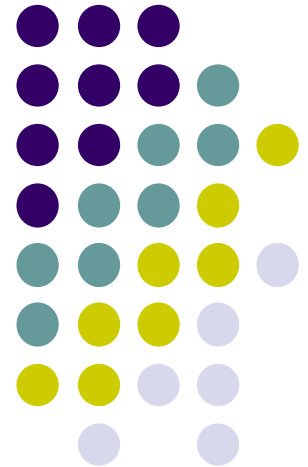


Συστήματα Βιομηχανικών Διεργασιών

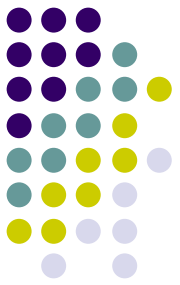
6ο εξάμηνο

Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

3^ο μάθημα



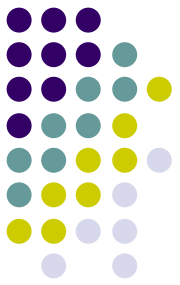
Θερμοκρασία - Εισαγωγή



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

- Θερμοκρασία
- Θερμότητα

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.



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 παρατηρείται μεταφορά ενέργειας ή όχι μεταξύ δύο σωμάτων που βρίσκονται σε θερμική επαφή.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ



- Θερμοκρασία είναι η μέτρηση της ενέργειας των μορίων ενός συστήματος.
- Θερμοκρασία είναι η ιδιότητα της κατάστασης θερμικής ισορροπίας ενός συστήματος σε σχέση με άλλα συστήματα (ικανότητα ενός συστήματος να μεταφέρει ενέργεια με τη μορφή θερμότητας)

Θερμόμετρα



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

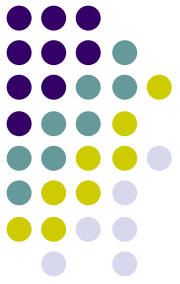
Τα θερμόμετρα βασίζονται στην αρχή ότι, καθώς αλλάζει η θερμοκρασία ενός συστήματος, μεταβάλλεται κάποια φυσική ιδιότητά του.

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.

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.





Προβλήματα με θερμομέτρα υγρού σε σωλήνα

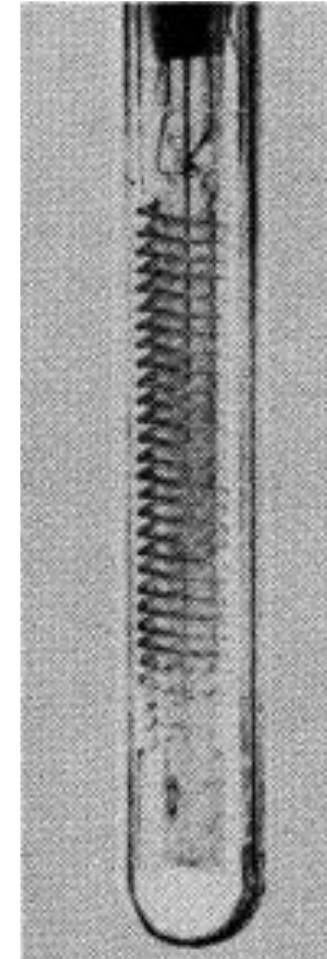
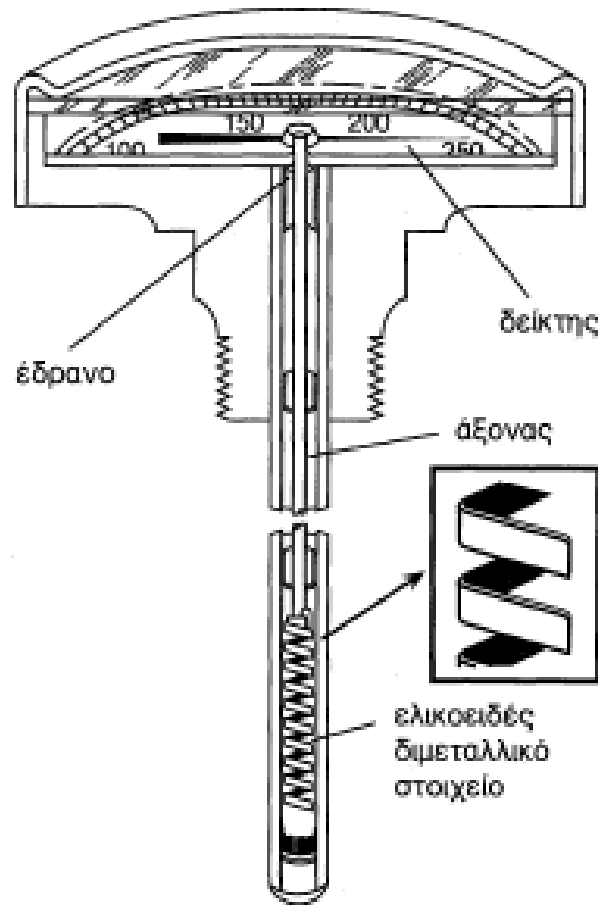
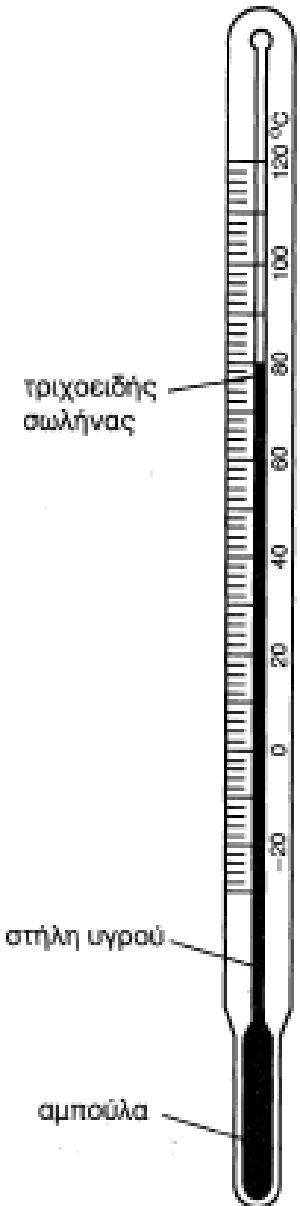
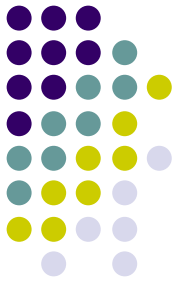
Ένα θερμομέτρο **αιθυλικής αλκοόλης** ενδέχεται να συμφωνεί με ένα θερμομέτρο **υδραργύρου** μόνο στα σημεία της βαθμονόμησης.

Όταν οι θερμοκρασίες που πρόκειται να μετρηθούν απέχουν πολύ από τα σημεία βαθμονόμησης, οι διαφορές μεταξύ των θερμομέτρων είναι πολύ μεγάλες.

Τα θερμομέτρα μετρούν περιορισμένο εύρος θερμοκρασιών.

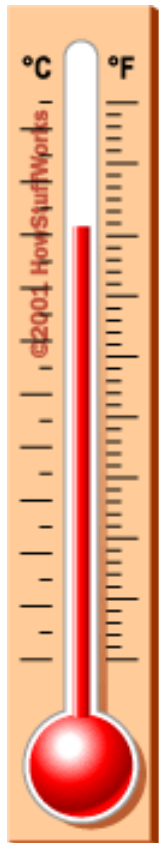
- Ένα θερμομέτρο υδραργύρου δεν μπορεί να μετρήσει θερμοκρασίες **μικρότερες από -39°C .**
- Ένα θερμομέτρο αιθυλικής αλκοόλης δεν μπορεί να μετρήσει θερμοκρασίες **μεγαλύτερες από 85°C .**

Θερμόμετρα και θερμική ισορροπία

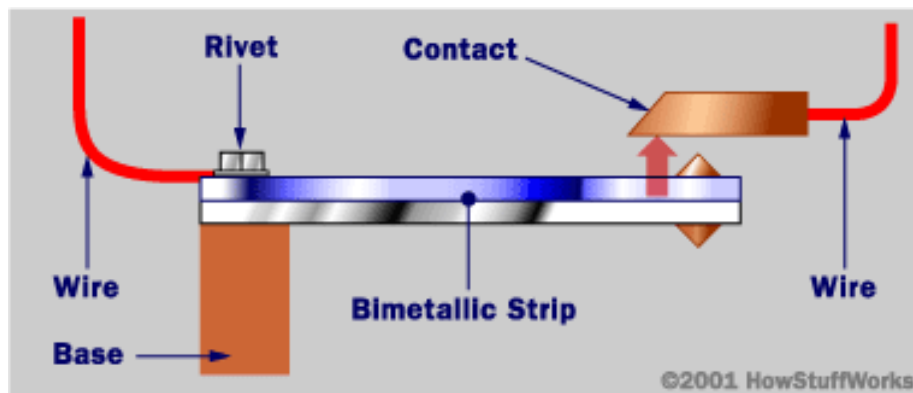


Σχήμα. Υδραργυρικό θερμόμετρο (αριστερά), διμεταλλικό θερμόμετρο (κέντρο) και θερμόμετρο αντίστασης (δεξιά).

Είδη θερμομέτρων



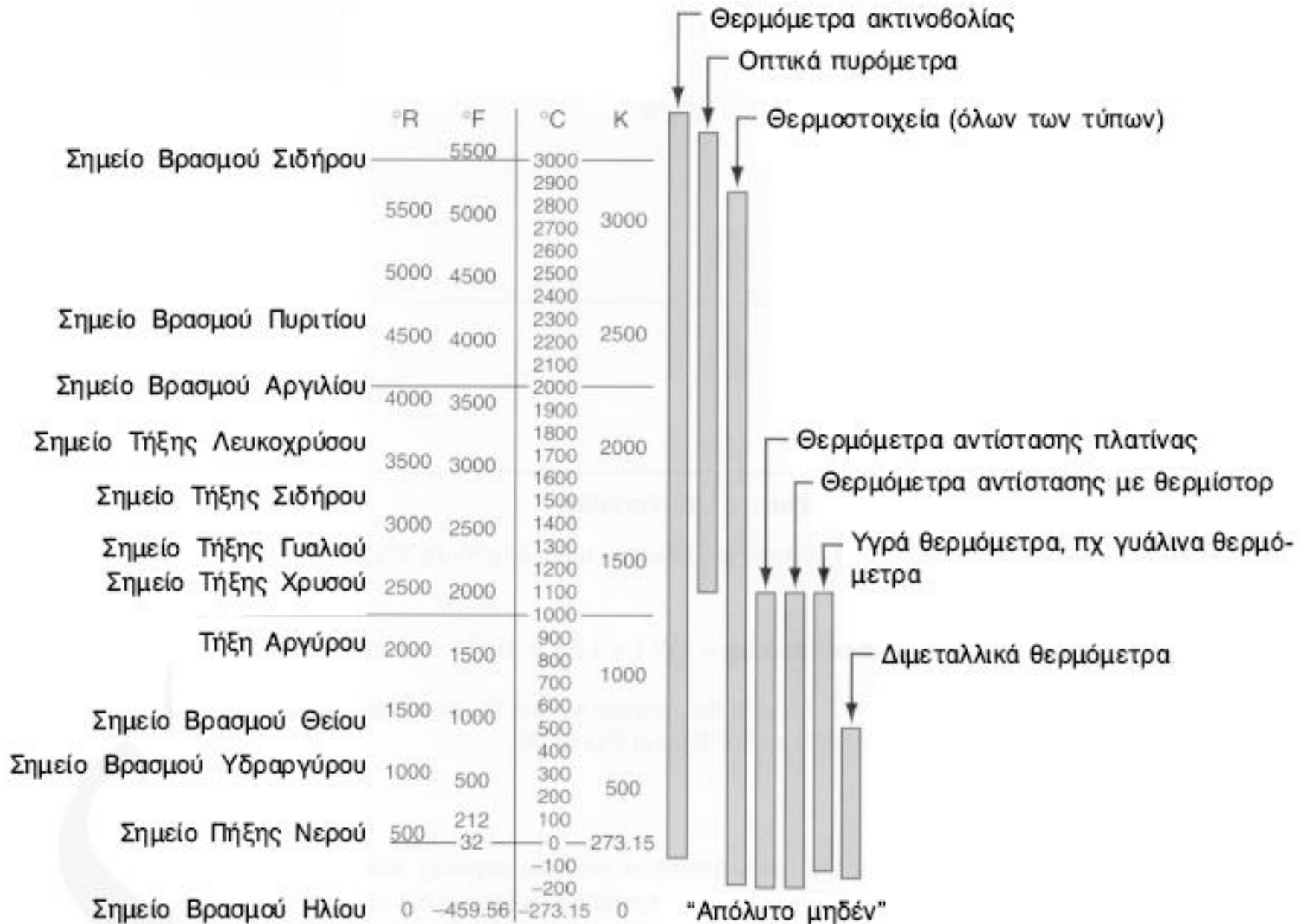
Thermistors



Bimetallic thermometers
(φούρνοι, ψυγεία, κτλ.)

Bulb thermometer

Μέτρηση Θερμοκρασίας



Η καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων



Πειραματικά αποδεικνύεται ότι ένα αέριο με N μόρια που βρίσκεται σε ένα ερμητικά κλειστό δοχείο υπακούει σε μια απλή σχέση μεταξύ πίεσης p , όγκου V και θερμοκρασίας T :

$$pV = NkT$$

Αυτή είναι η **καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων** και τα περισσότερα πραγματικά αέρια υπακούουν σε αυτή με πολύ καλή προσέγγιση

Εδώ $k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ είναι η **σταθερά του Boltzmann**

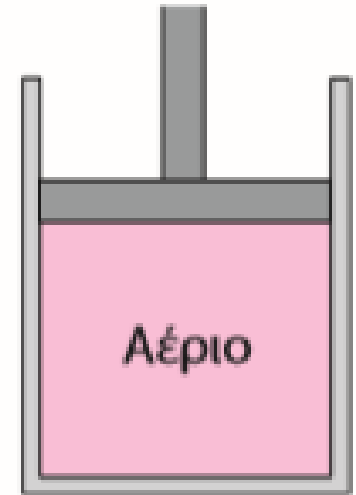
Η καταστατική εξίσωση μπορεί επίσης να γραφεί:

$$pV = nRT$$

όπου n είναι ο αριθμός των mole του αερίου και

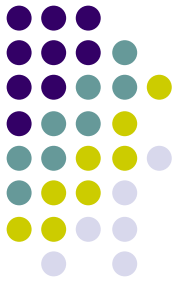
$$R = N_A k = 8,314 \text{ J/K} \cdot \text{mol}$$

η **παγκόσμια σταθερά των αερίων**



Ένα σύστημα εμβόλου-κυλίνδρου

Θερμόμετρα αερίου



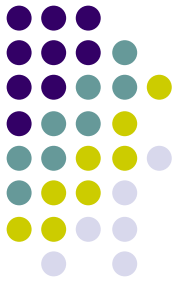
Ένα από τα πιο αποτελεσματικά θερμόμετρα είναι το **θερμόμετρο αερίου σταθερού όγκου**

- Η πίεση ενός αερίου παρέχει μια ένδειξη για τη θερμοκρασία
- Τα θερμόμετρα αερίου είναι σήμερα η βάση του ορισμού της κλίμακας Κέλβιν στο σύστημα SI
- Τα θερμόμετρα αερίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών



Ένα θερμόμετρο αερίου σταθερού όγκου

Συγκριτικός Πίνακας Θερμομέτρων



Χαρακτηριστικό	Θερμόμετρο Αερίου	Θερμόμετρο Ακτινοβολίας
Φυσική αρχή	Νόμος ιδανικών αερίων ($PV=nRT$)	Θερμική ακτινοβολία – νόμοι Max Planck, Wilhelm Wien, Stefan–Boltzmann
Τρόπος μέτρησης	Μετρά πίεση (σταθερός όγκος) ή όγκο (σταθερή πίεση)	Μετρά εκπεμπόμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία
Επαφή με σώμα	Απαιτείται	Δεν απαιτείται
Εξάρτηση από ιδιότητες υλικού	Όχι (εξαρτάται από αέριο αναφοράς)	Ναι (εκπεμπτικότητα επιφάνειας)
Ακρίβεια	Πολύ υψηλή (πρωτογενές θερμόμετρο)	Υψηλή αλλά εξαρτάται από σωστή ρύθμιση emissivity
Χρόνος απόκρισης	Αργός	Πολύ γρήγορος (ms)
Εύρος θερμοκρασιών	Μεσαίο εύρος	Πολύ μεγάλο (έως $>2000^{\circ}\text{C}$ σε πυρόμετρα)
Χρήση σε κινούμενα σώματα	Όχι	Ναι
Βιομηχανική χρήση	Κυρίως εργαστηριακή / βαθμονόμηση	Εκτεταμένη βιομηχανική χρήση

Απόλυτο μηδέν

Οι ενδείξεις των θερμομέτρων αερίου 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°C .

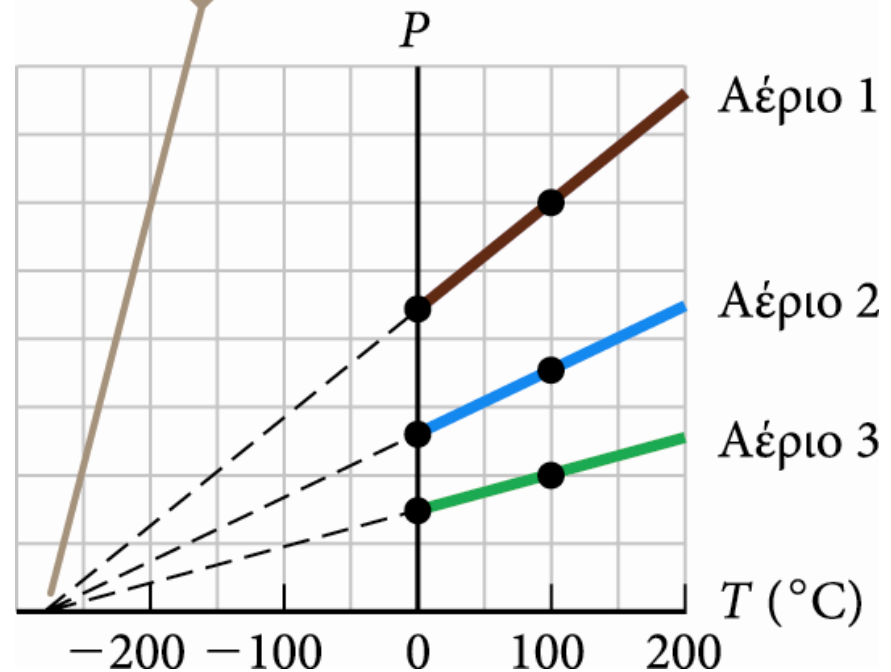
Η συγκεκριμένη θερμοκρασία ονομάζεται **απόλυτο μηδέν**.

Το απόλυτο μηδέν είναι η βάση της **κλίμακας απόλυτης θερμοκρασίας**.

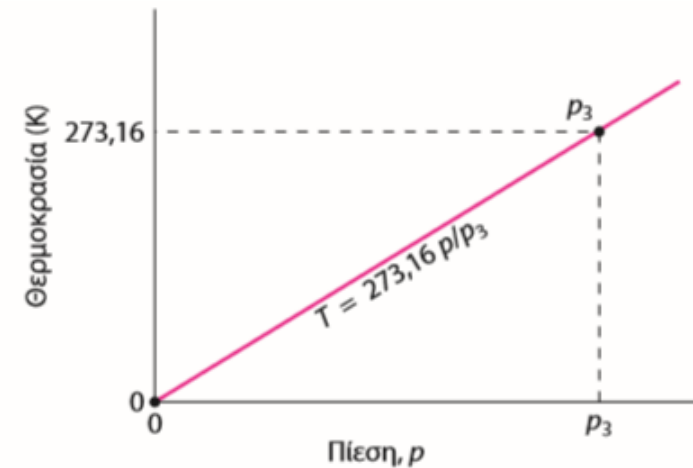
Το μέγεθος του ενός βαθμού στην κλίμακα απόλυτης θερμοκρασίας είναι ίδιο με το μέγεθος του ενός βαθμού στην κλίμακα Κελσίου.

Μετατροπή: $T_C = T - 273.15$

Και για τα τρία αέρια, όταν η θερμοκρασία είναι -273.15°C , η πίεση είναι μηδενική.



Κλίμακα απόλυτης θερμοκρασίας



Η κλίμακα απόλυτης θερμοκρασίας βασίζεται πλέον σε δύο νέα σταθερά σημεία.

- Υιοθετήθηκαν το 1954 από τη Διεθνή Επιτροπή Μέτρων και Σταθμών.
- Το ένα σημείο είναι το απόλυτο μηδέν.
- Το άλλο σημείο είναι το **τριπλό σημείο** του νερού.
 - Είναι ο συνδυασμός θερμοκρασίας και πίεσης για τον οποίο συνυπάρχουν σε ισορροπία πάγος, νερό, και υδρατμοί.

Το τριπλό σημείο του νερού αντιστοιχεί σε θερμοκρασία 0.01°C και πίεση 4.58 mm Hg .

Αυτή η θερμοκρασία ορίστηκε ίση με 273.16 στην κλίμακα απόλυτης θερμοκρασίας.

- Η επιλογή αυτή έγινε έτσι ώστε η παλαιά κλίμακα απόλυτης θερμοκρασίας να μη διαφέρει πολύ από τη νέα κλίμακα.
- Οι μονάδες που χρησιμοποιούνται στην κλίμακα απόλυτης θερμοκρασίας είναι τα **kelvin**.

Κλίμακα απόλυτης θερμοκρασίας



Η κλίμακα απόλυτης θερμοκρασίας είναι γνωστή και ως κλίμακα Κέλβιν.

- Προς τιμή του William Thomson, λόρδου Κέλβιν.

Η θερμοκρασία του τριπλού σημείου του νερού είναι ίση με 273.16 K.

- Δεν χρησιμοποιούμε σύμβολο βαθμών για τα kelvin.

Το kelvin είναι εξ ορισμού ίσο με το $1/273.16$ της διαφοράς μεταξύ του απολύτου μηδενός και της θερμοκρασίας του τριπλού σημείου του νερού.



Μερικά παραδείγματα απόλυτων θερμοκρασιών

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

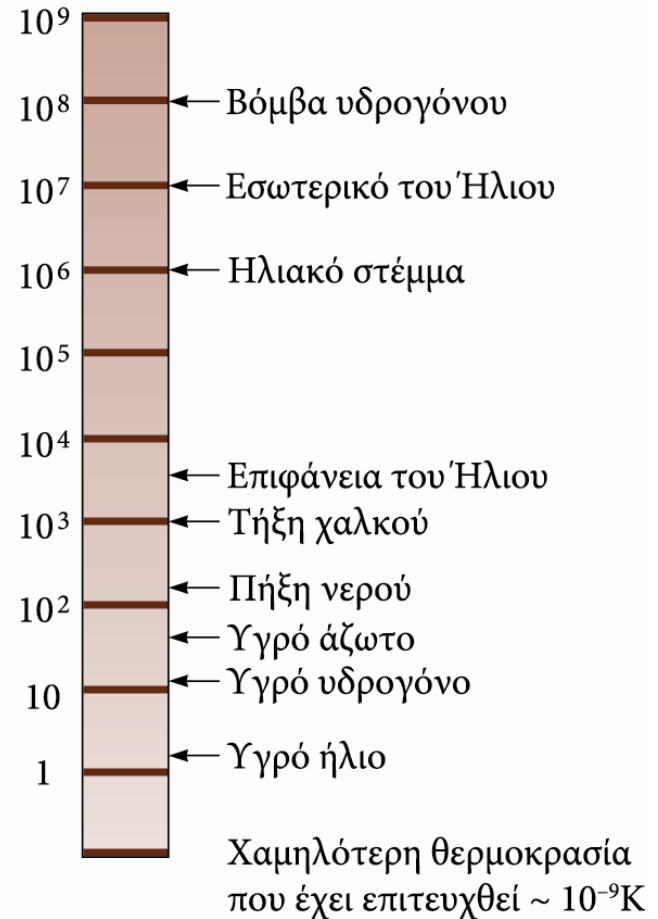
Η κλίμακα είναι λογαριθμική.

Η θερμοκρασία του απόλυτου μηδενός δεν μπορεί να επιτευχθεί.

- Έχει προσεγγιστεί κατά τη διάρκεια πειραμάτων.

Σημειώστε ότι η κλίμακα είναι λογαριθμική.

Θερμοκρασία (K)



Κλίμακα Κελσίου



Το σημείο πήξης του νερού ορίζεται ως 0° C.

Το σημείο βρασμού του νερού ορίζεται ως 100° C.

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

Άλλες κλίμακες



- Ένας βαθμός Κελσίου αντιστοιχεί σε ένα kelvin, αλλά το μηδέν στην κλίμακα Κελσίου βρίσκεται στα 273 K, το σημείο πήξης του νερού υπό κανονικές συνθήκες:

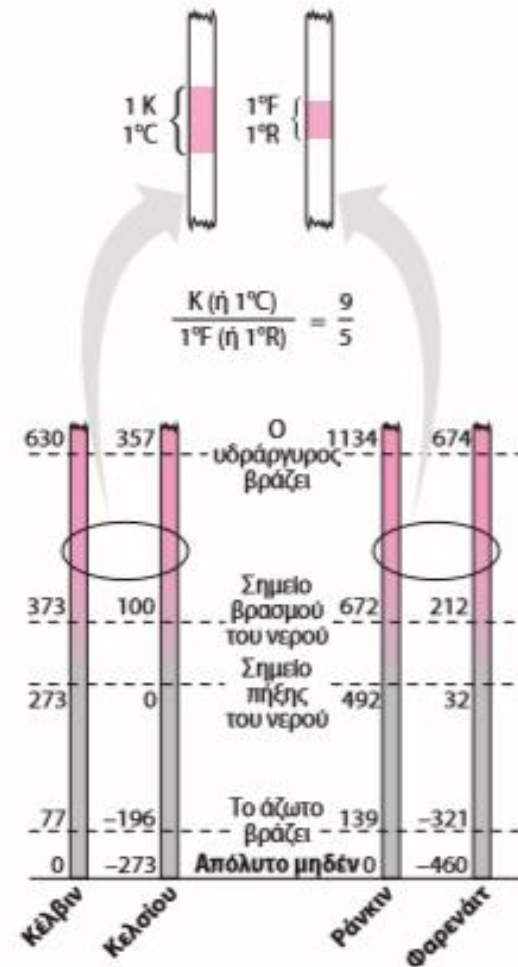
$$T_C = T - 273,15$$

- Ένας βαθμός Φαρενάιτ αντιστοιχεί στα 5/9 ενός βαθμού Κελσίου και το μηδέν στην κλίμακα Φαρενάιτ είναι 32°F κάτω από το σημείο πήξης του νερού:

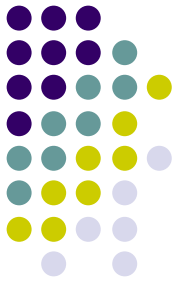
$$T_F = \frac{9}{5}T_C + 32$$

- Στην κλίμακα Ράνκιν (Rankine) το μηδέν βρίσκεται στο απόλυτο μηδέν και οι βαθμοί της αντιστοιχούν σε αυτούς της κλίμακας Φαρενάιτ:

$$T_F = T_R - 459,67$$



Θερμοκρασία και Διαφορά Θερμοκρασίας



Αν $\Delta^{\circ}\text{F}$ είναι η μονάδα διαφοράς θερμοκρασιών στην κλίμακα Fahrenheit, $\Delta^{\circ}\text{R}$ είναι η διαφορά θερμοκρασίας στην κλίμακα Rankine και $\Delta^{\circ}\text{C}$ και ΔK είναι οι αντίστοιχες μονάδες στις δύο άλλες κλίμακες, τότε προφανώς θα ισχύει:

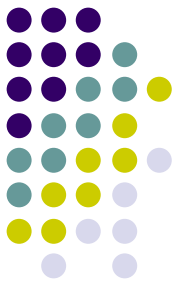
$$\Delta^{\circ}\text{F} = \Delta^{\circ}\text{R}$$

$$\Delta^{\circ}\text{C} = \Delta\text{K}$$

Επίσης, αν σκεφτείτε ότι η διαφορά $\Delta^{\circ}\text{C}$ είναι μεγαλύτερη από την $\Delta^{\circ}\text{F}$

$$\frac{\Delta^{\circ}\text{C}}{\Delta^{\circ}\text{F}} = 1.8 \quad \text{ή} \quad \Delta^{\circ}\text{C} = 1.8 \Delta^{\circ}\text{F}$$

$$\frac{\Delta\text{K}}{\Delta^{\circ}\text{R}} = 1.8 \quad \text{ή} \quad \Delta\text{K} = 1.8 \Delta^{\circ}\text{R}$$



Μετατροπή θερμοκρασιών

Έστω ότι έχουμε την σχέση

$$T_{\circ\text{F}} = a + bT_{\circ\text{C}}$$

Ποιες είναι οι μονάδες των a και b ; Με βάση τα όσα μάθαμε στο Κεφάλαιο 1 οι μονάδες του a θα πρέπει να είναι $^{\circ}\text{F}$ για λόγους ομοιομορφίας. Είναι οι μονάδες του b ίσες με τις μονάδες του πηλίκου $T_{\circ\text{F}}/T_{\circ\text{C}}$; Όχι, γιατί τα σημεία αναφοράς των $^{\circ}\text{C}$ και $^{\circ}\text{F}$ διαφέρουν. Το πηλίκο $T_{\circ\text{F}}/T_{\circ\text{C}}$ δεν είναι αξιόπιστος παράγοντας μετατροπής. Οι σωστές μονάδες του b πρέπει να περιέχουν τον παράγοντα μετατροπής ($1.8 \Delta^{\circ}\text{F}/\Delta^{\circ}\text{C}$), τον παράγοντα που μετατρέπει το μέγεθος διαστήματος από τη μία κλίμακα θερμοκρασιών σε μία άλλη:

$$T_{\circ\text{F}} = a_{\circ\text{F}} + \left(\frac{1.8 \Delta^{\circ}\text{F}}{\underbrace{\Delta^{\circ}\text{C}}_b} \right) T_{\circ\text{C}}$$

Δυστυχώς, οι μονάδες του b συνήθως αγνοούνται.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4.1 Μετατροπή θερμοκρασίας

Μετατρέψτε 100 °C σε (α) K, (β) °F και (γ) °R.

Λύση:

$$(α) (100 + 273)°C \frac{1 \Delta K}{1 \Delta °C} = 373 K$$

ή με παράλειψη του συμβόλου Δ,

$$(100 + 273)°C \frac{1 K}{1 °C} = 373 K$$

$$(β) (100°C) \frac{1.8 \Delta °F}{1 \Delta °C} + 32°F = 212°F$$

$$(γ) (212 + 460)°F \frac{1 \Delta °R}{1 \Delta °F} = 672°R$$

ή

$$(373 K) \frac{1.8 \Delta °R}{1 \Delta K} = 672°R$$

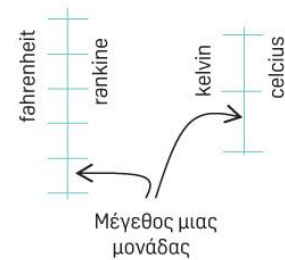
212	672	Σημείο βρασμού του νερού σε 760 mmHg	373	100
32	492	Σημείο πήξης του νερού	273	0
0	460		255	-18
-40	420	°F = °C	233	-40
-460	0	Απόλυτο μηδέν	0	-273,15

Κλίμακα fahrenheit

Κλίμακα rankine

Κλίμακα kelvin

Κλίμακα celsius



Βαθμονόμηση θερμομέτρου



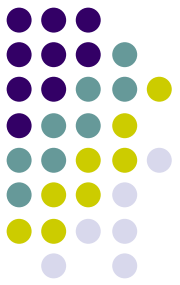
Για να βαθμονομήσουμε ένα θερμόμετρο, το φέρνουμε σε θερμική επαφή με κάποιο φυσικό σύστημα που έχει σταθερή θερμοκρασία.

Τα συστήματα αυτά συνήθως χρησιμοποιούν νερό.

- Μίγμα νερού και πάγου υπό κανονική ατμοσφαιρική πίεση
 - Η θερμοκρασία που αντιστοιχεί σε αυτή την κατάσταση ονομάζεται **σημείο πήξης του νερού**.
- Μίγμα νερού και υδρατμών σε θερμική ισορροπία υπό κανονική ατμοσφαιρική πίεση
 - Η θερμοκρασία που αντιστοιχεί σε αυτή την κατάσταση ονομάζεται **σημείο βρασμού του νερού**.

Αφού εντοπίσουμε αυτά τα σημεία, διαιρούμε το μήκος της μεταξύ τους στήλης σε ίσα τμήματα.

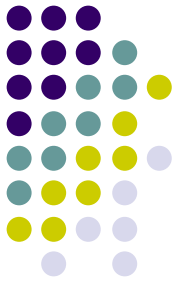
Προβλήματα



Σε μία αναφορά του *Chemical and Engineering News* σχετική με τις χαμηλότερες θερμοκρασίες που παρατηρούνται στην Ανταρκτική, λέγεται ότι “ο υδράργυρος έπεσε στους -76°C . Πως είναι αυτό δυνατό; Ο υδράργυρος πήζει στους -39°C .

Έστω ότι ένα θερμόμετρο αλκοόλης και ένα θερμόμετρο υδραργύρου δίνουν ένδειξη 0°C για το σημείο πήξης και 100°C για το σημείο βρασμού. Η απόσταση μεταξύ των δύο σημείων διαιρείται σε 100 ίσα μέρη και στα δύο θερμόμετρα. Πιστεύετε ότι τα θερμόμετρα αυτά θα δώσουν την ίδια ένδειξη σε θερμοκρασία, πχ 60°C ; Εξηγήστε.

Θερμότητα

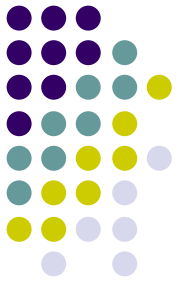


Θερμότητα = μορφή ενέργειας (θερμική ενέργεια)
= κινητική & δυναμική ενέργεια της τυχαίας μικροσκοπικής κίνησης σωματιδίων (μορίων, ατόμων, ιόντων, ηλεκτρονίων, κτλ.)

Απορρόφηση θερμότητας

από ένα σώμα (δηλ. αύξηση θερμοκρασίας) = ευθέως ανάλογη αύξηση μηχανικής (κινητικής) ενέργειας ατόμων και μορίων του σώματος

Η θερμότητα ως μορφή ενέργειας



1 cal = 10^{-3} Kcal = θερμότητα για την ανύψωση της θερμοκρασίας 1 g νερού από τους 14,5 στους 15,5⁰ C

1 Btu = 0,252 cal = θερμότητα για την ανύψωση της θερμοκρασίας 1 lb νερού κατά 1⁰ F

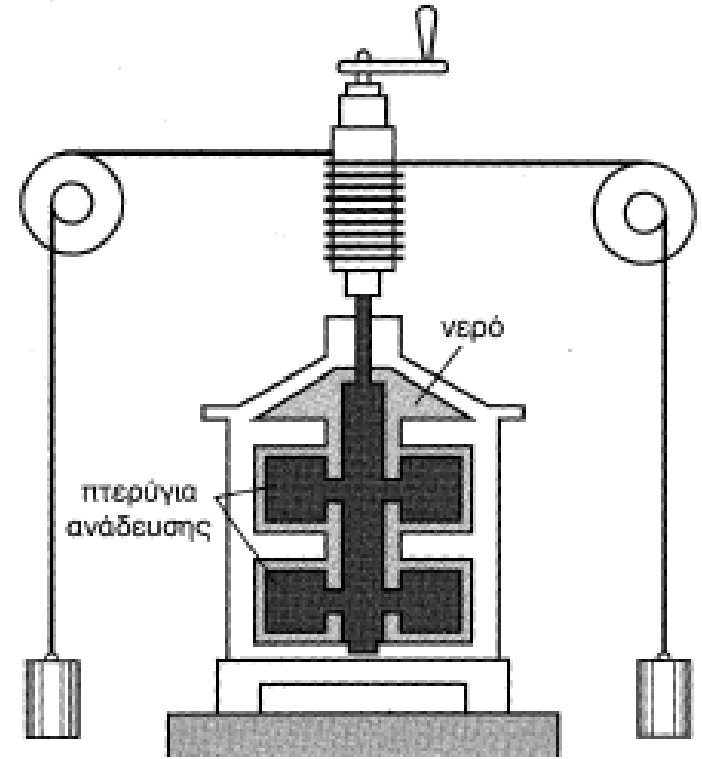
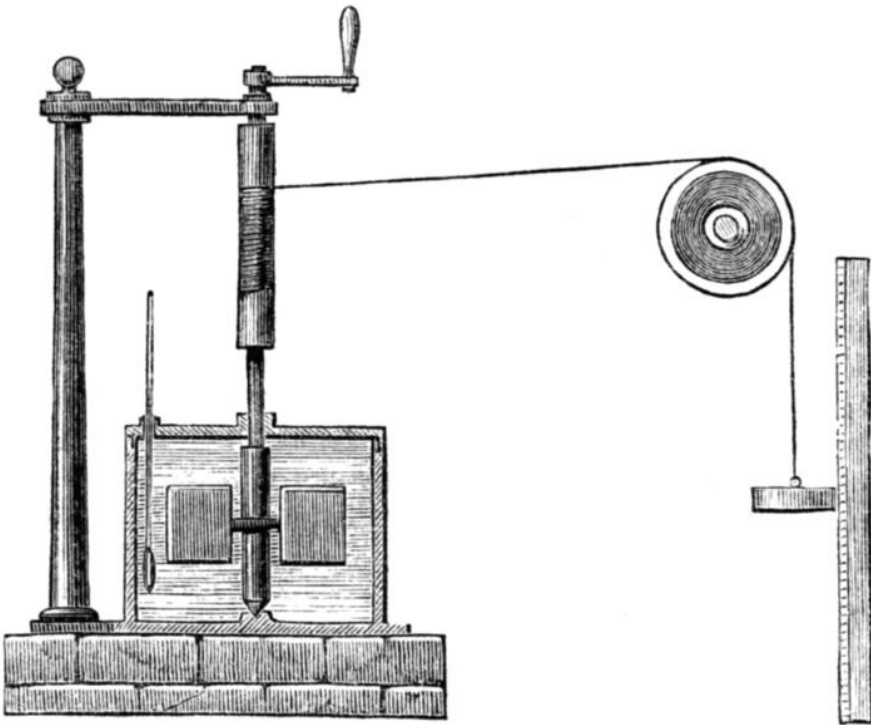
Ειδική θερμοχωρητικότητα ή ειδική θερμότητα :

θερμότητα που απαιτείται για την ανύψωση της θερμοκρασίας 1kg κάποιου υλικού κατά 1⁰ C

$\Delta Q = mc\Delta T$ (σχέση μεταβολών θερμότητας και θερμοκρασίας)

Πείραμα Joule

Μέτρηση μηχανικού ισοδύναμου θερμότητας



Αύξηση θερμοκρασίας νερού μετά από ανάδυσή του μέσα σε μονωμένο δοχείο με κίνηση πτερυγίων από πτώση βαρών

Μετατροπή βαρυτικής δυναμικής ενέργειας σε θερμότητα

$$1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$$



Πίνακας. Ειδική θερμότητα μερικών υλικών.

(σε θερμοκρασία δωματίου και 1 atm)

Υλικό	Ειδική θερμότητα (c)
Αργίλιο	0,214 kcal/kg · °C
Ορείχαλκος	0,092
Χαλκός	0,092
Σίδηρος, χάλυβας	0,11
Μόλυβδος	0,031
Κασσίτερος	0,054
Αργυρος	0,056
Ίνταρ	0,120
Υδράργυρος	0,033
Νερό	1,00
Πάγος (- 10°C)	0,530
Αιθυλική αλκοόλη	0,581
Γλυκόλη	0,571
Ορυκτέλαιο	0,5
Γυαλί, θερμομέτρου	0,20
Μάρμαρο	0,21
Γρανίτης	0,19
Θαλάσσιο νερό	0,93

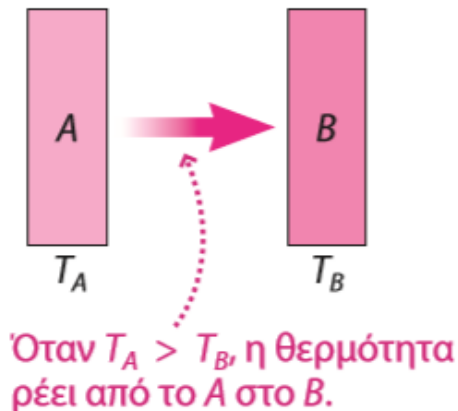
Θερμοκρασία Ισορροπίας



- Όταν δύο σώματα με διαφορετική θερμοκρασία έρχονται σε θερμική επαφή χωρίς κάποια απώλεια ενέργειας, φτάνουν σε ισορροπία σε μια θερμοκρασία η οποία καθορίζεται από τη μάζα τους και την ειδική τους θερμότητα:

$$m_1 c_1 \Delta T_1 + m_2 c_2 \Delta T_2 = 0$$

- Για το θερμότερο σώμα, το ΔT είναι αρνητικό
- Η θερμότητα ρέει από το θερμότερο σώμα προς το ψυχρότερο

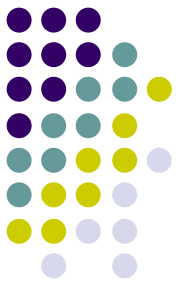


Τα συστήματα A και B βρέθηκαν σε θερμική επαφή χωρίς περαιτέρω μακροσκοπικές μεταβολές.



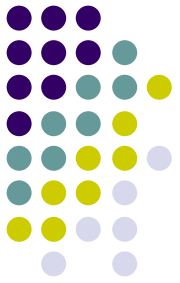
Έφτασαν σε θερμοδυναμική ισορροπία και συνεπώς έχουν την ίδια θερμοκρασία.

Διάδοση θερμότητας: Τρεις συνήθεις μηχανισμοί

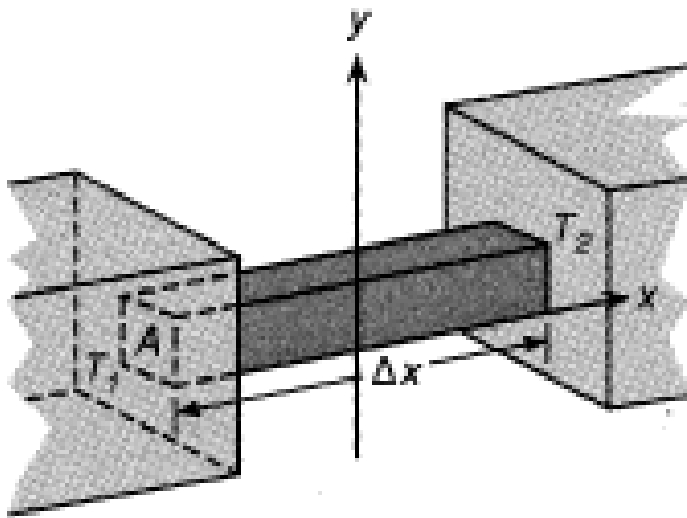


- **Αγωγή θερμότητας** είναι η διάδοση θερμότητας με άμεση φυσική επαφή
 - Λαμβάνει χώρα όταν τα μόρια σε μια θερμότερη περιοχή συγκρούονται με μόρια που βρίσκονται σε μια γειτονική ψυχρότερη περιοχή και τους μεταφέρουν ενέργεια
- Η διάδοση θερμότητας με **μεταφορά μάζας** πραγματοποιείται μέσω της κίνησης των ρευστών
 - Λαμβάνει χώρα όταν ένα θερμαινόμενο ρευστό γίνεται λιγότερο πυκνό και ως εκ τούτου ανυψώνεται
- Στην περίπτωση της **ακτινοβολίας** η θερμότητα μεταφέρεται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων
 - Λαμβάνει χώρα όταν η επιφάνεια ενός σώματος εκπέμπει ή απορροφά ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

Αγωγιμότητα θερμότητας



Μεταφορά θερμότητας με αγωγιμότητα (παράδειγμα, επεξήγηση με την ύπαρξη ελεύθερων ηλεκτρονίων)



$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Ροή θερμότητας κατά μήκος της ράβδου ανάλογη της διαφοράς θερμοκρασίας και αντίστροφα ανάλογη του μήκους

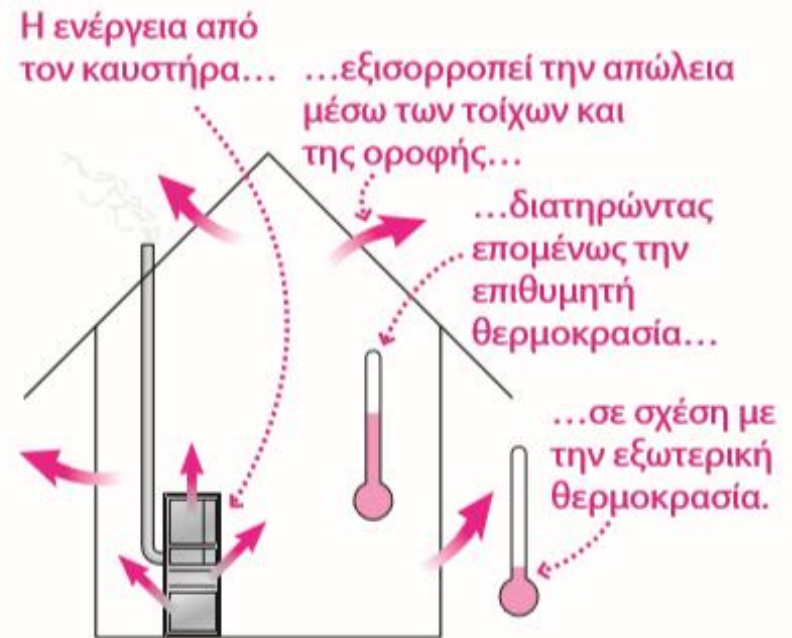
Πίνακας. Τιμές θερμικής αγωγιμότητας (k).

Υλικό	k
Αργίλιο	49 cal/(s · m · °C)
Χαλκός	92
Σίδηρος, χυτός	11
Χάλυβας	11
Μόλυβδος	8,3
Αργυρος	97
Πάγος, 0°C	0,3
Χιόνι, 0°C, συμπιεσμένο	0,05
Στεφανύαλος	0,25
Πορσελάνη	0,25
Μπετόν	0,2
Τούβλα	0,15
Μόνωση υαλοβάμβακα	0,01
Φελιξόλ	0,002
Ξύλο, πεύκου	0,03
Πούπουλα	0,0046

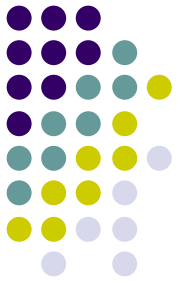


Ισοζύγιο θερμικής ενέργειας

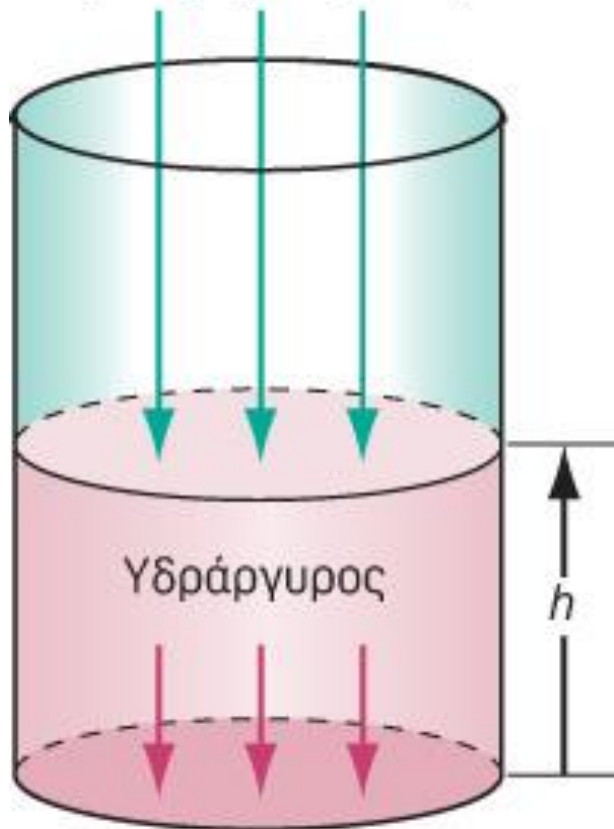
- Ένα σύστημα έχει **ισοζύγιο θερμικής ενέργειας** όταν ο ρυθμός με τον οποίο προσλαμβάνει ενέργεια ισούται με τον ρυθμό απώλειας ενέργειας
- Η **θερμοκρασία** ενός συστήματος με ισοζύγιο θερμικής ενέργειας είναι **σταθερή**
- Αν η απώλεια ενέργειας είναι μεγαλύτερη από την πρόσληψη ενέργειας, **το σύστημα ψυχραίνεται**
- Αν η πρόσληψη είναι μεγαλύτερη από την απώλεια, **το σύστημα θερμαίνεται**



ΠΙΕΣΗ



Ατμοσφαιρική Πίεση



$$P = F/A = \rho gh + p_0$$

Όπου p = πίεση στο κάτω μέρος της στήλης του υγρού

F = δύναμη

A = επιφάνεια

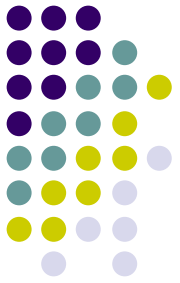
ρ = πυκνότητα του υγρού

g = επιτάχυνση της βαρύτητας

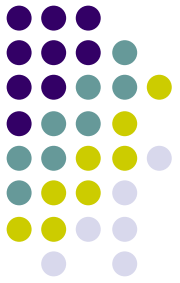
h = ύψος της στήλης του υγρού

p_0 = πίεση στο επάνω μέρος της στήλης του υγρού

Πίεση



Μονάδες Πίεσης



Οι πιο συνηθισμένες παραλλαγές μονάδων μέτρησης πίεσης στο σύστημα είναι:

- α.** Bars (bar): $100 \text{ kPa} = 1 \text{ bar}$
- β.** Kilograms (δύναμη) ανά τετραγωνικό εκατοστό (kg_f/cm^2)*, μία πολύ συνηθισμένη μονάδα του SI, όχι όμως πρότυπη (συχνά αναφέρεται και ως “kilos”)
- γ.** Torr (Torr): $760 \text{ Torr} = 1 \text{ atm}$

Στο Αμερικανικό Πρακτικό Σύστημα μονάδων η πίεση μπορεί να εκφραστεί με πολλούς τρόπους όπως:

- α.** Χιλιοστά υδραργύρου (mm Hg)
- β.** Ίντσες υδραργύρου (in. Hg)
- γ.** Πόδια νερού (ft H_2O)
- δ.** Ατμόσφαιρες (atm)
- ε.** Λίβρες (δύναμη) ανά τετραγωνική ίντσα (συχνά ονομάζεται απλά “λίβρα”) (psi)

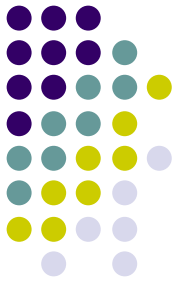
Μονάδες Πίεσης



	<u>Pascal</u> (Pa)	<u>Bar</u> (bar)	<u>Atmosphere</u> (atm)	<u>Torr</u> (mmHg)	<u>Pound-force</u> <u>per</u> <u>square inch</u> (psi)
1 Pa	≡ 1 <u>N</u> /m ²	10 ⁻⁵	9.8692×10 ⁻⁶	7.5006×10 ⁻³	145.04×10 ⁻⁶
1 bar	100 000	≡ 10 ⁶ <u>dyn</u> /cm ²	0.98692	750.06	14.504
1 atm	101 325	1.01325	≡ 1 <u>atm</u>	760	14.696
1 torr	133.322	1.3332×10 ⁻³	1.3158×10 ⁻³	≡ 1 <u>mmHg</u>	19.337×10 ⁻³
1 psi	6 894.76	68.948×10 ⁻³	68.046×10 ⁻³	51.715	≡ 1 <u>lbf</u> /in ²

Παράδειγμα: 1 Pa = 1 N/m² = 10⁻⁵ bar = 9.8692×10⁻⁶ atmκτλ.

Πρόβλημα

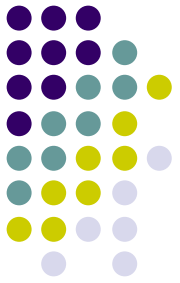


Αν η πυκνότητα του Hg είναι 13.55 g/cm^3 και το ύψος της στήλης Hg στο δοχείο είναι 50 cm , υπολογίστε τη δύναμη που ασκείται σε 1 cm^2 της επιφάνειας του κυλίνδρου.

$$F = \frac{13.55 \text{ g}}{\text{cm}^3} \left| \frac{980 \text{ cm}}{\text{s}^2} \right| \frac{50 \text{ cm}}{1 \text{ cm}^2} \left| \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \right| \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \left| \frac{1(\text{N})(\text{s}^2)}{1(\text{kg})(\text{m})} \right|$$
$$= 6.64 \text{ N}$$

$$p = \frac{6.64 \text{ N}}{1 \text{ cm}^2} \left| \left(\frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \right)^2 \right| \frac{(1 \text{ m}^2)(1 \text{ Pa})}{(1 \text{ N})} \left| \frac{1 \text{ kPa}}{1000 \text{ Pa}} \right| + p_0 = 66.4 \text{ kPa} + p_0$$

Προβλήματα

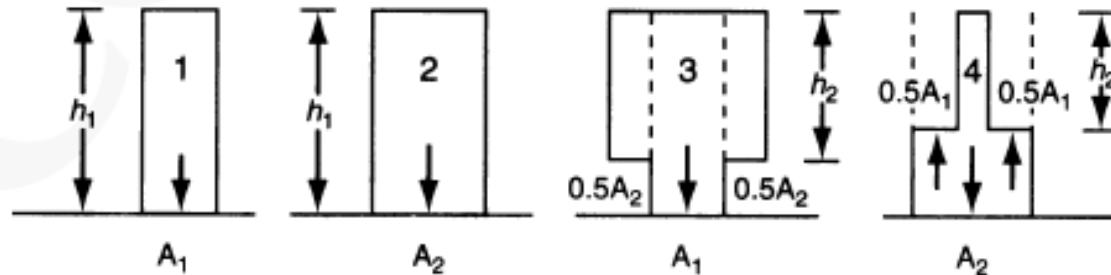


Το σχήμα SAT5.1Q1 αναπαριστά δύο δοχεία με καφέ πάνω σε ένα τραπέζι. Και τα δύο είναι κυλινδρικά και έχουν την ίδια επιφάνεια διατομής. Σε ποιο από τα δοχεία μπορεί να χωρέσει μεγαλύτερη ποσότητα καφέ;



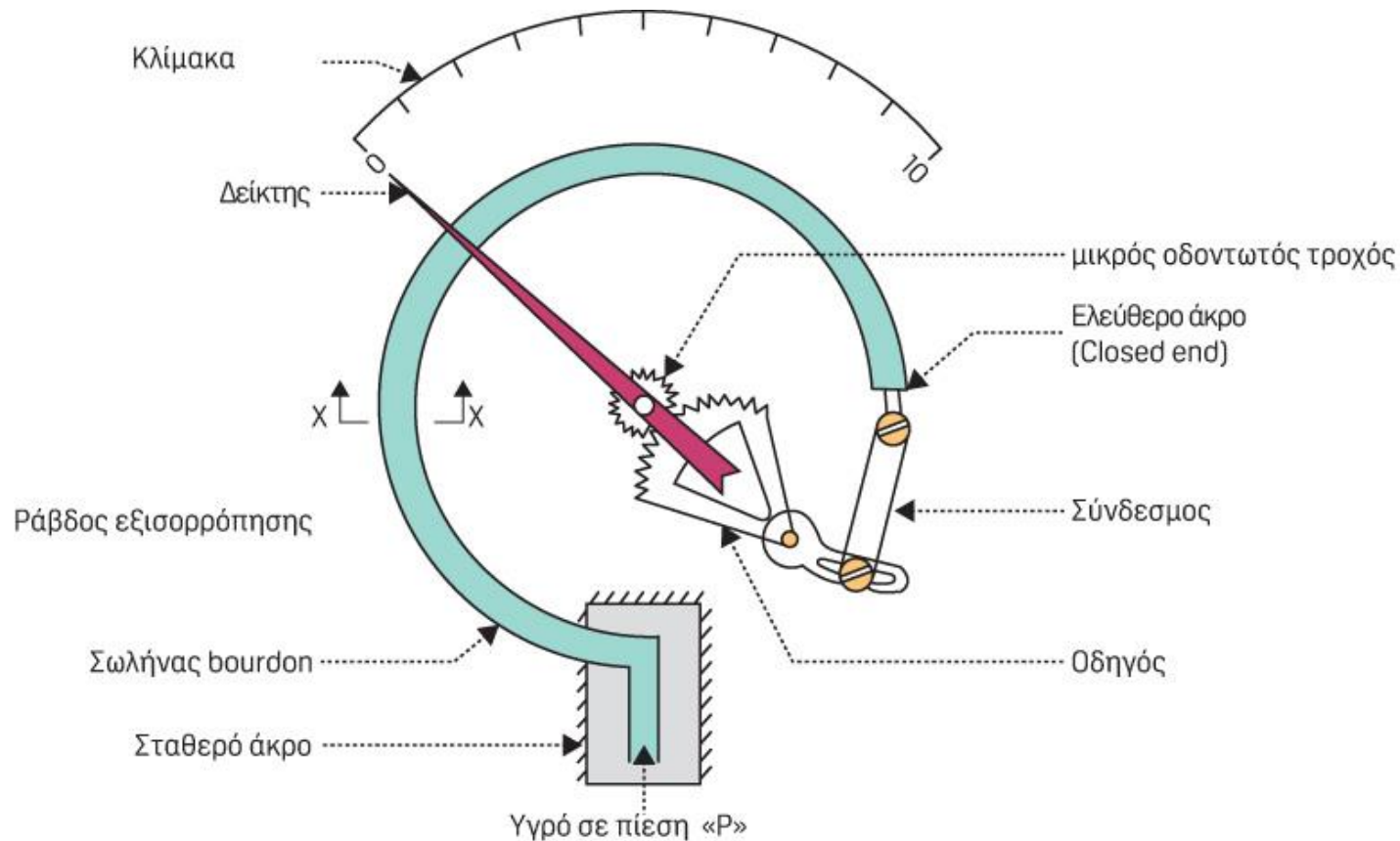
Σχήμα SAT5.1Q1

Το σχήμα SAT5.1Q2 απεικονίζει δύο δοχεία εντελώς γεμάτα με νερό. Βάλτε τα δοχεία σε σειρά με βάση την πίεση που εξασκούν στις αντίστοιχες βάσεις τους ξεκινώντας από την μικρότερη πίεση.



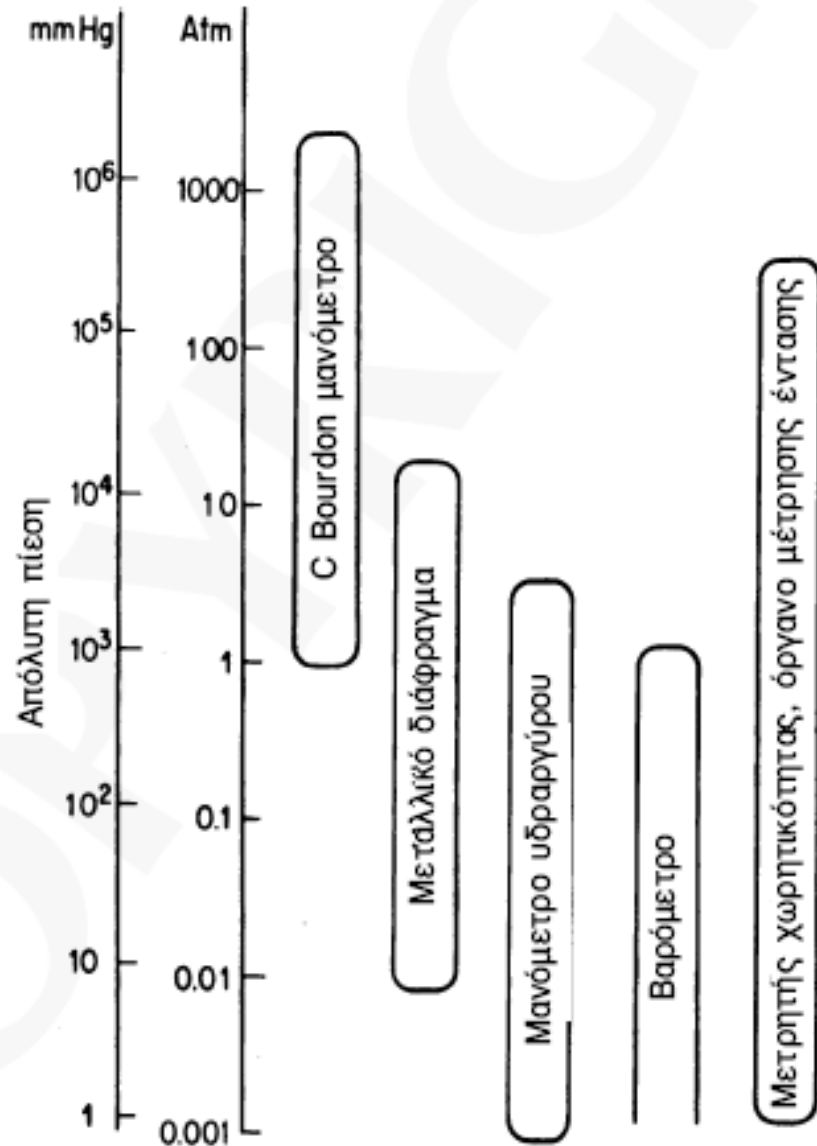
Σχήμα SAT5.1Q2

Μανόμετρο Bourdon



Το μανόμετρο **Bourdon** συνήθως μετρά σχετική (μανομετρική) πίεση αλλά όχι πάντα. Η διάταξη που είναι ευαίσθητη στις μεταβολές της πίεσης είναι ένας λεπτός μεταλλικός σωλήνας με ελλειπτική διατομή, κλειστός στο ένα άκρο, το οποίο έχει καμφθεί σε σχήμα τόξου. Καθώς η πίεση αυξάνει στο ανοιχτό άκρο του σωλήνα, αυτός τείνει να ισιώσει και η κίνηση αυτή του σωλήνα μετατρέπεται σε κίνηση ενός δείκτη πάνω σε βαθμονομημένο δίσκο, με τη βοήθεια μοχλών και τροχών.

Περιοχές εφαρμογών των οργάνων μέτρησης της πίεσης



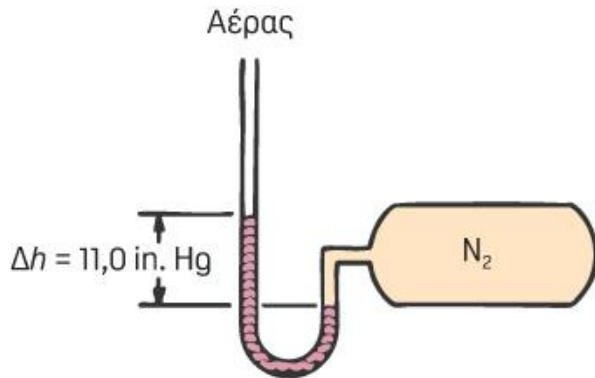
Σχέση



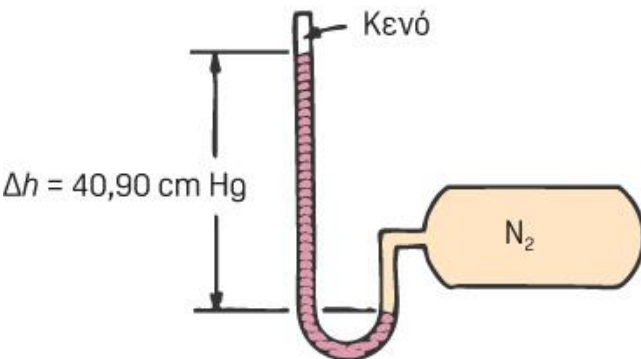
$$\begin{aligned} & \text{Μανομετρική πίεση (σχετική πίεση)} \\ & + \\ & \text{Βαρομετρική πίεση (ατμοσφαιρική πίεση)} \\ & = \\ & \text{Απόλυτη πίεση} \end{aligned}$$

Σημ. : Βαρομετρική πίεση \neq κανονικής ατμόσφαιρας

Μέτρηση της πίεσης

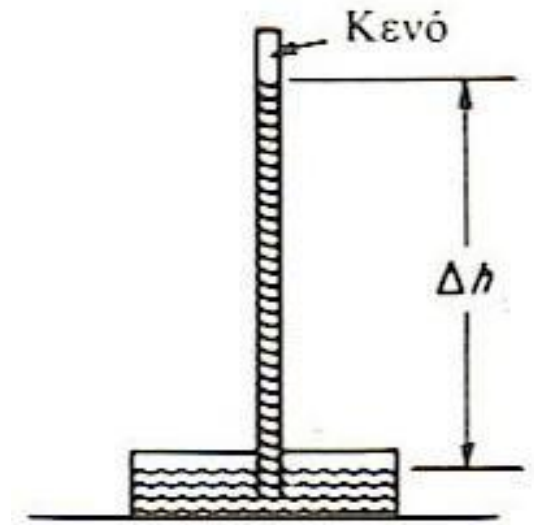


(α). Μανόμετρο ανοικτού σωλήνα που δείχνει μια πίεση μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική.

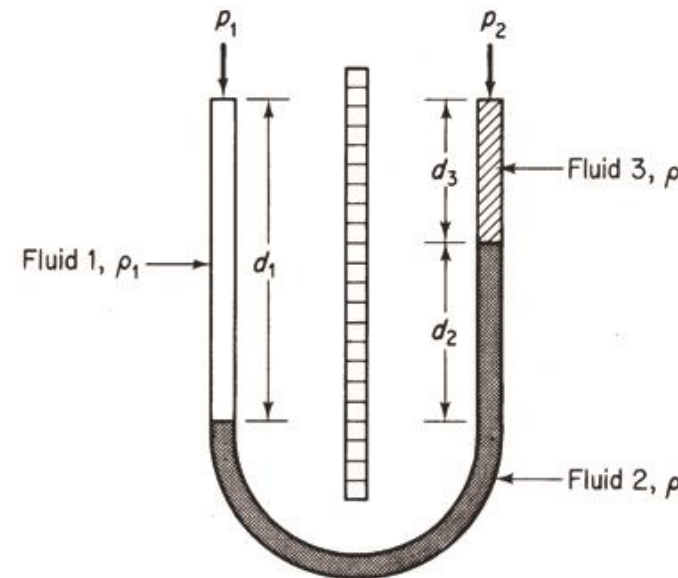


(β). Μανόμετρο μέτρησης απόλυτης πίεσης.

(γ). Μανόμετρο με τρία ρευστά.



Σχήμα Βαρόμετρο.



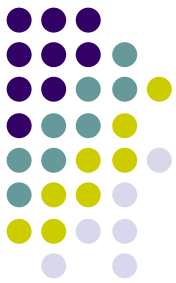
Μονάδες Πίεσης



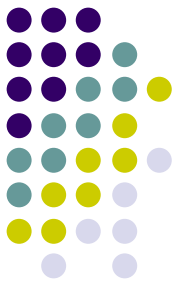
	<u>Pascal</u> (Pa)	<u>Bar</u> (bar)	<u>Atmosphere</u> (atm)	<u>Torr</u> (mmHg)	<u>Pound-force</u> <u>per</u> <u>square inch</u> (psi)
1 Pa	≡ 1 <u>N</u> /m ²	10 ⁻⁵	9.8692×10 ⁻⁶	7.5006×10 ⁻³	145.04×10 ⁻⁶
1 bar	100 000	≡ 10 ⁶ <u>dyn</u> /cm ²	0.98692	750.06	14.504
1 atm	101 325	1.01325	≡ 1 <u>atm</u>	760	14.696
1 torr	133.322	1.3332×10 ⁻³	1.3158×10 ⁻³	≡ 1 <u>mmHg</u>	19.337×10 ⁻³
1 psi	6 894.76	68.948×10 ⁻³	68.046×10 ⁻³	51.715	≡ 1 <u>lbf</u> /in ²

Παράδειγμα: 1 Pa = 1 N/m² = 10⁻⁵ bar = 9.8692×10⁻⁶ atmκτλ.

Σύγκριση πιέσεων όταν η ένδειξη του βαρομέτρου είναι 29.1 in. Hg



Πίεση μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική	Pounds/in ²		mm Hg		In Hg		N/m ²			
	5.0	19.3	259	998	39.3	10.2	0.34 x 10 ⁵	1.33 x 10 ⁵		
Κανονική ατμόσφαιρα	0.4	14.7	20.7	760	29.92	0.82	0.028 x 10 ⁵	1.013 x 10 ⁵		
Βαρομετρική πίεση	0.0	14.3	0.0	740	29.1	0	0.00	0.985 x 10 ⁵		
Πίεση μικρότερη της ατμοσφαιρικής	2.45	11.85	2.45		24.1	-5.0	5.0	-0.17 x 10 ⁵	0.82 x 10 ⁵	0.17 x 10 ⁵
Τέλειο κενό	-14.3	0.0	14.3	0	0	-29.1	29.1	-0.985 x 10 ⁵	0.00	0.985 x 10 ⁵



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5.1 Μετατροπή Πίεσης

Η σύνθεση και η μεταβολή της δομής των κεραμικών υλικών καθορίζουν την αντοχή των υλικών στην νανοτεχνολογία. Τα νανο-υλικά είναι περισσότερο εύκαμπτα από τα συνηθισμένα σύνθετα υλικά, επειδή κάθε νανο-κρυσταλλίτης (σωματίδιο) μπορεί να κινείται το ένα δίπλα στο άλλο, έτσι ώστε να παρατηρείται ευλυγισία. Ωστόσο, τα νανοςωματίδια μπορούν να αυξήσουν την σκληρότητα. Οι κρυσταλλίτες συσσωρεύονται κατά μήκος των ορίων των μακροκρυσταλλιτών, παρεμποδίζοντας την ευκινησία της δομής. Για παράδειγμα, οι νανοκρύσταλλοι του νιτρώδους τιτανίου σε λεπτά στρώματα νιτριδίου του πυριτίου εμφανίζουν σκληρότητα ίση με 60 gigapascals. Η σκληρότητα καθορίζεται από την πίεση που απαιτείται για την χάραξη της επιφάνειας ενός υλικού (τα διαμάντια εμφανίζουν σκληρότητα μεγαλύτερη από 100 Gpa).

Πόση είναι η πίεση των 60 GPa σε:

- (α) ατμόσφαιρες
- (β) psia
- (γ) in Hg
- (δ) mm Hg



Λύση

Βάση : 60 GPa

$$(\alpha) \frac{60 \text{ GPa}}{1 \text{ GPa}} \left| \frac{10^6 \text{ kPa}}{1 \text{ GPa}} \right| \frac{1 \text{ atm}}{101.3 \text{ kPa}} = 0.59 \times 10^6 \text{ atm}$$

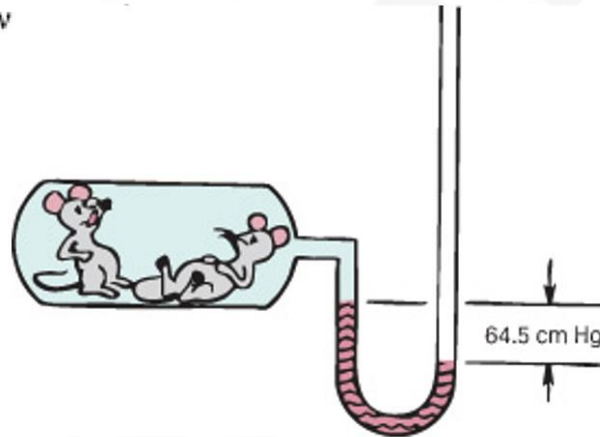
$$(\beta) \frac{60 \text{ GPa}}{1 \text{ GPa}} \left| \frac{10^6 \text{ kPa}}{1 \text{ GPa}} \right| \frac{14.696 \text{ psia}}{101.3 \text{ kPa}} = 8.70 \times 10^6 \text{ psia}$$

$$(\gamma) \frac{60 \text{ GPa}}{1 \text{ GPa}} \left| \frac{10^6 \text{ kPa}}{1 \text{ GPa}} \right| \frac{29.92 \text{ in. Hg}}{101.3 \text{ kPa}} = 1.77 \times 10^7 \text{ in. Hg}$$

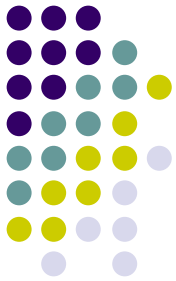
$$(\delta) \frac{60 \text{ GPa}}{1 \text{ GPa}} \left| \frac{10^6 \text{ kPa}}{1 \text{ GPa}} \right| \frac{760 \text{ mm Hg}}{101.3 \text{ kPa}} = 4.50 \times 10^8 \text{ mm Hg}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5.3 Μέτρηση Πίεσης Κενού

Διάφορα μικρά ζώα, όπως οι ποντικοί, **μπορούν να ζήσουν (αν και όχι άνετα)** σε συνθήκες ελαττωμένης πίεσης αέρα, μέχρι 20 kPa (απόλυτη πίεση). Σε ένα πείραμα, ένα μανόμετρο υδραργύρου που συνδέεται με ένα δοχείο, όπως φαίνεται στο Σχήμα E5.3, δείχνει πίεση 64.5 cm Hg και το βαρόμετρο δείχνει 100 kPa. Θα επιζήσουν

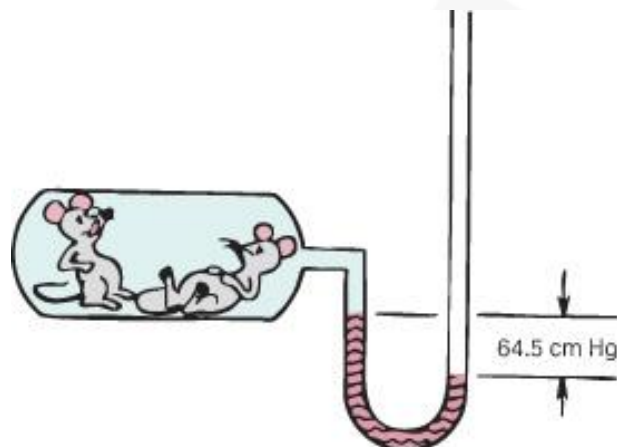


Αύση:



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5.3 Μέτρηση Πίεσης Κενού

Διάφορα μικρά ζώα, όπως οι ποντικοί, μπορούν να ζήσουν (αν και όχι άνετα) σε συνθήκες ελαττωμένης πίεσης αέρα, μέχρι 20 kPa (απόλυτη πίεση). Σε ένα πείραμα, ένα μανόμετρο υδραργύρου που συνδέεται με ένα δοχείο, όπως φαίνεται στο Σχήμα Ε5.3, δείχνει πίεση 64.5 cm Hg και το βαρόμετρο δείχνει 100 kPa. Θα επιζήσουν τα ποντίκια;



Λύση:

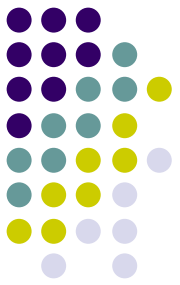
Αρχικά διαβάστε το πρόβλημα. Από το σχήμα μπορείτε να καταλάβετε ότι το δοχείο βρίσκεται κάτω από την ατμοσφαιρική πίεση αφού το αριστερό μέρος του μανομέτρου βρίσκεται ψηλότερα από το δεξιό το οποίο είναι ανοικτό στην ατμόσφαιρα. Συνεπώς, για να υπολογίσετε την απόλυτη πίεση πρέπει να αφαιρέσετε τα 64.5 cm Hg από την ένδειξη του βαρομέτρου.

Αγνοούμε τις διορθώσεις της πυκνότητας του υδραργύρου καθώς και την πυκνότητα του αερίου πάνω από το μανομετρικό υγρό αφού αυτή είναι πολύ χαμηλότερη από την πυκνότητα του υδραργύρου. Επειδή η ένδειξη του κενού στο δοχείο είναι 64.5 cm Hg κάτω από την ατμοσφαιρική, η απόλυτη πίεση στο δοχείο είναι

$$100 \text{ kPa} - \frac{64.5 \text{ cm Hg}}{76.0 \text{ cm Hg}} \times 101.3 \text{ kPa} = 100 - 86 = 14 \text{ kPa απόλυτη}$$



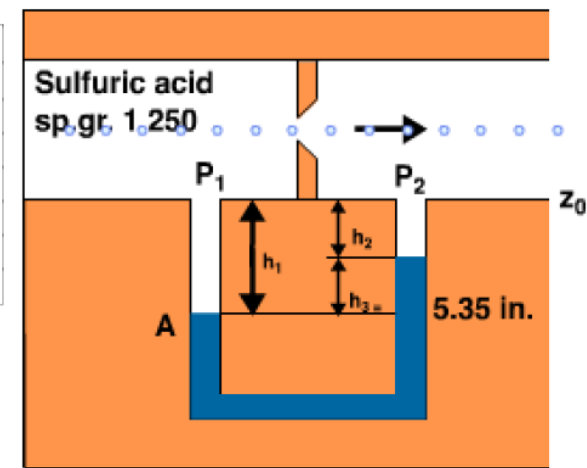
Ερώτηση κρίσεως



Σε ένα μαγικό τρικ, γεμίζουμε ένα ποτήρι με νερό, τοποθετούμε ένα κομμάτι χαρτί πάνω από το ανοιχτό άκρο του ποτηριού, και το κρατάμε στη θέση αυτή καθώς αναποδογυρίζουμε το ποτήρι κατά 180° . Όταν σταματήσουμε να συγκρατούμε το χαρτί, δεν τρέχει καθόλου νερό. Σε πολλά βιβλία διαβάζουμε ότι το ποτήρι θα πρέπει να είναι τελείως γεμάτο με νερό χωρίς καθόλου φυσαλίδες αέρα. Τότε η πίεση του εξωτερικού αέρα είναι αντίθετη με το βάρος του νερού στο ανεστραμμένο ποτήρι. Ωστόσο το πείραμα λειτουργεί και εξίσου καλά και όταν το ποτήρι είναι μισογεμάτο. Δεν λειτουργεί όμως αν αντικαταστήσουμε το κομμάτι χαρτί με ένα γυάλινο πιάτο. Μπορείτε να εξηγήσετε γιατί;

Problem 1.6 B

A U-tube manometer is used to determine the pressure drop across an orifice meter. The liquid flowing in the pipe line is a sulfuric acid solution having a specific gravity ($60^\circ/60^\circ$) of 1.250. The manometer liquid is mercury, with a specific gravity ($60^\circ/60^\circ$) of 13.56. The manometer reading is 5.35 inches, and all parts of the system are at a temperature of 60°F . What is the pressure drop across the orifice meter in psi.



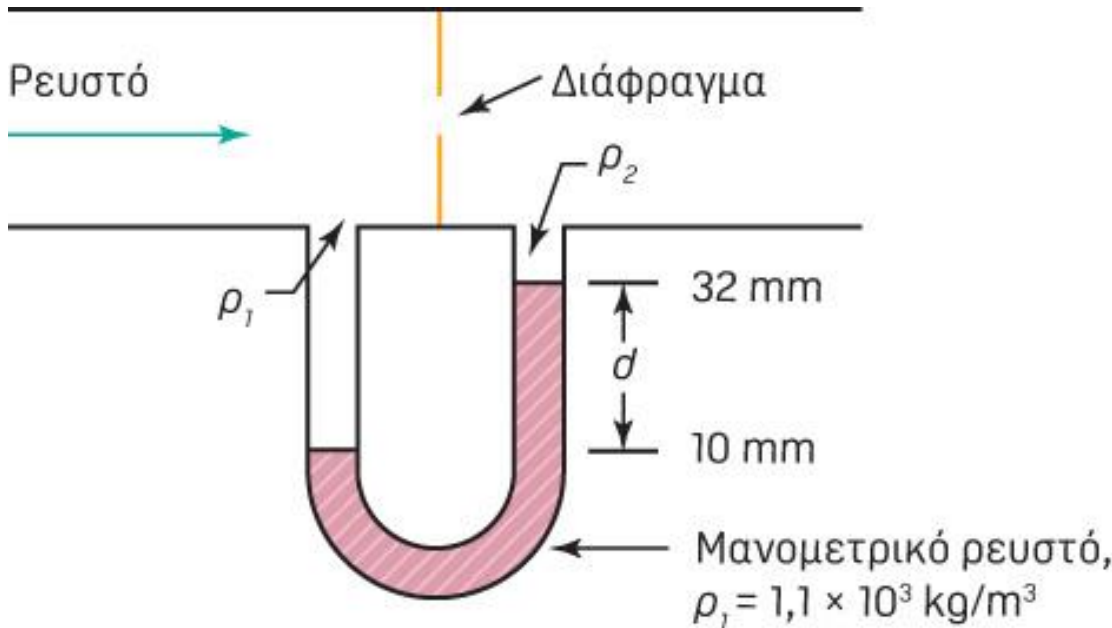
$$\rho_{\text{acid}} = \frac{1.250}{1} \left| \frac{62.4 \text{ lb/ft}^3}{1.728 \times 10^3 \text{ in}^3} \right| \frac{1 \text{ ft}^3}{1.728 \times 10^3 \text{ in}^3} = 0.0451 \text{ lb/in}^3$$

$$\rho_{\text{Hg}} = \frac{13.56}{1} \left| \frac{62.4 \text{ lb/ft}^3}{1.728 \times 10^3 \text{ in}^3} \right| \frac{1 \text{ ft}^3}{1.728 \times 10^3 \text{ in}^3} = 0.490 \text{ lb/in}^3$$

<i>left column</i>	<i>right column</i>
At z_0 $p_1 + \rho_a h_1 g$	$= p_2 + \rho_a h_2 g + \rho_{\text{Hg}} h_3 g$
$p_1 - p_2 + \rho_a (h_1 - h_2) g$	$= \rho_{\text{Hg}} h_3 g$
$p_1 - p_2 + \rho_a h_3 g$	$= \rho_{\text{Hg}} h_3 g$
$p_1 - p_2$	$= (\rho_{\text{Hg}} - \rho_a) h_3 g$

$$p_1 - p_2 = \frac{(0.490 - 0.0451) \text{ lb}_f}{\text{in}^2} \left| \frac{(5.35) \text{ in}}{32.174 \text{ (ft)(lb}_m\text{)/(s}^2\text{)(lb}_f\text{)}} \right| \frac{32.2 \text{ ft/s}^2}{32.174 \text{ (ft)(lb}_m\text{)/(s}^2\text{)(lb}_f\text{)}} = 2.38 \text{ lb}_f/\text{in}^2 \text{ (psi)}$$

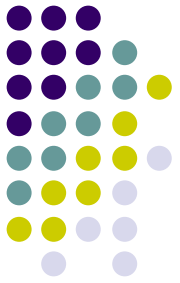
Υπολογισμός διαφοράς πίεσης



Υπολογίστε την πτώση πίεσης μέσα στον αγωγό εξαιτίας της ύπαρξης του διαφράγματος

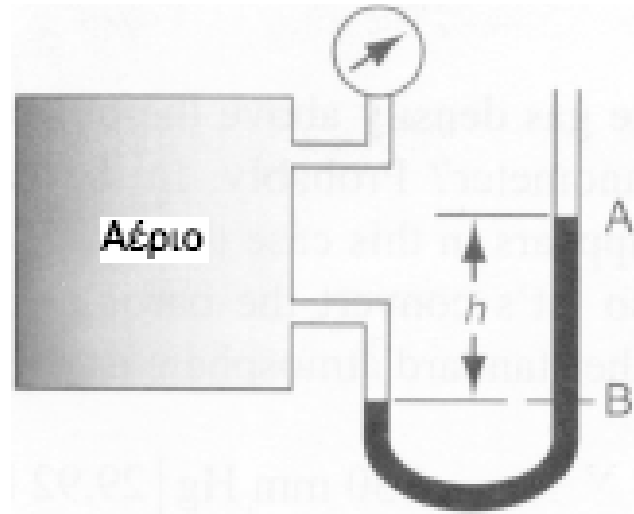
$$p_1 - p_2 = (\rho_f - \rho)gd$$
$$= \frac{(1.10 - 1.00)10^3 \text{ kg}}{\text{m}^3} \left| \frac{9.807 \text{ m}}{\text{s}^2} \right| \frac{(22)(10^{-3})\text{m}}{\text{m}} \left| \frac{1(\text{N})(\text{s}^2)}{(\text{kg})(\text{m})} \right| \frac{1(\text{Pa})(\text{m}^2)}{1(\text{N})}$$
$$= 21.6 \text{ Pa}$$

Πρόβλημα



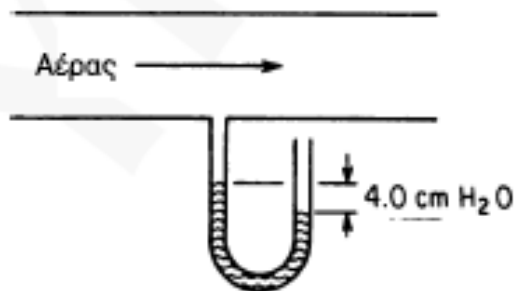
Αν η ένδειξη στο μανόμετρο πίεσης είναι 85 kPa πόσο είναι το h σε cm Hg ?

Απάντηση: περίπου cm



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5.5 Μετατροπή Πίεσης

Η ροή αέρα σε έναν αγωγό πραγματοποιείται σε συνθήκες υποπίεσης 4.0 cm H₂O. Το βαρόμετρο μας δείχνει ότι η ατμοσφαιρική πίεση είναι 730 mm Hg. Ποια είναι η απόλυτη πίεση του αέρα σε ίντσες υδραργύρου; Βλέπε σχήμα E5.5.



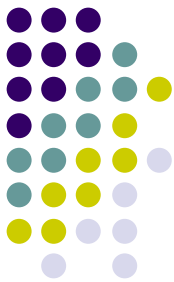
$$\text{Ατμοσφαιρική πίεση} = \frac{730 \text{ mm Hg}}{760 \text{ mm Hg}} \left| \frac{29.92 \text{ in. Hg}}{760 \text{ mm Hg}} \right| = 28.7 \text{ in. Hg}$$

Στη συνέχεια μετατρέψτε τα 4.0 cm H₂O σε in. Hg

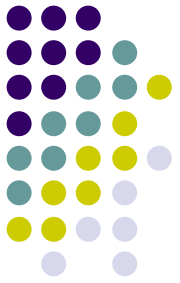
$$\frac{4.0 \text{ cm H}_2\text{O}}{2.54 \text{ cm}} \left| \frac{1 \text{ in.}}{12 \text{ in.}} \right| \left| \frac{29.92 \text{ in. Hg}}{33.91 \text{ ft H}_2\text{O}} \right| = 0.12 \text{ in. Hg}$$

Επειδή η ένδειξη της υποπίεσης είναι 4.0 cm H₂O, η απόλυτη ένδειξη σε ομοιογενείς μονάδες είναι:

$$28.7 \text{ in. Hg} - 0.12 \text{ in. Hg} = 28.6 \text{ in. Hg} \text{ απόλυτη}$$



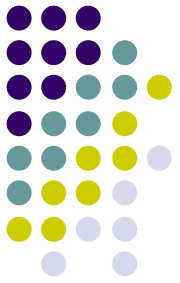
Συμπληρώστε ...



$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{F}$	K	$^{\circ}\text{R}$
- 40.0	-----	-----	-----
-----	77.0	-----	-----
-----	-----	698	-----
-----	-----	-----	69.8

$^{\circ}\text{F}$	=	1.8 $^{\circ}\text{C}$	+	32
K	=	$^{\circ}\text{C}$	+	273
$^{\circ}\text{R}$	=	$^{\circ}\text{F}$	+	460
$^{\circ}\text{R}$	=	1.8 K		

Συμπληρώστε ...

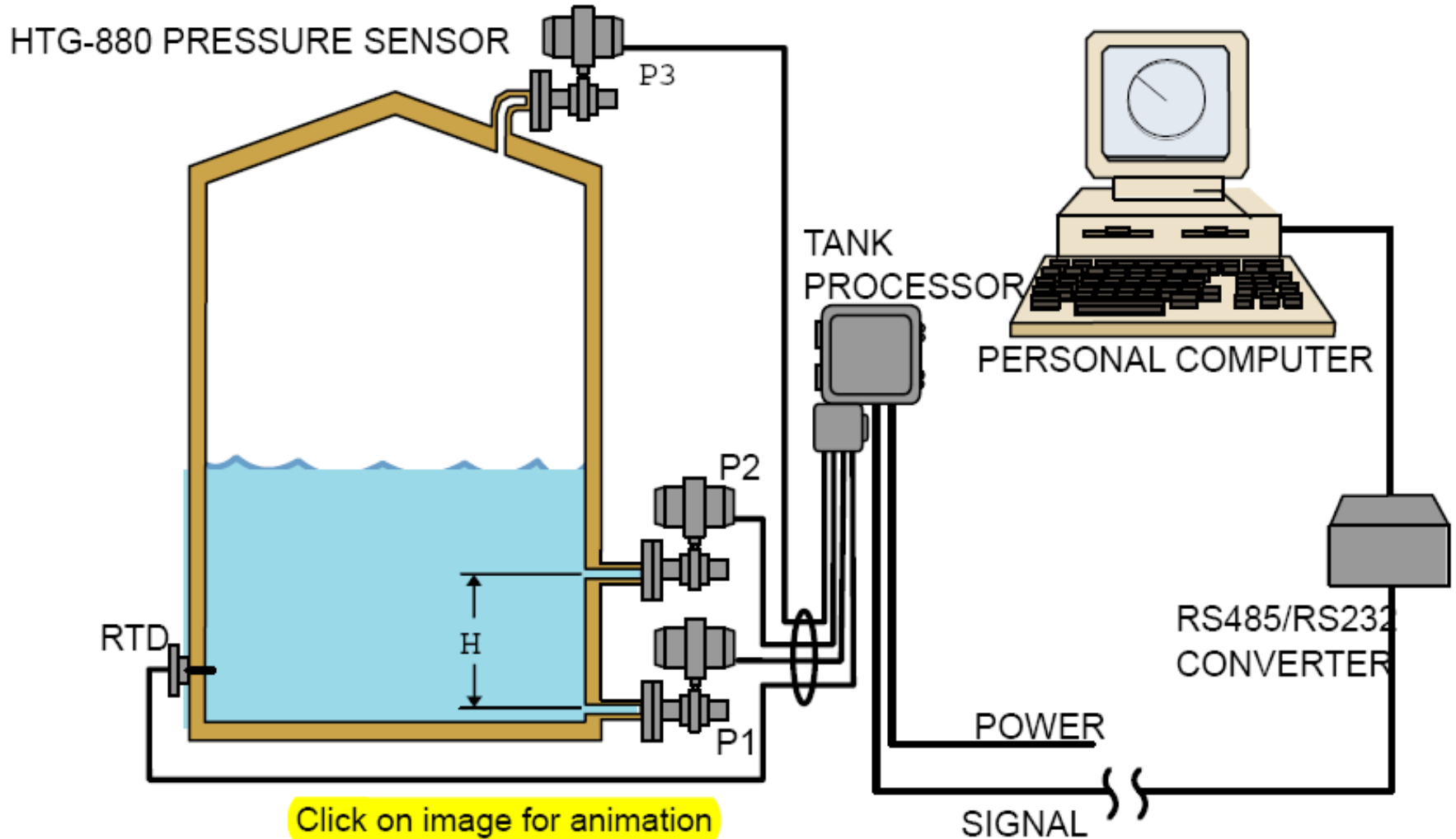
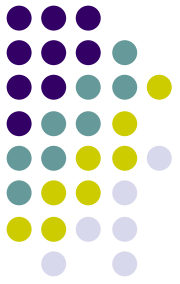


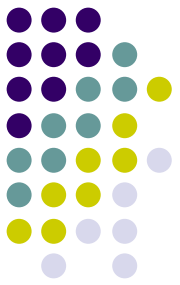
$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{F}$	K	$^{\circ}\text{R}$
- 40.0	-----	-----	-----
-----	77.0	-----	-----
-----	-----	698	-----
-----	-----	-----	69.8

$^{\circ}\text{F}$	=	1.8°C	+	32
K	=	$^{\circ}\text{C}$	+	273
$^{\circ}\text{R}$	=	$^{\circ}\text{F}$	+	460
$^{\circ}\text{R}$	=	1.8K		

$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{F}$	K	$^{\circ}\text{R}$
- 40.0	- 40.0	233	420
25.0	77.0	298	437
425	797	698	1257
- 235	-390	38.4	69.8

Μέτρηση πίεσης για υπολογισμό ύψους, δηλ. όγκου





Problem 5.1

A solvent storage tank, 15.0 m high contains liquid styrene (sp. gr. 0.909). A pressure gauge is fixed at the base of the tank to be used to determine the level of styrene.

- Determine the gage pressure when the tank is full of styrene.
- If the tank is to be used for storage of liquid hexane (sp. gr. 0.659), will the same pressure gage calibration be adequate? What is the risk in using the same calibration to determine the level of hexane in the tank.
- What will be the new pressure with hexane to indicate that the tank is full.

$$p = h \rho g$$

$$\begin{aligned} &= 15.0 \text{ m} \frac{0.909 \text{ g styrene/cm}^3}{1.0 \text{ g H}_2\text{O/cm}^3} \left| \frac{1.0 \text{ g H}_2\text{O/cm}^3}{1 \text{ g/cm}^3} \right| \left| \frac{10^3 \text{ kg/m}^3}{1 \text{ g/cm}^3} \right| \left| \frac{9.80 \text{ m/s}^2}{1 \text{ (kg)(m)}^{-1}\text{(s)}^{-2}} \right| \frac{1 \text{ Pa}}{1 \text{ (kg)(m)}^{-1}\text{(s)}^{-2}} \\ &= 134 \times 10^3 \text{ Pa} = \mathbf{134 \text{ kPa gage}} \end{aligned}$$

Hexane is a liquid of specific gravity lower than that of styrene; therefore a tank full of hexane would exert a proportionally lower pressure. If the same calibration is used the tank may overflow while the pressure gage was indicating only a partially full tank.

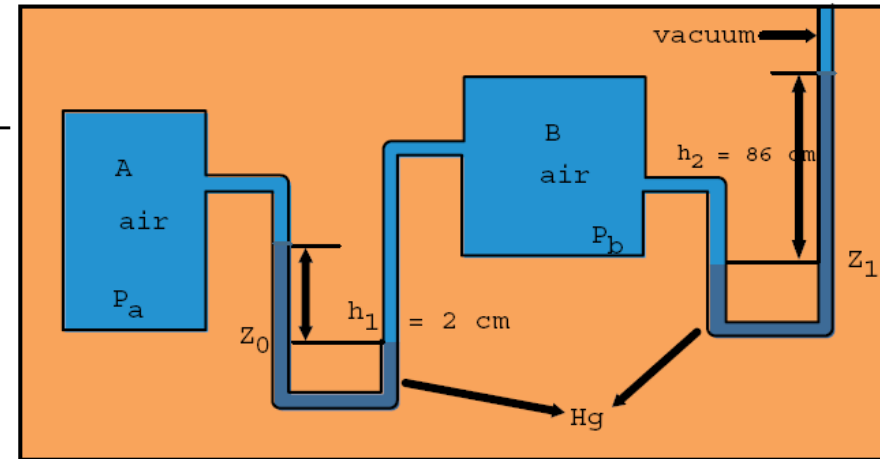
$$\begin{aligned} &= 15.0 \text{ m} \frac{0.659 \text{ g hexane/cm}^3}{1.0 \text{ g H}_2\text{O/cm}^3} \left| \frac{1.0 \text{ g H}_2\text{O/cm}^3}{1 \text{ g/cm}^3} \right| \left| \frac{10^3 \text{ kg/m}^3}{1 \text{ g/cm}^3} \right| \left| \frac{9.8 \text{ m/s}^2}{1 \text{ (kg)(m)}^{-1}\text{(s)}^{-2}} \right| \frac{1 \text{ Pa}}{1 \text{ (kg)(m)}^{-1}\text{(s)}^{-2}} \\ &= 96900 \text{ Pa} = \mathbf{96.9 \text{ kPa}} \end{aligned}$$



Problem 5.3

The pressure difference between two air tanks A and B is measured by a U - tube manometer, with mercury as the manometer liquid. The barometric pressure is 700 mm Hg.

- What is the absolute pressure in the tank A ?
- What is the gauge pressure in the tank A ?



a. At Z_0 $p_a + h_1 \rho_{\text{Hg}} g = p_b$ (neglecting the effect of air in the U - tube) (1)

at Z_1 $p_b = h_2 \rho_{\text{Hg}} g$ (2)

Eliminate p_b from the equations

$$p_a + h_1 \rho_{\text{Hg}} g = h_2 \rho_{\text{Hg}} g$$

$$p_a = (h_2 - h_1) \rho_{\text{Hg}} g$$

$$= 840 \text{ mm Hg absolute}$$

The pressure measured by this manometer system is the absolute pressure because the reference (pressure above the mercury) in the vertical tube is a vacuum.

b. $p_a = 840 - 700 = 140 \text{ mm Hg}$