



# ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ & ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ

# ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

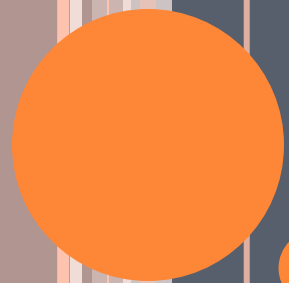
- Να γίνει μια εισαγωγή στην έννοια θερμοκρασία.
- Να κατανοήσετε τον τρόπο δημιουργίας μιας θερμοκρασιακής κλίμακας.
- Να μάθετε τις βασικές θερμοκρασιακές κλίμακες που χρησιμοποιούμε στην επιστήμη και την καθημερινή ζωή.
- Να γνωρίσετε διάφορα είδη θερμομέτρων.
- Να εξοικειωθείτε με τις τάξεις μεγέθους των θερμοκρασιών που συναντάμε στη φύση.



# ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΣΗ ΣΤΙΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΩΝ ΒΙΒΛΙΩΝ

- Από το βιβλίο του J. Newman «Φυσική της Ζωής» την §12.1.
- Από το βιβλίο των Freedman / Ruskell / Kesten / Tauck «Βασικές Αρχές Φυσικής στις Επιστήμες Υγείας» την §14.2.





# ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

# Η ΕΝΝΟΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

- Εισάγεται στη φυσική, όπως και η δύναμη, μέσω των ανθρώπινων αισθήσεων.



# Η ΕΝΝΟΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

- Πιο συγκεκριμένα, ενώ η δύναμη συνδέεται με την αίσθηση του τραβώ και σπρώχνω, η θερμοκρασία συνδέεται με την αίσθηση περί ζεστού (και κρύου).
- Στη συνέχεια των μαθημάτων θα συνδέσουμε το πόσο ζεστό είναι ένα σώμα με τη θερμική του ενέργεια.



# Η ΕΝΝΟΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

- Πρόκειται για ένα **εντατικό** μέγεθος, δηλαδή μια ποσότητα που ΔΕΝ εξαρτάται από το μέγεθος του συστήματος.
- Αυτό σημαίνει ότι αν έχω ένα σύστημα σε μια ορισμένη θερμοκρασία (π.χ. ένα διάλυμα), και πάρω ένα τμήμα του, αυτό θα έχει την ίδια θερμοκρασία με το αρχικό σύστημα.
- Υπάρχουν ποσότητες που εξαρτώνται από το μέγεθος του συστήματος (π.χ. μάζα, όγκος) και αυτές λέγονται **εκτατικές**.

# Η ΕΝΝΟΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

- Οι αισθήσεις μας πολλές φορές μας μεταφέρουν αντιφατικά μηνύματα όπως φαίνεται στο πείραμα, όπου αφού τοποθετήσουμε τα δύο χέρια μας για λίγα λεπτά σε μια λεκάνη με ζεστό και κρύο νερό στη συνέχεια τα τοποθετούμε ταυτόχρονα σε μια λεκάνη με χλιαρό νερό.





# Η ΕΝΝΟΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

- Στην περίπτωση αυτή αισθανόμαστε το χέρι που ήταν στο ζεστό νερό να κρυώνει, ενώ το χέρι που ήταν στο κρύο νερό να ζεσταίνεται.



Το σκίτσο είναι μαθητή από το site <https://tinanantsou.blogspot.com>



# Η ΕΝΝΟΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

- Χρειαζόμαστε λοιπόν ένα πιο «αντικειμενικό» τρόπο μέτρησης της θερμοκρασίας ο οποίος δεν θα βασίζεται απευθείας στις αισθήσεις μας.



# Η ΕΝΝΟΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

- Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούμε τα θερμόμετρα.
- Σε ότι αφορά τον ορισμό της θερμοκρασίας υπάρχουν δυσκολίες καθώς θεωρείται πρωταρχική έννοια για τη θερμοδυναμική.



# Η ΕΝΝΟΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

- Όλα τα θερμόμετρα βασίζονται στη λειτουργία τους στο γεγονός ότι πολλές από τις ιδιότητες των σωμάτων αλλάζουν με τη θερμοκρασία, όπως επίσης και στην ιδέα της θερμικής ισορροπίας που θα δούμε στη συνέχεια.



# Η ΕΝΝΟΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

- Τέτοιες ιδιότητες είναι για παράδειγμα οι διαστάσεις ή γενικότερα ο **όγκος** των στερεών υγρών και αερίων, η **πίεση** ενός αερίου σε δοχείο σταθερού όγκου, η **ΗΕΔ** ενός θερμοζεύγους, η **αντίσταση** ενός σύρματος, ο **δείκτης διάθλασης** ή το **χρώμα** ενός υλικού, κ.ο.κ.



# Η ΕΝΝΟΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

## ○ Συνοπτικά:

Είδος Θερμομέτρου	Θερμομετρική ποσότητα ( $X$ )
Θερμόμετρο αερίου σταθερού όγκου	$p$ (Pascal)
Θερμοζεύγος	$\mathcal{E}$ (Volt)
Θερμόμετρο αντιστάτη	$R$ (Ohm)
Υδραργυρικό θερμόμετρο	$\ell$ (cm)





# ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΙΑΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ

# ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΙΚΗ ΟΥΣΙΑ & ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ

- Κάθε σώμα που επιλέγεται για να χρησιμοποιηθεί ως θερμόμετρο ονομάζεται ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΙΚΗ ΟΥΣΙΑ ενώ η ποσοτική ιδιότητα που μετράμε και εξαρτάται από τη θερμοκρασία ονομάζεται ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ή ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ (X).
- Η επιλογή τόσο της ουσίας που θα χρησιμοποιηθεί όσο και της ποσότητας που θα παρατηρούμε είναι ΑΥΘΑΙΡΕΤΗ.





# ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΙΚΗ ΟΥΣΙΑ & ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ

- Χρόνια εμπειρίας μας έχουν δείξει ότι ορισμένα σώματα και ορισμένες ιδιότητες έχουν συγκεκριμένα πλεονεκτήματα.
- Τα βασικά πλεονεκτήματα ενός καλού θερμομέτρου είναι η *ευαισθησία*, η *ακρίβεια* και η *επαναληψιμότητα*.



# ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

- Επίσης χρειαζόμαστε μια σχέση που να συνδέει τη θερμομετρική ποσότητα με τη θερμοκρασία. Και η σχέση αυτή είναι ΑΥΘΑΙΡΕΤΗ, αν και πολλές φορές επιλέγεται να είναι γραμμική ή σχέση αναλογίας.



## ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

- Τέλος απαιτείται ο ορισμός της μονάδας της θερμοκρασίας (αυτού που συνήθως ονομάζουμε βαθμός).
- Παλαιότερα αυτό γίνονταν με την επιλογή δύο σημείων (ΣΤΑΘΕΡΑ ΣΗΜΕΙΑ), και την απόδοση αυθαίρετων τιμών θερμοκρασίας σε αυτά τα δύο σημεία.



## ΟΡΣΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

- Στις περισσότερες των περιπτώσεων αυτά τα δύο σημεία έχει επικρατήσει να είναι το σημείο πήξης και βρασμού του νερού σε συγκεκριμένες συνθήκες πίεσης (ατμοσφαιρική πίεση).
- Η ύπαρξη του αέρα και η διαλυτότητά του στο σύστημα νερό-πάγος κατά το λιώσιμο του πάγου δημιουργούσε προβλήματα στην προετοιμασία ενός τέτοιου συστήματος.



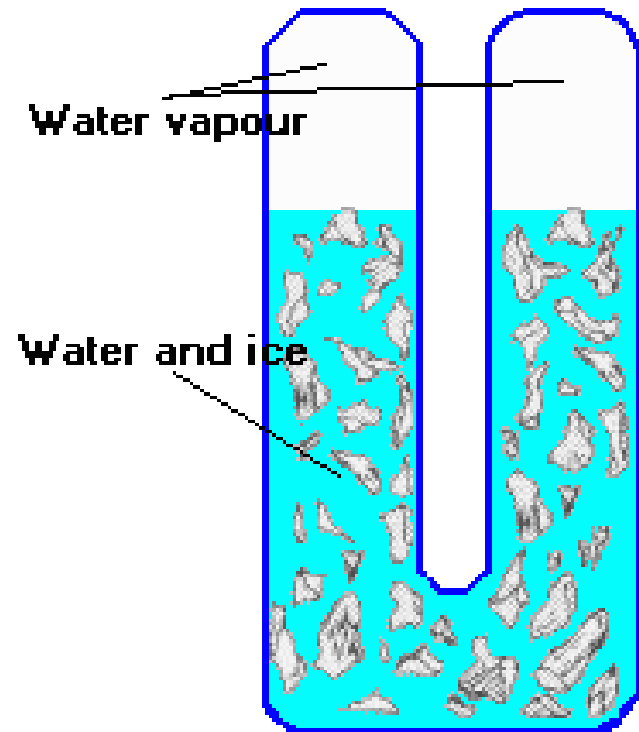
## ΟΡΣΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

- Σήμερα αυτό πλέον γίνεται με την επιλογή ενός σταθερού σημείου (που είναι το τριπλό σημείο του νερού).



# ΤΟ ΤΡΙΠΛΟ ΣΗΜΕΙΟ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

- Το τριπλό σημείο είναι το σημείο στο οποίο συνυπάρχει σε ισορροπία, νερό σε υγρή, στερεή και αέρια κατάσταση, απουσία αέρα.



(adapted from Adkins)



# Η ΕΝΝΟΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

- Το βασικό του πλεονέκτημα, σε σχέση με το σημείο βρασμού και το σημείο τήξης του νερού, είναι ότι εμφανίζεται σε μια ορισμένη πίεση (4,58 mm Hg) και σε μια ορισμένη θερμοκρασία (273,16 K), είναι εύκολα αναπαραγώγιμο και δεν εμπλέκει την ύπαρξη αέρα.



A decorative vertical bar on the left side of the slide, featuring a gradient from light to dark brown and several orange circles of varying sizes. The text is centered in a yellow, serif font.

# ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΙΑΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ 1



# ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1: ΤΟ ΥΔΡΑΡΓΥΡΙΚΟ ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΟ

- ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΙΚΗ ΟΥΣΙΑ:  
Υδράργυρος.
- ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ:  
Μήκος της στήλης του υδραργύρου.




# ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1: ΤΟ ΥΔΡΑΡΓΥΡΙΚΟ ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΟ

- ΣΗΜΕΙΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ: Σημείο που λιώνει ο πάγος (αποδίδεται η τιμή θερμοκρασίας  $t_{\text{ice}} = 0$ ) και σημείο που βράζει το νερό (αποδίδεται η τιμή θερμοκρασίας  $t_{\text{steam}} = 100$ ) σε ατμοσφαιρική πίεση.



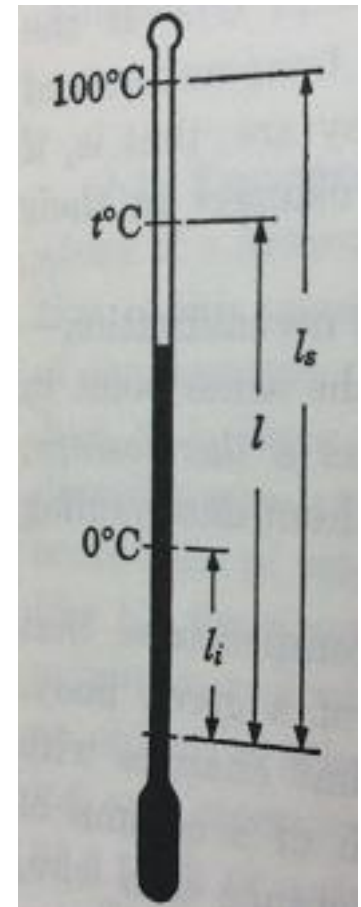
# ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1: ΤΟ ΥΔΡΑΡΓΥΡΙΚΟ ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΟ

- ΣΧΕΣΗ: Γραμμική, δηλ.  $t = a \cdot X + b$ .
  - Αν  $X_{\text{ice}}$   $X_{\text{steam}}$  και  $X$  είναι οι τιμές της θερμομετρικής ποσότητας στο σημείο πήξης του νερού (ice point) στο σημείο βρασμού του νερού (steam point) και σε εκείνη την κατάσταση που θέλουμε να μετρήσουμε τη θερμοκρασία, τότε η ζητούμενη θερμοκρασία ( $t$ ) θα δίνεται από τη σχέση:
- 

# ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1: ΤΟ ΥΔΡΑΡΓΥΡΙΚΟ ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΟ

$$t = 100 \cdot \left( \frac{X - X_{ice}}{X_{steam} - X_{ice}} \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow t = 100 \cdot \left( \frac{l - l_{ice}}{l_{steam} - l_{ice}} \right)$$



A decorative vertical bar on the left side of the slide, featuring a gradient from light to dark brown and several orange circles of varying sizes. The text is centered in a yellow, serif font.

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΙΑΣ  
ΚΛΙΜΑΚΑΣ  
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ 2

# Η ΕΝΝΟΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

- Ας υποθέσουμε λοιπόν ότι επιλέγουμε ένα σύστημα, μια ιδιότητά του, που είναι η θερμομετρική ποσότητα ( $X$ ), και ορίζω ότι η σχέση αντιστοίχισης μεταξύ θερμοκρασία ( $T$ ) και θερμομετρικής ποσότητας ( $X$ ) είναι σχέση αναλογίας.



# Η ΕΝΝΟΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

- Θα ισχύει λοιπόν ότι  $T = aX$ . Αυτό που κάνουμε για να μετρήσουμε τη θερμοκρασία ενός σώματος είναι να φέρουμε σε επαφή το προς θερμομέτρηση σώμα με το θερμόμετρό μας και να μετρήσουμε το  $X$ .



# Η ΕΝΝΟΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

- Προηγουμένως έχουμε φροντίσει να φέρουμε το θερμόμετρο σε επαφή με μια συσκευή τριπλού σημείου του νερού και να σημειώσουμε την τιμή  $X_{t.p.}$ .





# Η ΕΝΝΟΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

○ Θα είναι:

$$\left. \begin{array}{l} T = aX \\ T_{t.p.} = aX_{t.p.} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{T}{T_{t.p.}} = \frac{X}{X_{t.p.}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T = 273,16 \cdot \frac{X}{X_{t.p.}}$$



# Η ΕΝΝΟΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

- Αυτό που θα πρέπει να ελέγξουμε στη συνέχεια είναι αν και κατά πόσο οι ενδείξεις των θερμομέτρων που βασίζονται σε διαφορετικά σώματα και διαφορετικές θερμομετρικές ποσότητες συμπίπτουν μεταξύ τους.



# Η ΕΝΝΟΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

- Παρατηρούμε ότι κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει.
- Τα θερμόμετρα συμφωνούν μόνο στο τριπλό σημείο του νερού (εξ' ορισμού).

TABLE 1-1 Comparison of Thermometers

Fixed point	(Co-Ni) $R$ =	$T(^{\circ}C)$	(Pt) $R_t$ ohms	$T(^{\circ}R)$	(H <sub>2</sub> const. V) $P_t$ atm	$T(^{\circ}F)$	(H <sub>2</sub> const. V) $P_t$ atm	$T(^{\circ}F)$
N <sub>2</sub> (NBP)	-0.10	-9.2	1.96	54.5	1.82	73	0.29	79
O <sub>2</sub> (NBP)	0	0	2.50	67.5	2.13	86	0.33	90
CO <sub>2</sub> (NSP)	+1.52	139	6.65	185	4.80	193	0.72	196
H <sub>2</sub> O (TP)	$R_3 = 2.98$	273	$R_3 = 9.83$	273	$P_3 = 6.80$	273	$P_3 = 1.00$	273
H <sub>2</sub> O (NBP)	5.30	486	13.65	380	9.50	374	1.37	374
Sa (NSP)	9.02	826	18.56	516	12.70	510	1.85	508

Θερμοζεύγος

Θερμόμετρο  
αντιστάτη

Θερμόμετρο  
αερίου 1

Θερμόμετρο  
αερίου 2

# Η ΕΝΝΟΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

- Το ενθαρρυντικό όμως είναι ότι τα θερμόμετρα αερίου δείχνουν κοντινές ενδείξεις, ανεξάρτητα από το είδος του αερίου που χρησιμοποιούμε.



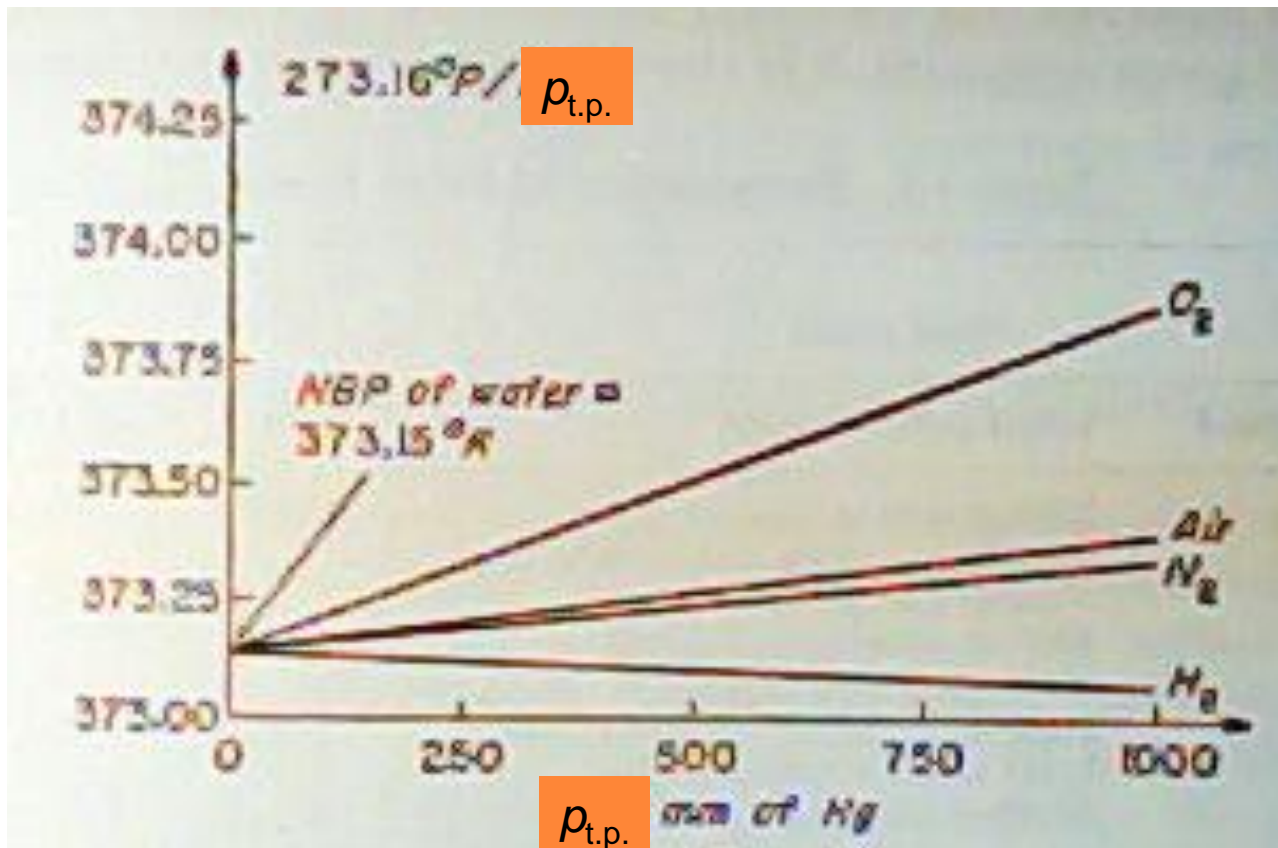
# Η ΕΝΝΟΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

- Περαιτέρω πειράματα δείχνουν ότι τα θερμόμετρα αερίου, ανεξάρτητα από το είδος του χρησιμοποιούμενου αερίου, τείνουν να δίνουν τις ίδιες ενδείξεις θερμοκρασίας καθώς η πίεση που εμφανίζει το αέριο όταν βρίσκεται στη θερμοκρασία του τριπλού σημείου του νερού τείνει στο μηδέν (αυτό πρακτικά σημαίνει ότι χρησιμοποιούμε πολύ αραιό αέριο στο θερμόμετρό μας).



# Η ΕΝΝΟΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

## ο Σχηματικά:



# Η ΕΝΝΟΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

- Με τον τρόπο αυτό τελικά καταλήγουμε στο ότι η βασική κλίμακα θερμοκρασιών στη φυσική είναι αυτή του θερμομέτρου αερίου, όπου η θερμοκρασία δίνεται από την:

$$T = 273,16 \cdot \lim_{p_{t.p.} \rightarrow 0} \frac{p}{p_{t.p.}}$$



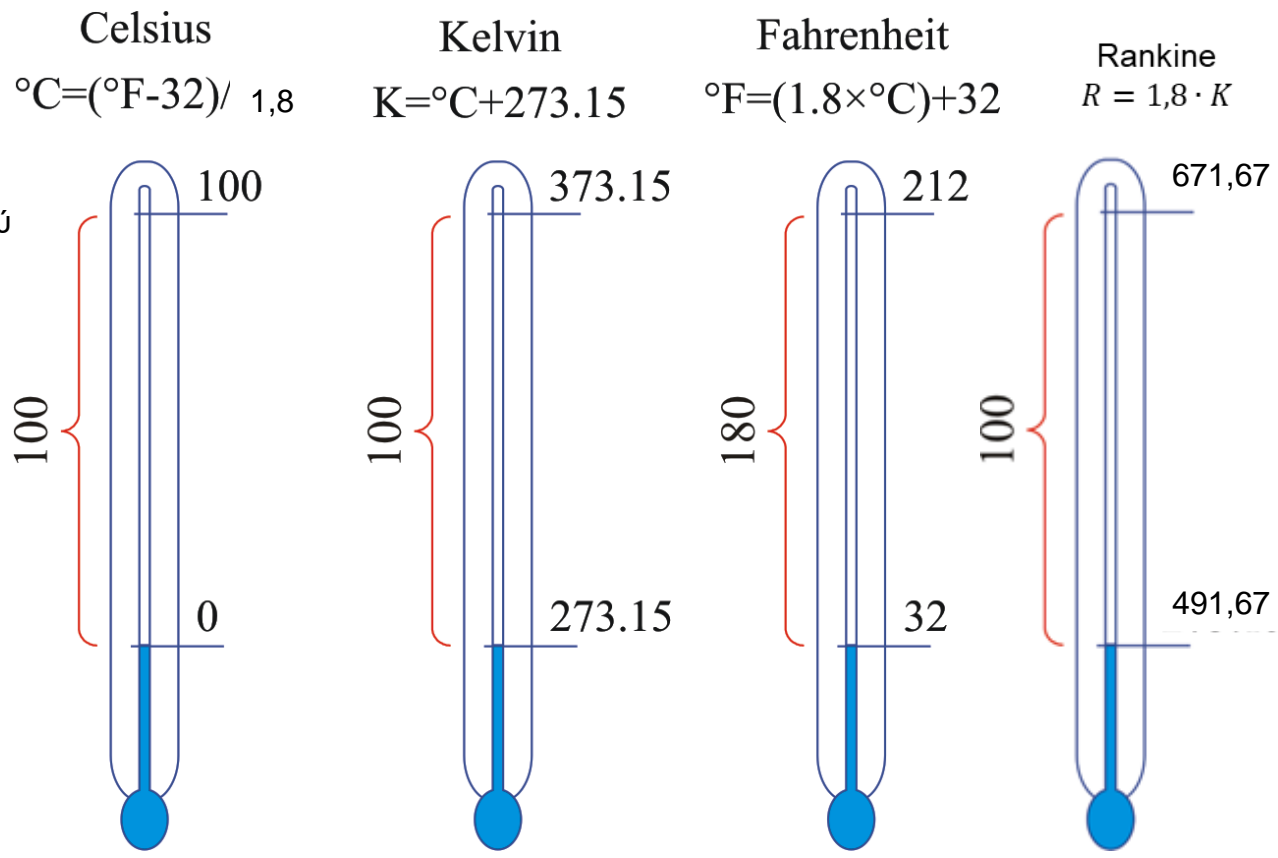


# ΒΑΣΙΚΕΣ ΚΛΙΜΑΚΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ



# ΟΡΙΣΜΕΝΕΣ ΚΛΙΜΑΚΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ

Οι πιο συνηθισμένες φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα.





# ΕΙΔΗ ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΩΝ

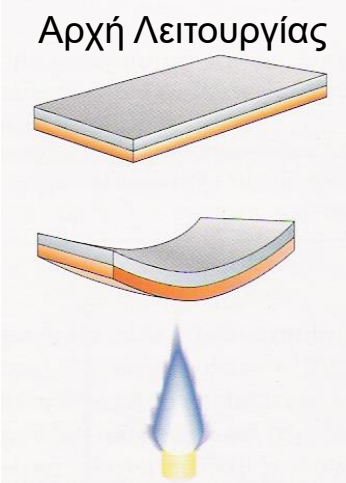
## ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΟ ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΥ

- Πρόκειται για τα θερμοόμετρα που κυριαρχούσαν παλαιότερα, τα οποία σταδιακά αντικαταστάθηκαν από θερμοόμετρα άλλων υγρών που δεν ήταν επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία σε περίπτωση διαρροής τοπου υγρού.



# ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΟ ΔΙΜΕΤΑΛΛΙΚΟΎ ΕΛΑΣΜΑΤΟΣ

○ Το διμεταλλικό έλασμα κάμπτεται όταν αυξάνεται η θερμοκρασία του εξαιτίας των διαφορετικών θερμικών διαστολών των δύο μετάλλων.



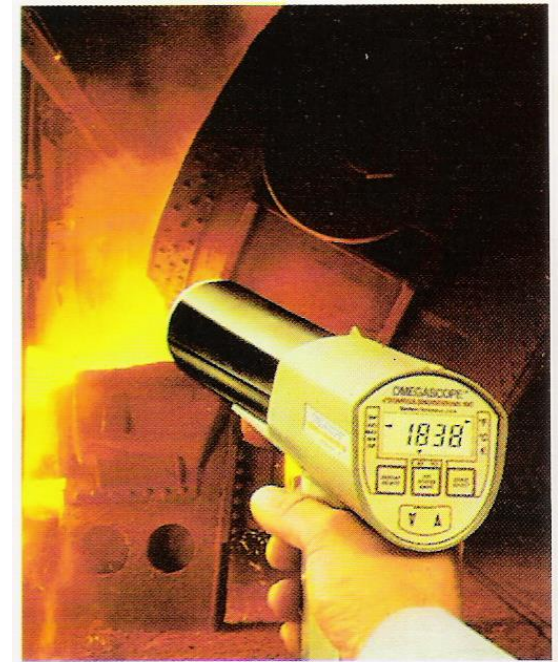
# ΠΥΡΟΜΕΤΡΑ

- Τα Θερμόμετρα ακτινοβολίας ή πυρόμετρα (οπτικά, υπέρυθρων, ολικής ακτινοβολίας κ.ο.κ) βασίζονται στην μέτρηση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας για να κάνουν εκτίμηση της θερμοκρασίας συνήθως ενός πολύ θερμού σώματος.



# ΠΥΡΟΜΕΤΡΑ

- Έχουν το πλεονέκτημα να μετρούν από απόσταση και συνήθως χρησιμοποιούνται για μετρήσεις πολύ υψηλών θερμοκρασιών σε σώματα που δεν έχουμε πρόσβαση.



## ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

- Τα θερμόμετρα πλατίνας βασίζονται στην μεταβολή της αντίστασης ενός αγωγού με τη θερμοκρασία.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθούν και άλλα μέταλλα, αλλά η πλατίνα (λευκόχρυσος Pt) δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα.



# ΘΕΡΜΟΖΕΥΓΟΣ

- Το θερμοζεύγος βασίζονται στην εμφάνιση διαφοράς δυναμικού σε ένα σημείο επαφής δύο διαφορετικών μετάλλων.





A decorative vertical bar on the left side of the slide, featuring a gradient from light to dark brown and several orange circles of varying sizes. The text is centered in the right half of the slide.

# ΤΑΞΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΤΩΝ ΕΜΦΑΝΙΖΟΜΕΝΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ

# ΟΡΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

- Η χαμηλότερη θερμοκρασία που υπάρχει είναι οι **0 K** ( $-273,15^{\circ}\text{C}$ ) την οποία μπορούμε να πλησιάσουμε αλλά όχι και να φθάσουμε (3<sup>ος</sup> Νόμος της Θερμοδυναμικής).
- Θεωρητικά έχουμε καταλήξει ότι είναι πιθανό να υπάρχει μια **μέγιστη θερμοκρασία**, που ονομάζεται θερμοκρασία Planck, της τάξης των  **$1,42 \cdot 10^{32}$  K**, πέρα από την οποία αμφιβάλουμε για την ισχύ των θεωριών μας.



# ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ

<i>Θερμοκρασία</i>	<i>Κελσίου (°C)</i>	<i>Κέλβιν (K)</i>
Υγροποίηση ηλίου (He)	-269	4,2
Υγροποίηση αζώτου	-196	77
Ξηρός πάγος (πήξη CO <sub>2</sub> )	-78	195
Σημείο πήξης νερού	0	273
Ανθρώπινο σώμα (εσωτερικό)	37	310
Σημείο βρασμού του νερού	100	373
Φλόγα φυσικού αερίου	1.630	1.900
Επιφάνεια του ήλιου	5.730	6.000
Κέντρο της Γης	15.700	16.000
Κέντρο του Ήλιου	10 <sup>7</sup>	10 <sup>7</sup>



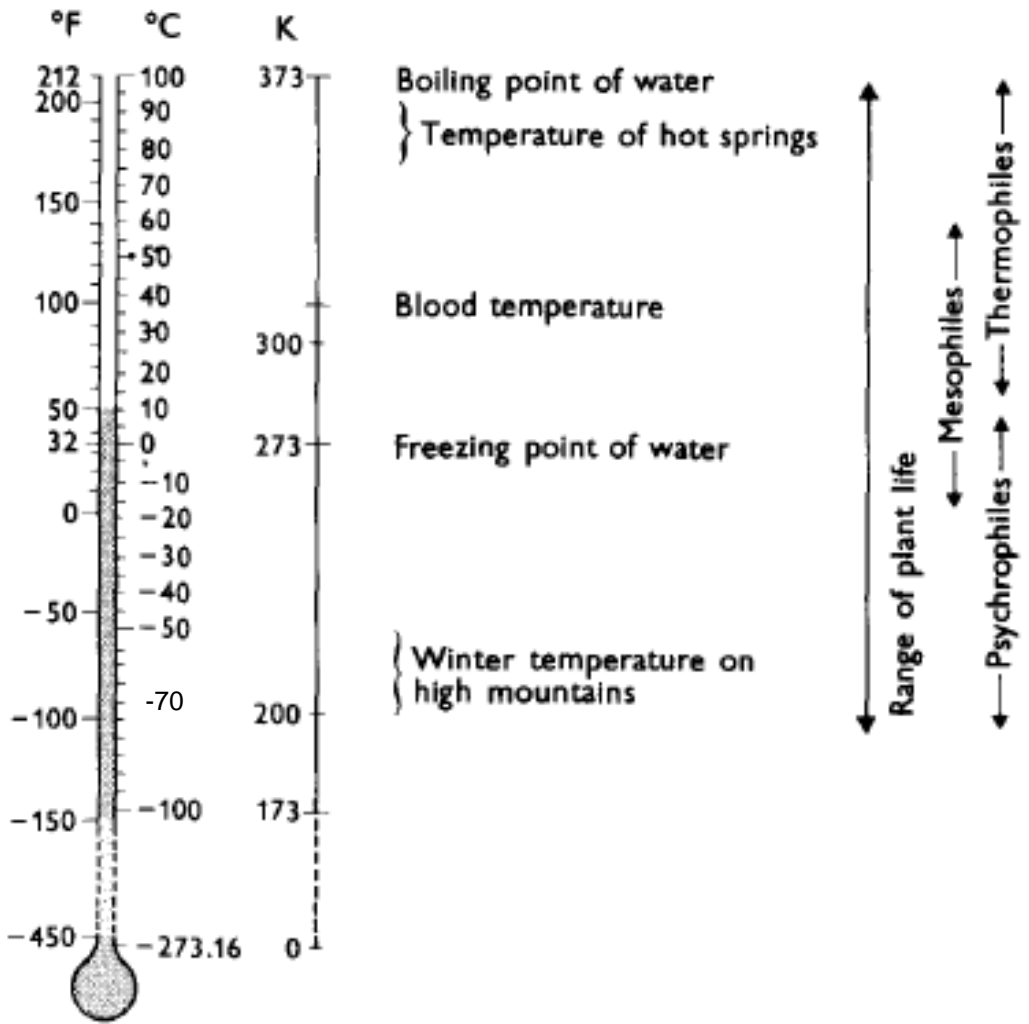
## ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΖΩΗ

- Οι θερμοκρασίες που επικρατούν σε έναν οργανισμό είναι σημαντικές για τη διατήρηση της ζωής, αφού για παράδειγμα γνωρίζεται ότι όλες οι χημικές αντιδράσεις εξαρτώνται σε σημαντικό βαθμό, ως προς την ταχύτητά τους, από τη θερμοκρασία.



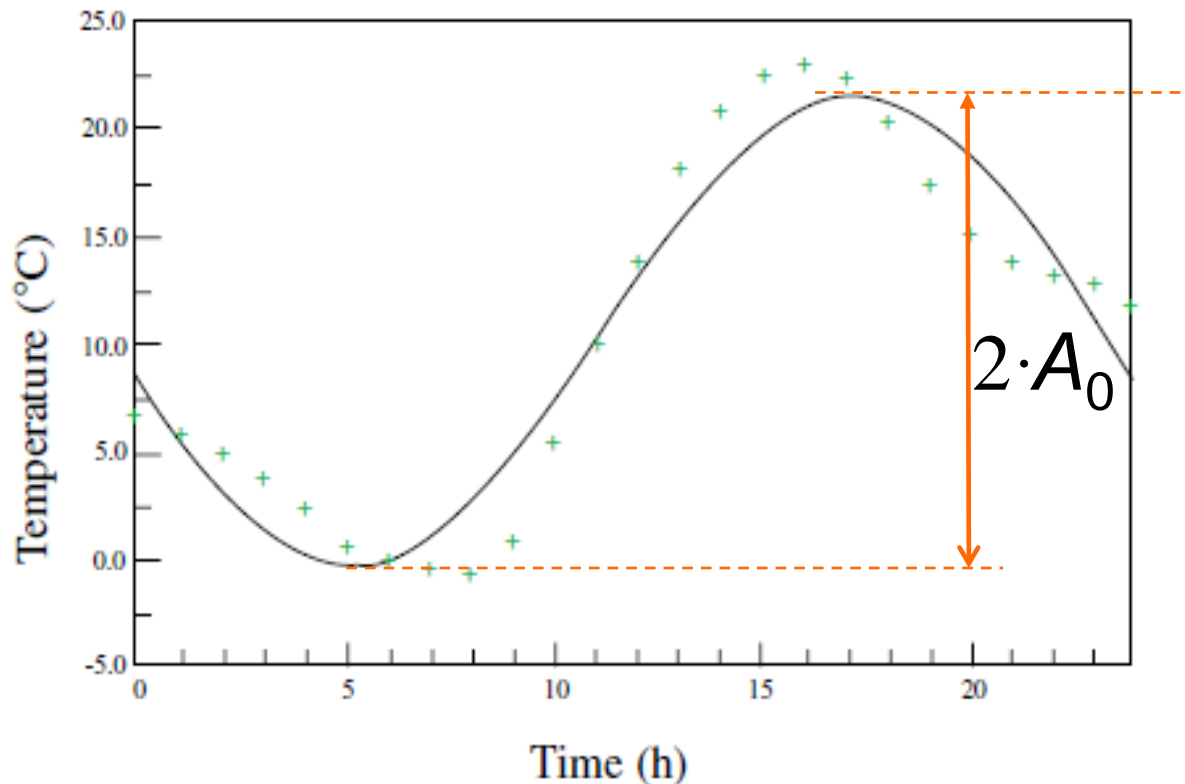
# ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΦΥΤΑ

○ Στην διπλανή κλίμακα θερμοκρασιών έχει σημειωθεί το εύρος των θερμοκρασιών στο οποίο μπορούν να ζήσουν και να αναπτυχθούν τα φυτά.



# ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ

- Η θερμοκρασία του αέρα μεταβάλλεται χρονικά περίπου αρμονικά με πλάτος  $A_0$ .



# ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

- Κάτω από το έδαφος είναι αναμενόμενο η θερμοκρασία να μειώνεται. Σε μια πρώτη προσέγγιση μπορούμε να δεχθούμε ότι και κάτω από το έδαφος έχω αρμονική μεταβολή με το χρόνο αλλά με μικρότερη διακύμανση (πλάτος).
- Πολλοί σπόροι βλασταίνουν όταν η θερμοκρασία στην οποία βρεθούν ανέβει πάνω από ένα όριο.
- Αυτό σημαίνει ότι στον αέρα η θερμοκρασία θα είναι ακόμα υψηλότερη.



## ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

- Το πλάτος μάλιστα μειώνεται εκθετικά με το βάθος  $d$  δηλαδή:

$$A_d = A_0 \cdot e^{-d/D}$$

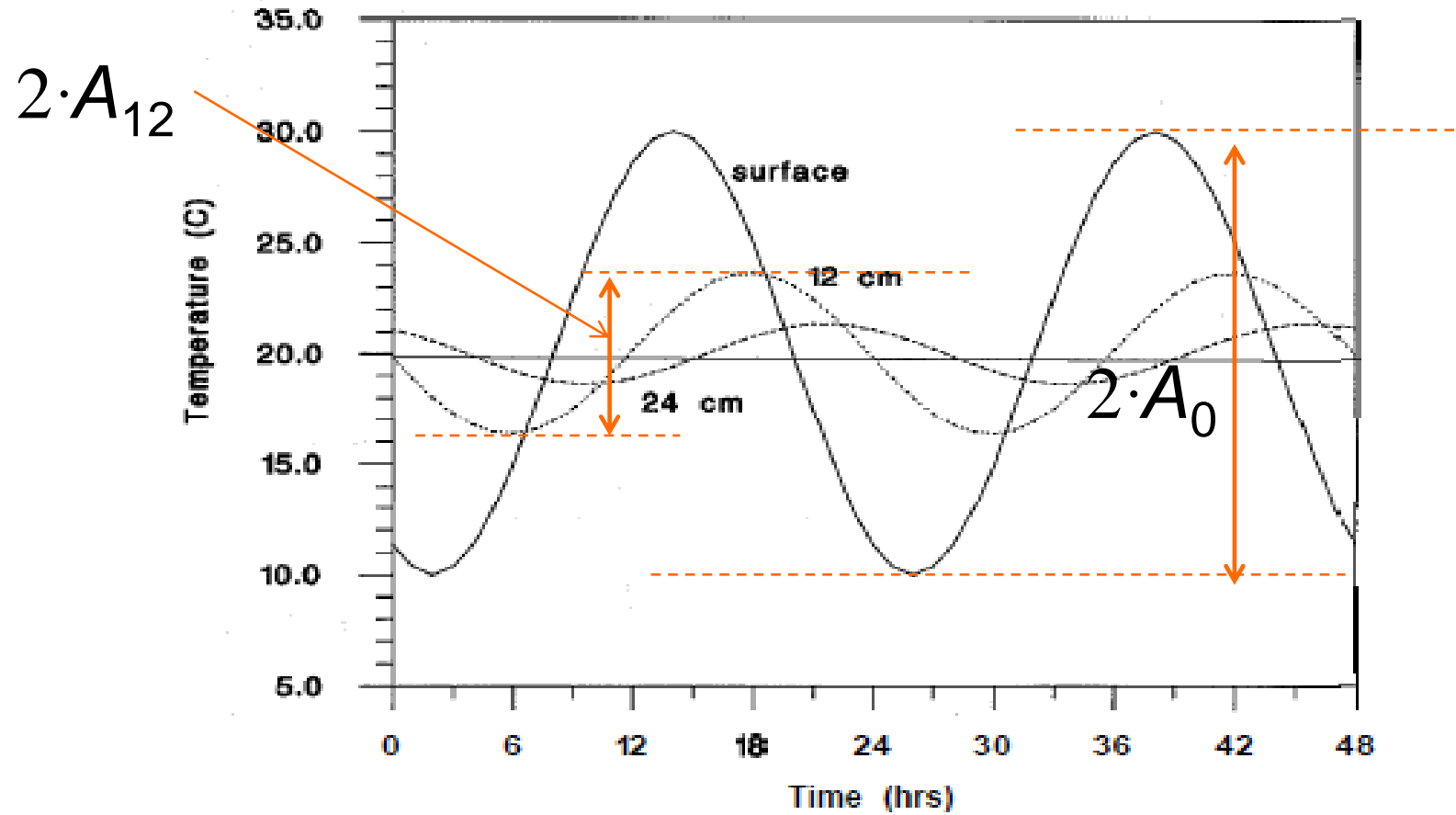
όπου  $A_0$  πλάτος της χρονικής μεταβολής της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του εδάφους,  $A_d$  το πλάτος στο αντίστοιχο βάθος και  $D$  ένα χαρακτηριστικό για το έδαφος βάθος απόσβεσης.





# ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

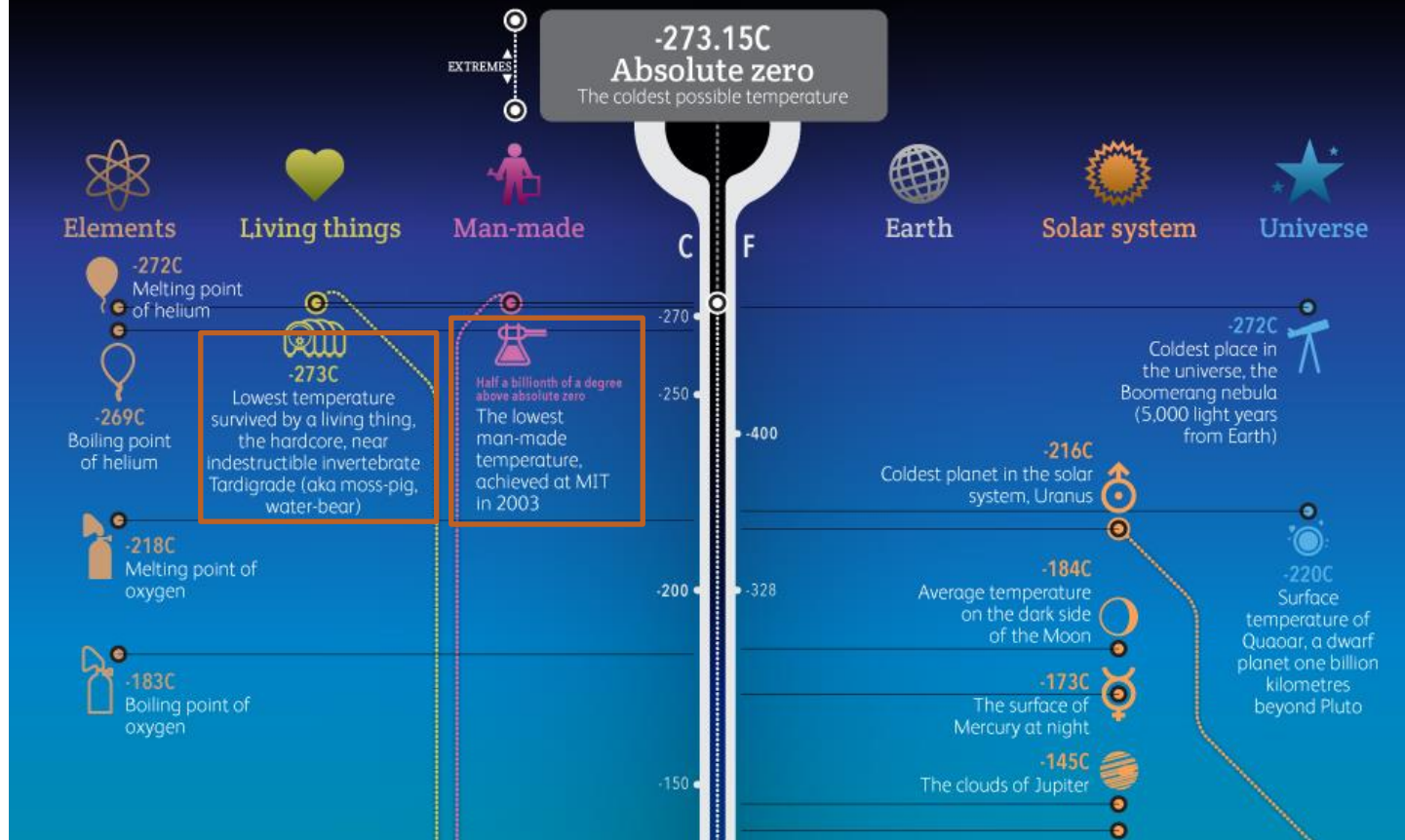
○ Σχηματικά.



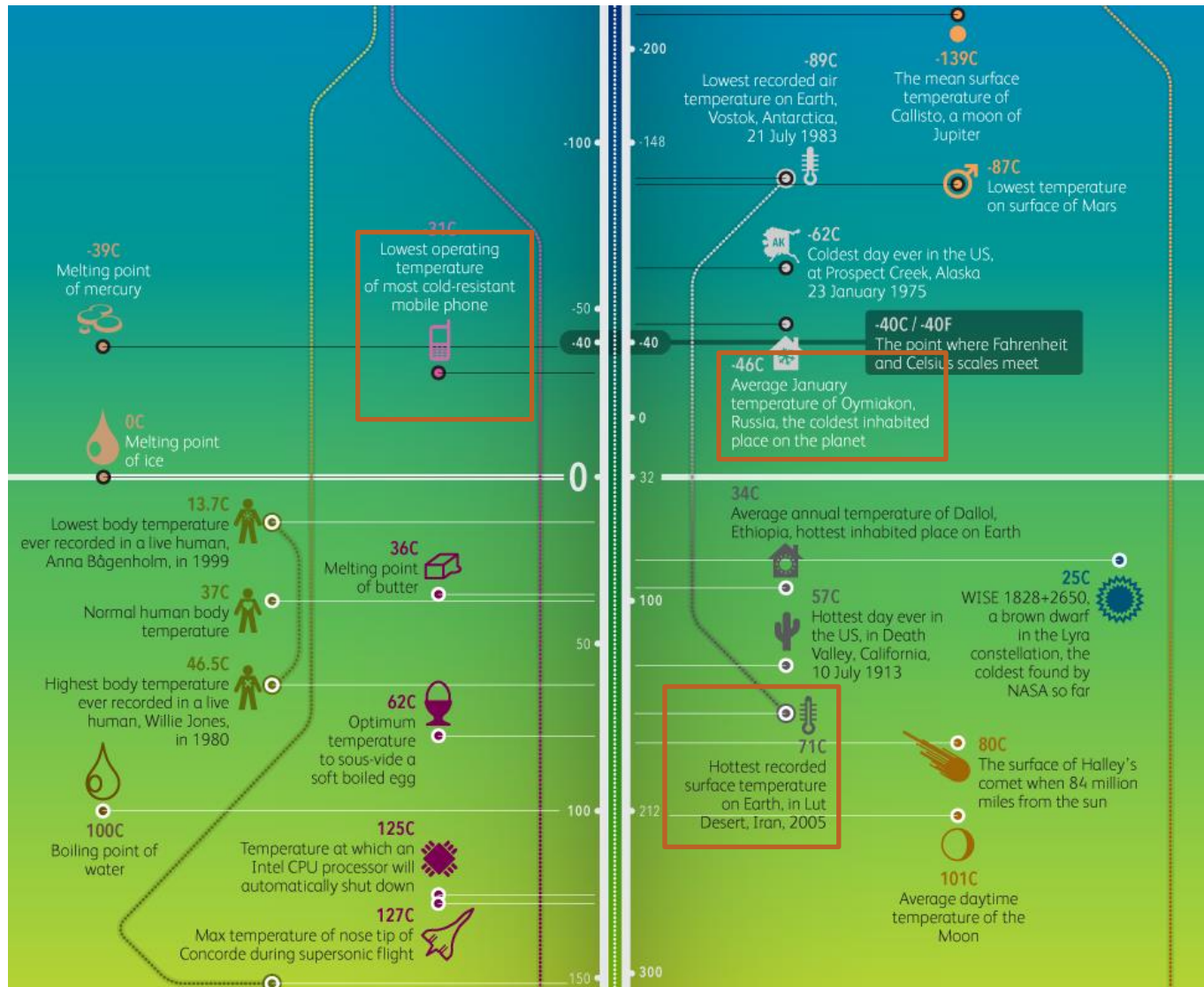
# ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ

## A Billion Degrees of Separation

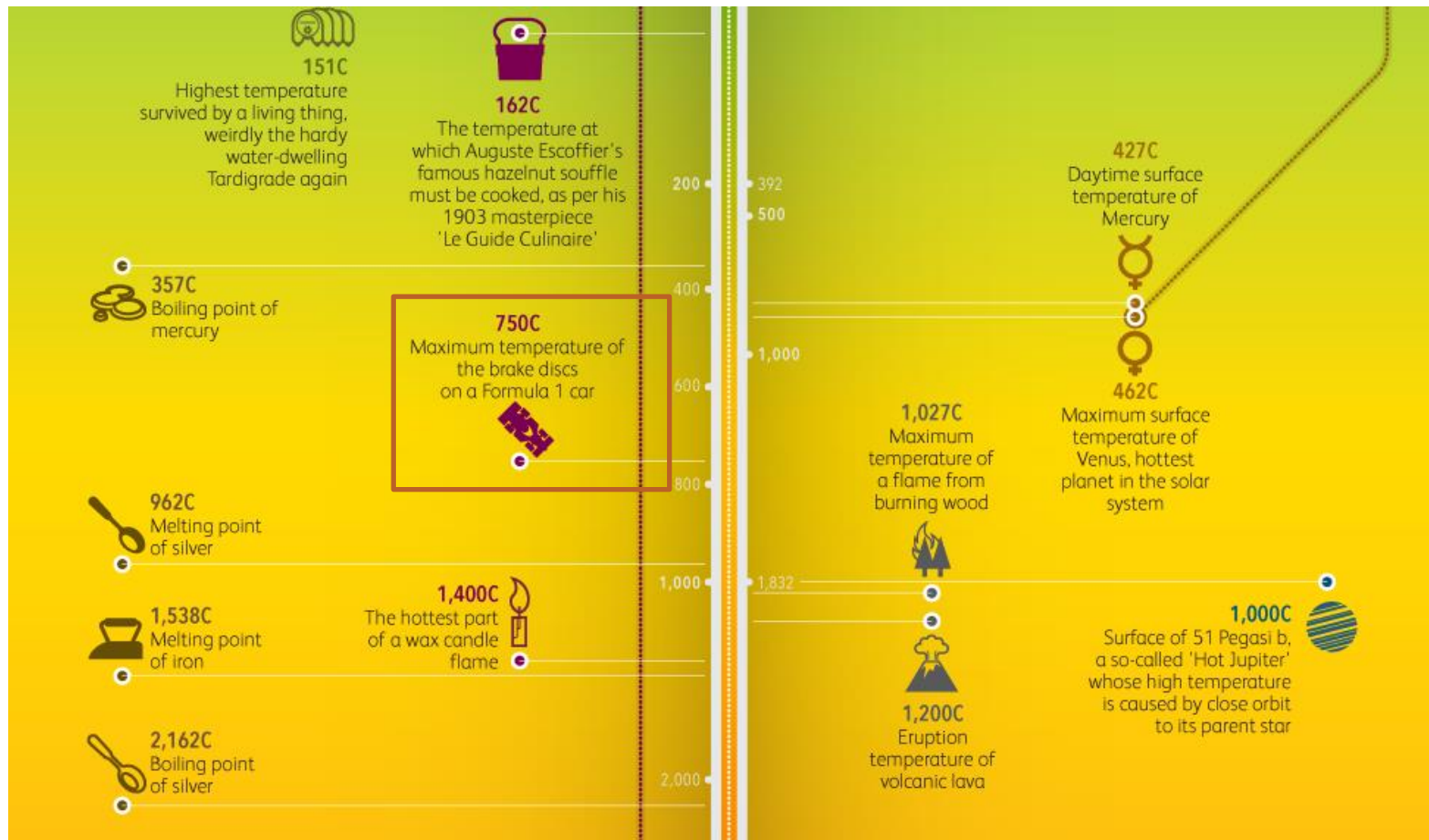
We take the temperature of the universe from absolute cold to 'absolute hot'



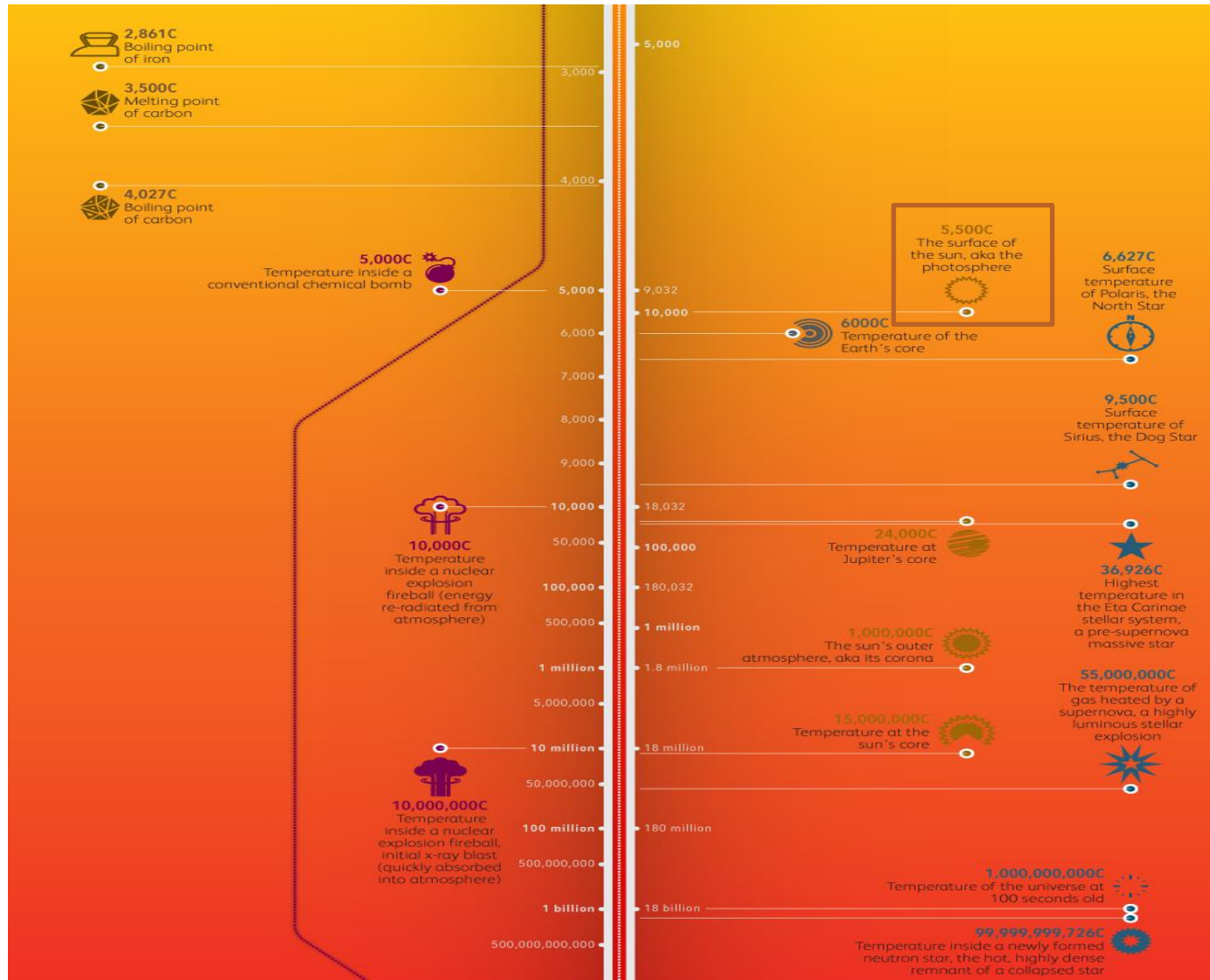
# ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ



# ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ

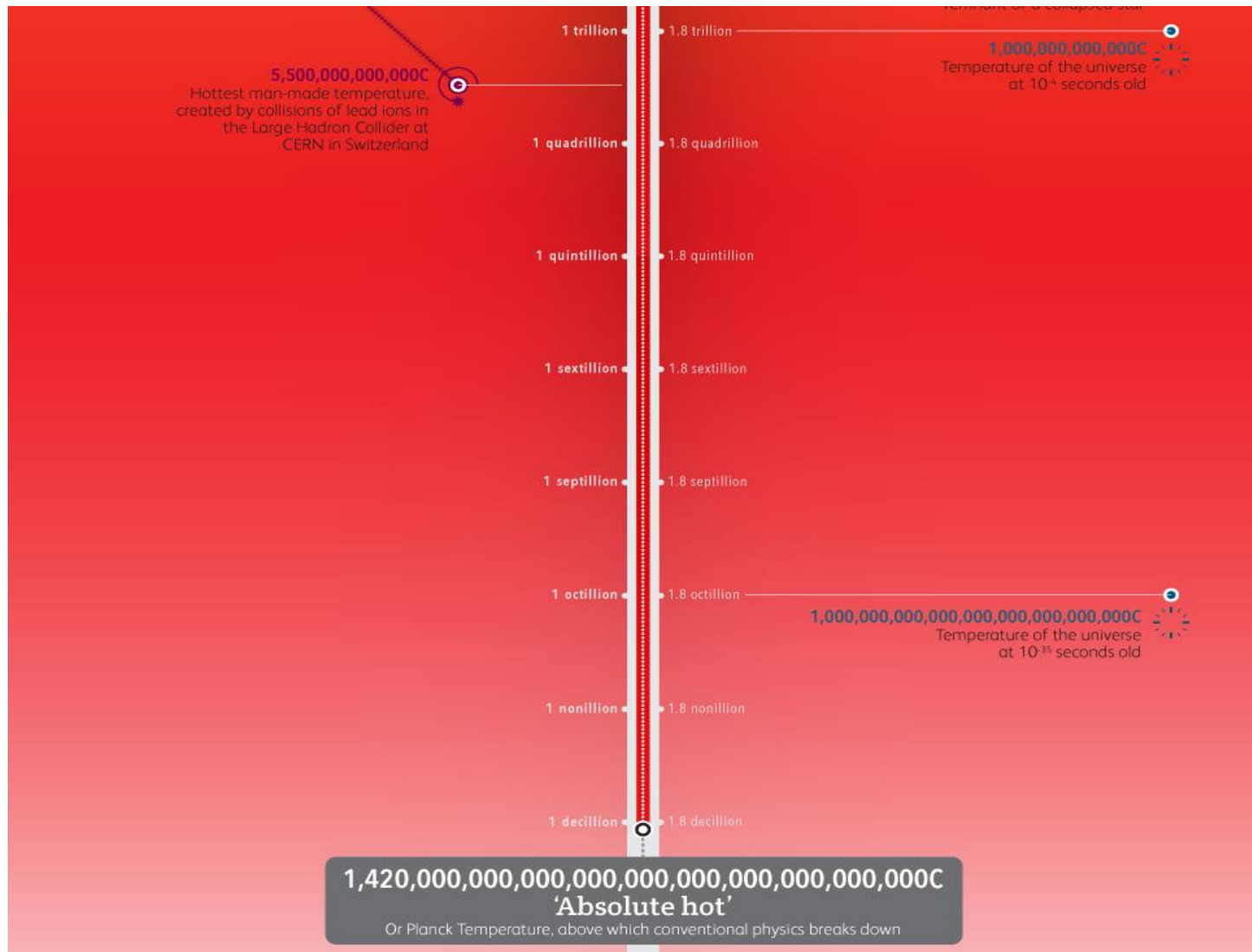


# ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ





# ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ





ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ &  
ΜΗΔΕΝΙΚΟΣ

ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΝΟΜΟΣ

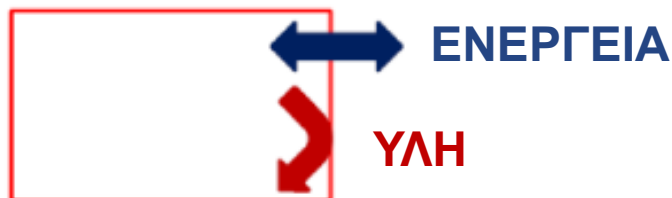
# Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ

- Όταν δύο σώματα με διαφορετικές θερμοκρασίες έρθουν σε θερμική επαφή, τότε έχουμε ανταλλαγή ενέργειας, με τη μορφή θερμότητας, από το σώμα με την υψηλότερη προς το σώμα με την χαμηλότερη θερμοκρασία.
- Η μεταφορά ενέργειας σταματά όταν οι θερμοκρασίες εξισωθούν οπότε τότε λέμε ότι τα σώματα έφθασαν σε **θερμική ισορροπία**.
- Η ροή της θερμότητας δεν εξαρτάται από κάποια άλλη παράμετρο των σωμάτων (π.χ. μάζα, φορτίο κ.ο.κ.) των δύο σωμάτων.



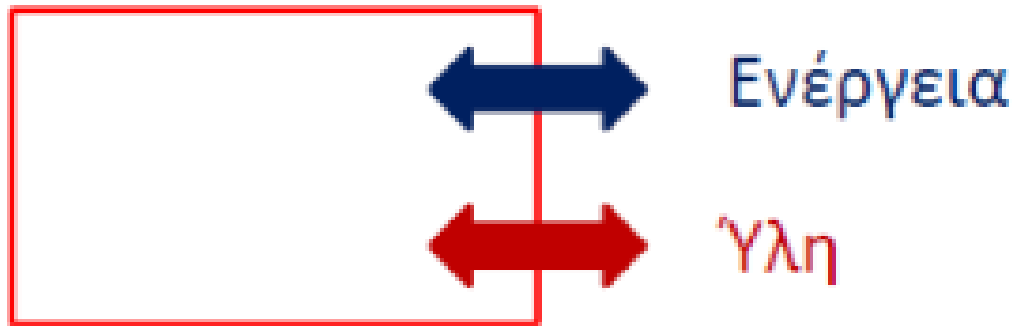
# Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ

- Η θερμική ισορροπία είναι κάτι που παρατηρούμε συνεχώς γύρω μας, αφού τις περισσότερες φορές τα σώματα ισορροπούν θερμικά με το περιβάλλον τους.
- Αυτό συνήθως συμβαίνει με τα λεγόμενα **κλειστά συστήματα**, δηλαδή συστήματα που δεν ανταλλάσσουν ύλη ούτε ενέργεια με το περιβάλλον.
- Μια υποκατηγορία των κλειστών συστημάτων είναι τα μονωμένα, που δεν ανταλλάσσουν ούτε ύλη ούτε ενέργεια με το περιβάλλον τους.



# ΑΝΟΙΚΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

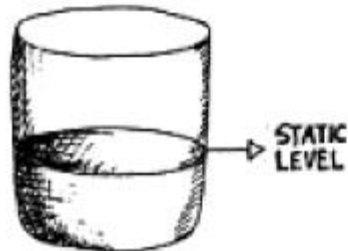
- Ο άνθρωπος είναι μια από τις εξαιρέσεις, αλλά αυτό γίνεται με τη συνεχή ανταλλαγή ύλης και ενέργειας με το περιβάλλον.
- Τέτοια συστήματα ονομάζονται **ανοικτά**.



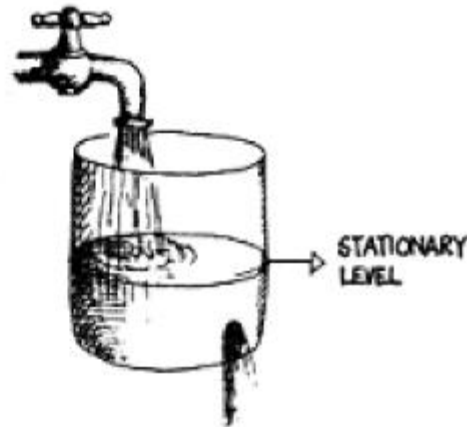
# ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΕ ΑΝΟΙΚΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

- Τα ανοικτά συστήματα φθάνουν πολλές φορές σε μια σταθερή κατάσταση που μοιάζει, αλλά δεν είναι κατάσταση ισορροπίας.
- Μια αναλογία για να γίνει κατανοητή η διαφορά φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.

**Ισορροπία**

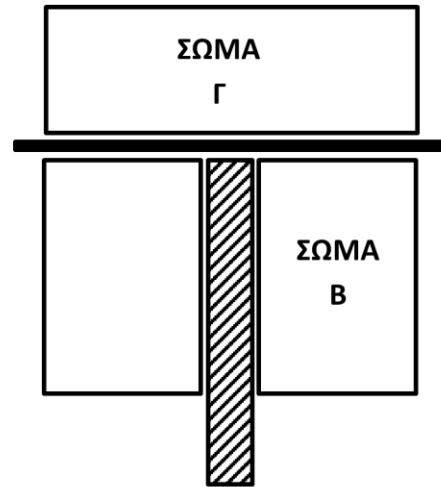


**Σταθερή κατάσταση**

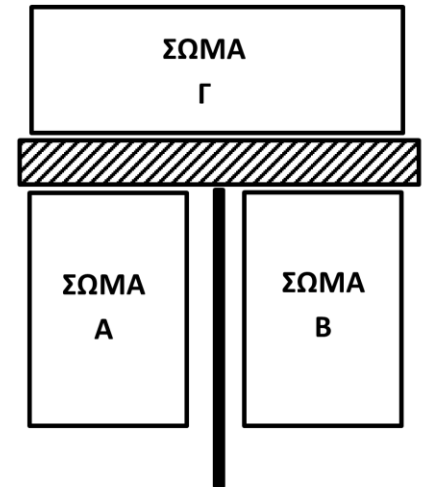


# ΜΗΔΕΝΙΚΟΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΝΟΜΟΣ


- Αν δύο σώματα A και B είναι σε θερμική ισορροπία με ένα τρίτο σώμα Γ, τότε είναι και μεταξύ τους σε θερμική ισορροπία.




Αφού τα A και B είναι σε θερμική ισορροπία με το Γ θα ισχύει ότι  $T_A = T_\Gamma$  και  $T_B = T_\Gamma$ .



Αποδεικνύεται ότι και τα A και B είναι μεταξύ τους σε θερμική ισορροπία, ισχύει λοιπόν ότι  $T_A = T_B$ .

 Αδιαβατικό χώρισμα (δεν επιτρέπει τη διέλευση θερμότητας)

 Διαθερμικό χώρισμα (επιτρέπει τη διέλευση θερμότητας)

# ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΑ

- Η λειτουργία των θερμομέτρων βασίζεται στο φαινόμενο της θερμικής ισορροπίας.
- Όταν φέρουμε σε επαφή το θερμομέτρο με ένα σώμα και περιμένουμε ικανό χρονικό διάστημα, τότε είμαστε σίγουροι ότι το θερμομέτρο αποκτά τη θερμοκρασία του σώματος.
- Φυσικά, πρέπει να καταλάβουμε ότι το θερμομέτρο επηρεάζει το θερμομετρούμενο σύστημα αφού ανταλλάσσει θερμότητα με αυτό, άρα επηρεάζει το ενεργειακό του περιεχόμενο, άρα επηρεάζει και τη θερμοκρασία του.

# ΟΙ ΤΕΣΣΕΡΙΣ ΝΟΜΟΙ (ΑΞΙΩΜΑΤΑ) ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

- **Μηδενικό Νόμος:** Προτάθηκε τη δεκαετία του 1930 από τον Βρετανό φυσικό R. Fowler.
- **Πρώτος Νόμος:** Μορφοποιήθηκε περίπου στα μέσα του 17<sup>ου</sup> αιώνα (~1850) Joule και Mayer.
- **Δεύτερος Νόμος:** Ξεκίνησε με τον Carnot το 1820 και διατυπώθηκε από τους Clausius και Kelvin περίπου το 1850.
- **Τρίτος Νόμος:** Διατυπώθηκε από τον W. Nernst περίπου το 1910.

