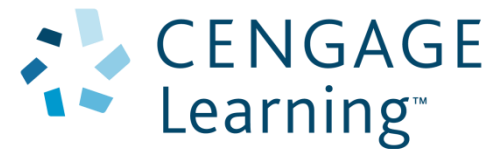


# Κεφάλαιο 7

## Θερμοκρασία



# Θερμοδυναμική

Η **θερμοδυναμική** περιλαμβάνει περιπτώσεις όπου η θερμοκρασία ή η κατάσταση ενός συστήματος μεταβάλλονται λόγω μεταφοράς ενέργειας.

Η θερμοδυναμική ερμηνεύει με επιτυχία τις μακροσκοπικές ιδιότητες της ύλης και τη σχέση τους με τα άτομα και τα μόρια.

Η θερμοδυναμική δίνει επίσης απαντήσεις σε πρακτικά ερωτήματα:

- Πώς ψύχει ένα ψυγείο το περιεχόμενό του;
- Ποιες μετατροπές ενέργειας γίνονται σε ένα εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας;
- Τι συμβαίνει στην κινητική ενέργεια ενός σώματος όταν αυτό σταματά να κινείται;

# Εισαγωγή

Για να περιγράψουμε τα θερμικά φαινόμενα, πρέπει να ορίσουμε με προσοχή τις εξής έννοιες:

- Θερμοκρασία
- Θερμότητα
- Εσωτερική ενέργεια

Θα μελετήσουμε τα θερμικά φαινόμενα που σχετίζονται με ορισμένα υλικά.

Θα μελετήσουμε τα ιδανικά αέρια σε μακροσκοπική κλίμακα.

- Θα επικεντρωθούμε στις σχέσεις μεταξύ μεγεθών όπως η πίεση, ο όγκος, και η θερμοκρασία.

# Θερμοκρασία

Συχνά συνδέουμε την έννοια της θερμοκρασίας με το πόσο ζεστό ή κρύο είναι ένα σώμα.

Μέσω των αισθήσεών μας, μπορούμε να έχουμε μια ποιοτική ένδειξη της θερμοκρασίας.

Οι αισθήσεις μας δεν είναι αξιόπιστες.

Χρειαζόμαστε μια αξιόπιστη μέθοδο, που μπορεί να επαναληφθεί με συστηματικό τρόπο, για να μετράμε το πόσο θερμό ή ψυχρό είναι ένα σώμα.

- Πρέπει να δώσουμε έναν τεχνικό ορισμό της θερμοκρασίας.

## Θερμική επαφή και θερμική ισορροπία

Δύο σώματα βρίσκονται σε **θερμική επαφή** μεταξύ τους αν μπορούν να ανταλλάσσουν ενέργεια.

- Θα εστιάσουμε στην ανταλλαγή που γίνεται μέσω θερμότητας ή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Η ανταλλαγή ενέργειας οφείλεται στη διαφορά θερμοκρασίας.

**Θερμική ισορροπία** ονομάζεται η κατάσταση κατά την οποία δύο σώματα που βρίσκονται σε θερμική επαφή δεν ανταλλάσσουν ενέργεια μέσω θερμότητας ή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

- Θερμική επαφή δεν σημαίνει υποχρεωτικά και φυσική επαφή.

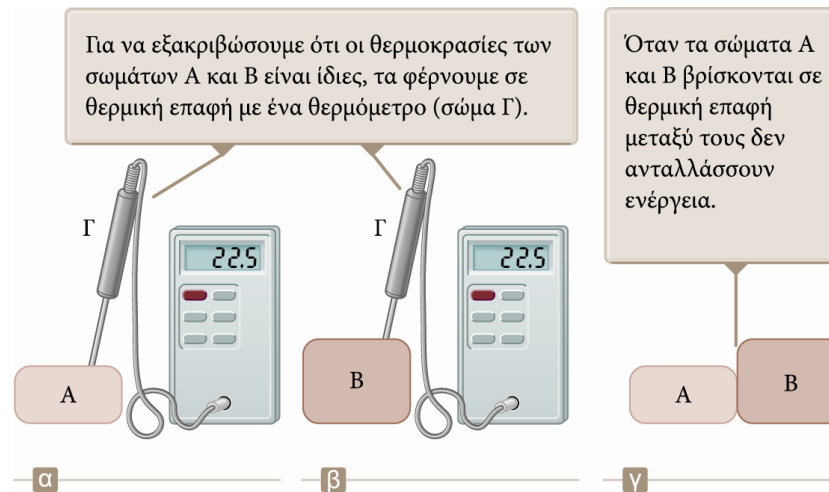
## Θερμική ισορροπία (συνέχεια)

Αν τα σώματα Α και Β βρίσκονται το καθένα σε θερμική ισορροπία με ένα τρίτο σώμα Γ, τότε τα Α και Β βρίσκονται σε θερμική ισορροπία μεταξύ τους.

Η αυτονόητη αυτή έκφραση ονομάζεται **Μηδενικός Νόμος της Θερμοδυναμικής**

- Εφόσον τα σώματα βρίσκονται σε θερμική ισορροπία μεταξύ τους, δεν ανταλλάσσουν ενέργεια.

## Μηδενικός νόμος της θερμοδυναμικής – Παράδειγμα



Φέρνουμε το σώμα Γ (θερμόμετρο) σε θερμική επαφή με το σώμα A μέχρι να επιτευχθεί θερμική ισορροπία.

- Καταγράφουμε την ένδειξη του θερμομέτρου.

Στη συνέχεια φέρνουμε το σώμα Γ σε θερμική επαφή με το σώμα B μέχρι να επιτευχθεί θερμική ισορροπία.

- Καταγράφουμε ξανά την ένδειξη του θερμομέτρου.

Αν οι δύο ενδείξεις είναι ίδιες, συμπεραίνουμε ότι τα σώματα A και B βρίσκονται σε θερμική ισορροπία μεταξύ τους.

## Θερμοκρασία – Ορισμός

Μπορούμε να θεωρήσουμε τη **θερμοκρασία** ως την ιδιότητα που καθορίζει αν ένα σώμα βρίσκεται σε θερμική ισορροπία με άλλα σώματα.

Δύο σώματα που βρίσκονται σε θερμική ισορροπία μεταξύ τους έχουν την ίδια θερμοκρασία.

- Αν δύο σώματα έχουν διαφορετικές θερμοκρασίες, δεν βρίσκονται σε θερμική ισορροπία μεταξύ τους.

Η θερμοκρασία καθορίζει αν υπάρχει μεταφορά ενέργειας ή όχι μεταξύ δύο σωμάτων που βρίσκονται σε θερμική επαφή.



## Θερμόμετρα

Το **θερμόμετρο** είναι μια συσκευή μέτρησης της θερμοκρασίας ενός συστήματος.

Τα θερμόμετρα βασίζονται στην αρχή ότι, καθώς αλλάζει η θερμοκρασία ενός συστήματος, μεταβάλλεται κάποια φυσική ιδιότητά του.

Στις ιδιότητες αυτές περιλαμβάνονται:

- Ο όγκος ενός υγρού
- Οι διαστάσεις ενός στερεού
- Η πίεση ενός αερίου με σταθερό όγκο
- Ο όγκος ενός αερίου με σταθερή πίεση
- Η ηλεκτρική αντίσταση ενός αγωγού
- Το χρώμα ενός σώματος

Μπορούμε να ορίσουμε μια θερμοκρασιακή κλίμακα με βάση οποιαδήποτε από αυτές τις φυσικές ιδιότητες.

## Θερμόμετρο – Υγρό σε σωλήνα

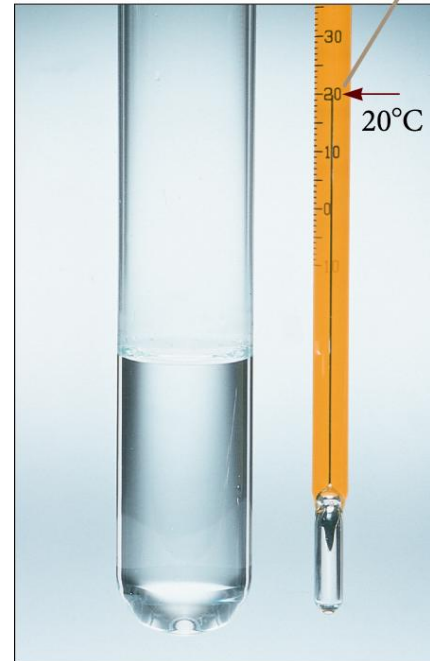
Τα κοινά θερμόμετρα αποτελούνται από έναν σωλήνα μέσα στον οποίο υπάρχει ένα υγρό.

Η φυσική ιδιότητα που λαμβάνεται υπόψη σε ένα κοινό θερμόμετρο είναι η μεταβολή του όγκου του υγρού στο σωλήνα συναρτήσει της θερμοκρασίας

Όταν το υγρό θερμαίνεται μέσα στον τριχοειδή σωλήνα, διαστέλλεται.

Συνήθως χρησιμοποιείται υδράργυρος ή αιθυλική αλκοόλη.

Καθώς ο υδράργυρος στο θερμόμετρο θερμαίνεται από το νερό στον δοκιμαστικό σωλήνα, η στάθμη του ανεβαίνει.



## Κλίμακα Κελσίου

Το σημείο πήξης του νερού ορίζεται ως  $0^{\circ}\text{C}$ .

Το σημείο βρασμού του νερού ορίζεται ως  $100^{\circ}\text{C}$ .

Το μήκος της στήλης μεταξύ των δύο σημείων διαιρείται σε 100 ίσα τμήματα, τα οποία ονομάζονται βαθμοί.

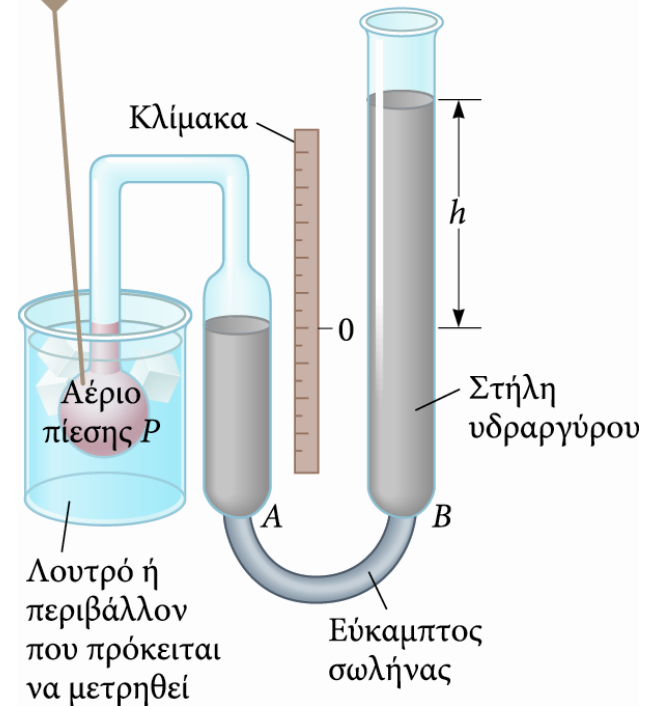
## Το θερμόμετρο αερίου με σταθερό όγκο

Η φυσική ιδιότητα που λαμβάνεται υπόψη στη συσκευή αυτή είναι η μεταβολή της πίεσης ενός σταθερού όγκου αερίου συναρτήσει της θερμοκρασίας.

Ο όγκος του αερίου διατηρείται σταθερός επειδή η στήλη B του υδραργύρου ανεβαίνει ή κατεβαίνει έτσι ώστε η στάθμη του υδραργύρου στη στήλη A να παραμένει σταθερή.

Η πίεση υποδεικνύεται από τη διαφορά ( $h$ ) της στάθμης μεταξύ των στηλών B και A.

Για να διατηρήσουμε σταθερό τον όγκο του αερίου στο φιαλίδιο αυξάνουμε ή μειώνουμε τη στάθμη της στήλης B έτσι ώστε η στάθμη του υδραργύρου στη στήλη A να παραμένει σταθερή.



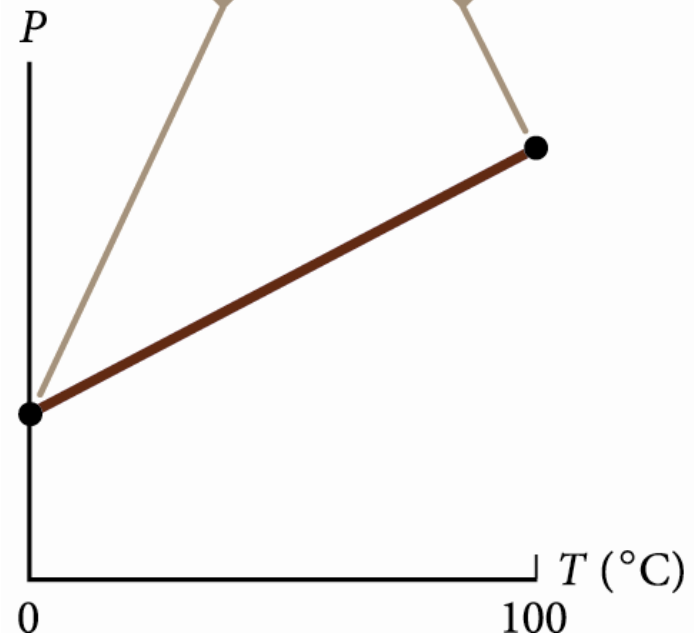
## Το θερμόμετρο αερίου με σταθερό όγκο (τελική διαφάνεια)

Για να μετρήσουμε τη θερμοκρασία ενός υλικού, φέρνουμε το φιαλίδιο του αερίου σε θερμική επαφή με το υλικό.

Τοποθετούμε την πίεση στο γράφημα.

Διαβάζουμε τη θερμοκρασία από το γράφημα.

Οι δύο κουκκίδες αντιστοιχούν σε γνωστές θερμοκρασίες αναφοράς (τα σημεία πήξης και βρασμού του νερού).



## Απόλυτο μηδέν

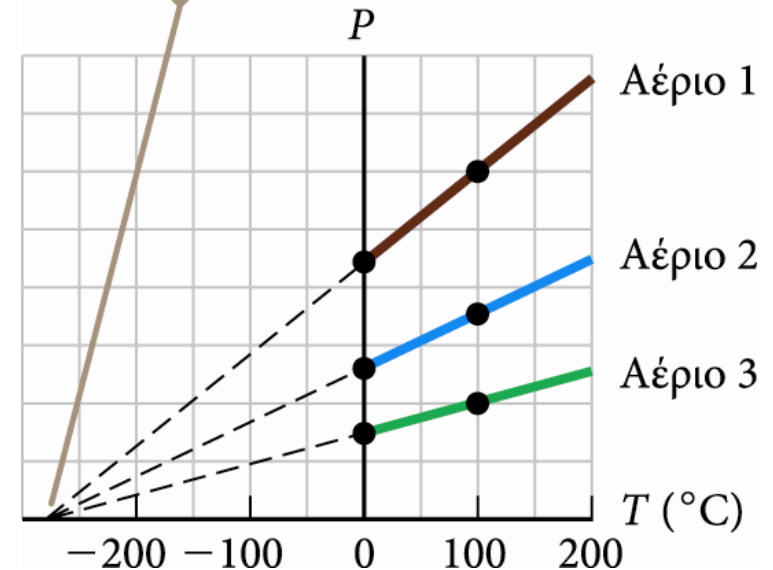
Οι ενδείξεις των θερμομέτρων είναι σχεδόν ανεξάρτητες από το αέριο που χρησιμοποιείται.

Αν προεκτείνουμε τις ευθείες για τα διάφορα αέρια, θα διαπιστώσουμε ότι η πίεση είναι πάντα μηδενική όταν η θερμοκρασία είναι ίση με  $-273.15^{\circ}\text{C}$ .

Η συγκεκριμένη θερμοκρασία ονομάζεται **απόλυτο μηδέν**.

Το απόλυτο μηδέν είναι η βάση της **κλίμακας απόλυτης θερμοκρασίας** (συμβολίζεται:  $T$ ).

Και για τα τρία αέρια, όταν η θερμοκρασία είναι  $-273.15^{\circ}\text{C}$ , η πίεση είναι μηδενική.



## Μερικά παραδείγματα απόλυτων θερμοκρασιών

Στην εικόνα δεξιά μπορείτε να δείτε την απόλυτη θερμοκρασία διαφόρων φυσικών διεργασιών.

Η κλίμακα είναι λογαριθμική.

Η θερμοκρασία του απόλυτου μηδενός δεν μπορεί να επιτευχθεί.

- Έχει προσεγγιστεί κατά τη διάρκεια πειραμάτων.

Σημειώστε ότι η κλίμακα είναι λογαριθμική.

Θερμοκρασία (K)



## Κλίμακα Φαρενάιτ

Μια κλίμακα θερμοκρασίας που χρησιμοποιείται στις Η.Π.Α.

- Προς τιμή του Daniel Fahrenheit.

Η θερμοκρασία του σημείου πήξης του νερού είναι 32°F.

Η θερμοκρασία του σημείου βρασμού του νερού είναι 212°F.

Το μήκος της στήλης μεταξύ των δύο σημείων αναφοράς διαιρείται σε 180 ίσα τμήματα (βαθμούς).



## Σύγκριση κλιμάκων

Στις κλίμακες Κελσίου και Κέλβιν, το μέγεθος του ενός βαθμού είναι ίδιο, αλλά το σημείο μηδέν είναι διαφορετικό.

$$T = T_C + 273.16$$

Στις κλίμακες Κελσίου και Φαρενάιτ, τόσο το μέγεθος του ενός βαθμού όσο και το σημείο μηδέν είναι διαφορετικά.

$$T_F = \left( \frac{9}{5} T_C + 32 \right) ^\circ\text{F}$$

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

- Οι θερμοκρασίες του σημείου τήξης του πάγου είναι:  $0^\circ\text{C} = 273.15 \text{ K} = 32^\circ\text{F}$
- Οι θερμοκρασίες του σημείου βρασμού του νερού είναι:  $100^\circ\text{C} = 373.15 \text{ K} = 212^\circ\text{F}$

## Άσκηση 6, σελ. 490

Η μικρότερη και η μεγαλύτερη θερμοκρασία που έχει καταγραφεί στον πλανήτη είναι  $-127^{\circ}\text{F}$  στην Ανταρκτική και  $136^{\circ}\text{F}$  στη Λιβύη, αντίστοιχα. Ποιές είναι αυτές οι θερμοκρασίες σε  $^{\circ}\text{C}$  και σε  $\text{K}$ ;

### ΛΥΣΗ

Η σχέση κλίμακας Κελσίου και κλίμακας Φαρενάϊτ είναι

$$T_{\text{F}} = \left( \frac{9}{5} T_{\text{C}} + 32 \right)^{\circ}\text{F} \Rightarrow T_{\text{C}} = \frac{5}{9} (T_{\text{F}} - 32)^{\circ}\text{C}$$

και η σχέση με την κλίμακα Κέλβιν είναι

$$T = T_{\text{C}} + 273.16$$

Επομένως, οι  $-127^{\circ}\text{F}$  είναι  $T_{\text{C}} = \frac{5}{9} (-127 - 32)^{\circ}\text{C} = -88.3^{\circ}\text{C}$

και  $T = -88.3 + 273.16 = 185 \text{ K}$

ενώ οι  $136^{\circ}\text{F}$  είναι  $T_{\text{C}} = \frac{5}{9} (136 - 32)^{\circ}\text{C} = 57.8^{\circ}\text{C}$

και  $T = 57.8 + 273.16 = 331 \text{ K}$

## Θερμική διαστολή

Η θερμική διαστολή είναι η αύξηση του όγκου ενός σώματος καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία του.

Η θερμική διαστολή ενός σώματος προκαλείται από τη μεταβολή της μέσης απόστασης μεταξύ των ατόμων του.

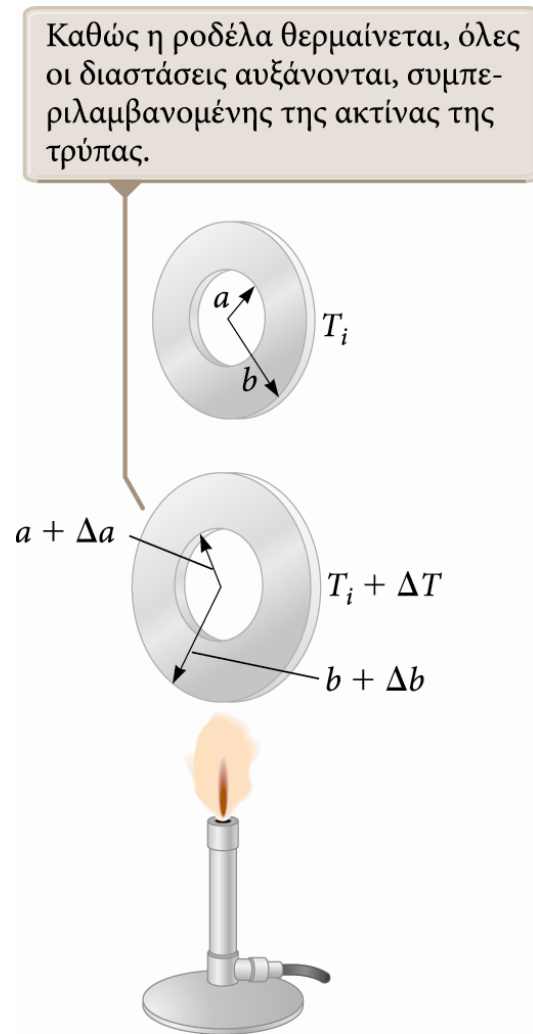
Αν η διαστολή ενός σώματος είναι αρκετά μικρή σε σχέση με τις αρχικές διαστάσεις του, τότε η μεταβολή οποιασδήποτε διάστασής του είναι κατά προσέγγιση ανάλογη της πρώτης δύναμης της μεταβολής της θερμοκρασίας ( $\Delta L \sim \Delta T$ ).

## Θερμική διαστολή – Παράδειγμα

Καθώς θερμαίνεται η ροδέλα που φαίνεται στα δεξιά, όλες οι διαστάσεις αυξάνονται.

Όταν ένα κομμάτι υλικού έχει κάποια κοιλότητα, αυτή διαστέλλεται όπως ακριβώς στην περίπτωση που η κοιλότητα είναι πλήρης.

Η διαστολή στην εικόνα είναι μεγαλύτερη από ό,τι στην πραγματικότητα.



## Γραμμική διαστολή

Ας υποθέσουμε ότι ένα σώμα έχει μια διάσταση με αρχικό μήκος  $L_i$ .

Το μήκος αυτό αυξάνεται κατά  $\Delta L$  όταν η θερμοκρασία μεταβάλλεται κατά  $\Delta T$ .

Ορίζουμε τον **συντελεστή γραμμικής διαστολής** ως

$$\alpha = \frac{\Delta L / L_i}{\Delta T}$$

Μια πιο πρακτική μορφή της παραπάνω σχέσης είναι η

$$\Delta L = \alpha L_i \Delta T.$$

Η παραπάνω σχέση μπορεί να γραφτεί επίσης συναρτήσει των αρχικών και τελικών συνθηκών του σώματος:

$$L_f - L_i = \alpha L_i (T_f - T_i)$$

Ο συντελεστής γραμμικής διαστολής  $\alpha$  έχει μονάδες  $(^\circ\text{C})^{-1}$  ή  $1/^\circ\text{C}$

# Μερικοί συντελεστές διαστολής

## ΠΙΝΑΚΑΣ Θ1.1

Μέσοι συντελεστές διαστολής για διάφορα υλικά σε θερμοκρασία δωματίου (κατά προσέγγιση)

Υλικό (Στερεά)	Μέσος συντελεστής γραμμικής διαστολής ( $\alpha$ )( $^{\circ}\text{C}$ ) <sup>-1</sup>	Υλικό (Υγρά και αέρια)	Μέσος συντελεστής κυβικής διαστολής ( $\beta$ )( $^{\circ}\text{C}$ ) <sup>-1</sup>
Αλουμίνιο	$24 \times 10^{-6}$	Ακετόνη	$1.5 \times 10^{-4}$
Ορείχαλκος και μπρούντζος	$19 \times 10^{-6}$	Αλκοόλη, αιθυλική	$1.12 \times 10^{-4}$
Σκυρόδεμα	$12 \times 10^{-6}$	Βενζόλιο	$1.24 \times 10^{-4}$
Χαλκός	$17 \times 10^{-6}$	Βενζίνη	$9.6 \times 10^{-4}$
Γυαλί (κοινό)	$9 \times 10^{-6}$	Γλυκερίνη	$4.85 \times 10^{-4}$
Γυαλί (Pyrex)	$3.2 \times 10^{-6}$	Υδράργυρος	$1.82 \times 10^{-4}$
Invar (κράμα σιδηρονικέλιου)	$0.9 \times 10^{-6}$	Τερεβινθίνη (νέφτι)	$9.0 \times 10^{-4}$
Μόλυβδος	$29 \times 10^{-6}$	Αέρας <sup>α</sup> στους 0 $^{\circ}\text{C}$	$3.67 \times 10^{-3}$
Χάλυβας	$11 \times 10^{-6}$	Ήλιο <sup>α</sup>	$3.665 \times 10^{-3}$

<sup>α</sup>Τα αέρια δεν έχουν συγκεκριμένη τιμή για τον συντελεστή κυβικής διαστολής επειδή ο βαθμός της διαστολής εξαρτάται από τον τύπο της μεταβολής στην οποία υποβάλλεται το αέριο. Στις τιμές που δίνονται εδώ έχουμε υποθέσει ότι το αέριο διαστέλλεται υπό σταθερή πίεση.

## Γραμμική διαστολή (συνέχεια)

Ορισμένα υλικά διαστέλλονται ως προς μία διάσταση και συστέλλονται ως προς κάποια άλλη όταν η θερμοκρασία τους αυξάνεται.

Εφόσον οι γραμμικές διαστάσεις ενός σώματος μεταβάλλονται με τη θερμοκρασία, συνεπάγεται ότι μεταβάλλονται επίσης το εμβαδόν της επιφάνειάς του και ο όγκος του.

Όταν ένα κομμάτι υλικού έχει κάποια κοιλότητα, αυτή διαστέλλεται ακριβώς όπως στην περίπτωση που η κοιλότητα είναι πλήρης.

Μπορούμε να φανταστούμε τη θερμική διαστολή ως κάτι παρόμοιο με τη φωτογραφική μεγέθυνση.

## Χωρική διαστολή

Η μεταβολή του όγκου είναι ανάλογη του αρχικού όγκου και της μεταβολής της θερμοκρασίας,

$$\Delta V = \beta V_i \Delta T$$

- Το  $\beta$  είναι ο **συντελεστής χωρικής διαστολής**.
- Για τα στερεά,  $\beta = 3\alpha$ .
  - Αυτό προϋποθέτει ότι το υλικό είναι ισότροπο, δηλαδή ο συντελεστής διαστολής του στερεού είναι ίδιος σε όλες τις διαστάσεις του.
- Η τιμή του  $\beta$  για υγρά και αέρια δίνεται στον **Πίνακα Θ1.1**

Η χωρική διαστολή είναι γνωστή και ως κυβική διαστολή.



## Επιφανειακή διαστολή

Η μεταβολή του εμβαδού μιας επιφάνειας είναι ανάλογη του αρχικού εμβαδού και της μεταβολής της θερμοκρασίας:

$$\Delta A = 2\alpha A_i \Delta T$$

## Διμεταλλικό έλασμα

Κάθε υλικό έχει το δικό του χαρακτηριστικό μέσο συντελεστή διαστολής.

Αυτό μπορούμε να το αξιοποιήσουμε στον μηχανισμό που φαίνεται στην εικόνα και ονομάζεται διμεταλλικό έλασμα.

- Καθώς η θερμοκρασία του ελάσματος αυξάνεται, τα δύο μέταλλα διαστέλλονται κατά διαφορετικό μήκος.
- Το έλασμα κυρτώνει.

Ο μηχανισμός αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε θερμοστάτες.



## Η ασυνήθιστη συμπεριφορά του νερού

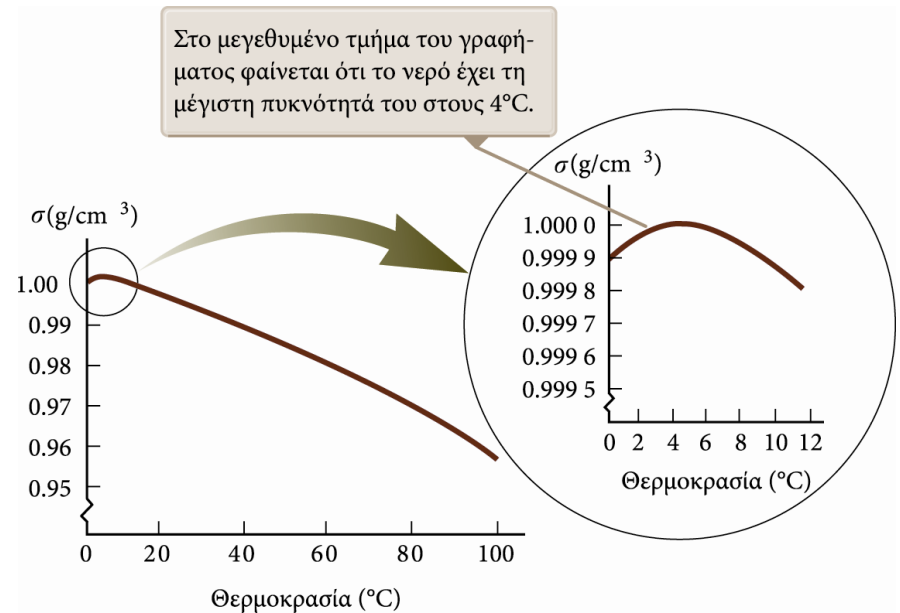
Καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται από τους 0°C στους 4°C, το νερό συστέλλεται.

- Η πυκνότητά του αυξάνεται.

Πάνω από τους 4°C, όσο αυξάνεται η θερμοκρασία, το νερό διαστέλλεται.

- Η πυκνότητά του μειώνεται.

Η πυκνότητα του νερού αποκτά τη μέγιστη τιμή της ( $1.000 \text{ g/cm}^3$ ) στους 4°C.



## Άσκηση 11, σελ. 490

Μια γυάλινη φιάλη, η οποία έχει όγκο  $200 \text{ cm}^3$ , είναι γεμάτη μέχρι το χείλος της με υδράργυρο σε θερμοκρασία  $20^\circ\text{C}$ . Πόσος υδράργυρος θα χυθεί όταν η θερμοκρασία του συστήματος αυξηθεί στους  $100^\circ\text{C}$ ; Ο συντελεστής γραμμικής θερμικής διαστολής του γυαλιού είναι  $0.4 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  ενώ του υδραργύρου είναι  $18 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ .

### ΛΥΣΗ

Ο όγκος του υδραργύρου που θα χυθεί ισούται με τη θερμική διαστολή του όγκου του,  $\Delta V_{\text{Hg}}$  μείον τη θερμική διαστολή (δηλαδή, την αύξηση του όγκου) του γυάλινου δοχείου,  $\Delta V_{\text{γυαλ}}$ . Η μεταβολή της θερμοκρασίας είναι  $\Delta T = 100^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 80^\circ\text{C} = 80 \text{ K}$

$$\text{Έχουμε: } \Delta V_{\text{Hg}} = \beta_{\text{Hg}} V_i \Delta T = 3\alpha_{\text{Hg}} V_i \Delta T = 3(18 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1})(200 \text{ cm}^3)(80 \text{ K})$$

$$\Delta V_{\text{Hg}} = 8.64 \text{ cm}^3$$

$$\text{και } \Delta V_{\text{γυαλ}} = \beta_{\text{γυαλ}} V_i \Delta T = 3\alpha_{\text{γυαλ}} V_i \Delta T = 3(0.4 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1})(200 \text{ cm}^3)(80 \text{ K})$$

$$\Delta V_{\text{γυαλ}} = 0.19 \text{ cm}^3$$

$$\text{Άρα, ο όγκος του υδραργύρου που θα χυθεί είναι } \Delta V_{\text{Hg}} - \Delta V_{\text{γυαλ}} = 8.45 \text{ cm}^3$$

## Ιδανικά αέρια

Οι δυνάμεις μεταξύ των μορίων στα αέρια είναι πολύ ασθενείς.

- Μπορούμε να τις αγνοήσουμε.

Για τα αέρια, ο όγκος εξαρτάται από το μέγεθος του δοχείου.

## Καταστατική εξίσωση των αερίων

Είναι χρήσιμο να γνωρίζουμε τη σχέση που συνδέει τα μεγέθη του όγκου, της πίεσης, και της θερμοκρασίας ενός αερίου μάζας  $m$ .

Η εξίσωση που συνδέει τα μεγέθη αυτά ονομάζεται **καταστατική εξίσωση**.

- Αν το αέριο βρίσκεται σε πολύ χαμηλή πίεση, η καταστατική εξίσωση είναι απλή.
- Αυτό το είδος αερίου χαμηλής πυκνότητας ονομάζεται συνήθως **ιδανικό αέριο**.

## Το πείραμα του ιδανικού αερίου

Ας υποθέσουμε ότι ένα ιδανικό αέριο βρίσκεται μέσα σε κυλινδρικό δοχείο.

Ο όγκος του δοχείου μπορεί να μεταβληθεί μέσω ενός κινούμενου εμβόλου.

Υποθέτουμε ότι ο κύλινδρος δεν έχει διαρροές.

Μέσω πειραμάτων μπορούμε να λάβουμε πλήθος πληροφοριών για το αέριο.



## Ο νόμος των ιδανικών αερίων

Η καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων συνδυάζει και συνοψίζει τους υπόλοιπους νόμους των αερίων:

$$PV = nRT$$

Αυτή η σχέση είναι γνωστή και ως **νόμος των ιδανικών αερίων**.

Το  $n$  είναι ο αριθμός των γραμμομορίων (moles) του αερίου ο οποίος δίνεται από το λόγο

$$n = \frac{m \text{ (σε g)}}{m_{mol}}$$

- $m$  είναι η μάζα του αερίου σε γραμμάρια και  $m_{mol}$  είναι η γραμμομοριακή μάζα του αερίου, δηλαδή, μάζα του αερίου σε γραμμάρια όσο και το μοριακό του βάρος (π.χ., το οξυγόνο έχει μοριακό βάρος 32, άρα  $m_{mol} = 32 \text{ g}$ )

Το  $R$  είναι μια σταθερά, η παγκόσμια σταθερά των αερίων.

- $R = 8.314 \text{ J/mol}\cdot\text{K} = 82.14 \text{ cm}^3\cdot\text{atm/mol}\cdot\text{K}$



## Νόμος των ιδανικών αερίων (συνέχεια)

Συχνά, ο νόμος των ιδανικών αερίων εκφράζεται συναρτήσει του συνολικού αριθμού  $N$  των μορίων που υπάρχουν στο αέριο.

$$PV = nRT = Nk_B T$$

- Το  $k_B$  είναι μια σταθερά, η σταθερά του Boltzmann.
- $k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

Τα μεγέθη  $P$ ,  $V$ , και  $T$  ονομάζονται **θερμοδυναμικές μεταβλητές** των ιδανικών αερίων.

Αν είναι γνωστή η καταστατική εξίσωση ενός αερίου, τότε καθεμιά από τις θερμοδυναμικές μεταβλητές του μπορεί να εκφραστεί πάντα συναρτήσει των άλλων δύο.

## Ιδανικό αέριο μέσα σε κλειστό δοχείο

Για ένα αέριο, που βρίσκεται σε κλειστό δοχείο, η μάζα του (και, επομένως, ο αριθμός των γραμμομορίων του) παραμένει σταθερή. Άρα ισχύει

$$\frac{PV}{T} = nR = \text{σταθερό}$$

Για ένα αέριο, που βρίσκεται σε κλειστό δοχείο και υφίσταται μια μεταβολή της κατάστασής του από αρχικές τιμές  $P_i$ ,  $V_i$ , και  $T_i$  σε κάποιες τελικές τιμές  $P_f$ ,  $V_f$ , και  $T_f$ , ισχύει

$$\frac{P_i V_i}{T_i} = \frac{P_f V_f}{T_f}$$

## Άσκηση 16, σελ. 491

Μια άκαμπτη σφαίρα περιλαμβάνει μια βαλβίδα που ανοίγει και κλείνει. Με τη βαλβίδα ανοικτή, η σφαίρα τοποθετείται σε νερό που βράζει, σε ένα χώρο όπου η πίεση είναι 1.0 atm. Μετά την παρέλευση ενός μεγάλου χρονικού διαστήματος, κατά το οποίο το αέριο παίρνει τη θερμοκρασία του βραστόυ νερού, η βαλβίδα κλείνει. Ποιά θα είναι η πίεση του αερίου μέσα στη σφαίρα αν αυτή τοποθετηθεί (α) σε μείγμα πάγου και νερού και (β) σε ξηρό πάγο (-78,5 °C)

### ΛΥΣΗ

(α) Η θερμοκρασία του νερού που βράζει είναι  $100^{\circ}\text{C} = 373\text{ K}$ , ενώ η θερμοκρασία του μείγματος πάγου – νερού είναι  $0^{\circ}\text{C} = 273\text{ K}$ .

Ο αρχικός και ο τελικός όγκος του αερίου είναι ίδιοι. Επομένως, έχουμε

$$\frac{P_i V_i}{T_i} = \frac{P_f V_f}{T_f} \Rightarrow \frac{(1\text{atm}) V_i}{373\text{K}} = \frac{P_f V_f}{273\text{K}} \Rightarrow \frac{(1\text{atm})}{373\text{K}} = \frac{P_f}{273\text{K}}$$
$$\Rightarrow P_f = 273\text{K} \frac{(1\text{atm})}{373\text{K}} = 0.73\text{ atm}$$

(β) Η θερμοκρασία του ξηρού πάγου είναι  $-78,5^{\circ}\text{C} = 195\text{ K}$ , επομένως,

$$\frac{P_i V_i}{T_i} = \frac{P_f V_f}{T_f} \Rightarrow \frac{(1\text{atm})}{373\text{K}} = \frac{P_f}{195\text{ K}} \Rightarrow P_f = 195\text{K} \frac{(1\text{atm})}{373\text{K}} = 0.52\text{ atm}$$

## Άλυτα προβλήματα

1. Άσκηση 12, σελ. 490

2. Άσκηση 14, σελ. 490

3. Άσκηση 17, σελ. 491

Υπόδειξη: Θεωρήστε  $R = 8.31 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{cm}^3/\text{mol} \cdot \text{K}$

4. Άσκηση 18, σελ. 491

5. Άσκηση 19, σελ. 491

6. Πρόβλημα 24, σελ. 491

7. Πρόβλημα 25, σελ. 491

Υπόδειξη: Θεωρήστε  $R = 8.20 \times 10^{-5} \text{ atm} \cdot \text{m}^3/\text{mol} \cdot \text{K}$

8. Πρόβλημα 26, σελ. 491