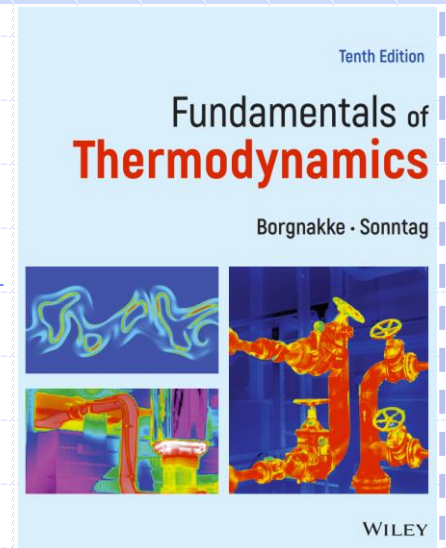


Fundamentals of Thermodynamics
Borgnakke – Sonntag
10^η έκδοση
Εκδόσεις ΚΡΙΤΙΚΗ, 2023



Κεφάλαιο 1ο
Εισαγωγή και βασικές έννοιες

Επιμέλεια παρουσίασης
καθηγήτριας Γ. Σκόδρας

Περιεχόμενα...

- ✓ **Εισαγωγή**
- ✓ **Θερμοδυναμικό σύστημα και όγκος ελέγχου**
- ✓ **Ιδιότητες, διεργασίες και κύκλοι**
- ✓ **Μονάδες μάζας, μήκους, χρόνου και δύναμης**
- ✓ **Ειδικός Όγκος και Πυκνότητα**
- ✓ **Πίεση**
- ✓ **Ενέργεια και Θερμοκρασία**
- ✓ **Μηδενικός νόμος της Θερμοδυναμικής**
- ✓ **Κλίμακες θερμοκρασίας**
- ✓ **Εφαρμογές μηχανικής**

Εισαγωγή...

- ❑ Η **Θερμοδυναμική** ασχολείται με την επιστημονική μελέτη της ενέργειας, θέτοντας στο επίκεντρο την αποθήκευση και τις διεργασίες μετατροπής της, ενώ μελετώνται οι επιδράσεις της ενέργειας σε διάφορες ουσίες, καθώς μια μάζα υπόκειται σε θέρμανση/ψύξη ή σε ογκομετρική συμπίεση/εκτόνωση
- ❑ Είναι μια πλήρης μαθηματική θεωρία που θεμελιώνεται με έναν αριθμό αξιωμάτων, ενώ το σύνολο της θεωρίας οικοδομείται επαγωγικά περιγράφει τις καταστάσεις ισορροπίας των μακροσκοπικών συστημάτων
- ❑ Ως "**μακροσκοπικά**" χαρακτηρίζονται τα συστήματα που περιέχουν ένα μεγάλο αριθμό σωματιδίων, συνήθως της τάξεως του αριθμού του Avogadro ($N_A \approx 10^{23}$), και έχουν πολύ μεγάλο όγκο σε σχέση με τις διαστάσεις των σωματιδίων
- ❑ Οι μακροσκοπικές παρατηρήσεις γίνονται σε σχετικά πολύ μεγάλους χρόνους σε σχέση με τους χρόνους χαρακτηριστικών κινήσεων των μεμονωμένων μορίων (πχ. η ταλάντωση ενός χημικού δεσμού διαρκεί 10^{-12} s)
- ❑ Η περιγραφή της "**μικροσκοπικής**" συμπεριφοράς του ανωτέρω συστήματος απαιτεί τεράστιο αριθμό εξισώσεων ($6 \cdot 10^{23}$), γι' αυτό χρησιμοποιείται η Στατιστική και η Θεωρία Πιθανοτήτων

Εισαγωγή...

Η **Θερμοδυναμική** ασχολείται με την ενέργεια, τις μετατροπές και τις επιδράσεις της σε ουσίες και συσκευές

Αντικείμενα:	Θερμικά συστήματα, συσκευές, συστατικά
Παραδείγματα:	Παραγωγή Ισχύος με Ατμό, Κλιματιστικό (A/C), Θερμαντήρας, Βραστήρας, Ατμοπαραγωγός, Ψυγείο, Κινητήρας, Αντλία, Ακροφύσιο
Αντικείμενα:	Συμπεριφορά και ιδιότητες καθαρών ουσιών
Παραδείγματα:	Όταν το νερό (H_2O) είναι στερεό (πάγος), υγρό ή ατμός (αέριο) Όταν ο αέρας συμπιέζεται πόσο μειώνεται ο όγκος του; Πόση ενέργεια απαιτείται για να φθάσει το κρύο νερό σε βρασμό; Σε ποια πίεση το R-410A (ψυκτικό) βράζει στους $35^{\circ}C$ ($95^{\circ}F$);
Αντικείμενα:	Συμπεριφορά ή χαρακτηριστικά συσκευών ή συστημάτων
Παραδείγματα:	Πόσο ισχυρή αντλία χρειάζεται για να αδειάσει μια κολυμβητική δεξαμενή σε 1 ώρα; Πόσος αέρας πρέπει να εισαχθεί σε ένα μπαλόνι ορισμένου μεγέθους; Πόσο έργο απαιτείται για να φουσκώσει ένα σκασμένο λάστιχο ή ένα μπαλόνι;

Θερμοδυναμικό Σύστημα και Όγκος Ελέγχου...

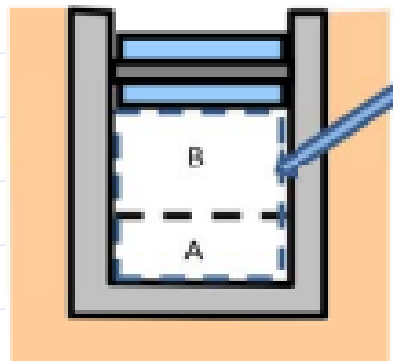
- Θερμοδυναμικό σύστημα είναι μια διάταξη ή ένας συνδυασμός διατάξεων που περιέχουν μια ποσότητα ύλης προς μελέτη

Όγκοι ελέγχου

Κλειστός **όγκος ελέγχου**

Περιέχει σταθερή ποσότητα μάζας

Καλείται και **μάζα ελέγχου**



Επιφάνεια ελέγχου

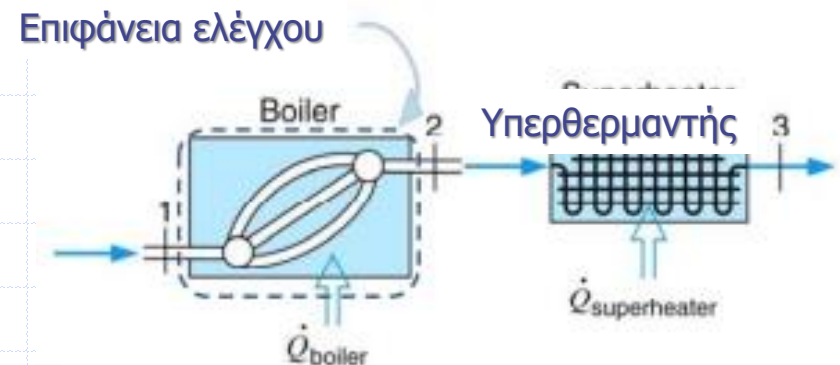
Όγκος ελέγχου A + B

Ο όγκος μπορεί να μεταβληθεί

Η μάζα παραμένει σταθερή

Ανοιχτός **όγκος ελέγχου**

Μάζα εισέρχεται και εξέρχεται

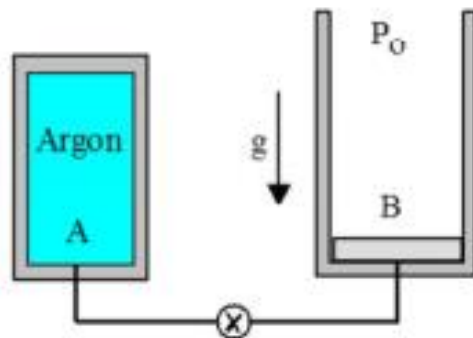


Επιφάνεια ελέγχου

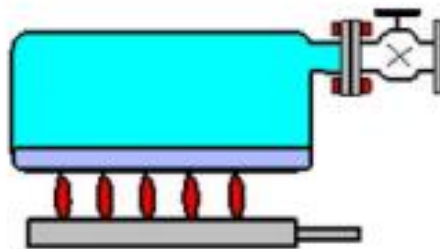
Θερμοδυναμικό Σύστημα και Όγκος Ελέγχου...

Όγκοι ελέγχου

Κλειστός όγκος ελέγχου
Περιέχει σταθερή ποσότητα μάζας



CV: Αργό, ο όγκος μπορεί να μεταβάλλεται



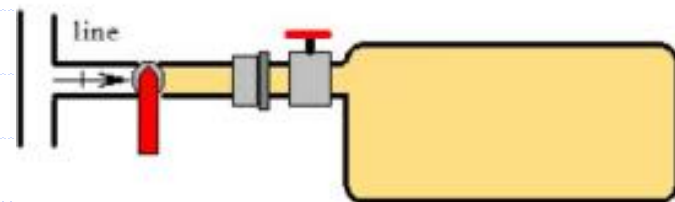
Θέρμανση υπό σταθερό όγκο

Ανοιχτός όγκος ελέγχου
Μάζα εισέρχεται και εξέρχεται



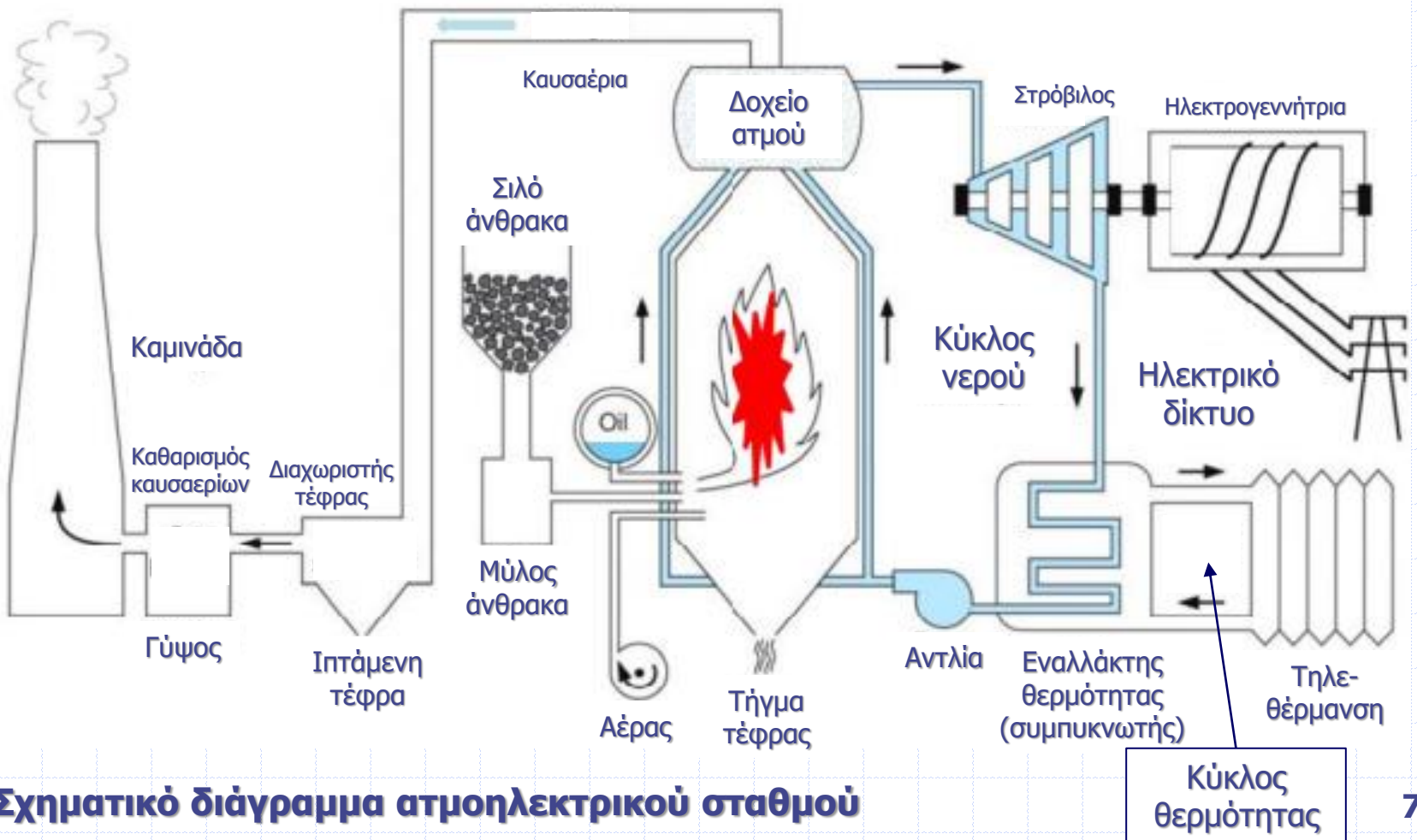
Αερόστατο γεμίζει με θερμό αέρα

Πλήρωση δεξαμενής



Θερμοδυναμικό Σύστημα και Όγκος Ελέγχου...

Μετατροπή της ενέργειας του καυσίμου σε ηλεκτρισμό και θερμότητα

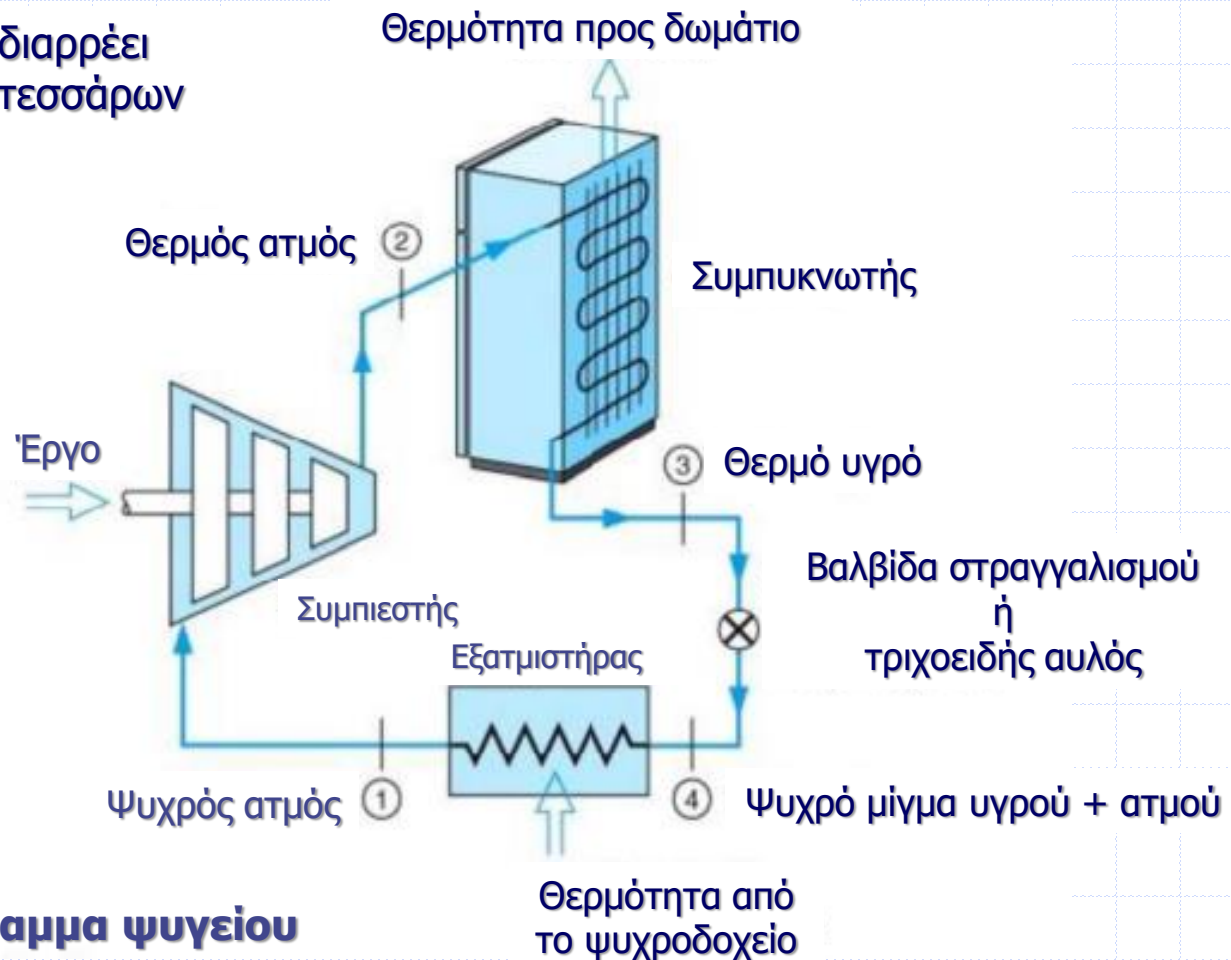


Σχηματικό διάγραμμα ατμοηλεκτρικού σταθμού

Θερμοδυναμικό Σύστημα και Όγκος Ελέγχου...

Το ψυγείο μεταφέρει θερμότητα από ένα ψυχρό θάλαμο σε έναν θερμότερο (δωμάτιο)

Το ψυκτικό διαρρέει έναν κύκλο τεσσάρων συσκευών



Σχηματικό διάγραμμα ψυγείου

Ιδιότητες, διεργασίες και κύκλοι...

- ❑ **Φάσεις:** Στερεό, Υγρό και Ατμός (αέριο)
- ❑ **Κατάσταση:** μια ειδική κατάσταση που περιγράφεται από μια μοναδική ομάδα τιμών ιδιοτήτων όπως P , T και πυκνότητα ρ
 - ✓ Απαιτούνται δύο ανεξάρτητες ιδιότητες για τον προσδιορισμό μιας κατάστασης
 - ✓ **Εντατικές ιδιότητες**, είναι ανεξάρτητες της μάζας (P , T , ρ)
 - ✓ **Εκτατικές ιδιότητες**, εξαρτώνται από την μάζα (μάζα, όγκος, ενέργεια)
- ❑ **Διεργασία:** Η μεταβολή που υφίσταται μια ουσία καθώς μεταβαίνει από την κατάσταση 1 στην κατάσταση 2, μέσω συνεχών μεταβολών των καταστάσεων
 - ✓ Παράδειγμα: Θέρμανση ψυχρού νερού προς θερμό νερό
 - ✓ Παράδειγμα: Συμπίεσή αέρα σε κύλινδρο μικρότερου όγκου (αντλία ποδηλάτου)

Ιδιότητες, διεργασίες και κύκλοι...

- **Διαδρομή διεργασίας ή τύπος:** Σε μια σειρά διαδοχικών καταστάσεων συνήθως δίνεται ένα όνομα που σχετίζεται με την συνθήκη στην οποία συμβαίνει. Ανάλογα με την συμπεριφορά της συσκευής περιγράφεται από μια **εξίσωση διεργασίας ή εξίσωση συσκευής**
 - ✓ Παράδειγμα: Η θέρμανση ενός φλυτζανιού νερού υπό ατμοσφαιρική πίεση καλείται **ισοβαρής** διεργασία, σταθερής πίεσης
 - ✓ Παράδειγμα: Η θέρμανση του αέρα σε ένα δοχείο σταθερού όγκου καλείται **ισόχωρη** διεργασία, σταθερού όγκου
 - ✓ Παράδειγμα: Η συμπίεση αέρα σε κυλινδρικό έμβολο με σταθερή θερμοκρασία καλείται **ισοθερμοκρασιακή** διεργασία
 - ✓ Παράδειγμα: Η διεργασία όπου αέρας μέσα σε ένα καλά μονωμένο κυλινδρικό έμβολο, συμπιέζεται χωρίς να ανταλλάσσει θερμότητα καλείται **αδιαβατική** διεργασία
- Ο τύπος της διεργασίας συχνά καθορίζεται από την συμπεριφορά της συσκευής, οπότε καλείται εξίσωση συσκευής

Ιδιότητες, διεργασίες και κύκλοι...

- **Κύκλος:** Μια σειρά διαδοχικών καταστάσεων που καταλήγει στο σημείο έναρξης, και μπορεί να είναι μια σύνθετη διεργασία ή συνδυασμός σειράς απλών επιμέρους διεργασιών
 - ✓ Παράδειγμα: Νερό κυκλοφορεί σε σταθμό παραγωγής ισχύος με ατμό
 - ✓ Παράδειγμα: Ψυκτικό (όπως R-134a, R-410A ή R-12) κυκλοφορεί σε ένα ψυγείο ή ένα κλιματιστικό
 - ✓ Παράδειγμα: Αέρας διέρχεται από τέσσερις (4) διαδοχικές διεργασίες σε ένα κυλινδρικό έμβολο, όπως συμβαίνει σε έναν κινητήρα αυτοκινήτου. Ο κύκλος επαναλαμβάνεται στον χρόνο

- Στους κύκλους το εργαζόμενο μέσο δεν αλλάζει, αλλά κυκλοφορεί συνεχώς στον χώρο (ροή) ή τον χώρο
- Κατά την διάρκεια του κύκλου, το εξωτερικό περιβάλλον ανταλλάσσει ενέργεια με το εργαζόμενο μέσο, σε διάφορες συνθήκες, οπότε το καθαρό αποτέλεσμα είναι μια **διεργασία μετατροπής ενέργειας**

Μονάδες μάζας, μήκους, χρόνου και δύναμης...

□ **SI ή Αγγλικό:**

✓ **SI:** μάζα (kg), μήκος (m), χρόνος (s), δύναμη (N)

• $F = m a$ έχει μονάδες $1 \text{ N} = (1 \text{ kg}) (1 \text{ m/s}^2) = 1 \text{ kg m/s}^2$

✓ **Αγγλικό:** μάζα (lbm), μήκος (ft), χρόνος (s), δύναμη (lbf)

• $F = m a$ έχει μονάδες $1 \text{ lbf} = (1 \text{ lbm}) (32,174 \text{ ft/s}^2) = 1 \text{ lbm ft/s}^2$

✓ **Mole:** Σταθερός αριθμός σωματιδίων ($N_0 = 6,022 \cdot 10^{23}$), διακρίνονται σε gram-mole (mol) και kilomole (kmol)

• $m = n M$ όπου m είναι η μάζα, n ο αριθμός των moles, M είναι η μοριακή μάζα

Μονάδες μάζας, μήκους, χρόνου και δύναμης...

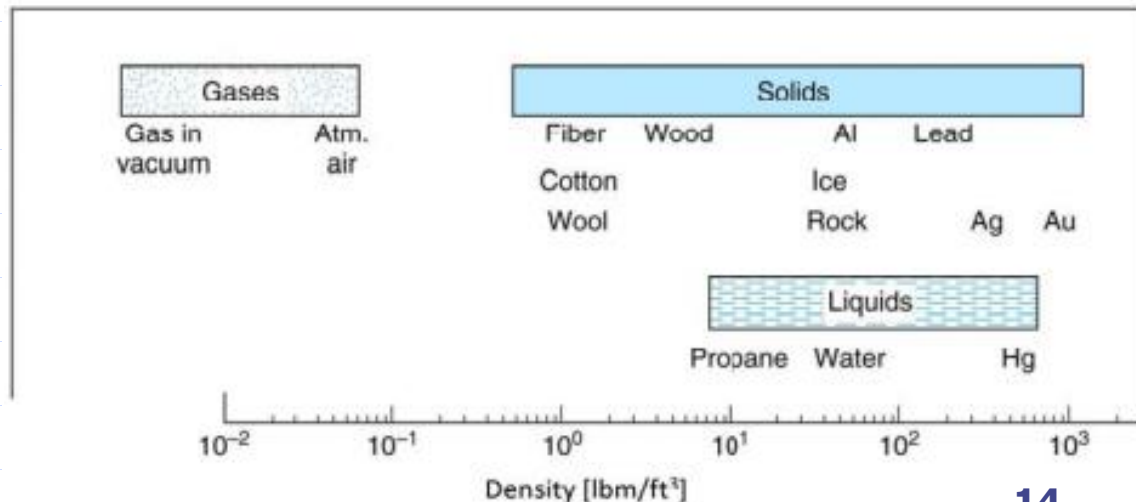
- Παραδείγματα (1.1, 1.1AM)

Ειδικός όγκος και πυκνότητα...

- ❑ **Ειδικός όγκος:** Όγκος ανά μονάδα μάζας (v)
 - ✓ $v = \frac{V}{m}$ [m³/kg] περιορίζεται σε μικρούς σχετικά όγκους
- ❑ **Πυκνότητα:** Μάζα ανά μονάδα όγκου (ρ)
 - ✓ $\rho = \frac{m}{V}$ [kg/m³] περιορίζεται σε μικρούς σχετικά όγκους
- ❑ **Τυπικές τιμές, Αγγλικό:** Μάζα ανά μονάδα όγκου (ρ)
 - ✓ Υγρό νερό: $v = 0,016$ ft³/lbm και $\rho = 62,5$ kg/m³
 - ✓ Ατμοσφαιρικός αέρας: $v = 13,7$ ft³/lbm και $\rho = 0,073$ lbm/ft³

- ✓ Πυκνό: υψηλό ρ , μικρό v
- ✓ Αραιό: χαμηλό ρ , υψηλό v

Το λίτρο (L) χρησιμοποιείται ευρέως ως μονάδα μέτρησης, είναι $1 \text{ L} = 10^{-3} \text{ m}^3$



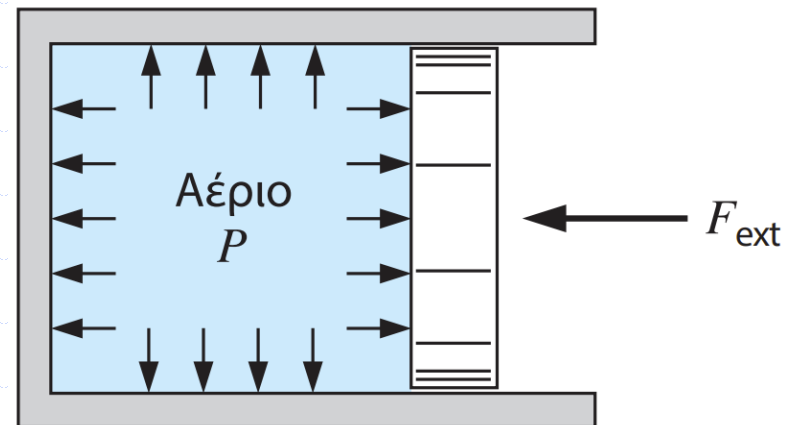
Ειδικός όγκος και πυκνότητα...

▣ Παραδείγματα (1.2)



Πίεση...

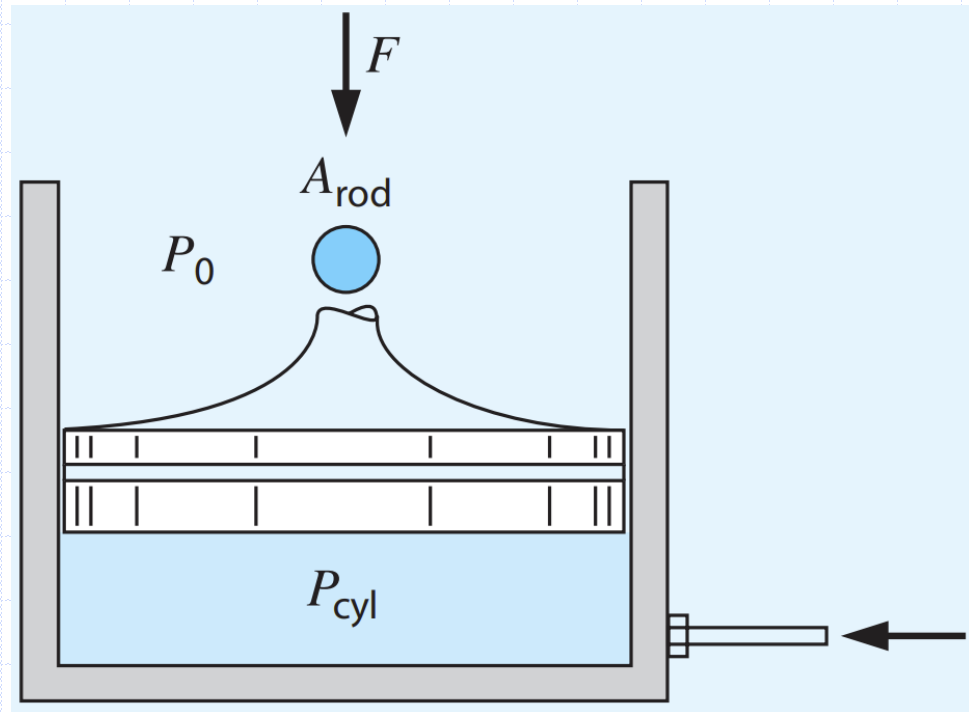
- **Πίεση:** είναι η κάθετη συνιστώσα της δύναμης ανά μονάδα επιφάνειας
 - ✓ $P \equiv \lim_{\delta A \rightarrow 0} \frac{\delta F}{\delta A}$
 - ✓ Η πίεση P σε ένα σημείο κάποιου ρευστού σε ισορροπία είναι ίση προς όλες τις κατευθύνσεις
- **Πυκνότητα:** Υπό σταθερή πίεση, και το έμβολο ακίνητο ($F_{\rightarrow} = F_{\leftarrow}$)
 - ✓ $F_{ext} = P A_{cyl}$
- **Μονάδες P**
 - ✓ $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$
 - ✓ $1 \text{ kPa} = 1000 \text{ Pa} = 1 \text{ kN/m}^2$
 - ✓ $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 100 \text{ kPa} = 0,1 \text{ MPa}$
 - ✓ $1 \text{ atm} = 101,325 \text{ kPa} = 14,696 \text{ lbf/ft}^2$



Ισορροπία δυνάμεων σε κινητό όριο

Πίεση...

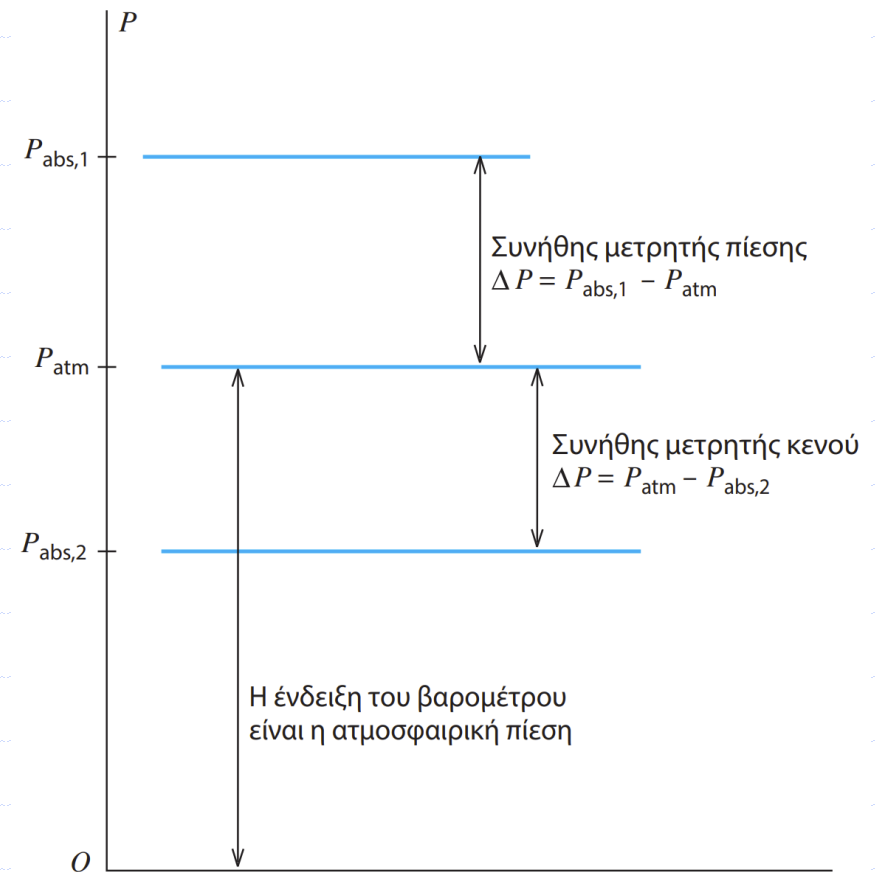
▣ Παραδείγματα (1.3)



Πίεση...

- **Απόλυτη πίεση** (absolute pressure): είναι η πραγματική τιμή της πίεσης, μετράται ως προς το απόλυτο κενό
- **Σχετική ή μανομετρική πίεση** (gauge pressure): η διαφορά μεταξύ της απόλυτης και της ατμοσφαιρικής πίεσης

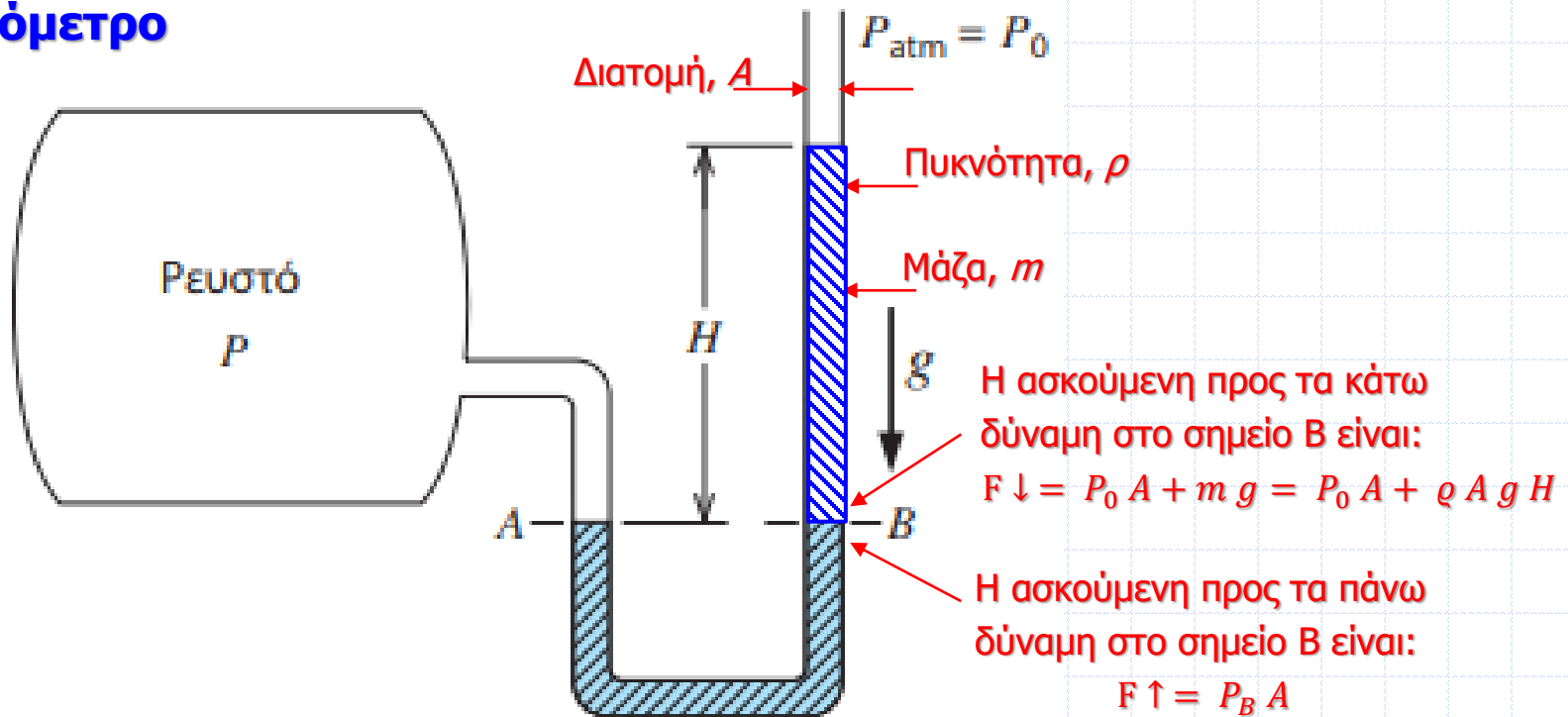
$$✓ P_{gauge} = \Delta P = P - P_0$$



Όροι που χρησιμοποιούνται στην
μέτρηση της πίεσης

Πίεση...

Μανόμετρο



- Σε κατάσταση ισορροπίας είναι $P_A = P_B$ οπότε: $P_B A = P_0 A + \rho A g H \Rightarrow P_B - P_0 = \rho g H$ και $P_{gauge} = \Delta P = P - P_0 = \rho g H$

Πίεση...

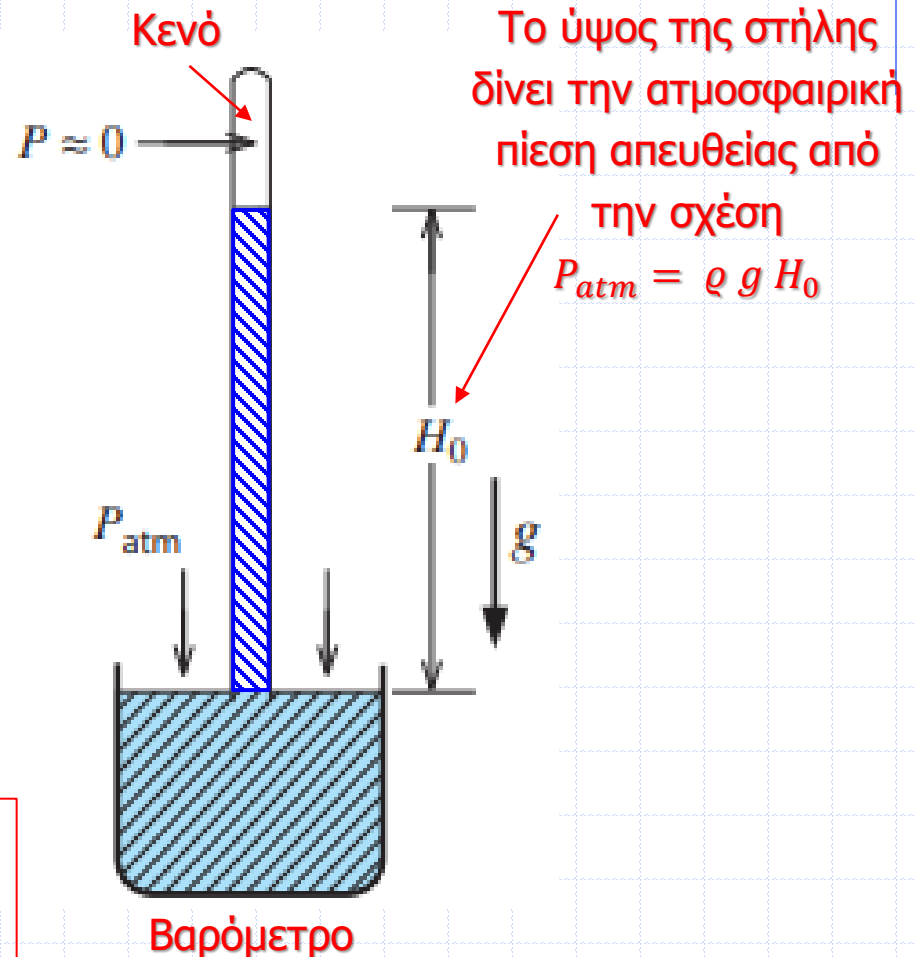
Βαρόμετρο

- Αν η πυκνότητα είναι σταθερή:
 $P_{atm} = \rho g H_0$
- Αν η πυκνότητα μεταβάλλεται, λαμβάνεται σε διαφορική μορφή:
 $dP = -\rho A g dh$ που για πεπερασμένη διαφορά, γίνεται:

$$P = P_0 - \int_0^H \rho g dh$$

Η πίεση σε μηδενικό ύψος

Η χρήση Hg στα βαρόμετρα ευνοείται από την χαμηλή τάση ατμών του



Πίεση...

Άνωση

- ❑ Σε έναν όγκο υγρού σε κάποιο βάθος από την επιφάνεια, η ασκούμενη σε αυτό καθαρή δύναμη ισούται με την κάθετη δύναμη, $F = m g$, ώστε να έχουμε στατική ισορροπία
- ❑ Η καθαρή δύναμη με φορά προς τα πάνω από την κατανομή της πίεσης γύρω από τον όγκο ανεξάρτητα από το σχήμα του, αποτελεί το φαινόμενο της άνωσης (buoyancy)
- ❑ Αυτό δεν παρατηρείται παρά μόνο όταν τοποθετηθεί ένα σώμα (object) αντί για τον όγκο του υγρού (liquid) το οποίο έχει διαφορετική μάζα σε αυτό τον όγκο ($\rho_{object} \neq \rho_{liq}$)

- ❑ Τώρα θα υπάρχει μια καθαρή δύναμη προς τα πάνω, που είναι:

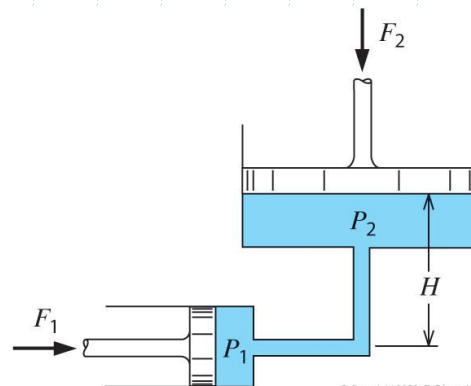
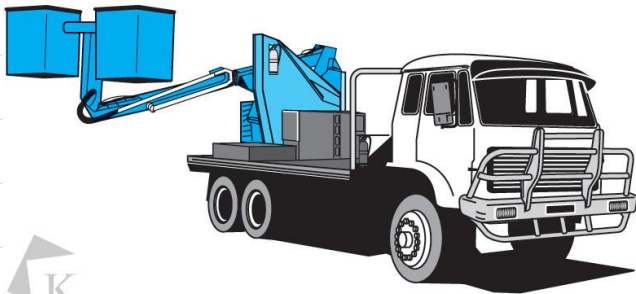
$$F_{net} = F_{buoyancy} - m_{object} g = (\rho_{liq} - \rho_{object}) V g = (m_{liq} - m_{object}) g$$

- ❑ Αν το σώμα είναι βαρύτερο, η δύναμη έχει φορά προς τα κάτω, ενώ, αν είναι ελαφρύτερο, η δύναμη έχει φορά προς τα πάνω, κάτι που γίνεται κατά την κολύμβηση ή την πλεύση με μια βάρκα

Πίεση...

▣ Παραδείγματα (1.4 – 1.7)

1.7



Ενέργεια και θερμοκρασία...

- Η **Ενέργεια** είναι η ικανότητα ενός συστήματος να μεταβάλλεται
- Είναι μια αφηρημένη μαθηματική έννοια και δεν μπορεί να υπάρξει χωρίς τις απαραίτητες σχέσεις της με άλλες μεταβλητές ή συντεταγμένες που έχουν κάποια φυσική σημασία και μπορούν να μετρηθούν
- Μια μακροσκοπική ποσότητα μάζας έχει ενέργεια με τη μορφή εσωτερικής ενέργειας ενυπάρχουσας στην εσωτερική δομή της, κινητικής ενέργειας (kinetic energy, KE , ke) οφειλόμενη στην κίνηση της και δυναμικής ενέργειας (potential energy, PE , pe) που σχετίζεται με τις εξωτερικές δυνάμεις που ασκούνται στη μάζα
- Η συνολική ενέργεια γράφεται ως εξής:

$$E = \text{Εσωτερική} + \text{Κινητική} + \text{Δυναμική} = U + KE + PE$$

- Η ειδική συνολική ενέργεια είναι:

$$e = \frac{E}{m} = u + ke + pe = u + \frac{1}{2}V^2 + gz$$

Αν υπάρχει περιστροφική κίνηση στον όρο της μεταφορικής ενέργειας (ke) προστίθεται και ο όρος $\frac{1}{2} I \omega^2$

Ενέργεια και θερμοκρασία...

- Η **Εσωτερική ενέργεια** είναι μια μορφή ενέργειας που σχετίζεται με την κίνηση στη μικροκλίμακα των επιμέρους μορίων, και είναι ενυπάρχουσα ιδιότητα κάθε συστήματος και συνδέεται συναρτησιακά με τις μετρήσιμες ιδιότητες που καθορίζουν το σύστημα, και περιγράφεται από την σχέση:

από διαμοριακές δυνάμεις από μεταφορική κίνηση από εσωτερική και μοριακή δομή

$$u = u_{ext\ molecule} + u_{translation} + u_{int\ molecule}$$

Εξαρτάται από τις αποστάσεις μεταξύ των μορίων Εξαρτάται από την μάζα και το κέντρο της ταχύτητας μάζας Εξαρτάται από την μοριακή δομή

- Ως άθροισμα της δυναμικής ενέργειας από τις διαμοριακές δυνάμεις μεταξύ των μορίων, της κινητικής ενέργειας λόγω μεταφορικής κίνησης του μορίου και της ενέργειας που σχετίζεται με τη μοριακή εσωτερική και ατομική δομή

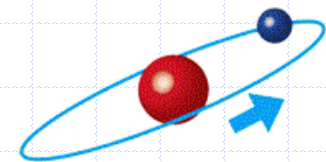
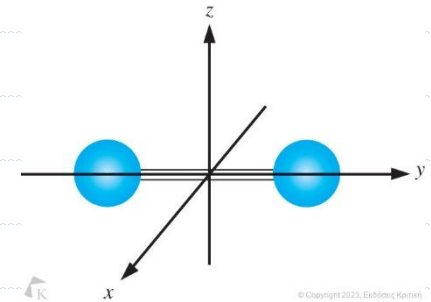
Ενέργεια και θερμοκρασία...

- Γενικά, η $u_{int\ molecule}$ μπορεί να γραφεί:

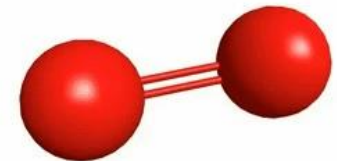
$$u_{int\ molecule} = u_{potential} + u_{rotation} + u_{vibration} + u_{atoms}$$

Κάθε μόριο διαθέτει:

- Δυναμική ενέργεια, που συγκρατεί τα άτομα στο μόριο
- Ηλεκτρονική ενέργεια, ως αποτέλεσμα της τροχιακής στροφορμής των ηλεκτρονίων γύρω από τον πυρήνα
- Ενέργεια δόνησης καθώς τα άτομα δονούνται το ένα ως προς το άλλο
- Στον υπολογισμό της ενέργειας ενός μορίου υπεισέρχεται η έννοια του βαθμού ελευθερίας (f) των μορφών ενέργειας, που είναι $f = 3$ (κίνηση στους τρεις άξονες x, y, z) για ένα μονοατομικό αέριο (πχ. He), και $f = 6$ για ένα διατομικό (O_2), λόγω περιστροφής σε δύο κατευθύνσεις και δονήσεως



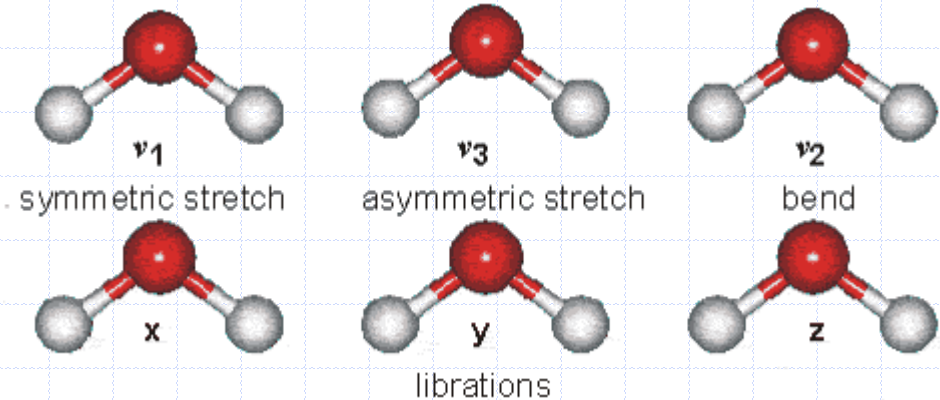
http://www.ame-lueker.de/Objects/work/Spintronics/spintronics_intro.html



<https://i.stack.imgur.com/9GD62.gif>
MakeAGIF.com

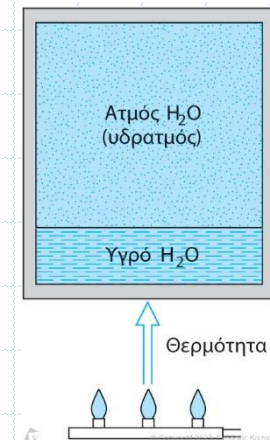
Ενέργεια και θερμοκρασία...

- Σε ένα πιο πολύπλοκο μόριο (πχ. H_2O) υπάρχουν περισσότεροι βαθμοί ελευθερίας ($f = 9$), δηλ. τρεις μεταφορικοί, τρεις περιστροφικοί και τρεις δονήσεων



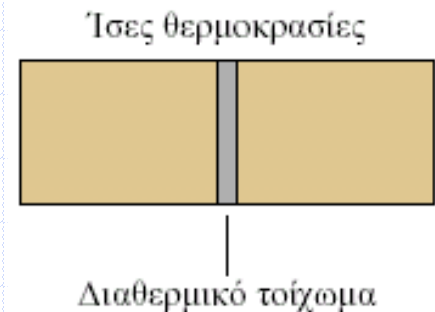
<http://www.lsbu.ac.uk/water/vibrat.html>

- Μακροσκοπικά, κατά την μεταφορά θερμότητας σε H_2O ενδιαφέρει η αλλαγή των ιδιοτήτων όπως η θερμοκρασία, η πίεση και η συνολική ενέργεια που περιέχει (στο τέλος όλο το υγρό νερό μετατρέπεται σε ατμό)
- Μικροσκοπικά ενδιαφέρει ο τρόπος αποθήκευσης της ενέργειας στα μόρια του νερού (εκφεύγει του παρόντος βιβλίου)



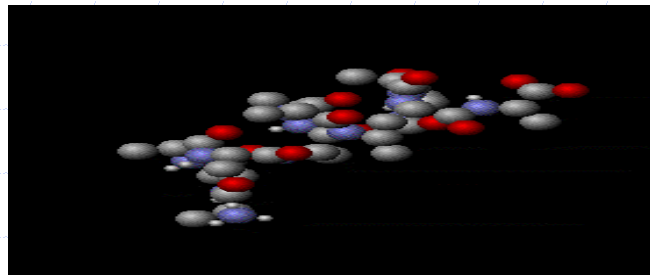
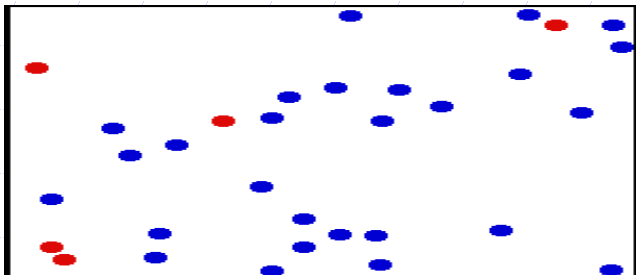
Εξίσωση της θερμοκρασίας...

- ❑ Ο ορισμός της θερμοκρασίας είναι δύσκολος και γίνεται αντιληπτή κυρίως ως αίσθηση του ζεστού ή του κρύου
- ❑ Εάν δύο σώματα, αρχικά σε διαφορετικές θερμοκρασίες, έρθουν σε επαφή, μέσω τοιχώματος που επιτρέπει την μεταφορά θερμότητας (διαθερμικού), μετά από κάποιο χρόνο μοιάζουν να βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία
- ❑ Το υλικό ενός σώματος επηρεάζει την αίσθηση του θερμού ή του ψυχρού



Εξίσωση της θερμοκρασίας...

- Η **Θερμοκρασία** είναι το φυσικό μέγεθος που μετρά την **ενέργεια κίνησης** ή **ταλάντωσης** της **ύλης** σε **ατομικό** επίπεδο, και δίνει την αίσθηση του ζεστού και του κρύου («ζεστό» ή «θερμό» όταν συνολικά παίρνουμε ενέργεια, και «κρύο» όταν χάνουμε συνολικά ενέργεια)
- Είναι το μέτρο με το οποίο προσδιορίζεται η "**θερμική κατάσταση**" των διαφόρων σωμάτων, είναι δηλαδή ένα φυσικό **μέγεθος** που συνδέεται με την μέση κινητική ενέργεια των σωματιδίων ενός συστατικού, το οποίο και χαρακτηρίζει πόσο θερμό ή πόσο ψυχρό είναι αυτό
- Το αίτιο που δημιουργεί το αίσθημα του θερμού ή ψυχρού είναι η "**θερμότητα**" (**μορφή ενέργειας**) που όταν προσφέρεται (απορροφάται) ή απομακρύνεται (εκλύεται) από ένα σώμα προκαλεί "**μεταβολή θερμοκρασίας**" (ιδιότητα και μέγεθος)



Μηδενικός νόμος Θερμοδυναμικής...

□ Μηδενικό Θερμοδυναμικό αξίωμα

- ✓ **Αξιοματική διατύπωση 1:** Όταν δύο (ή περισσότερα) συστήματα έρθουν σε επαφή μέσω θερμικά διαπερατών τοιχωμάτων, τότε μεταβάλλονται οι καταστάσεις τους και μετά την παρέλευση πεπερασμένου χρόνου δημιουργούνται νέες καταστάσεις ισορροπίας, που δε, μεταβάλλονται πλέον. Τότε ότι τα συστήματα βρίσκονται σε **θερμική ισορροπία**
- ✓ **Αξιοματική διατύπωση 2:** Όταν δύο σώματα είναι σε θερμική ισορροπία προς ένα τρίτο σώμα, τότε είναι και σε θερμική ισορροπία μεταξύ τους. Οι καταστάσεις των συστημάτων αυτών χαρακτηρίζονται από μια κοινή ιδιότητα που ονομάζεται **θερμοκρασία**
- ✓ **Αξιοματική διατύπωση 3:** Δύο σώματα είναι σε θερμική ισορροπία, αν χαρακτηρίζονται από την ίδια θερμοκρασία, ακόμα κι αν δεν είναι σε επαφή. Εάν **δεν υπάρχει** θερμική ισορροπία τότε **η ενέργεια ρέει** από την περιοχή υψηλής θερμοκρασίας προς την περιοχή χαμηλής θερμοκρασίας

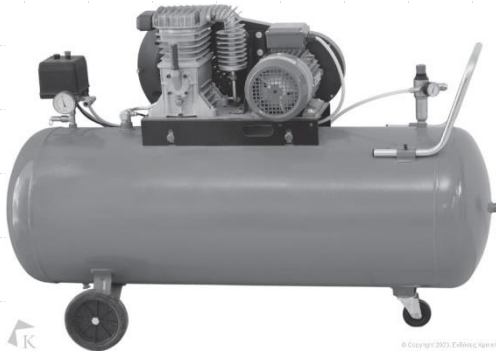
Κλίμακες θερμοκρασίας...

- ❑ Η θερμοκρασία (συμβολίζεται με T) μετριέται με ειδικά όργανα που λέγονται **θερμόμετρα**, και την την χρήση κλιμάκων με σημεία που μπορούν εύκολα να αναπαρασταθούν (πήξη και βρασμός νερού)
- ❑ Οι πλέον συνήθεις είναι η κλίμακα **Φαρενάιτ**, συμβολίζεται με F (Gabriel Fahrenheit, 1686-1736) που χρησιμοποιείται στο Αγγλοσαξωνικό σύστημα μονάδων, και η κλίμακα **Κελσίου**, συμβολίζεται με °C (Anders Celsius, 1701-1744), στο σύστημα SI
- ❑ Μέχρι το 1954, οι δύο κλίμακες βασίζονταν στο **σημείο του πάγου** (η θερμοκρασία ενός μείγματος πάγου και νερού που βρίσκεται σε ισορροπία με κορεσμένο αέρα σε πίεση 1 atm) και στο **σημείο του ατμού** (η θερμοκρασία του νερού και του ατμού όταν βρίσκονται σε ισορροπία σε πίεση 1 atm)
- ❑ Η κλίμακα Κελσίου επαναπροσδιορίστηκε ως προς ένα μοναδικό σταθερό σημείο που είναι το **τριπλό σημείο του νερού** (συνύπαρξη σε ισορροπία της στερεάς, της υγρής και της αέριας φάσης του νερού)

Κλίμακες θερμοκρασίας...

- ❑ Η **θερμοδυναμική (απόλυτη) κλίμακα θερμοκρασίας** ορίζεται με βάση τον δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής (συζητείται σε επόμενα κεφάλαια), και είναι ανεξάρτητη από τις θερμομετρικά μετρούμενες ιδιότητες οποιασδήποτε ουσίας
- ❑ Η απόλυτη κλίμακα θερμοκρασίας που σχετίζεται με την κλίμακα Κελσίου είναι η κλίμακα Κέλβιν από τον Lord Kelvin (William Thomson, 1824-1907) και συμβολίζεται με το K (χωρίς το σύμβολο του βαθμού) και είναι $K = ^\circ\text{C} + 273,15$ (το 1967 ο βαθμός kelvin ορίστηκε ως το $1/273,16$ της θερμοκρασίας στο τριπλό σημείο του νερού)
- ❑ Η απόλυτη κλίμακα που σχετίζεται με την κλίμακα Φαρενάιτ είναι η κλίμακα Ράνκιν (Rankine) και συμβολίζεται με R, και είναι $R = F + 459,67$
- ❑ Η πλέον πρόσφατη τυποποίηση της μέτρησης και της βαθμονόμησης της θερμοκρασίας είναι η **Διεθνής Κλίμακα Θερμοκρασίας** του 1990 ή ITS-90, που βασίζεται σε έναν αριθμό από σταθερά σημεία που μπορούν να αναπαραχθούν εύκολα στα οποία αποδίδονται συγκεκριμένες αριθμητικές τιμές θερμοκρασίας

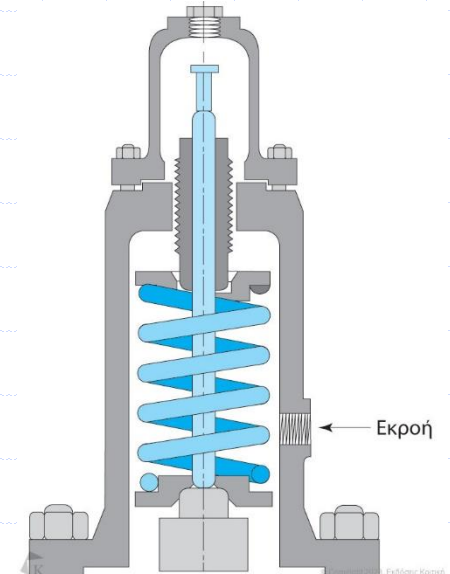
Εφαρμογές μηχανικής...



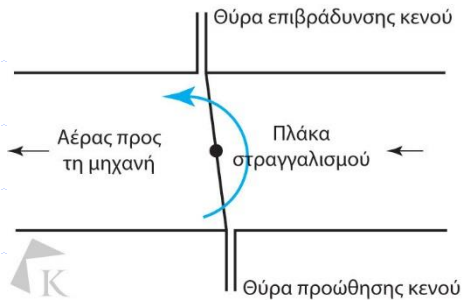
Συμπιεστής αέρα με δεξαμενή



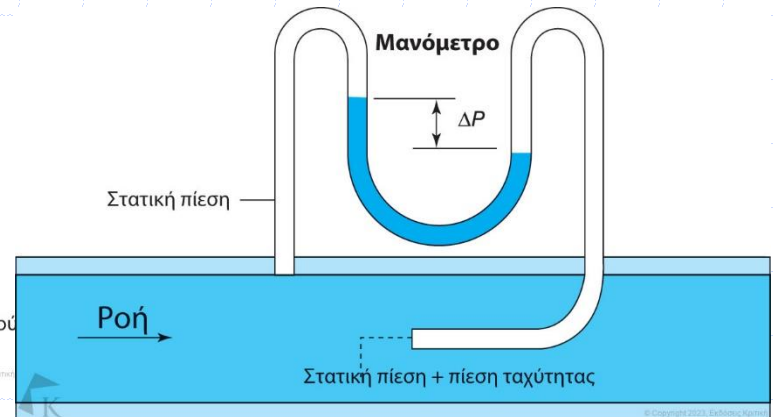
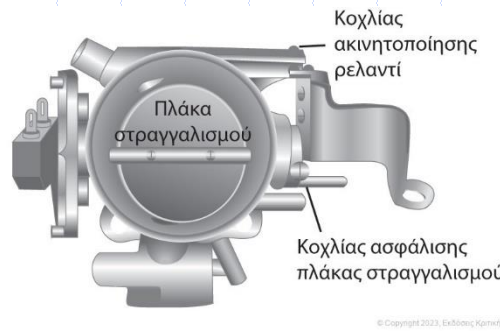
Μετρητές πίεσης



Βαλβίδα εκτόνωσης πίεσης



Πλάκα στραγγαλισμού εισόδου κινητήρα αυτοκινήτου



Μέτρηση της ταχύτητας ροής

Εφαρμογές μηχανικής...



Βαρόμετρο ξηρού τύπου



Σφραγισμένο
περίβλημα



Σφραγισμένο και
απομονωμένο
από το περίβλημα



Σφραγισμένο
και γειωμένο
στο περίβλημα



Εκτεθειμένο
ταχείας
απόκρισης



Εκτεθειμένη
χάντρα

Θερμοστοιχεία (θερμοζεύγη)

Θερμοδυναμική

ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΑΣ!