}{2} m\overline{u^2} \Rightarrow nRT = \frac{2}{3} N\bar{K} \xrightarrow{n=\frac{N}{N_A}} \frac{N}{N_A} RT = \frac{2}{3} N\bar{K}$$
$$\Rightarrow \bar{K} = \frac{3}{2} \frac{R}{N_A} T \xrightarrow{k=\frac{R}{N_A}}$$
$$\bar{K} = \frac{3}{2} kT$$

όπου: k : σταθερά του Boltzmann
 N_A : αριθμός του Avogadro

Από τη σχέση αυτή γίνεται φανερό ότι η μέση κινητική ενέργεια των μορίων του αερίου είναι ανάλογη
με τη θερμοκρασία του.

Κινητική θεωρία των αερίων

Σύνδεση μακροσκοπικών και μικροσκοπικών μεταβλητών

Συνδέσαμε λοιπόν τη θερμοκρασία των αερίων με τις ταχύτητες των μορίων τους:

$$\bar{K} = \frac{3}{2} kT \Rightarrow \frac{1}{2} m \overline{u^2} = \frac{3}{2} kT \Rightarrow \overline{u^2} = \frac{3kT}{m} \Rightarrow \sqrt{\overline{u^2}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

Η ταχύτητα αυτή λέγεται ενεργός ταχύτητα των μορίων του αερίου:

$$u_{\text{εν}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} \xrightarrow{k = \frac{R}{N_A}} u_{\text{εν}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$