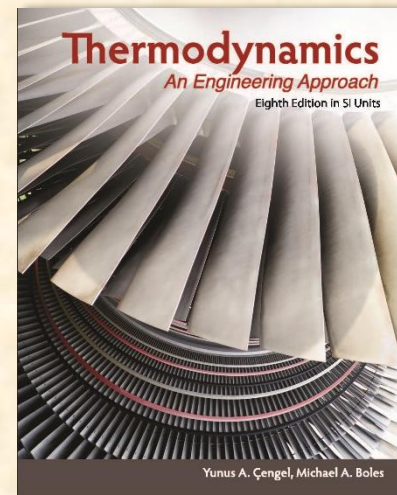


Θερμοδυναμική για Μηχανικούς
8^η έκδοση
Yunus A. Çengel, Michael A. Boles
Εκδόσεις Τζιόλα, 2015



Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή - Βασικές Έννοιες

Επιμέλεια διαφάνειας
Mehmet Kanoglu

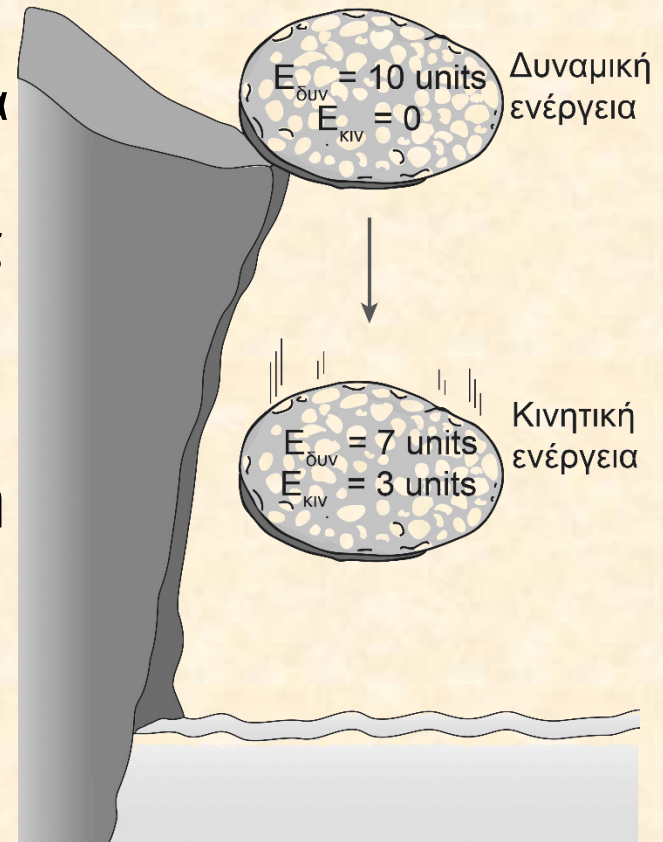
Επιμέλεια ελληνικής έκδοσης
Δημήτρης Τερτίπης

Στόχοι

- Κατανόηση της ορολογίας της Θερμοδυναμικής και ακριβής ορισμός των εννοιών και των αρχών της Θερμοδυναμικής.
- Επισκόπηση του μετρικού και του αγγλοσαξονικού συστήματος μονάδων.
- Κατανόηση των θεμελιωδών εννοιών της Θερμοδυναμικής (θερμοδυναμικό σύστημα, θερμοδυναμική κατάσταση, ισορροπία, θερμοδυναμική μεταβολή, κύκλος).
- Επισκόπηση των εννοιών της θερμοκρασίας, των θερμοκρασιακών κλιμάκων, της πίεσης (απόλυτης και μανομετρικής).
- Εισαγωγή μιας μεθοδικής προσέγγισης επίλυσης προβλημάτων.

Θερμοδυναμική & Ενέργεια

- **Θερμοδυναμική:** Η επιστήμη της ενέργειας.
- **Ενέργεια:** Η ικανότητα ενός συστήματος να μεταβάλλεται.
- Ο όρος **Θερμοδυναμική** προέρχεται από τις λέξεις **θερμότητα** και **δύναμη**.
- **Αρχή διατήρησης της ενέργειας:** Σε κάθε θερμοδυναμική μεταβολή, η ενέργεια μπορεί να μετασχηματίζεται από μια μορφή σε άλλη, αλλά η συνολική ποσότητα της ενέργειας παραμένει σταθερή.
- Η ενέργεια ούτε δημιουργείται ούτε καταστρέφεται.
- **Ο 1^{ος} νόμος της Θερμοδυναμικής:** είναι έκφραση της αρχής διατήρησης της ενέργειας.
- Ο 1^{ος} νόμος ορίζει ότι η **ενέργεια** είναι μια θερμοδυναμική ιδιότητα.

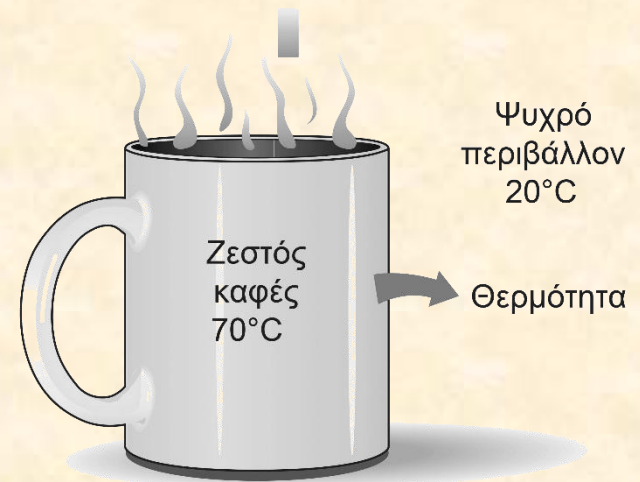


Η ενέργεια δε δημιουργείται ούτε καταστρέφεται.

- **Ο 2^{ος} νόμος της Θερμοδυναμικής:** ορίζει ότι η ενέργεια δεν έχει μόνο *ποσότητα* αλλά και *ποιότητα*, κι ότι οι πραγματικές διεργασίες οδηγούν προς μια κατάσταση μείωσης της ποιότητας της ενέργειας.
- **Κλασική Θερμοδυναμική:** Είναι μια *μακροσκοπική προσέγγιση* για τη Θερμοδυναμική, η οποία δεν απαιτεί τη γνώση της συμπεριφοράς κάθε μεμονωμένου μορίου.
- Παρέχει έναν εύκολο και άμεσο τρόπο επίλυσης τεχνικών προβλημάτων.
- **Στατιστική Θερμοδυναμική:** Είναι μια *μικροσκοπική προσέγγιση*, με βάση τη μέση «συμπεριφορά» μιας ομάδας μορίων.
- Χρησιμοποιείται υποστηρικτικά.

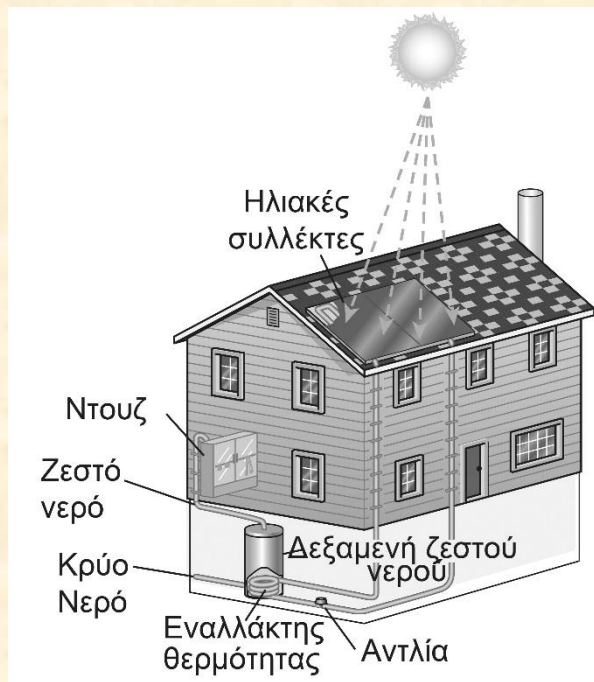


Αρχή διατήρησης της ενέργειας για το ανθρώπινο σώμα.



Η θερμότητα ρέει προς την κατεύθυνση μείωσης της θερμοκρασίας

Εφαρμογές της Θερμοδυναμικής



Η σχεδίαση πολλών μηχανικών συστημάτων, όπως αυτό το ηλιακό σύστημα ζεστού νερού, εμπλέκει τη Θερμοδυναμική.



Refrigerator

© McGraw-Hill Education, Jill Braaten



Boats

© Doug Menez/Getty Images RF



Aircraft and spacecraft

© PhotoLink/Getty Images RF



Power plants

© Malcolm Fife/Getty Images RF

Κάθε δραστηριότητα ή πράξη που εμπειριέχει αλληλεπίδραση ενέργειας αποτελεί πεδίο εφαρμογής της Θερμοδυναμικής. Είναι, λοιπόν, δύσκολο να φανταστούμε κάτι που να μην σχετίζεται με τη Θερμοδυναμική!



Human body

© Ryan McVay/Getty Images RF



Cars

© Mark Evans/Getty Images RF



Wind turbines

© F. Schussler/PhotoLink/Getty Images RF



Food processing

Glow Images RF



A piping network in an industrial facility.

Courtesy of UMDE Engineering Contracting and Trading. Used by permission

Η σημασία των μεγεθών και των μονάδων

- Κάθε φυσική ποσότητα χαρακτηρίζεται από **μεγέθη**.
- Το μέτρο κάθε μεγέθους είναι η **μονάδα** του.
- Κάποια βασικά μεγέθη είναι η μάζα, το μήκος, ο χρόνος κι η θερμοκρασία: είναι τα **θεμελιώδη μεγέθη**. Άλλα μεγέθη, όπως η ταχύτητα, η ενέργεια και ο χρόνος, εκφράζονται σε όρους θεμελιωδών μεγεθών και καλούνται **παράγωγα μεγέθη**.
- **Μετρικό σύστημα**: είναι ένα απλό και λογικό σύστημα μονάδων, που βασίζεται στη δεκαδική σχέση μεταξύ των διαφόρων μονάδων.
- **Αγγλοσαξονικό σύστημα**: Δεν έχει κάποια αριθμητική βάση κι οι διάφορες μονάδες του σχετίζονται μεταξύ τους με μάλλον αυθαίρετο τρόπο.

Πίνακας 1 – 1:

Τα 7 θεμελιώδη μεγέθη κι οι μονάδες τους

<i>Μέγεθος</i>	<i>Μονάδα</i>
Μήκος	μέτρο
Μάζα	χιλιόγραμμα
Χρόνος	δευτερόλεπτο
Θερμοκρασία	κέλβιν
Ηλεκτρικό ρεύμα	ampere
Ποσότητα φωτός	candela
Ποσότητα ύλης	mol

Πίνακας 1 – 2:

Τα τυποποιημένα προθέματα μονάδων στο SI

<i>Πολλαπλάσιο</i>	<i>Πρόθεμα</i>
10^{24}	yotta, Y
10^{21}	zetta, Z
10^{18}	exa, E
10^{15}	peta, P
10^{12}	tera, T
10^9	giga, G
10^6	mega, M
10^3	kilo, k
10^2	hecto, h
10^1	deka, da
10^{-1}	deci, d
10^{-2}	centi, c
10^{-3}	milli, m
10^{-6}	micro, μ
10^{-9}	nano, n
10^{-12}	pico, p
10^{-15}	femto, f
10^{-18}	atto, a
10^{-21}	zepto, z
10^{-24}	yocto, y

Μερικές μετρικές & αγγλοσαξονικές μονάδες

$$1 \text{ lbm} = 0.45359 \text{ kg}$$

$$1 \text{ ft} = 0.3048 \text{ m}$$

$$F = ma$$

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$$

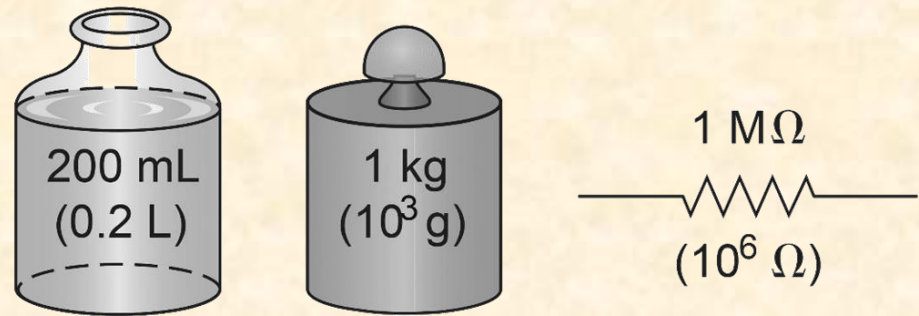
$$1 \text{ lbf} = 32.174 \text{ lbm} \cdot \text{ft/s}^2$$

$$[\text{Έργο}] = [\text{Δύναμη}] \times [\text{Μετατόπιση}]$$

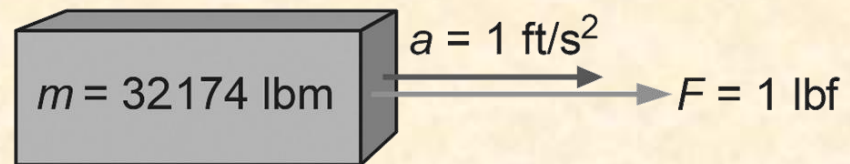
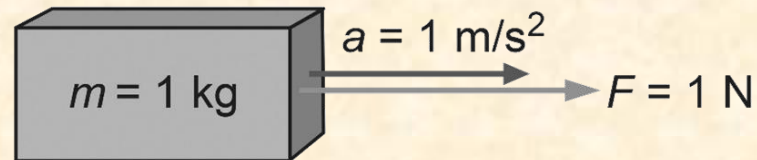
$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$1 \text{ cal} = 4.1868 \text{ J}$$

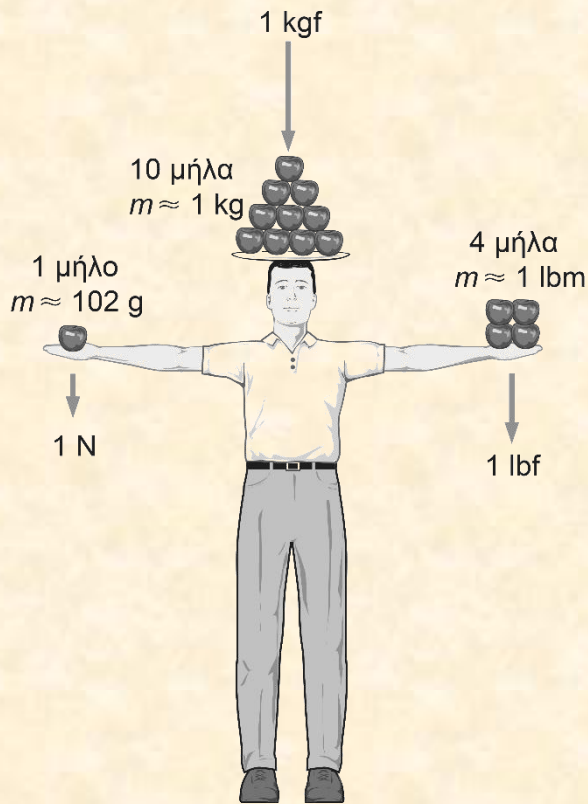
$$1 \text{ Btu} = 1.0551 \text{ kJ}$$



Τα προθέματα των μονάδων του SI χρησιμοποιούνται σε όλους τους κλάδους της επιστήμης.



Ο ορισμός των μονάδων της δύναμης



Ένα σώμα βάρους 66kgf στη Γη, θα ζυγίζει μόλις 11kgf στη Σελήνη.

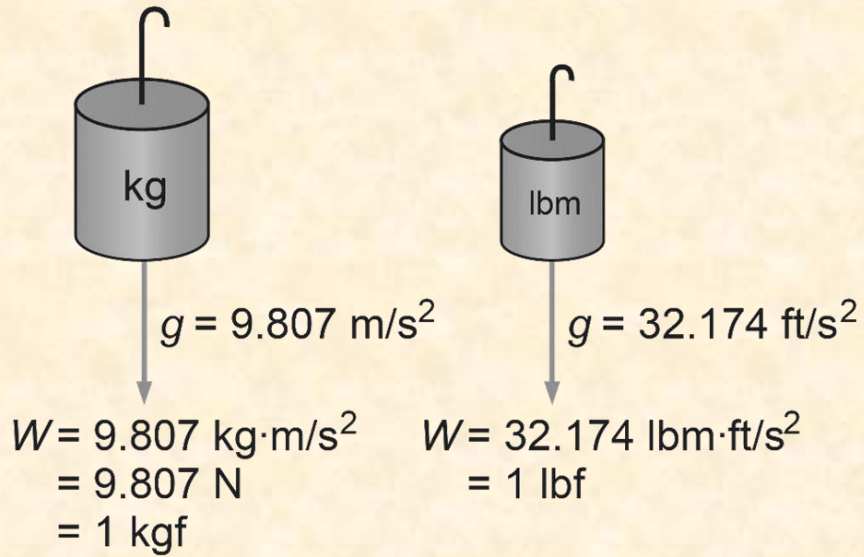
$$W = mg \quad (\text{N})$$

W βάρος

m μάζα

g επιτάχυνση της βαρύτητας

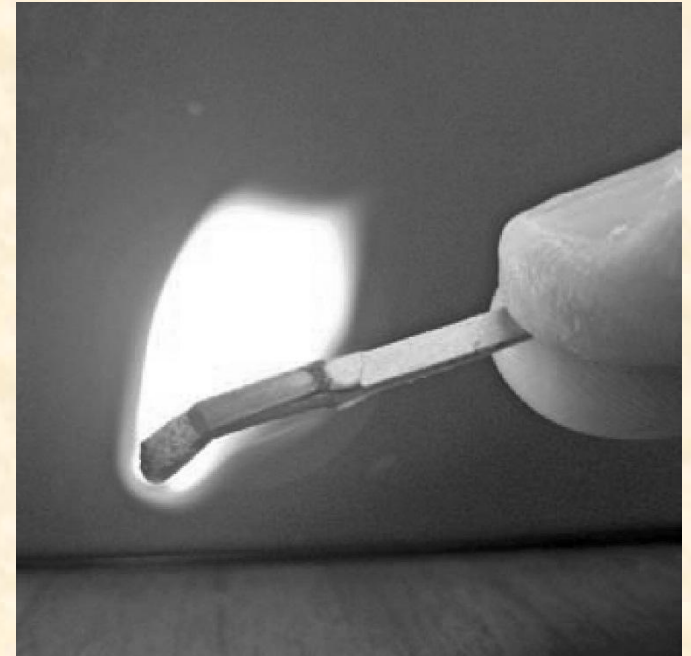
Τα σχετικά μεγέθη των μονάδων δύναμης:
N, kg_f και lb_f.



Βάρος μοναδιαίας μάζας στην επιφάνεια της θάλασσας

Ειδικό βάρος γ : Το βάρος της μονάδας όγκου μιας ουσίας.

$$\gamma = \rho g$$



Καθώς καίγεται ένα σπίρτο, απελευθερώνεται 1kJ ενέργειας

Διαστατική ομογένεια

Όλες οι εξισώσεις πρέπει να είναι διαστατικώς **ομογενείς**.

Συντελεστές μετατροπής μονάδων

Όλα τα παράγωγα μεγέθη προκύπτουν από συνδυασμό θεμελιωδών μεγεθών.

Π.χ., η δύναμη εκφράζεται ως:

$$N = \text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \text{και} \quad \text{lbf} = 32.174 \text{ lbm} \frac{\text{ft}}{\text{s}^2}$$

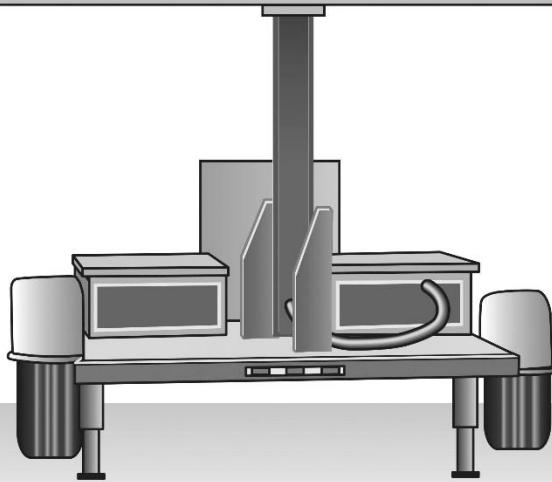
Οι μετατροπές γίνονται πιο ευχερείς με τους **συντελεστές μετατροπής μονάδων**, όπως:

$$\frac{N}{\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2} = 1 \quad \text{και} \quad \frac{\text{lbf}}{32.174 \text{ lbm} \cdot \text{ft}/\text{s}^2} = 1$$

Οι συντελεστές μετατροπής μονάδων είναι εξ' ορισμού ίσοι με 1 και αδιάστατοι, οπότε μπορούν να εισαχθούν σε κάθε υπολογισμό.

ΠΡΟΣΟΧΗ

**ΚΑΘΕ ΟΡΟΣ ΣΕ ΜΙΑ
ΕΞΙΣΩΣΗ ΘΑ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ
ΕΧΕΙ ΤΙΣ ΙΔΙΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ
ΜΕ ΤΟΥΣ ΑΛΛΟΥΣ ΟΡΟΥΣ**



Να ελέγχετε πάντοτε τις μονάδες κατά τους υπολογισμούς σας!

$$\left(\frac{32.174 \text{ lbm} \cdot \text{ft/s}^2}{1 \text{ lbf}}\right) \left(\frac{1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2}{1 \text{ N}}\right)$$
$$\left(\frac{1 \text{ W}}{1 \text{ J/s}}\right) \left(\frac{1 \text{ kJ}}{1000 \text{ N} \cdot \text{m}}\right) \left(\frac{1 \text{ kPa}}{1000 \text{ N/m}^2}\right)$$
$$\left(\frac{0.3048 \text{ m}}{1 \text{ ft}}\right) \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}\right) \left(\frac{1 \text{ lbm}}{0.45359 \text{ kg}}\right)$$

Κάθε λόγος μετατροπής μονάδων ισούνται με τη μονάδα.



$$W = mg = (453.6 \text{ g})(9.81 \text{ m/s}^2) \left(\frac{1 \text{ N}}{1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2} \right) \left(\frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \right) = 4.49 \text{ N}$$



Μια παραξενιά του SI.

Συστήματα & Όγκοι Ελέγχου

- **Σύστημα:** Μια ποσότητα υλικού ή μια περιοχή του σύμπαντος που μελετάται μεμονωμένα.
- **Περιβάλλον:** Η μάζα ή η περιοχή εκτός συστήματος.
- **Οριακή επιφάνεια:** Τα φυσικά ή φανταστικά όρια που χωρίζουν το σύστημα από το περιβάλλον του.
- Τα όρια ενός συστήματος μπορεί να είναι *σταθερά* or *κινούμενα*.
- Τα συστήματα μπορεί να είναι *κλειστά* ή *ανοιχτά*.
- **Κλειστό σύστημα (μάζα ελέγχου):** Εμπεριέχει μια σταθερή ποσότητα μάζας. Από το όριο του συστήματος δε μπορεί να εισέλθει ή να εξέλθει μάζα.



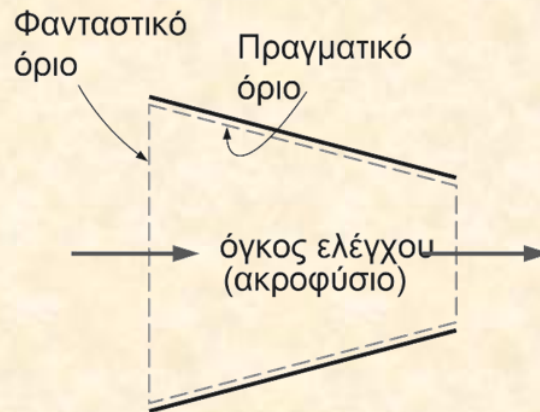
Η μάζα δε μπορεί να διαπεράσει το όριο ενός κλειστού συστήματος, όμως η ενέργεια μπορεί.



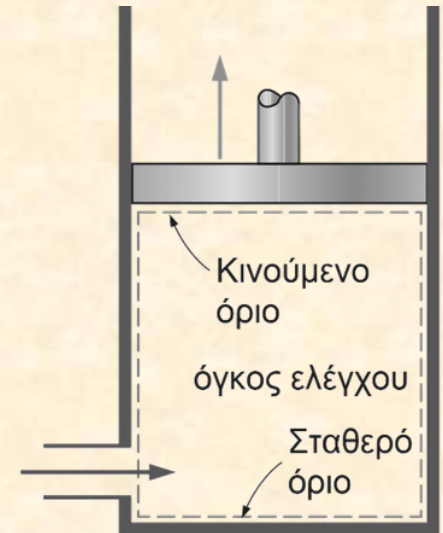
Ανοιχτό σύστημα με μια είσοδο & μια έξοδο.

- **Ανοιχτό σύστημα (όγκος ελέγχου):** Είναι μια κατάλληλα επιλεγμένη περιοχή.
- Συνήθως περικλείει μια συσκευή που διακινεί μάζα, π.χ. συμπιεστή, στρόβιλο, ακροφύσιο, κ.λπ..
- Από τον όγκο ελέγχουν διέρχονται μάζα κι ενέργεια.
- **Επιφάνεια ελέγχου:** Είναι τα φυσικά ή φανταστικά όρια του όγκου ελέγχου.

Ένας όγκος ελέγχου μπορεί να έχει σταθερά, κινούμενα, φυσικά ή φανταστικά όρια.



(a) Ένας όγκος ελέγχου με πραγματικά και φανταστικά όρια



(b) Ένας όγκος ελέγχου με σταθερά και μετακινούμενα όρια

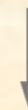
Ιδιότητες ενός συστήματος

- **Ιδιότητα:** κάθε μέγεθος που χαρακτηρίζει το σύστημα.
- Γνωστές μας ιδιότητες είναι η πίεση P , η θερμοκρασία T , ο όγκος V κι η μάζα m .
- Οι ιδιότητες μπορεί να είναι εντατικές ή εκτατικές.
- **Εντατικές ιδιότητες:** είναι οι ιδιότητες που δεν εξαρτώνται από τη μάζα ενός συστήματος (π.χ. θερμοκρασία, πίεση και πυκνότητα).
- **Εκτατικές ιδιότητες:** είναι εκείνες, των οποίων οι τιμές εξαρτώνται από την έκταση του συστήματος.
- **Ειδικά μεγέθη:** είναι οι εκτατικές ιδιότητες, εκπεφρασμένες στη μονάδα της μάζας:

$$(v = V/m)$$

$$(e = E/m).$$

m
V
T
P
ρ



$\frac{1}{2} m$	$\frac{1}{2} m$
$\frac{1}{2} V$	$\frac{1}{2} V$
T	T
P	P
ρ	ρ

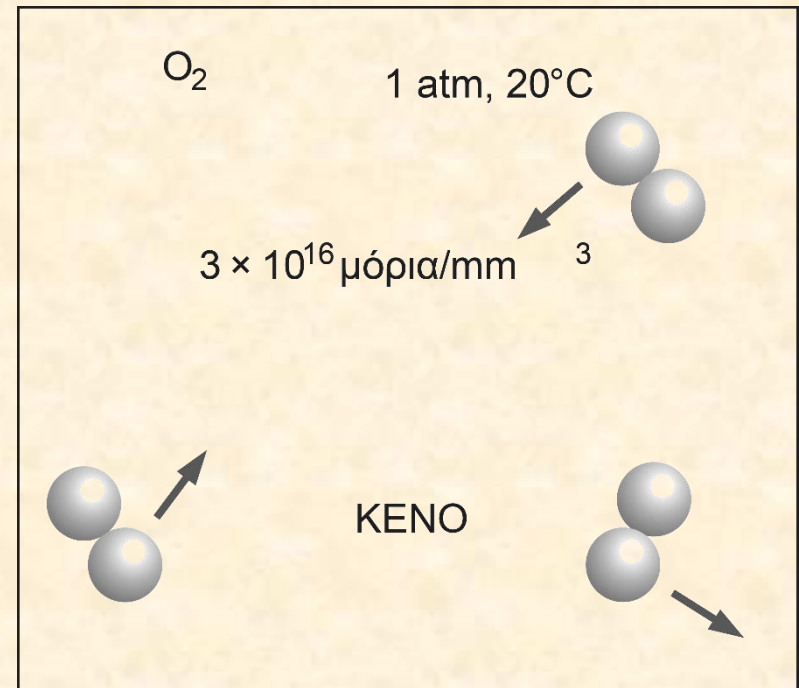
} Έκτατικές
ιδιότητες

} Εντατικές
ιδιότητες

Κριτήριο διαφοροποίησης
εντατικών & εκτατικών ιδιοτήτων.

Θεωρία του συνεχούς μέσου

- Η ύλη αποτελείται από άτομα, τα οποία είναι πολύ αραιά στην αέρια φάση. Για την Τεχνική Θερμοδυναμική, είναι πολύ βολικό να παραβλέπουμε την ατομική υπόσταση των ουσιών και να τις θεωρούμε ως **συνεχή μέσα**.
- Το συνεχές μέσο μας επιτρέπει να χειριζόμαστε τις ιδιότητες ως σημειακές σχέσεις και να θεωρούμε ότι οι ιδιότητες μπορούν να μεταβάλλονται χωρίς ασυνέχειες στο χώρο.
- Αυτή η απλούστευση είναι σωστή, μόνο όταν το μέγεθος του συστήματος είναι πολύ μεγαλύτερο από το το χώρο μεταξύ των μορίων.
- Όλα τα πρακτικά προβλήματα καλύπτουν αυτήν την προϋπόθεση.
- Εδώ μελετάμε ουσίες οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν ως συνεχή μέσα..



Συνεχές μέσο.

Πυκνότητα & Ειδική Βαρύτητα

Πυκνότητα:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{kg/m}^3)$$

Ειδική βαρύτητα: είναι ο λόγος της πυκνότητας μιας ουσίας προς την πυκνότητα του νερού στους 4°C.

$$SG = \frac{\rho}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}}$$

Ειδικός όγκος:

$$\nu = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho}$$

Ειδικό βάρος: είναι το βάρος ανά μονάδα όγκου μιας ουσίας.

$$\gamma_s = \rho g \quad (\text{N/m}^3)$$

Η πυκνότητα είναι ίση με τη μάζα ανά μονάδα όγκου – Ο ειδικός όγκος είναι ίσος με τον όγκο ανά μονάδα μάζας.

$$V = 12 \text{ m}^3$$
$$m = 3 \text{ kg}$$



$$\rho = 0.25 \text{ kg/m}^3$$

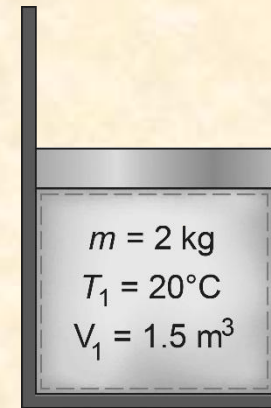
$$\nu = \frac{1}{\rho} = 4 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Πίνακας 1 – 3:
Ειδικές βαρύτητες στους 0°C

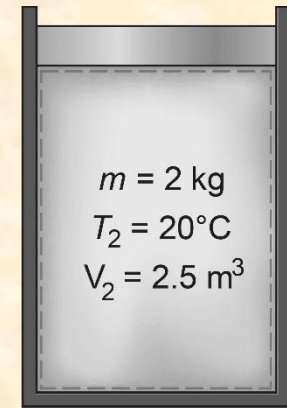
Ουσία	EB
Νερό	1,0
Αίμα	1,05
Θαλασσινό νερό	1,025
Βενζίνη	0,7
Αιθυλική αλκοόλη	0,79
Υδράργυρος	13,6
Ξύλο	0,3 – 0,9
Χρυσός	19,2

Ισορροπία

- Η Θερμοδυναμική ασχολείται με καταστάσεις ισορροπίας.
- **Ισορροπία:** Κατάσταση ηρεμίας.
- Κατά την ισορροπία, δεν υπάρχουν κινούμενες δυνάμεις εντός του συστήματος.
- **Θερμική ισορροπία:** η θερμοκρασία είναι σταθερή καθ' όλο το σύστημα.
- **Μηχανική ισορροπία:** η πίεση είναι σταθερή καθ' όλο το σύστημα
- **Ισορροπία φάσεων:** όταν το σύστημα περιέχει 2 φάσεις, η μάζα κάθε φάσης επιτυγχάνει μια σταθερή κατάσταση και παραμένει σε αυτήν.
- **Χημική ισορροπία:** η χημική σύσταση του συστήματος δε μεταβάλλεται χρονικά (δηλαδή, δε λαμβάνουν χώρα χημικές αντιδράσεις).

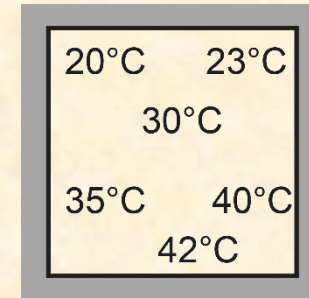


(α) Κατάσταση 1

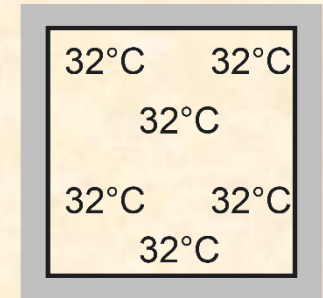


(β) Κατάσταση 2

Ένα σύστημα σε 2 διαφορετικές καταστάσεις.



(α) Πριν



(β) Μετά

Ένα κλειστό σύστημα που καταλήγει σε κατάσταση θερμικής ισορροπίας.

Η Καταστατική Αρχή

- Ο αριθμός των ιδιοτήτων που απαιτούνται για τη γνώση της κατάστασης ενός συστήματος είναι ο **καθορισμός της κατάστασης**:
 - ✓ *Η κατάσταση ενός απλού συμπιεστού συστήματος καθορίζεται πλήρως από 2 εντατικές ιδιότητες.*
- **Απλό συμπιεστό σύστημα**: είναι ένα σύστημα που δεν περιλαμβάνει ηλεκτρικές, μαγνητικές και βαρυτικές αλληλεπιδράσεις, καθώς επίσης κι επιφανειακές τάσεις.



Διεργασίες & Κύκλοι

Διεργασία: Κάθε μεταβολή, κατά την οποία ένα σύστημα μεταβαίνει από μια κατάσταση ισορροπίας σε μια άλλη.

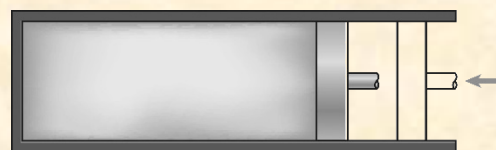
Διαδρομή: Η ακολουθία των ενδιάμεσων καταστάσεων μιας διεργασίας.

Για την πλήρη περιγραφή μιας διεργασίας, είναι απαραίτητη η γνώση της αρχικής και της τελικής κατάστασης, καθώς επίσης και της διαδρομής που ακολουθείται και των αλληλεπιδράσεων με το περιβάλλον.

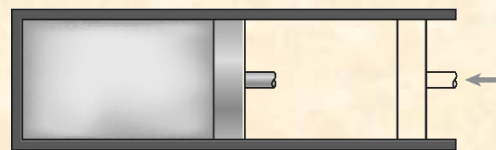
Ψευδοστατική διεργασία: Είναι μια διεργασία που εκτελείται κατά τρόπον ώστε το σύστημα να είναι απειροστά κοντά σε κατάσταση ισορροπίας καθ' όλο το χρόνο της διεργασίας.



Μια διεργασία μεταξύ των καταστάσεων 1 & 2 κι η διαδρομή της.



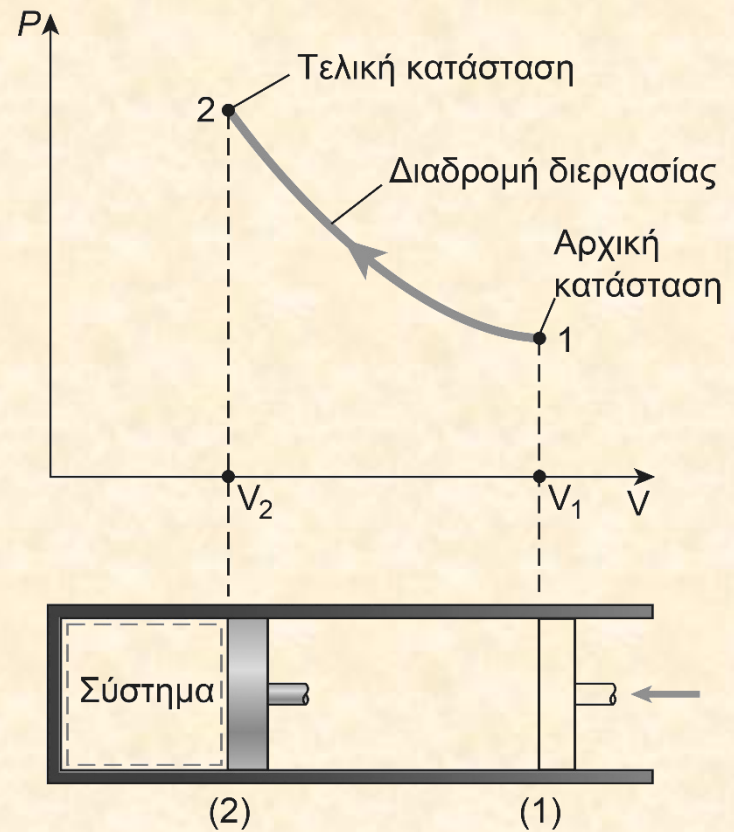
(a) Αργή συμπίεση
(οιονεί ισορροπίας)



(b) Ταχύτατη συμπίεση
(μη ψευδοστατική)

Ψευδοστατική και μη
ψευδοστατική συμπίεση

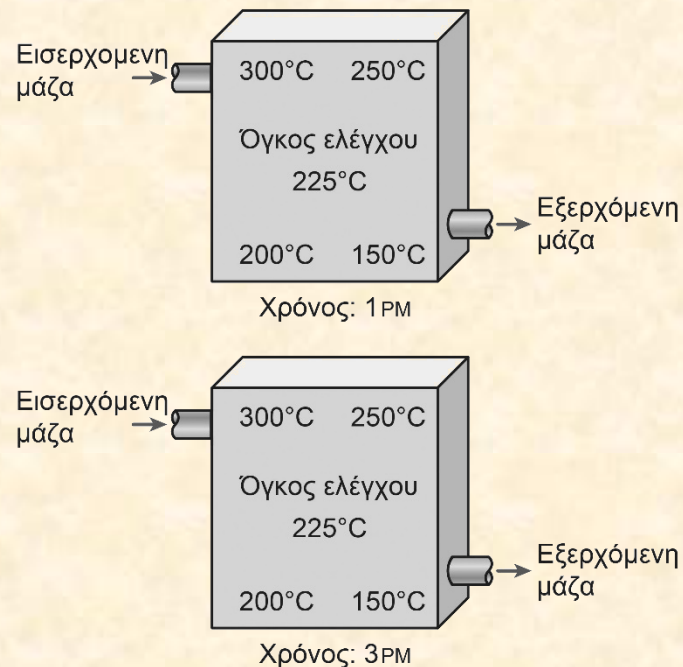
- Τα θερμοδυναμικά διαγράμματα είναι πολύ χρήσιμα για την οπτική παράσταση των διεργασιών.
- Συνήθεις ιδιότητες, που χρησιμοποιούνται ως άξονες συντεταγμένων των θερμοδυναμικών διαγραμμάτων είναι η θερμοκρασία T , η πίεση P κι ο όγκος V (ή ο ειδικός όγκος v).
- Το πρόθεμα **ισο-** χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια διεργασία, κατά την οποία η αντίστοιχη ιδιότητα παραμένει σταθερή.
- **Ισοθερμοκρασιακή διεργασία:** η θερμοκρασία T παραμένει σταθερή.
- **Ισόθλιπτη διεργασία:** η πίεση P παραμένει σταθερή.
- **Ισόογκη διεργασία:** ο ειδικός όγκος v παραμένει σταθερός.
- **Κύκλος:** Ένα σύνολο διεργασιών, του οποίου η έναρξη και το πέρας του είναι το ίδιο σημείο.



Διάγραμμα P - V μιας διεργασίας συμπίεσης.

Οι διεργασίες σταθεροποιημένης ροής

- Ο όρος *σταθεροποιημένος* υποδηλοί *χρονικά αμετάβλητος*. Ο αντίθετος όρος είναι *μεταβαλλόμενος*..
- Πολλές μηχανές λειτουργούν για μεγάλα διαστήματα υπό τις ίδιες συνθήκες, συνεπώς θεωρούνται *συσκευές σταθεροποιημένης ροής*.
- **Διεργασία σταθεροποιημένης ροής:** είναι μια διεργασία, κατά την οποία ένα ρευστό διέρχεται σταθεροποιημένα από έναν όγκο ελέγχου..
- Οι συνθήκες σταθεροποιημένης ροής περιγράφουν με καλή ακρίβεια συσκευές που λειτουργούν για μεγάλα διαστήματα υπό τις ίδιες συνθήκες, όπως *στρόβιλοι, αντλίες, λέβητες, συμπυκνωτές κι εναλλάκτες θερμότητας, ή θερμικοί σταθμοί και ψυκτικά συστήματα*.

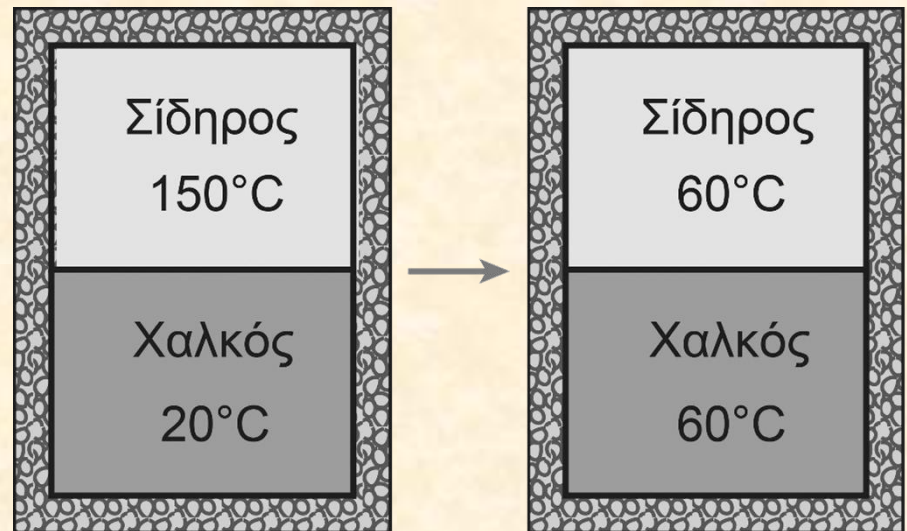


Κατά τη διάρκεια μιας διεργασίας σταθεροποιημένης ροής, οι ιδιότητες του ρευστού ενδέχεται να μεταβάλλονται εντός του όγκου ελέγχου ως προς το χώρο, όχι όμως κι ως προς το χρόνο.



Η Θερμοκρασία & ο Μηδενικός Νόμος της Θερμοδυναμικής

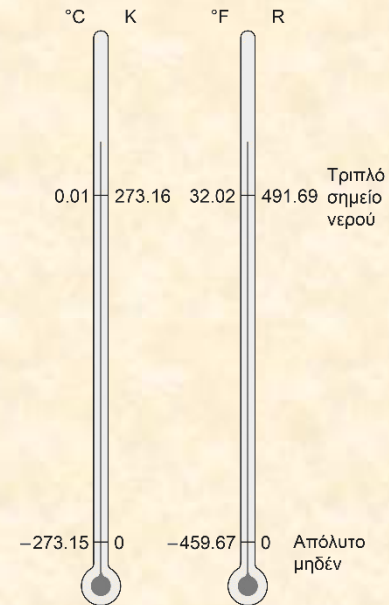
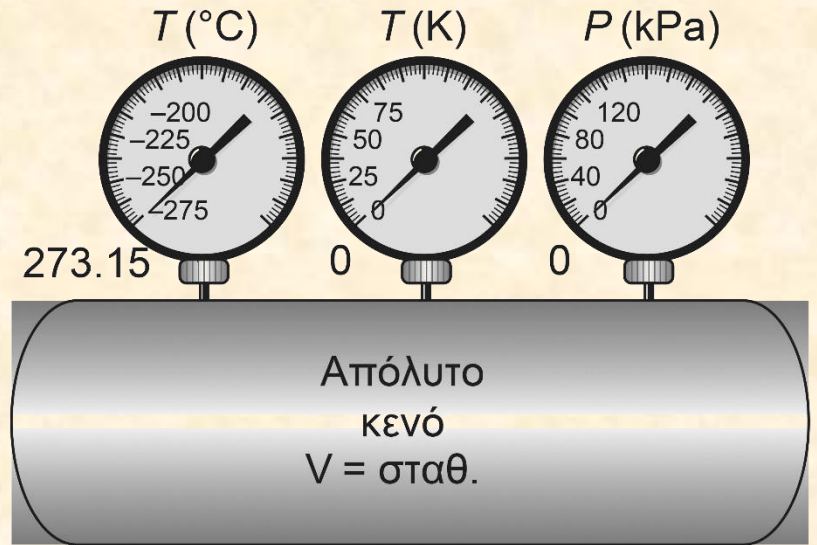
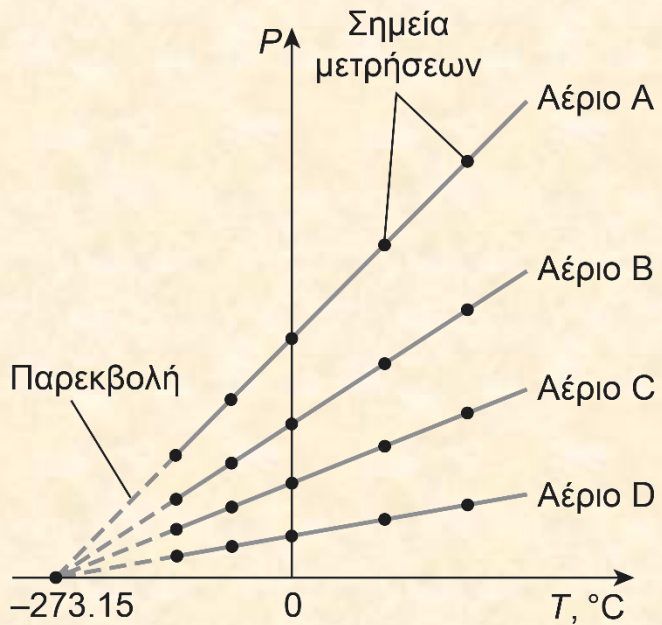
- Ο μηδενικός νόμος της Θερμοδυναμικής: όταν δύο σώματα είναι σε θερμική ισορροπία προς ένα τρίτο σώμα, τότε είναι και σε θερμική ισορροπία μεταξύ τους.
- Αν το «τρίτο σώμα» είναι ένα θερμόμετρο, τότε ο μηδενικός νόμος μπορεί να αναδιατυπωθεί ως *δύο σώματα είναι σε θερμική ισορροπία, αν χαρακτηρίζονται από την ίδια θερμοκρασία, ακόμα κι αν δεν είναι σε επαφή.*



Δύο σώματα που καταλήγουν σε θερμική ισορροπία, έχοντας προηγουμένως έλθει σε επαφή, εντός μονωμένου δοχείου.

Κλίμακες θερμοκρασίας

- Όλες οι κλίμακες θερμοκρασίας βασίζονται σε εύκολα αναπαραστήσιμες καταστάσεις, όπως η πήξη κι ο βρασμός του νερού.
- **Σημείο πάγου:** Είναι ένα μείγμα νερού και πάγου σε ισορροπία με αέρα κορεσμένο σε ατμό, υπό πίεση 1atm (0°C ή 32°F).
- **Σημείο ατμού:** Είναι ένα μείγμα υγρού νερού και υδρατμού (χωρίς αέρα) σε ισορροπία, υπό πίεση 1atm (100°C ή 212°F).
- **Κλίμακα Κελσίου:** χρησιμοποιείται στο μετρικό σύστημα
- **Κλίμακα Φαρενάιτ:** χρησιμοποιείται στο αγγλοσαξονικό σύστημα
- **Θερμοδυναμική κλίμακα θερμοκρασίας:** Είναι μια κλίμακα θερμοκρασιών, ανεξάρτητη από τις ιδιότητες της οποιασδήποτε ουσίας.
- **Kelvin scale** (μετρικό σύστημα) **Rankine scale** (α/σαξονικό σύστημα)
- Μια θερμοκρασιακή κλίμακα σχεδόν ταυτόσημη προς την κλίμακα Kelvin είναι η **κλίμακα θερμοκρασίας ιδανικού αερίου**. Οι θερμοκρασίες σε αυτήν την κλίμακα μετρώνται με ένα **θερμόμετρο αερίου σταθερού όγκου**.



$$T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273.15$$

$$T(\text{R}) = T(^{\circ}\text{F}) + 459.67$$

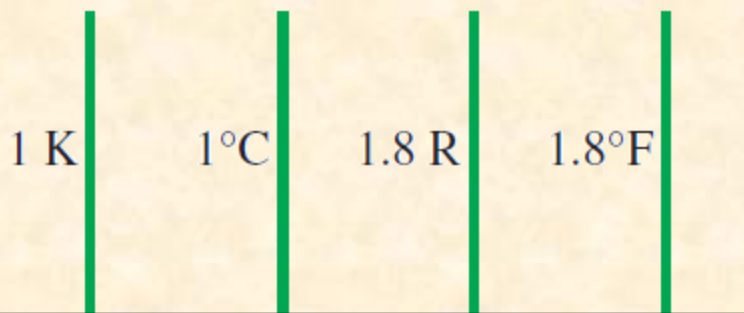
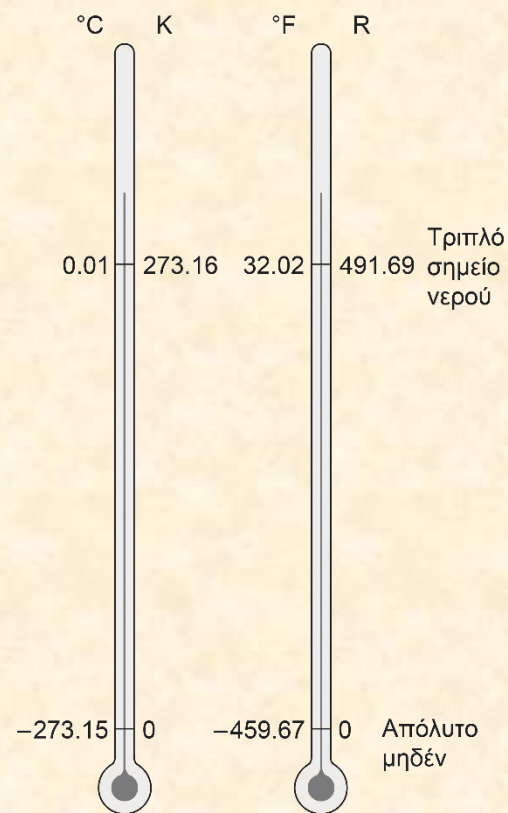
$$T(\text{R}) = 1.8T(\text{K})$$

$$T(^{\circ}\text{F}) = 1.8T(^{\circ}\text{C}) + 32$$

$$\Delta T(\text{K}) = \Delta T(^{\circ}\text{C})$$

$$\Delta T(\text{R}) = \Delta T(^{\circ}\text{F})$$

Σύγκριση των
κλιμάκων
θερμοκρασίας



Σύγκριση των
μέτρων των
μεταβολών
θερμοκρασίας

- Το σημείο αναφοράς στην κλίμακα Κέλβιν ήταν αρχικά το σημείο πάγου **ice point**, 273.15K, δηλαδή το σημείο όπου παγώνει το νερό (ή, λιώνει ο πάγος).
- Το σημείο αναφορά άλλαξε σε ένα ακριβέστερα αναπαραστήσιμο σημείο, το **τριπλό σημείο ύδατος** (εκεί όπου συνυπάρχουν οι τρεις φάσεις του νερού υπό ισορροπία), στο οποίο αντιστοιχεί η τιμή 273.16K.

Η Διεθνής Θερμοκρασιακή Κλίμακα του 1990 (ITS-90)

Η Διεθνής Θερμοκρασιακή Κλίμακα του 1990 διαδέχθηκε τις Διεθνείς Θερμοκρασιακές Κλίμακες του 1968 (IPTS-68), 1948 (ITPS-48) και του 1927 (ITS-27).

Η ITS-90 είναι όμοια με τις προγενέστερες κλίμακες, εκτός του ότι είναι εμπλουτισμένη με ακριβέστερες τιμές, καλύπτει μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών και προσεγγίζει αρκετά καλύτερα τη θερμοδυναμική κλίμακα θερμοκρασίας.

Στην Κλίμακα αυτή, η μονάδα της θερμοδυναμικής θερμοκρασίας είναι και πάλι το Κέλβιν, που ορίζεται ως το $1/273,16$ της θερμοδυναμικής θερμοκρασίας του τριπλού σημείου ύδατος, που αποτελεί το κύριο σημείο βαθμονόμησης των θερμομέτρων σύμφωνα με την ITS-90. Η μονάδα στην κλίμακα Κελσίου είναι ο βαθμός Κελσίου ($^{\circ}\text{C}$).

Το σημείο πάγου παραμένει στους 0°C (273.15 K) και στις δύο κλίμακες (ITS-90 & ITPS-68), αλλά το σημείο ατμού είναι στους 99.975°C (ITS-90) αντί των 100.000°C (IPTS-68).

Η μεταβολή αυτή οφείλεται σε ακριβείς μετρήσεις με θερμόμετρο αερίου, με ιδιαίτερη προσοχή στο φαινόμενο της ρόφησης, δηλαδή των προσμίξεων στη μάζα του αερίου, οι οποίες απορροφώντας από τα τοιχώματα του θερμομέτρου στη θερμοκρασία αναφοράς και αποβάλλονται σε υψηλότερες θερμοκρασίες, προκαλώντας αύξηση της πίεσης του αερίου.

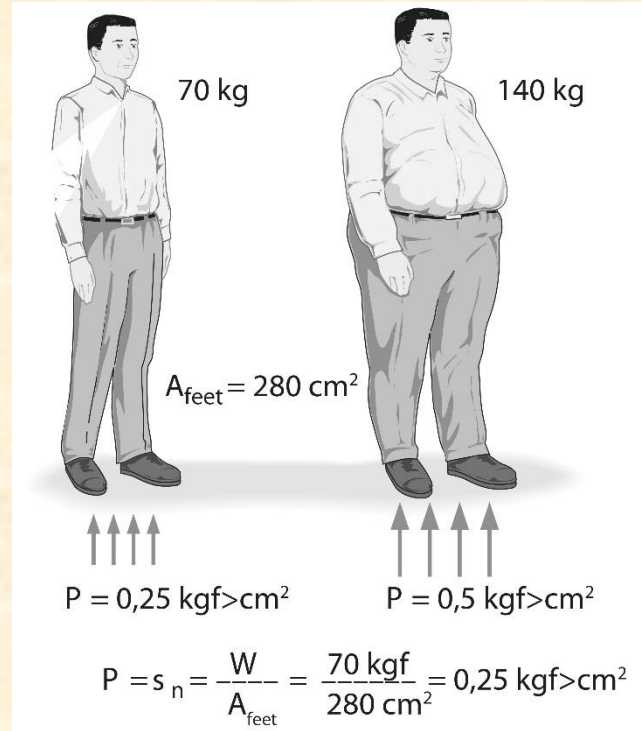
Πίεση

Πίεση: Είναι η κάθετη δύναμη που ασκείται σε ένα ρευστό ανά μονάδα επιφανείας $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 0.1 \text{ MPa} = 100 \text{ kPa}$$

$$1 \text{ atm} = 101,325 \text{ Pa} = 101.325 \text{ kPa} = 1.01325 \text{ bars}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ kgf/cm}^2 &= 9.807 \text{ N/cm}^2 = 9.807 \times 10^4 \text{ N/m}^2 = 9.807 \times 10^4 \text{ Pa} \\ &= 0.9807 \text{ bar} \\ &= 0.9679 \text{ atm} \end{aligned}$$



Η κάθετη τάση στα πόδια ενός ευτραφούς ατόμου είναι πολύ μεγαλύτερη από εκείνη στα πόδια ενός σχετικά αδύνατου.



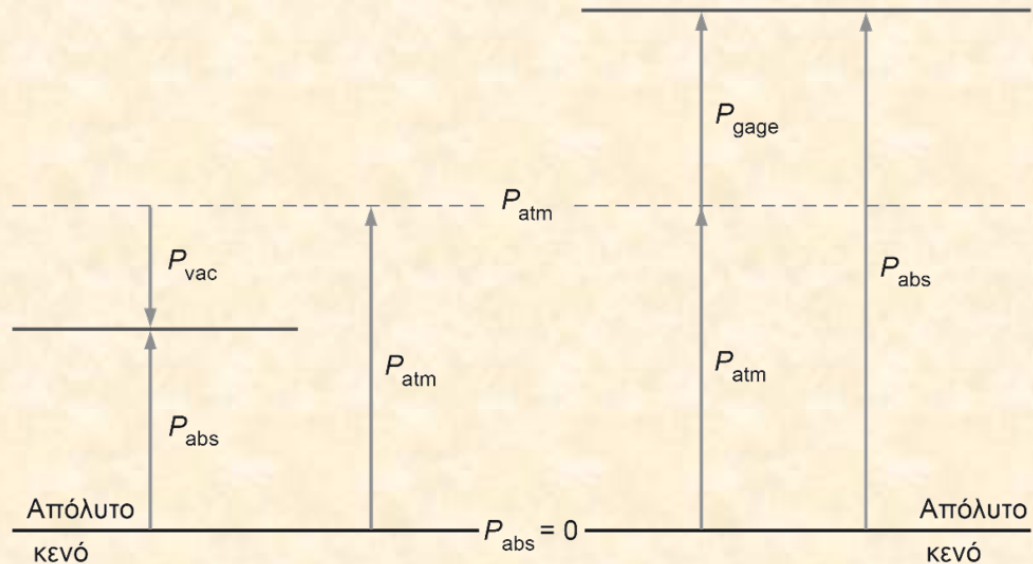
Μερικά όργανα μέτρησης της πίεσης

- **Απόλυτη πίεση:** είναι η πραγματική τιμή της πίεσης σε δεδομένο σημείο. Μετριέται σε σχέση με το απόλυτο κενό (δηλαδή, τη μηδενική απόλυτη πίεση).
- **Μανομετρική πίεση:** είναι η διαφορά μεταξύ της απόλυτης πίεσης και της τοπικής ατμοσφαιρικής πίεσης. Τα περισσότερα μετρητικά όργανα μετρούν τη μανομετρική πίεση..
- **Υποπίεσεις:** είναι πιέσεις χαμηλότερες της ατμοσφαιρικής

Γενικά, ο όρος «πίεση» P αντιστοιχεί στην **απόλυτη πίεση** εκτός αν δηλώνεται διαφορετικά..

$$P_{\text{gage}} = P_{\text{abs}} - P_{\text{atm}}$$

$$P_{\text{vac}} = P_{\text{atm}} - P_{\text{abs}}$$



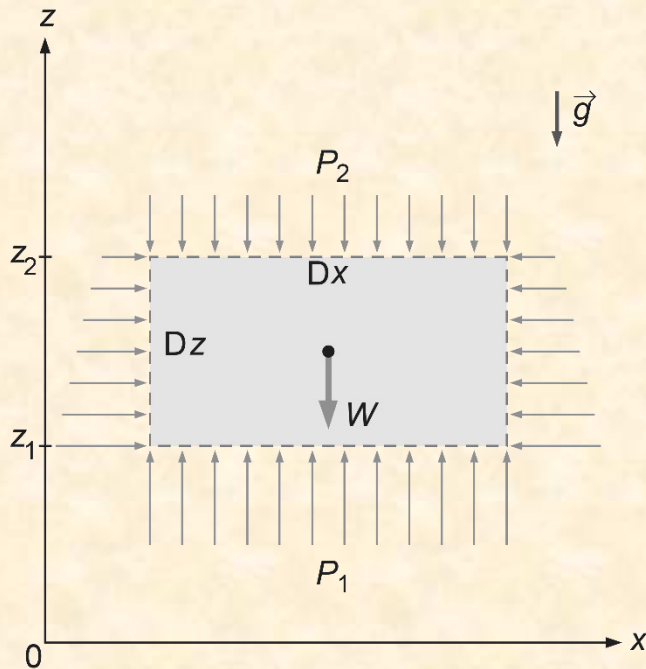
Μεταβολή της πίεσης με το βάθος

$$\Delta P = P_2 - P_1 = \rho g \Delta z = \gamma_s \Delta z$$

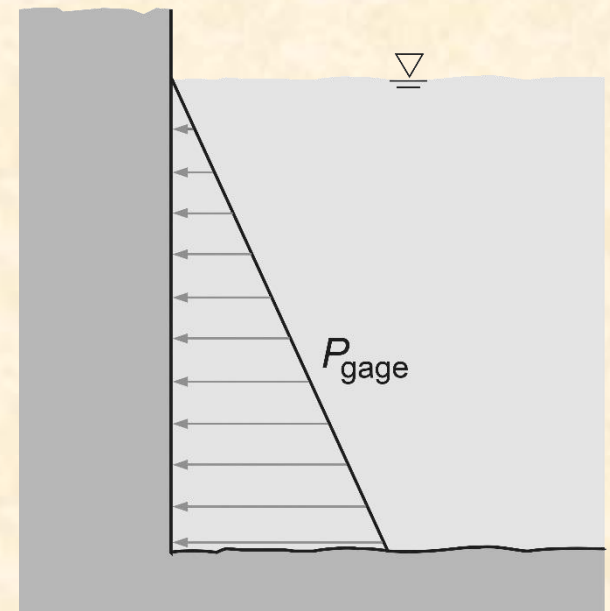
$$P = P_{\text{atm}} + \rho g h \quad \text{or} \quad P_{\text{gage}} = \rho g h$$

Μεταβαλλόμενη πυκνότητα με το βάθος:

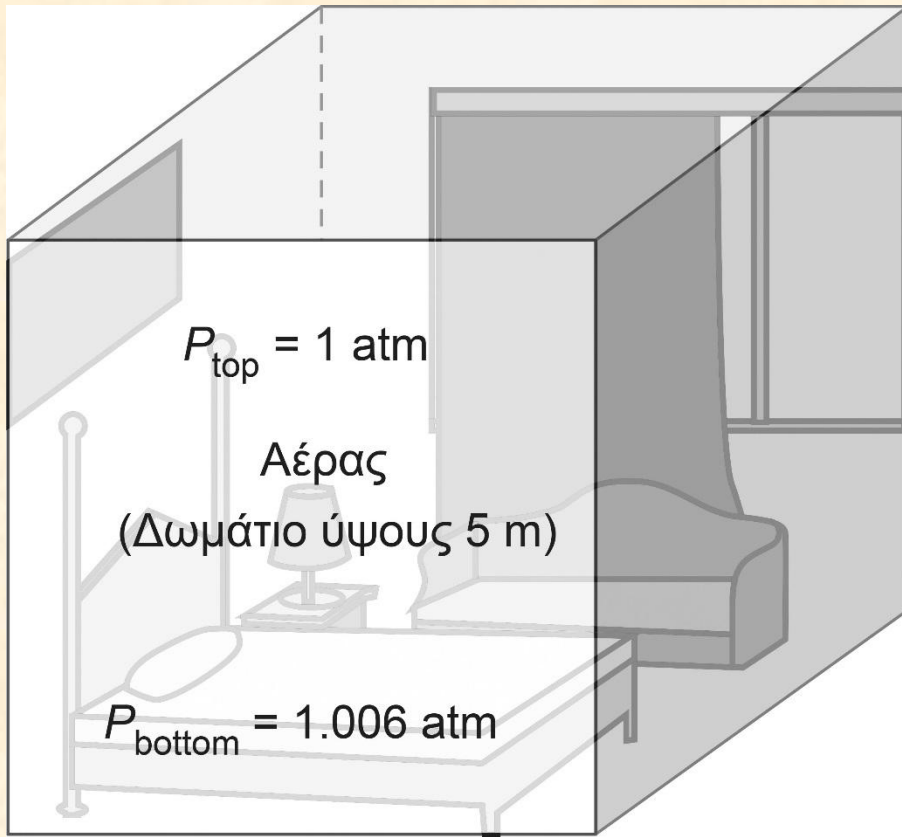
$$\Delta P = P_2 - P_1 = - \int_1^2 \rho g dz$$



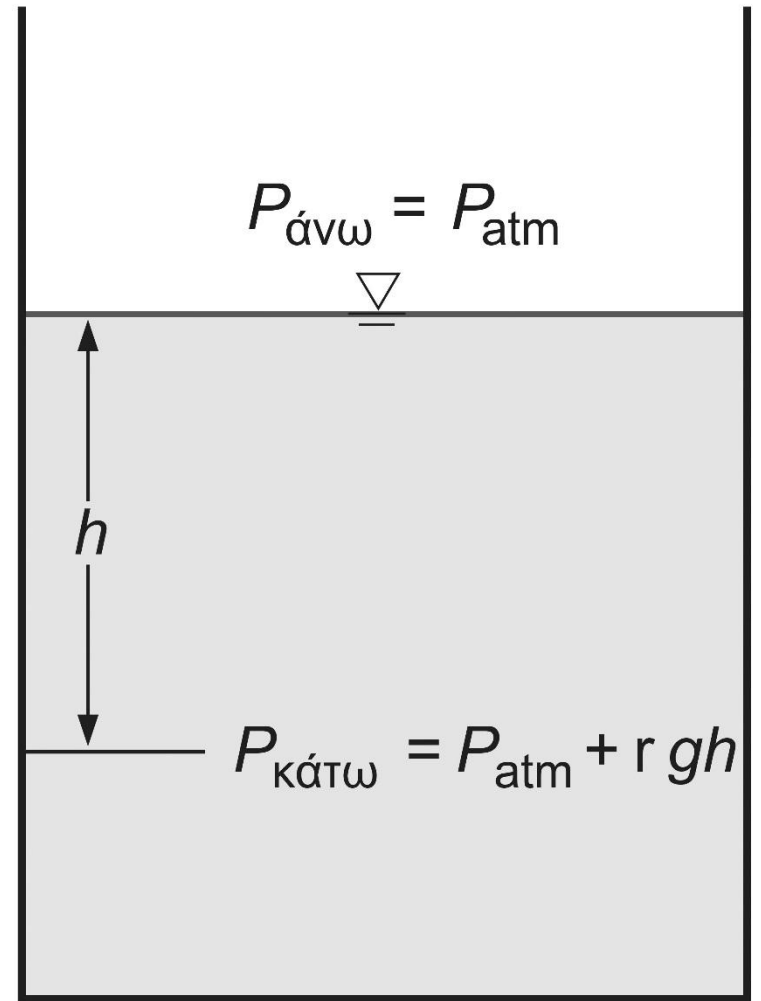
Διάγραμμα ελευθέρου σώματος ενός στοιχειώδους ορθογωνίου του ρευστού σε ισορροπία.



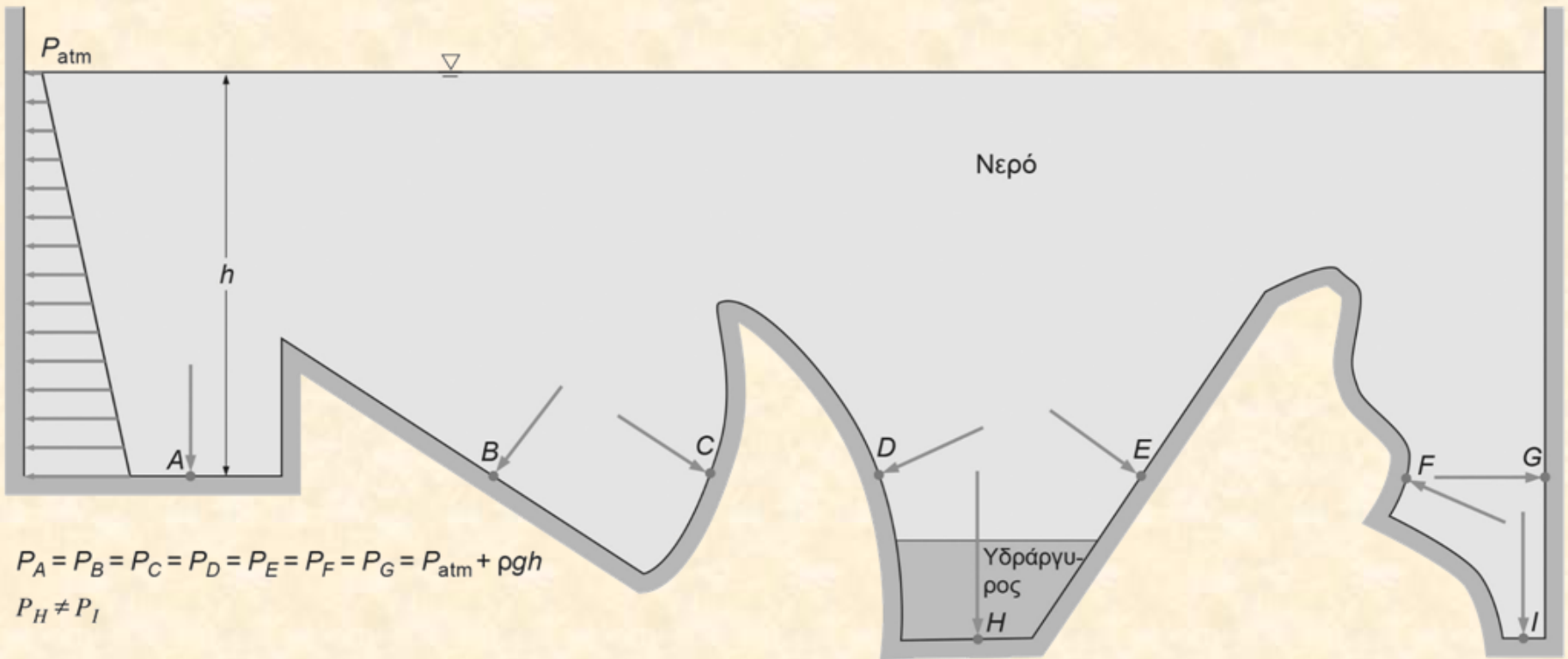
Η πίεση ενός ρευστού σε ηρεμία αυξάνεται με το βάθος.



Μέσα σε ένα δωμάτιο, γεμάτο με αέρα, η καθ' ύψος μεταβολή της πίεσης είναι αμελητέα.



Η πίεση σε ένα εν ηρεμία υγρό αυξάνεται γραμμικά με το ύψος από την ελεύθερη επιφάνεια του υγρού.

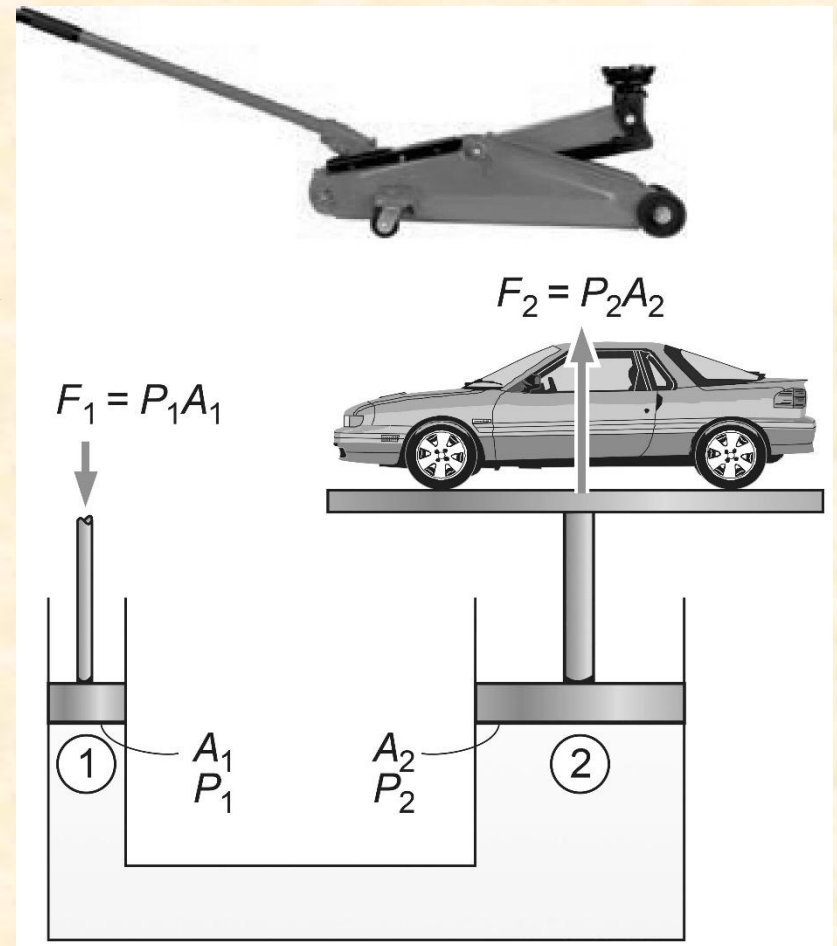


Η πίεση σε όλα τα σημεία ενός οριζοντίου επιπέδου μέσα σε ένα ρευστό, ανεξαρτήτως της γεωμετρίας, είναι ίδια, εφ' όσον πάνω από όλα τα σημεία είναι το ίδιο ρευστό.

Νόμος του Pascal: πίεση που εφαρμόζεται σε ένα περικλειστο ρευστό, αυξάνει την πίεση σε όλο τον όγκο του ρευστού κατά την ίδια τιμή

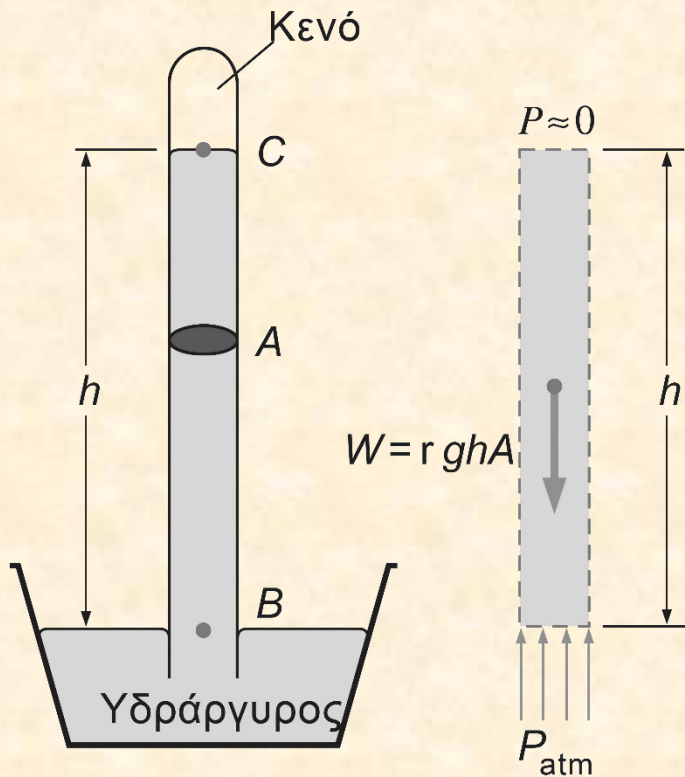
$$P_1 = P_2 \rightarrow \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \rightarrow \frac{F_2}{F_1} = \frac{A_2}{A_1}$$

Ο λόγος επιφανειών A_2/A_1 καλείται **ιδανικό μηχανικό πλεονέκτημα** του γρύλου.



Ανύψωση ενός μεγάλου βάρους με άσκηση μιας μικρής δύναμης.

Όργανα μέτρησης της πίεσης

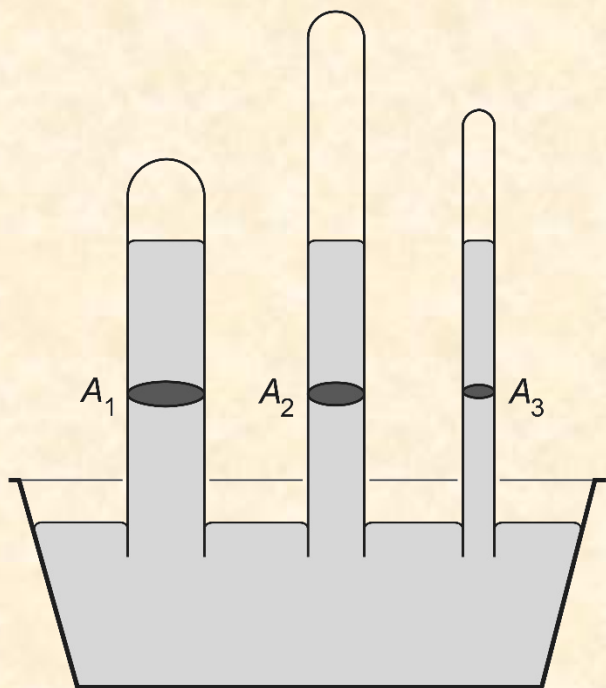


Αρχή λειτουργίας του βαρομέτρου

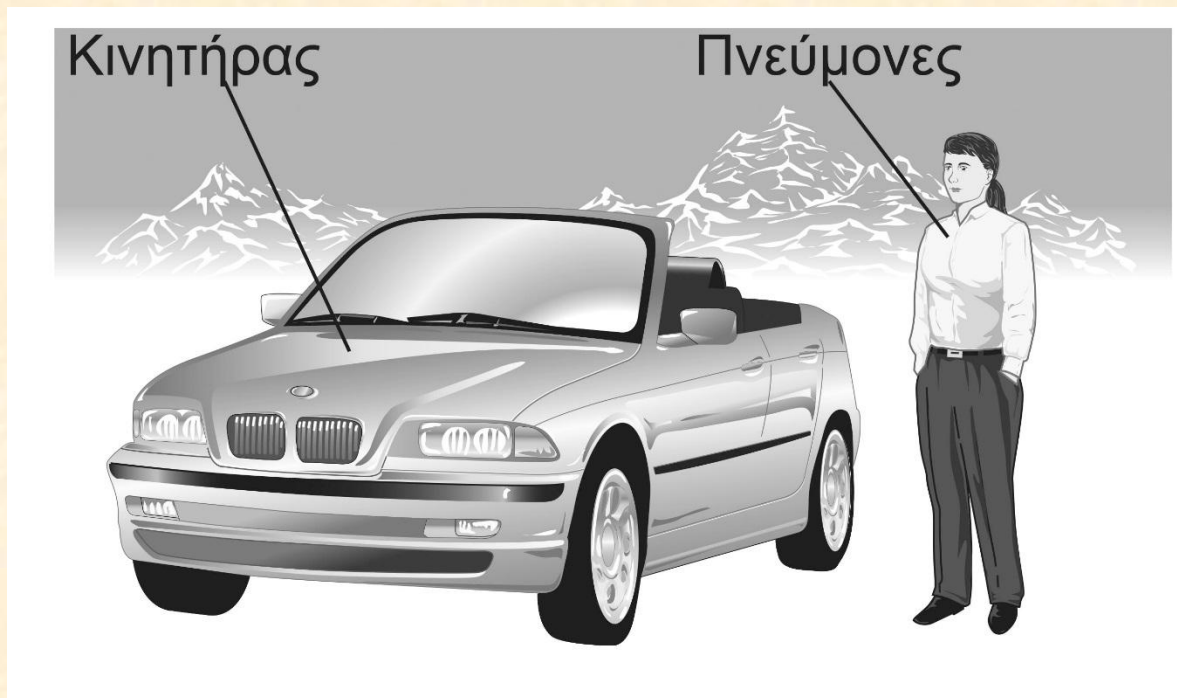
$$P_{\text{atm}} = \rho gh$$

Το βαρόμετρο

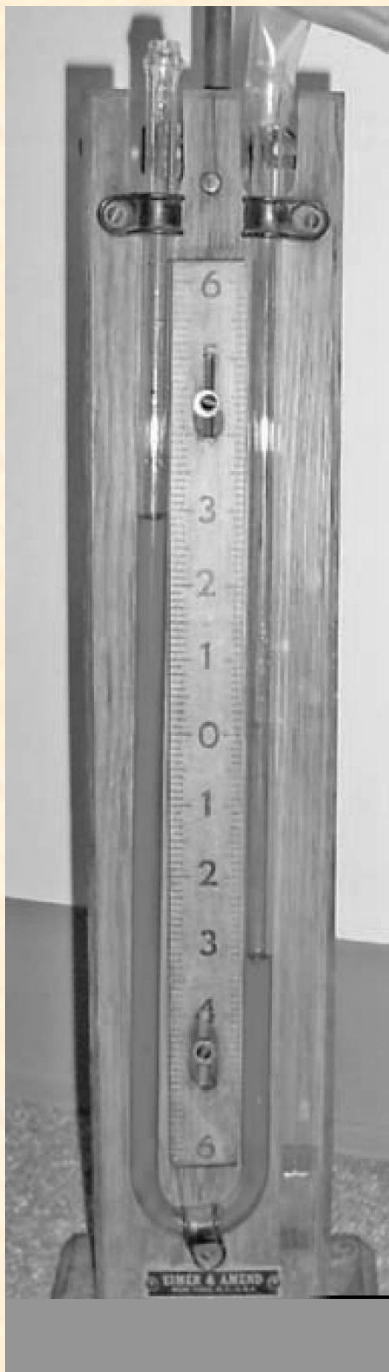
- Η ατμοσφαιρική πίεση μετριέται με το **βαρόμετρο**, συνεπώς η πίεση της ατμόσφαιρας συχνά αναφέρεται ως **βαρομετρική πίεση**.
- Μια συνήθης μονάδα πίεσης είναι η **τυπική ατμόσφαιρα**, που ορίζεται ως η πίεση που ασκείται από μια στήλη υδραργύρου ύψους 760mm υπό θερμοκρασία 0°C ($\rho_{\text{Hg}} = 13.595 \text{ kg/m}^3$) και υπό τυπική επιτάχυνση της βαρύτητας ($g = 9.807 \text{ m/s}^2$).



Το μήκος ή η διατομή ενός μανομετρικού σωλήνα δεν επηρεάζουν τη μέτρηση της πίεσης, αρκεί η διάμετρος του σωλήνα να είναι επαρκώς μεγάλη, ώστε να αποφεύγονται τριχοειδή φαινόμενα.

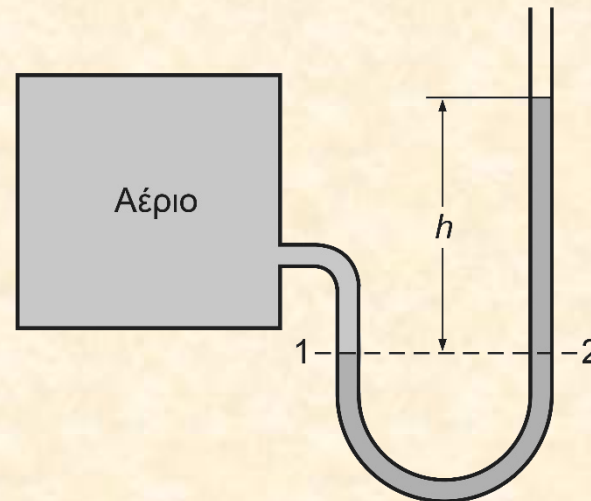


Σε μεγάλα υψόμετρα, μια μηχανή αποδίδει λιγότερη ισχύ κι ένας άνθρωπος καταναλώνει λιγότερο οξυγόνο, λόγω της χαμηλότερης πυκνότητας του αέρα.



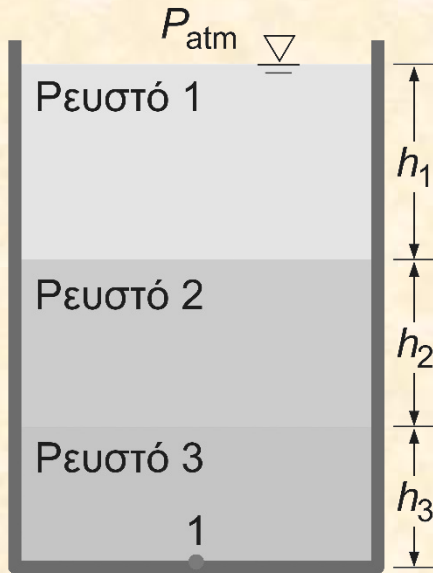
Το μανόμετρο

Χρησιμοποιείται για τη μέτρηση μικρών και μεσαίων πιέσεων. Το μανόμετρο περιέχει ένα ή περισσότερα μανομετρικά υγρά, π.χ. υδράργυρο, νερό, αλκοόλη ή λάδι.



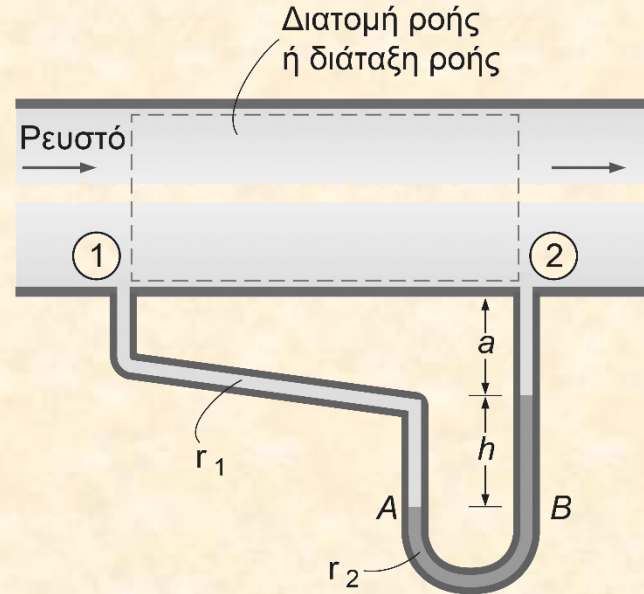
$$P_2 = P_{\text{atm}} + \rho gh$$

Αρχή λειτουργίας του μανομέτρου



$$P_{\text{atm}} + \rho_1 g h_1 + \rho_2 g h_2 + \rho_3 g h_3 = P_1$$

Διαστρωμάτωση ρευστών



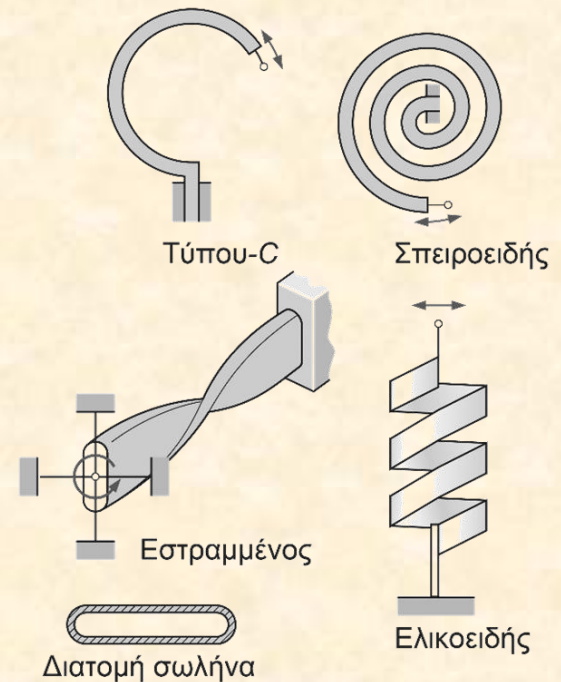
$$P_1 + \rho_1 g (a + h) - \rho_2 g h - \rho_1 g a = P_2$$

$$P_1 - P_2 = (\rho_2 - \rho_1) g h$$

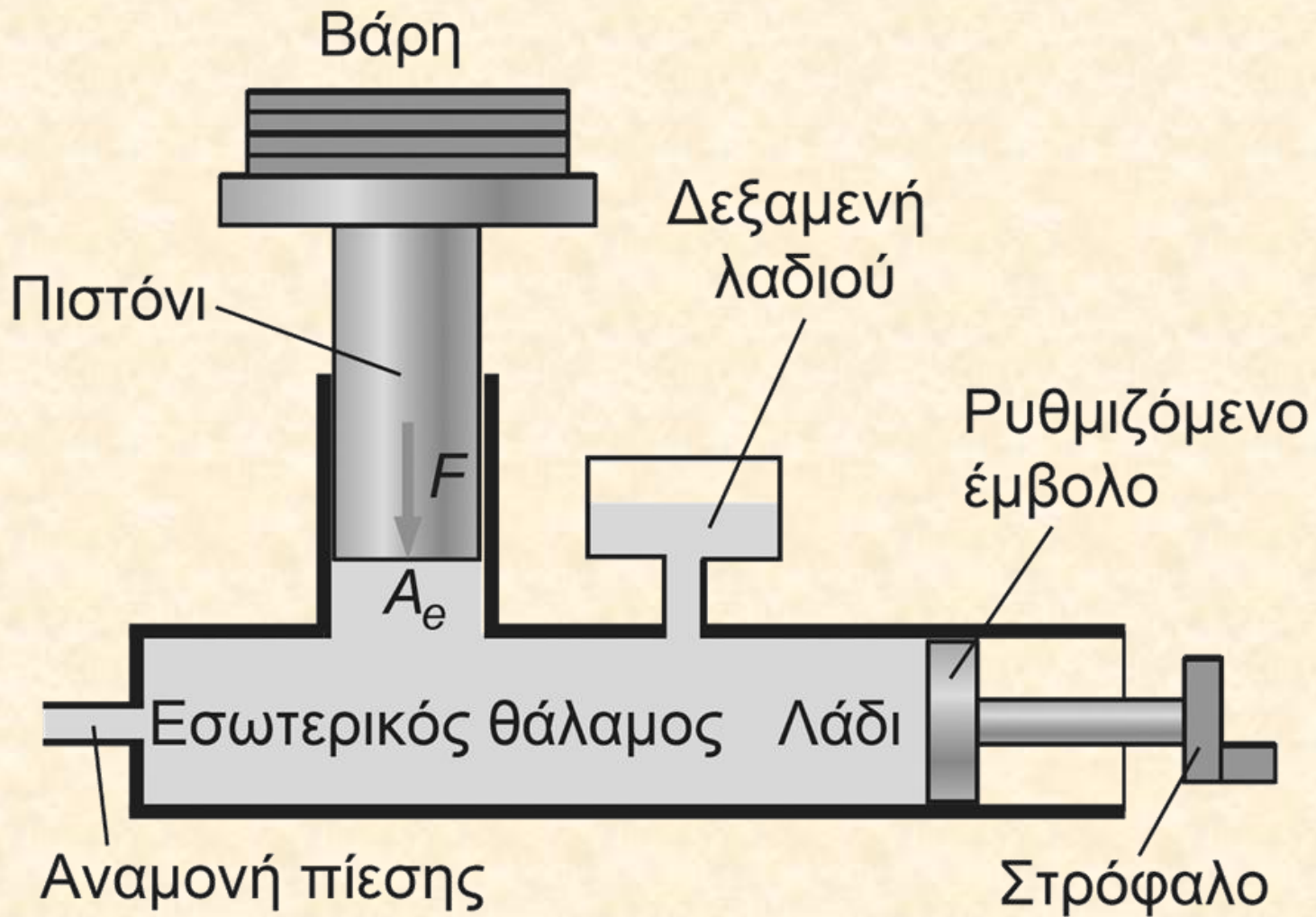
Η μέτρηση της πτώσης πίεσης κατά μήκος μιας διατομής της ροής γίνεται με ένα διαφορικό μανόμετρο.

Άλλες συσκευές μέτρησης της πίεσης

- **Σωλήνας Bourdon:** αποτελείται από έναν κοίλο μεταλλικό σωλήνα (σαν γάντζο), το ένα άκρο του οποίου είναι κλειστό και συνδεδεμένο με ένα καντράν.
- **Μετατροπείς πίεσης:** εφαρμόζουν διάφορες τεχνικές για τη μετατροπή μιας πίεσης σε ένα ηλεκτρικό ερέθισμα (π.χ. μεταβολή τάσης, αντίστασης ή χωρητικότητας).
- Οι μετατροπείς πίεσης είναι μικροί και ταχείας αποκρίσεως, πιο ευαίσθητοι, πιο αξιόπιστοι και πιο ακριβείς σε σχέση με τους μηχανικούς μετρητές πίεσης.
- **Διαστολικοί μετατροπείς μανομετρικής πίεσης:** λειτουργούν με την εκτροπή ενός διαφράγματος, ανοιχτού σε 2 πιέσεις.
- **Πιεζοηλεκτρικοί μετατροπείς:** βασίζονται στο φαινόμενο της παραγωγής ηλεκτρικής τάσης σε έναν κρύσταλλο, όταν σε αυτόν επενεργεί μηχανική πίεση.



Διάφοροι τύποι σωλήνων Bourdon

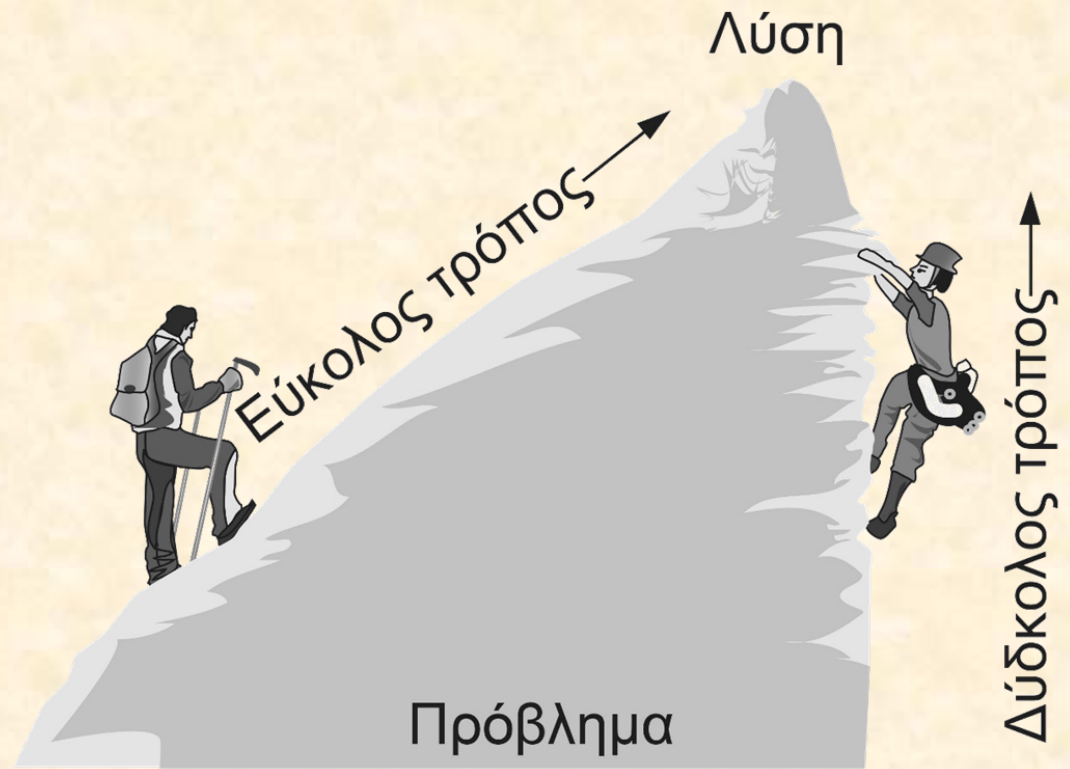


Τεχνική επίλυσης προβλημάτων

- Βήμα 1: Διατύπωση του προβλήματος
- Βήμα 2: Διαγραμματική αναπαράσταση
- Βήμα 3: Παραδοχές & προσεγγίσεις
- Βήμα 4: Φυσικοί νόμοι
- Βήμα 5: Ιδιότητες
- Βήμα 6: Υπολογισμοί
- Βήμα 7: Συλλογιστική, Επαλήθευση και Συζήτηση των αποτελεσμάτων

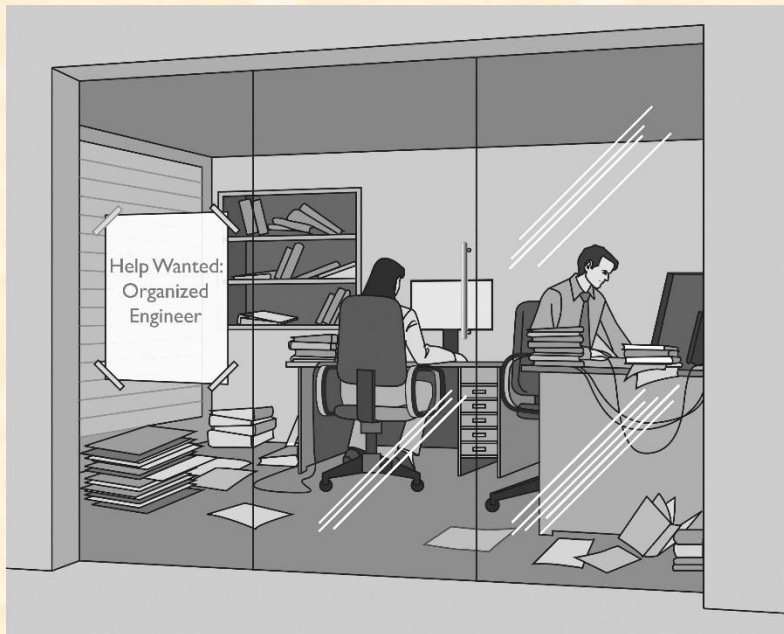
EES (Engineering Equation Solver): είναι ένα πρόγραμμα αριθμητικής επίλυσης γραμμικών ή μη γραμμικών ή διαφορικών εξισώσεων, ενσωματώνοντας πλήθος συναρτήσεων θερμοδυναμικών ιδιοτήτων. Ο EES δεν επιλύει τεχνικά προβλήματα, αλλά μόνο τις εξισώσεις που τα διέπουν, όπως τις εισάγει ο χρήστης.

○	Δεδομένα : Θερμοκρασία του αέρα στο Denver
○	Ζητούμενα : Πυκνότητα του αέρα
	Ελλιπίης πληροφορία : Ατμοσφαιρική πίεση
○	Υπόθεση #1 : Έστω ότι $P = 1 \text{ atm}$ (Ακατάλληλη. Αγνοεί την επίδραση του ύψους. Θα προκαλέσει σφάλμα άνω του 15%)
○	Υπόθεση #2 : Έστω ότι $P = 0.83 \text{ atm}$ (Κατάλληλη. Αγνοεί ήσσονος σημασίας επιδράσεις όπως π.χ. τα καιρικά φαινόμενα)
○	
○	



Κατά την επίλυση ενός τεχνικού προβλήματος, οι παραδοχές θα πρέπει να είναι εύλογες και τεκμηριωμένες.

Μια βήμα – βήμα προσέγγιση μπορεί να απλοποιήσει αρκετά την επίλυση ενός προβλήματος.



Η ευταξία κι η οργάνωση ας είναι το πλεονέκτημά σας!

Ενεργειακή χρήση : \$80/yr

Εξοικονόμηση ενέργειας μέσω μόνωσης: \$200/yr

ΑΔΥΝΑΤΟΝ!

Τα αποτελέσματα που λαμβάνονται από μια ανάλυση ενός τεχνικού προβλήματος θα πρέπει να ελέγχονται για την ορθότητά τους.



Μια άριστη εφαρμογή επεξεργασίας κειμένου δεν σας καθιστά καλό συγγραφέα. Απλώς, ένας καλός συγγραφέας θα γίνει πιο αποδοτικός.

Μια παρατήρηση για τα σημαντικά ψηφία

Κατά τους τεχνικούς υπολογισμούς, τα δεδομένα παρέχονται με κάποια συγκεκριμένα σημαντικά ψηφία, συνήθως 3.

Συνεπώς, τα αποτελέσματα δε μπορεί να εκφράζονται με ακρίβεια περισσότερων ψηφίων.

Αν τα αποτελέσματα αναφέρονται με περισσότερα σημαντικά ψηφία, τότε υπονοείται μεγαλύτερη ακρίβεια, άρα μια τέτοια τακτική πρέπει να αποφεύγεται.

<input type="radio"/>	Δεδομένα: Όγκος $V = 3.75 \text{ L}$
<input type="radio"/>	Πυκνότητα: $= 0.845 \text{ kg/L}$ (3 σημαντικά ψηφία)
	Επίσης, $3.75 \times 0.845 = 3.16875$
	Ζητούμενα: Μάζα: $m = rV = 3.16875 \text{ kg}$
<input type="radio"/>	Στρογγυλοποίηση στα 3 σημαντικά ψηφία : $m \approx 3.17 \text{ kg}$
<input type="radio"/>	

Περίληψη

- Θερμοδυναμική & Ενέργεια
 - ✓ Πεδία εφαρμογής της Θερμοδυναμικής
- Σημασία των μεγεθών και των μονάδων
 - ✓ Μετρικό & αγγλοσαξονικό σύστημα, διαστατική ομογένεια & λόγοι μετατροπής μονάδων.
- Συστήματα & Όγκοι ελέγχου
- Ιδιότητες ενός συστήματος
 - ✓ Συνέχεια
- Πυκνότητα & Ειδική Βαρύτητα
- Κατάσταση και ισορροπία
 - ✓ η Καταστατική Αρχή
- Διεργασίες & Κύκλοι
 - ✓ Διεργασίες σταθεροποιημένης ροής
- Η θερμοκρασία & ο μηδενικός νόμος της Θερμοδυναμικής
 - ✓ Κλίμακες θερμοκρασίας
 - ✓ ITS-90
- Πίεση
 - ✓ Μεταβολή της πίεσης με το βάθος
- Το μανόμετρο
 - ✓ Άλλες συσκευές μέτρησης της πίεσης
- Το βαρόμετρο κι η ατμοσφαιρική πίεσης
- Τεχνική επίλυσης προβλημάτων