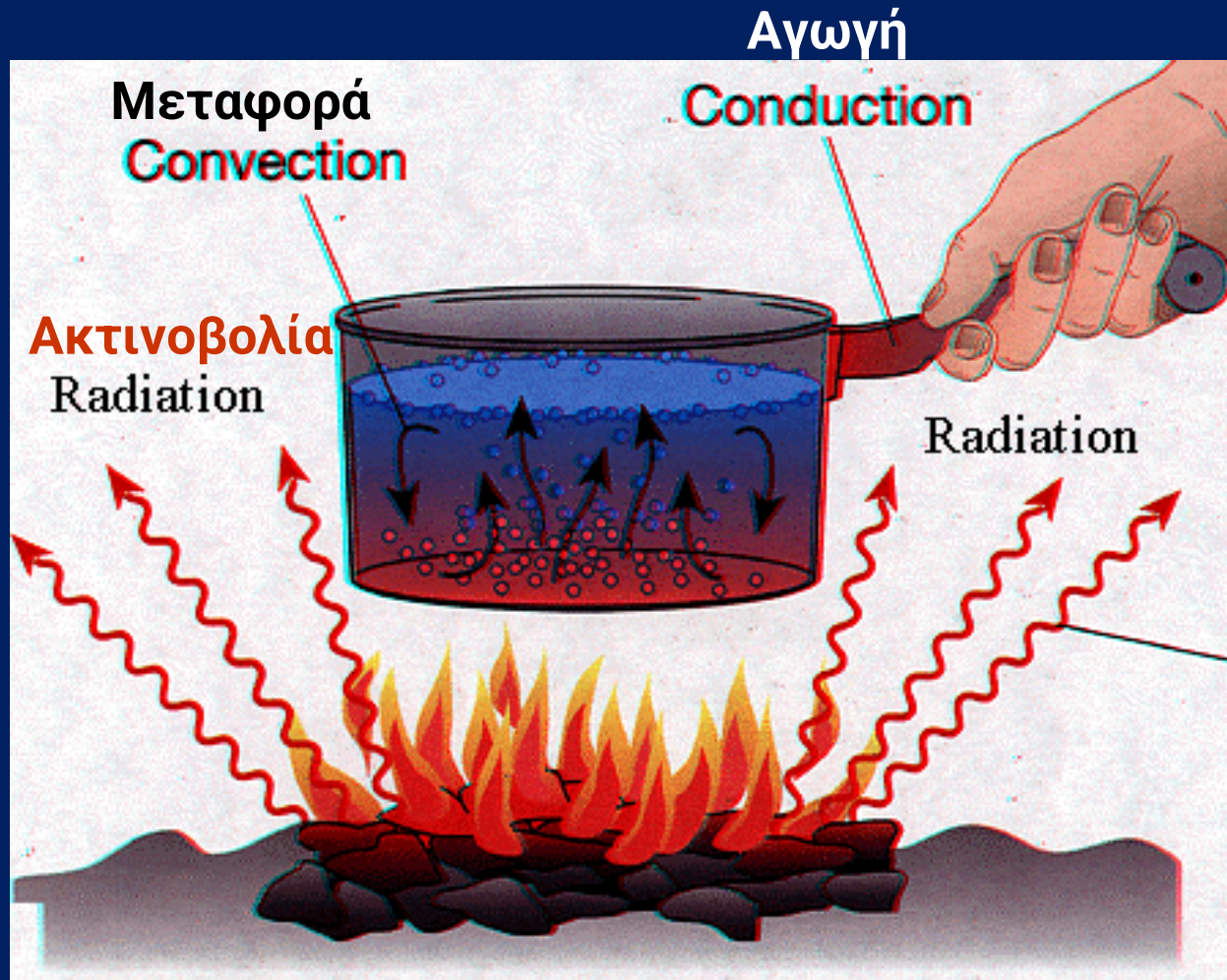
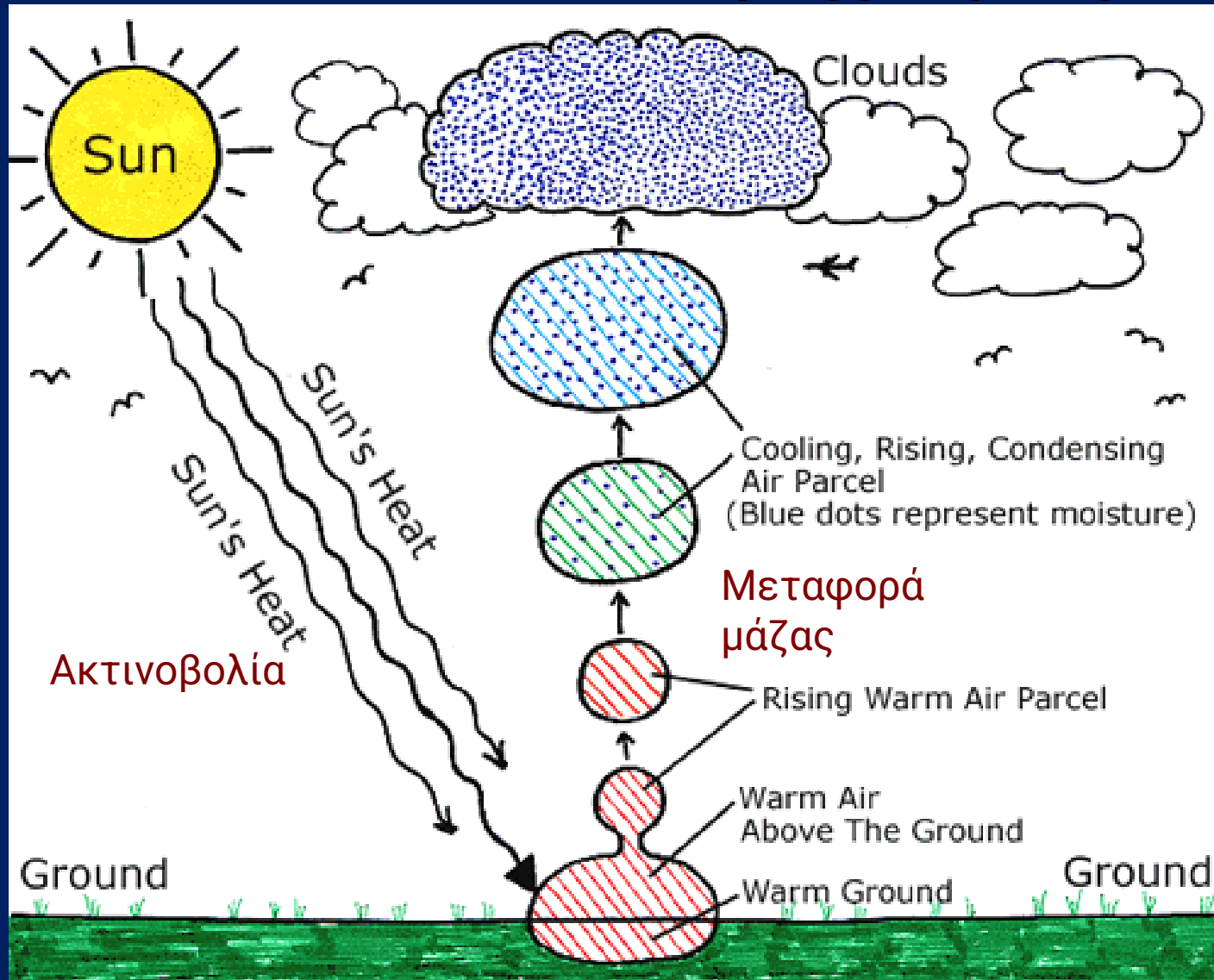


Διάδοση θερμότητας 3 μηχανισμοί



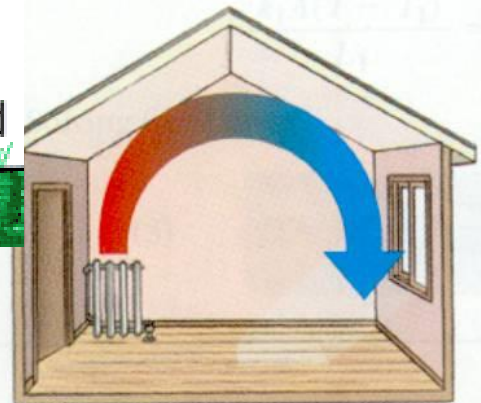
Διάδοση θερμότητας με Μεταφορά μάζας



Ακτινοβολία

Μεταφορά μάζας

Αγωγή

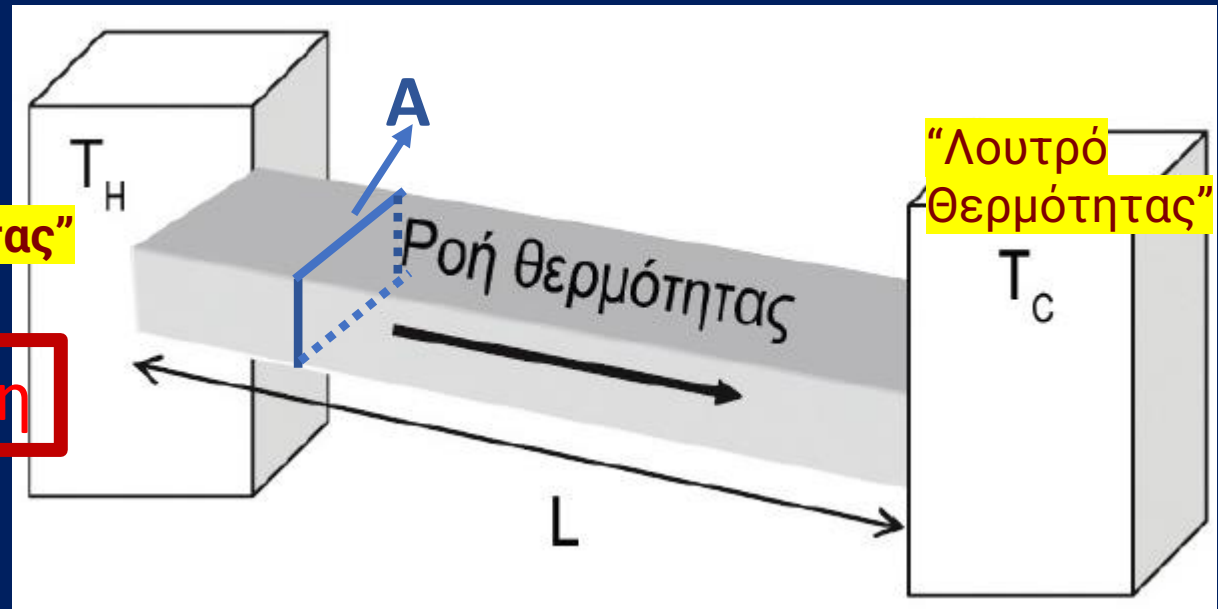


Τρόπος διάδοσης	Μηχανισμός	Μεταφορά μάζας?	Μέσα διάδοσης
Αγωγή (Conduction)	Θερμική κίνηση μορίων, διάδοση κιν. ενέργειας (θερμικό κύμα) η/και ελεύθερα e (μέταλλα)	ΟΧΙ	Στερεά, υγρά αέρια
Μεταφορά (Convection)	Μεταφορά θερμών μαζών λόγω διαφοράς πυκνότητας (φυσική μεταφορά), ή με εξωτερικό αίτιο (εξαναγκασμένη μεταφορά)	ΝΑΙ	Ρευστά (υγρά, αέρια)
Ακτινοβολία (Radiation)	Η/Μ ακτινοβολία, κυρίως στην περιοχή του υπέρυθρου (θερμική ακτινοβολία)	ΟΧΙ	Στερεά, υγρά αέρια ΚΕΝΟ

Διαδοση με Αγωγή

“Λουτρό
Θερμότητας”

“Λουτρό
Θερμότητας”

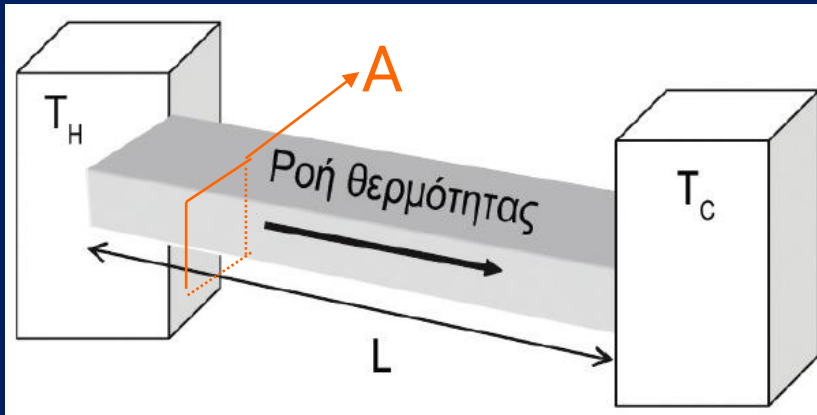


Σταθερή κατάσταση

Μετά την *επίτευξη μιας σταθερής κατάστασης*, η θερμοκρασία δεν θα μεταβάλλεται με τον χρόνο, η κατανομή της κατά μήκος της ράβδου θα παραμένει σταθερή και σε γραμμική σχέση με την απόσταση από τα δύο άκρα που διατηρούνται σε σταθερές θερμοκρασίες T_H και T_C

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = kA \left(\frac{T_H - T_C}{L} \right)$$

Αγωγή θερμότητας



$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = kA \left(\frac{T_H - T_C}{L} \right)$$

Ο ρυθμός αγωγής της θερμότητας:

- Είναι ανάλογος της εγκάρσιας διατομής A της ράβδου
- Είναι ανάλογος της θερμοβαθμίδας (μεταβολή της θερμοκρασίας κατά μήκος της ράβδου ανά μονάδα μήκους, $\Delta T/L$).
- ❑ Τέλος, εξαρτάται από την εγγενή θερμική ιδιότητα του υλικού, γνωστή ως **θερμική αγωγιμότητα k**
- ❑ (σε $Kcal/s.m.^{\circ}C$) ή $J/s.m.^{\circ}C = W/m.^{\circ}C$

Συντελεστές Θερμικής Αγωγιμότητας

Η διαφορετική θερμική αγωγιμότητα κάθε υλικού οφείλεται είτε σε διαφορετικούς μηχανισμούς, είτε σε διαφορετική απόδοση στη μεταφορά ενέργειας.

<i>Υλικό</i>	<i>Θερμική Αγωγιμότητα (kcal/s·m·°C)</i>
Νερό	$1,4 \times 10^{-4}$
Αέρας (ξηρός)	$0,06 \times 10^{-4}$
Βιολογικός ιστός	$0,5 \times 10^{-4}$
Fiberglass	$0,1 \times 10^{-4}$
Πούπουλα	$0,06 \times 10^{-4}$
Γυαλί	$\sim 2 \times 10^{-4}$
Μέταλλα:	
Χάλυβας (ατσάλι)	$3,3 \times 10^{-4}$
Αργίλιο (αλουμίνιο)	$5,6 \times 10^{-4}$
Χαλκός	$9,6 \times 10^{-4}$
Άργυρος	10×10^{-4}

❑ Τα μέταλλα είναι *καλοί αγωγοί της θερμότητας* για τον ίδιο λόγο που είναι καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού: έχουν μεγάλο πλήθος σχετικά αδέσμευτων (ελευθέρων) ηλεκτρονίων που μπορούν να περιφέρονται στο κρυσταλλικό πλέγμα στο εσωτερικό του μετάλλου και να συγκρούονται με αποτελεσματικό τρόπο για τη μεταφορά ενέργειας.

- Υλικά με θερμική αγωγιμότητα ίση ή μικρότερη από αυτή του φελιζόλ (styrofoam, αφρώδες διογκωμένο πολυστυρένιο) θεωρούνται κακοί αγωγοί θερμότητας και είναι γνωστοί ως *μονωτές*.

- Ο *αέρας* είναι ένας πολύ καλός θερμικός μονωτής. Τα ζώα και οι άνθρωποι κάνουν χρήση αυτής της ιδιότητας του αέρα για να κρατηθούν ζεστοί στο κρύο, παγιδεύοντας αέρα στη γούνα ή στα φτερά τους, σε ρούχα ή σε πουπουλένια σκεπάσματα και σε διπλά γυάλινα παράθυρα. Ο αέρας για να ενεργήσει καλά ως μονωτής, πρέπει είναι παγιδευμένος, έτσι ώστε να μην διαδίδει θερμότητα με μεταφορά

Από ποια μεγέθη εξαρτάται η διάδοση θερμότητας με αγωγή;

Απάντηση: k , A , T_h , T_c , L

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = kA \left(\frac{T_H - T_C}{L} \right)$$

Ποιό από αυτά μεταβάλλεται όταν κρυώνοντας

χρησιμοποιούμε 2η κουβέρτα L

Κουλουριαζόμαστε A

αλλάζουμε με ένα πιο ζεστό παλτό k

μπαίνουμε μέσα στο σπίτι T_c

ΔΙΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ – ΑΓΩΓΗ – ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ

Ένας ορειβάτης παγιδεύεται στο βουνό και πρέπει να περιμένει βοήθεια. Η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι 0°C . Στο σακίδιο του βρίσκει ένα σακουλάκι με ζάχαρη. Το ενεργειακό περιεχόμενο της ζάχαρης, όπως αναγράφεται στην συσκευασία, είναι $400\text{ Kcal}/100\text{ gr}$. Πόση ζάχαρη πρέπει να καταναλώνει ανά ώρα για να μην πάθει υποθερμία; Ο ορειβάτης έχει επιφάνεια σώματος $1,2\text{ m}^2$ και φοράει ρούχα πάχους 2 cm από υλικό με συντελεστή θερμ. αγωγιμότητας $0,04\text{ W/m K}$.

Λύση:

$$T_H = 273 + 36,6 = 309,6\text{ K}, T_C = 273\text{ K}, \Delta T = T_H - T_C = 36,6\text{ K}$$

$$\Delta Q/\Delta t = k \cdot A \cdot (T_H - T_C) / L = 87,8\text{ W}$$

$$\text{Άρα σε } 1 \text{ ώρα χρειάζεται } 87,8\text{ W} \times 3600\text{ s} = 326080\text{ J.}$$

$$\text{Η ζάχαρη έχει ενέργεια } 400\text{ Kcal}/100\text{ g} = 4000\text{ cal/g} = 16700\text{ J/g}$$

$$\text{Άρα χρειάζεται } 326080\text{ J} / 16700\text{ J/g} = 19,5\text{ g ανά ώρα}$$

ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ - 2

ΑΣΚΗΣΗ

Μια ξύλινη καλύβα εμβαδού 3 m x 3,5 m και ύψους τοίχων 2,5 m . Το πάχος του τοίχου είναι 1.8 cm και η θερμική αγωγιμότητα του ξύλου είναι 0.06 W/ m. K.

(i) Πόση θερμαντική ισχύ σε Watt πρέπει να παράγει μια θερμάστρα για να διατηρείται η θερμοκρασία 19 °C μέσα όταν έξω είναι 2 °C; Υποθέστε ότι δεν υπάρχει απώλεια θερμότητας από το ταβάνι η το πάτωμα.

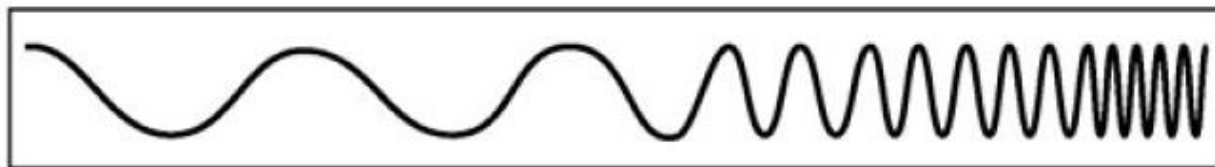
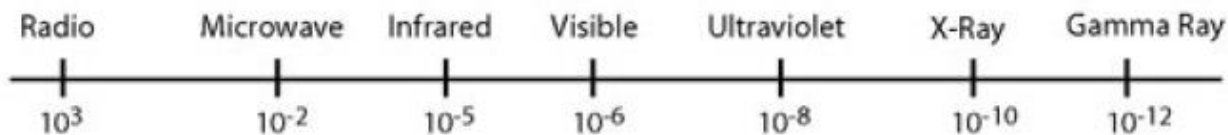
ΛΥΣΗ

Συνολική επιφάνεια $2 \times (3,5 \times 2,5 + 3 \times 2,5) = 32,5 \text{ m}^2$

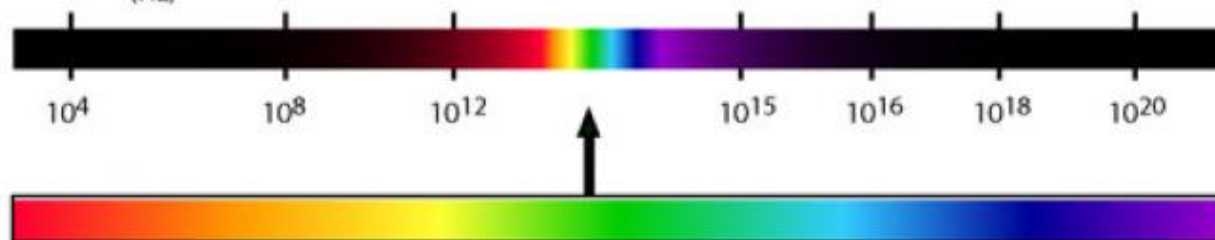
$$\Delta Q / \Delta t = H = kA \frac{T_{Hot} - T_{Cold}}{L} = 0,06 \frac{W}{mK} 32,5 m^2 \frac{(19 - 2)K}{1,8 \cdot 10^{-2} m} = 1841,66 W$$

THE ELECTRO MAGNETIC SPECTRUM

Wavelength
(metres)



Frequency
(Hz)



Διαδοση με
θερμική
ακτινοβολία

- Ραδιοκύματα: $\lambda > 1\text{m}$, εκπέμπονται/ανιχνεύονται από κεραιές ραδιοφώνου.
- Μικροκύματα: $0,01\text{m} < \lambda < 1\text{m}$, (κινητά, ραντάρ, θερμική ακτινοβολία φούρνων μικροκυμάτων).
- Υπέρουθρο: $10^{-7}\text{m} < \lambda < 10^{-3}\text{m}$.
($0,1\mu\text{m} < \lambda < 10^3\mu\text{m}$). Απορροφάται από την ύλη και αυξάνει την εσωτερική ενέργεια μορίων = θερμική ακτινοβολία
- Ορατό: $4 \cdot 10^{-7}\text{m} < \lambda < 7 \cdot 10^{-7}\text{m}$ (700 nm = Ερυθρό, 400 nm = Ιώδες). Ανιχνεύεται από το μάτι σαν χρώμα (ανάλογα με το λ).
- Υπεριώδες: $10\text{nm} < \lambda < 400\text{nm}$
- Ακτίνες -X: $\lambda < 10\text{nm}$, Παράγεται από άτομα που βομβαρδίζονται από ηλεκτρόνια
- Ακτίνες γ: Παράγονται από πυρήνες ή σε πυρηνικές αντιδράσεις

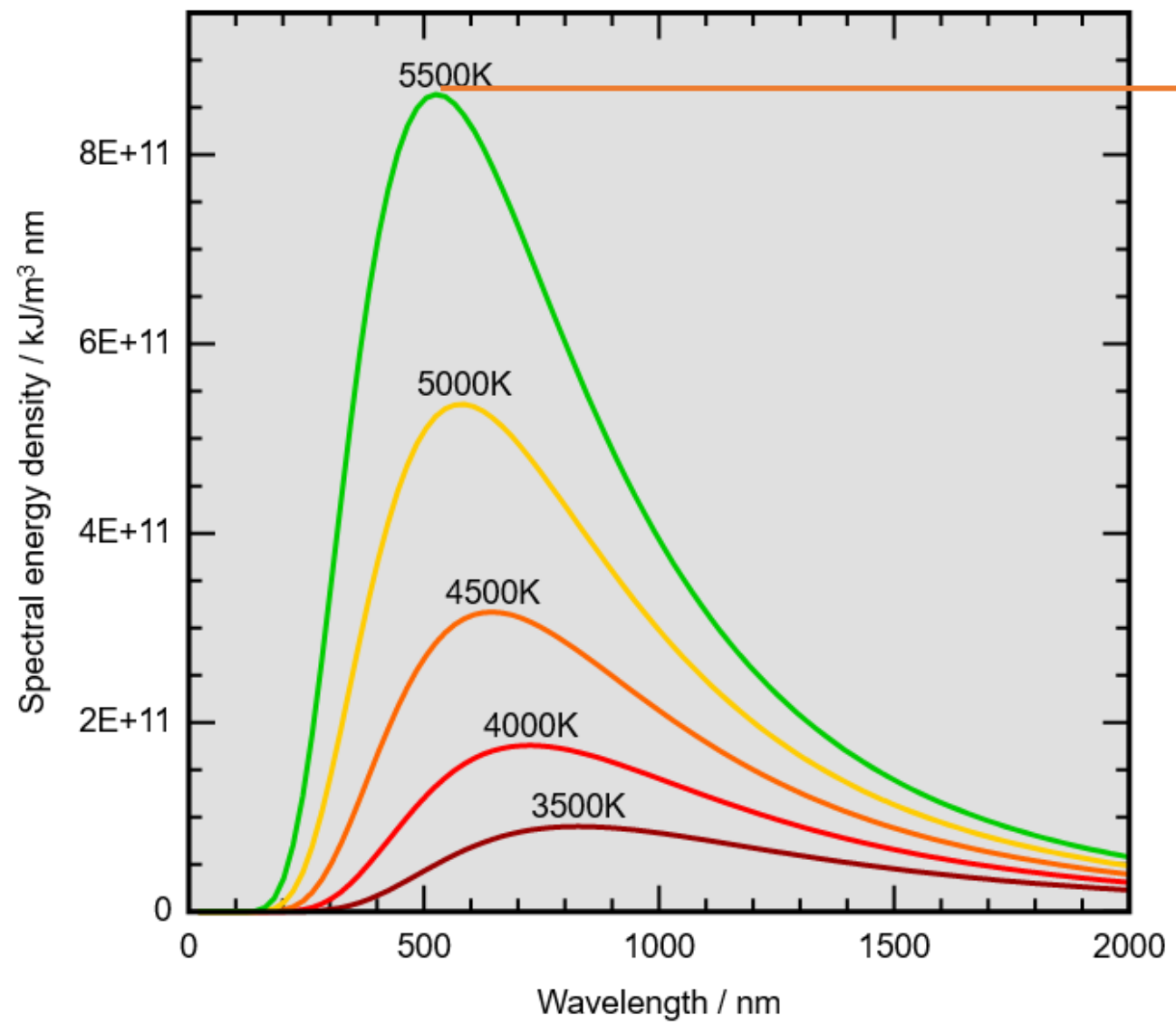
Ακτινοβολία

Όλα τα σώματα στις συνήθεις θερμοκρασίες εκπέμπουν ενέργεια με τη μορφή υπέρυθρης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

- Η διάδοση θερμότητας με *θερμική ακτινοβολία* μπορεί να συμβεί και στο κενό, δηλαδή με πλήρη απουσία ύλης.
- Η ακτινοβολία αφορά τη μεταφορά φωτονίων, των στοιχειωδών κβάντων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας
- Πολύ θερμά σώματα εκπέμπουν ορατή ακτινοβολία, όπως π.χ. οι αντιστάσεις θέρμανσης μιας τοστιέρας, τα κάρβουνα σε μια φωτιά, ο ήλιος.
- Τα σώματα πρέπει να υπερβούν μια θερμοκρασία περίπου 1.000 K ώστε να εκπέμπουν ορατό κόκκινο φως



Νόμος του Wien: Σχέση Εκπεμπόμενης Η/Μ Ακτινοβολίας και Μήκους Κύματος
Σε διαφορετικές Θερμοκρασίες → Το λ της μέγιστης ενέργειας μειώνεται όταν αυξάνει η Θερμοκρασία



$$\lambda_{\text{peak}} = \frac{b}{T}$$

$$b \approx 2898 \mu\text{m}\cdot\text{K}$$

Ακτινοβολία

Τα σώματα που έχουν θερμοκρασία κάτω από 1.000 K, ακόμα και θερμοκρασία περιβάλλοντος, εκπέμπουν υπέρυθη ακτινοβολία που δεν μπορεί να γίνει αντιληπτή από τα μάτια μας, αφού είναι έξω από την περιοχή του ορατού φάσματος ακτινοβολίας.

Εκπεμπόμενη ακτινοβολία από τέτοιες θερμικές πηγές, ορατή μόνο με ανιχνευτές που βασίζονται στην υπέρυθη θερμογραφία.



Ακτινοβολία

Ο ρυθμός εκπομπής θερμικής ακτινοβολίας από ένα σώμα εξαρτάται πάρα πολύ από την επιφανειακή θερμοκρασία του, T , και συγκεκριμένα είναι ανάλογος της T^4 . Ο ρυθμός αυτός (H) ή αλλιώς η **ισχύς** (P) της θερμικής ακτινοβολίας, δίνεται από τον νόμο Stefan-Boltzmann:

$$H = \Delta Q / \Delta t = P = e \sigma A T^4$$

όπου:

A , το εμβαδόν της επιφάνειας του σώματος,
 $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$, η παγκόσμια σταθερά Stefan-Boltzmann
 e , ο συντελεστής εκπομπής του σώματος
(παίρνει τιμές μεταξύ 0 και 1 και χαρακτηρίζει την ικανότητα εκπομπής θερμικής ακτινοβολίας ενός σώματος).

Η τιμή του e είναι κοντά στο μηδέν για υλικά με ανοιχτόχρωμες, λείες επιφάνειες ενώ προσεγγίζει τη μονάδα για υλικά με μαύρες θαμπές επιφάνειες.

Ακτινοβολία

Όλα τα σώματα, όχι μόνο εκπέμπουν αλλά και απορροφούν ενέργεια με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Αν ένα σώμα σε απόλυτη θερμοκρασία T_1 βρίσκεται σε περιβάλλον με απόλυτη θερμοκρασία T_2 τότε ο ολικός ρυθμός ακτινοβολίας:

$$H = \Delta Q/\Delta t = P = e\sigma AT^4 - a\sigma AT_{\pi}^4$$

όπου, $a\sigma AT_{\pi}^4$, η ισχύς που απορροφά το σώμα από το περιβάλλον και a ο συντελεστής απορρόφησης ακτινοβολίας για το σώμα.

➤ Οι συντελεστές e και a θα πρέπει να είναι ίδιοι!

$$\text{Δηλ. } H = \Delta Q/\Delta t = P = e\sigma A(T^4 - T_{\pi}^4)$$

ΓΙΑΤΙ:

Στην περίπτωση όπου $T = T_{\pi}$, το σώμα και το περιβάλλον βρίσκονται σε θερμική ισορροπία, επομένως δεν υπάρχει ανταλλαγή θερμότητας με κανέναν τρόπο, ούτε με ακτινοβολία, και οι ρυθμοί εκπομπής και απορρόφησης πρέπει να είναι ίσοι.

Για να αληθεύει αυτό και να είναι $H = 0$ θα πρέπει ο συντελεστής e στον όρο απορρόφησης να είναι ίδιος με αυτόν του όρου εκπομπής.

ΔΙΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ – ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

1) Σε αίθουσα διδασκαλίας με θερμοκρασία περιβάλλοντος 17°C υπάρχουν 40 φοιτητές.

α) Πόση είναι η συνολική ισχύς θερμικής ακτινοβολίας που εκπέμπουν οι φοιτητές? Υποθέστε ότι ο συντελεστής εκπομπής e είναι 1 και ότι η μέση επιφάνεια σώματος και θερμοκρασία του κάθε φοιτητή είναι $A = 1,2\text{ m}^2$ και 37°C , αντίστοιχα. (Υπόδειξη: η ισχύς αυτή είναι η διαφορά της ισχύος που εκπέμπουν οι φοιτητές μείον της ισχύος που δέχονται από το περιβάλλον!) $\sigma = 5,67 \times 10^{-8}\text{ W/m}^2\cdot\text{K}^4$

β) Ποια θα είναι, κατά προσέγγιση, η αύξηση της θερμοκρασίας της αίθουσας μετά από 1 ώρα; Η πυκνότητα και η ειδική θερμότητα του αέρα είναι $1,2\text{ Kg/m}^3$ και $1012\text{ J / Kgr} \cdot \text{K}$, αντίστοιχα.

Ο όγκος της αίθουσας είναι 8000 m^3 .

Λύση:

$$\alpha) H = 40 \cdot A \cdot (\sigma \cdot e \cdot T_{\phi}^4 - \sigma \cdot e \cdot T_{\pi}^4) = 40 \sigma \cdot e \cdot A \cdot (T_{\phi}^4 - T_{\pi}^4) = 5884\text{ W}$$

$$\beta) \Delta Q = H \cdot t = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$\alpha\rho\alpha \Delta T = H \cdot t / m \cdot c = H \cdot t / \rho \cdot V \cdot c = 2,18^{\circ}\text{C}$$

ΔΙΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ – ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ – 2

1) Η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια του Εδάφους είναι περίπου 600 W/m^2 . Αν ο πάγος απορροφά το 30% της ακτινοβολίας, σε πόσο χρόνο θα λειώσει στρώμα πάγου με πάχος 10 cm; Η πυκνότητα πάγου είναι $0,9167 \text{ g/cm}^3$. Ο πάγος και το νερό κάτω από αυτόν είναι στους 0 C . $L_f = 3,34 \times 10^5 \text{ J/Kg}$

Λύση

$$H = 600 \text{ W/m}^2$$

Η μάζα στρώματος πάγου εμβαδού 1 m^2 και πάχους 10 cm είναι

$$M = \rho \cdot V = 916,7 \text{ Kg/m}^3 \cdot 10^{-1} \text{ m}^3 = 91,67 \text{ Kg}$$

Η ενέργεια που απορροφάται για να λειώσει το στρώμα πάγου είναι

$$0,3 H t = Q = m L_f$$

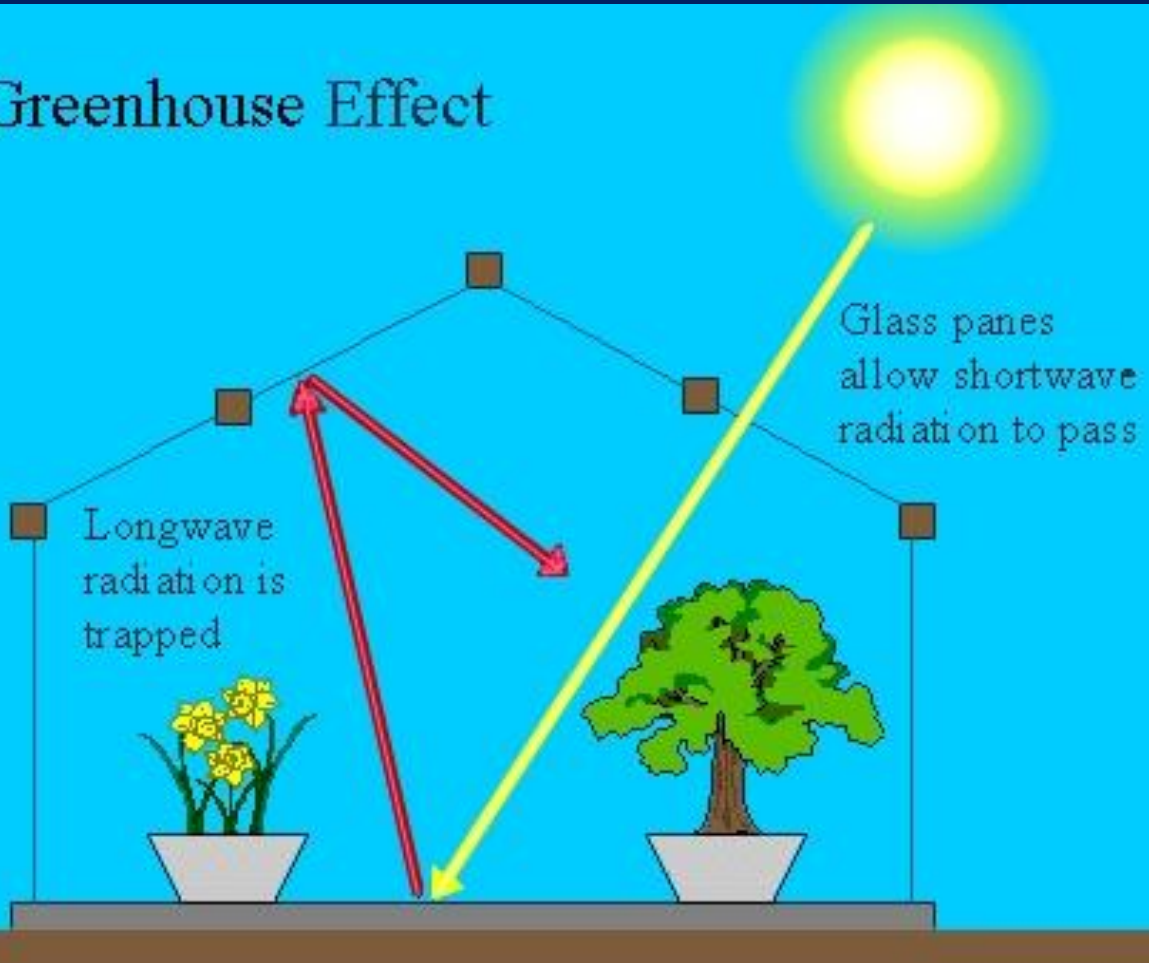
$$t = m L_f / 0,3 H = 47 \text{ hr}$$

Λειτουργία θερμοκηπίου

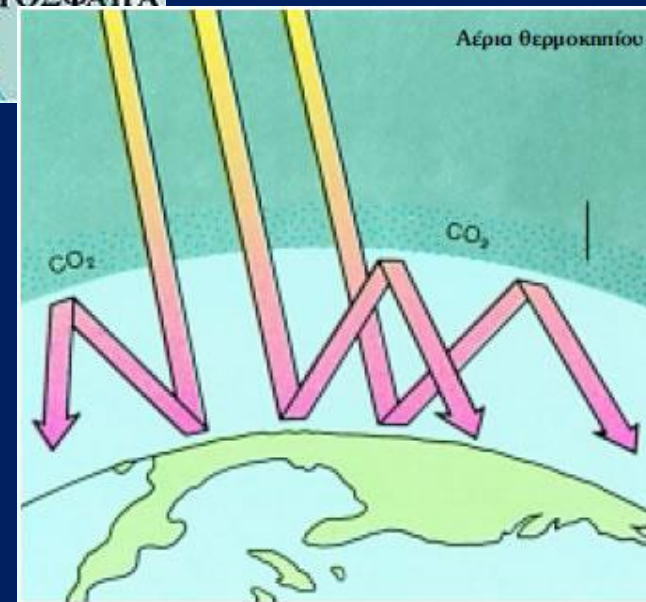
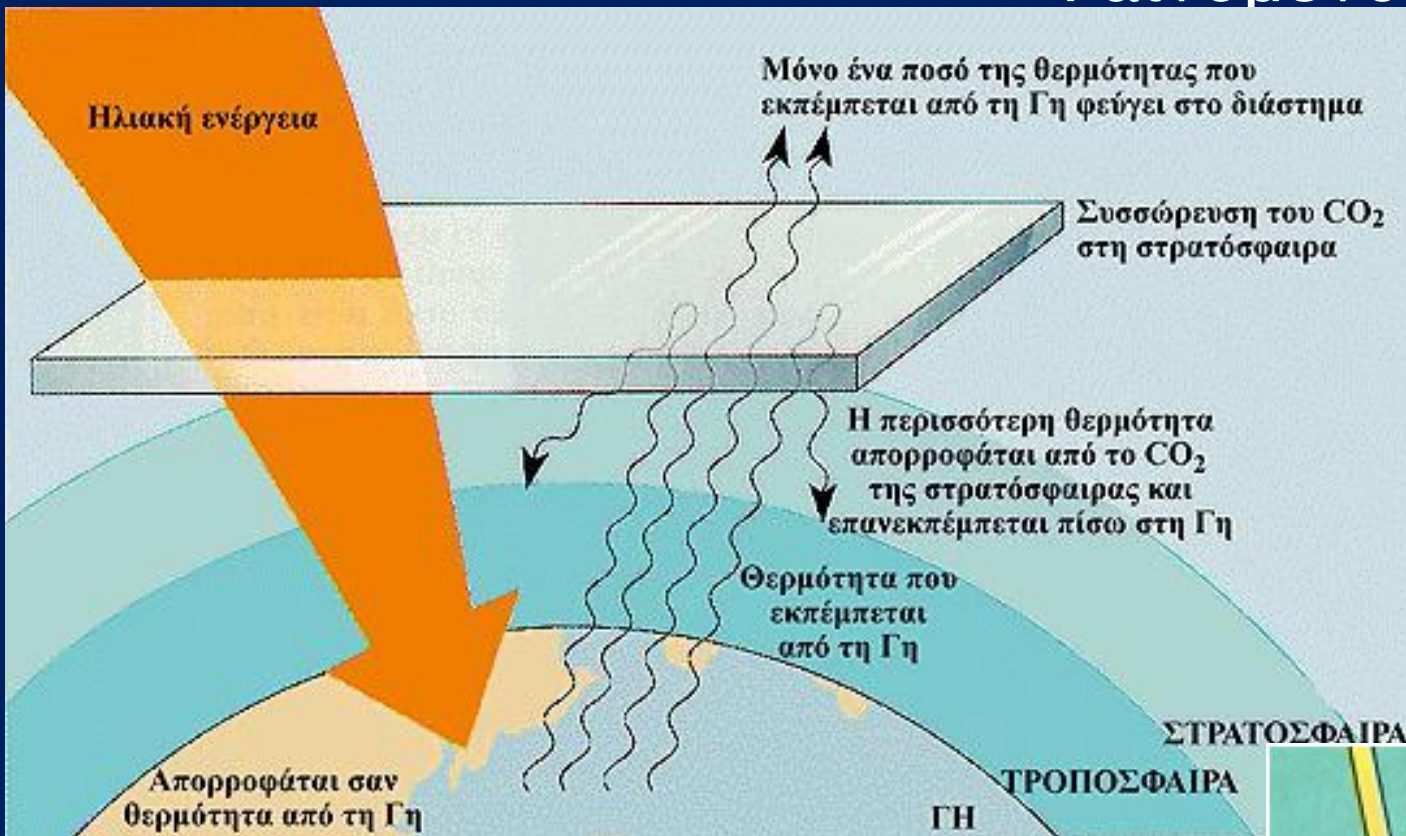
Ορατό φως: περνά και θερμαίνει το έδαφος
το οποίο εκπέμπει υπέρυθρη ακτινοβολία

Υπέρυθρο: δεν περνά προς τα έξω (ανακλάται πίσω)

Greenhouse Effect

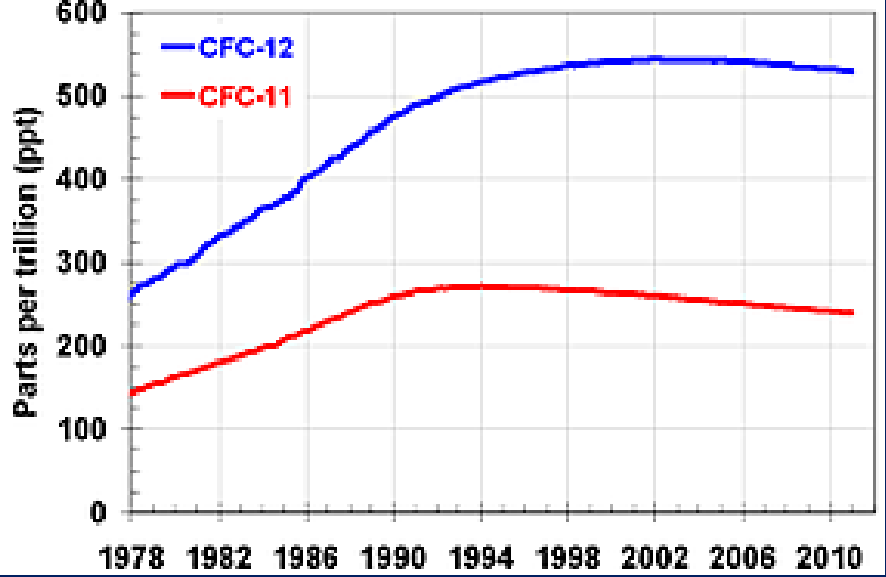
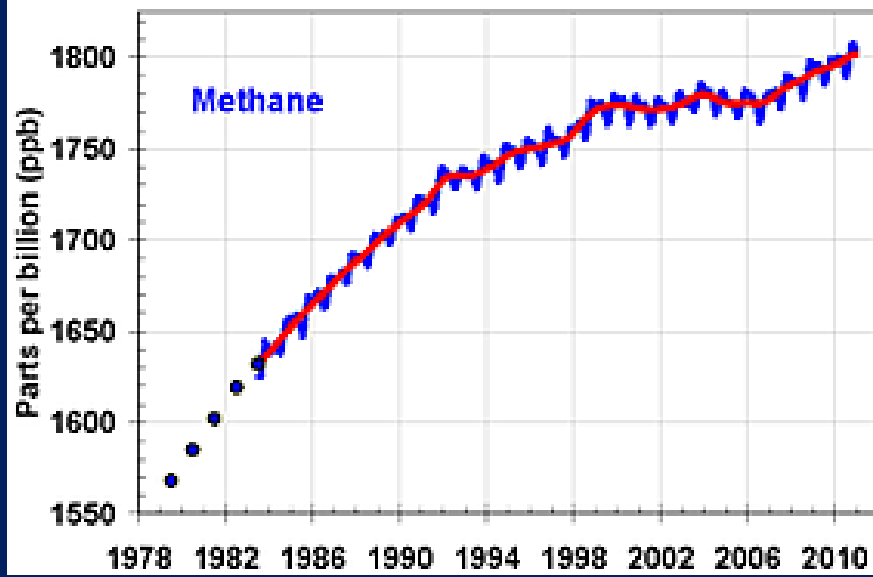
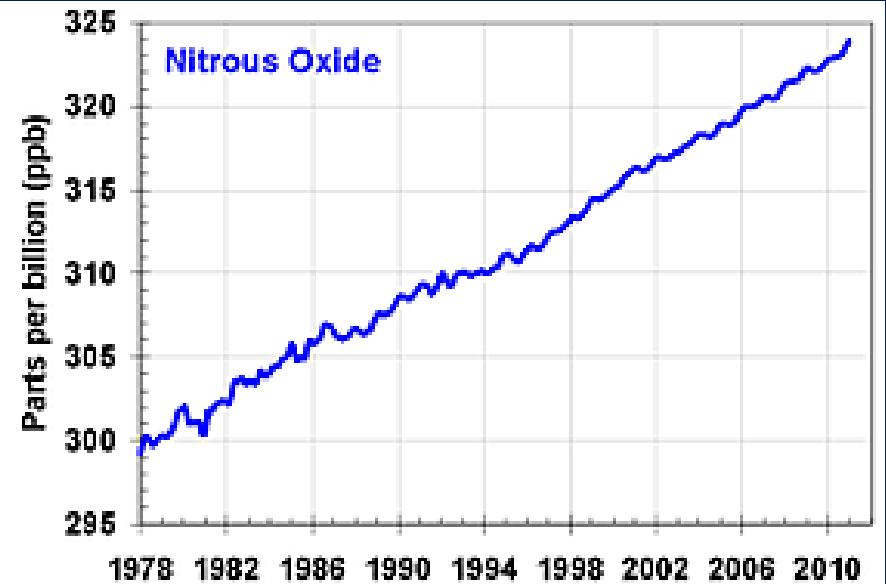
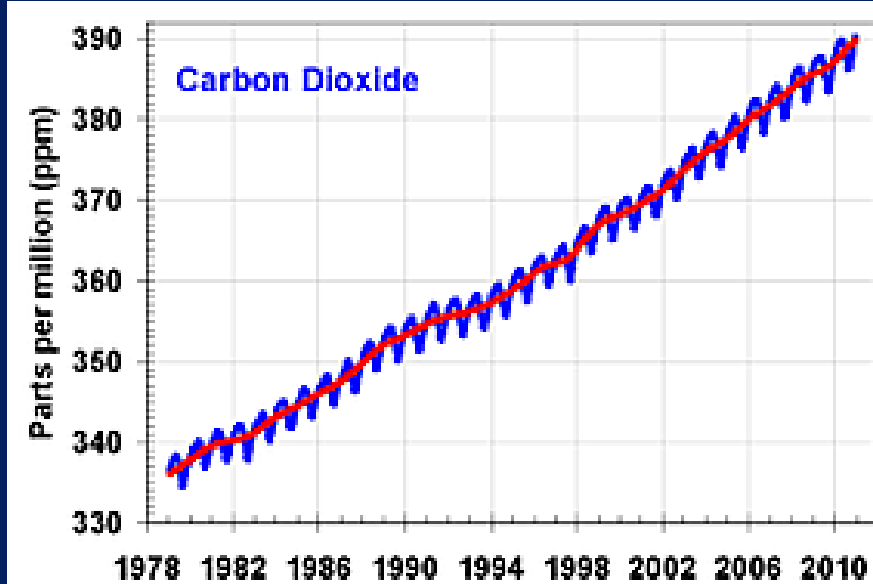


Φαινόμενο θερμοκηπίου

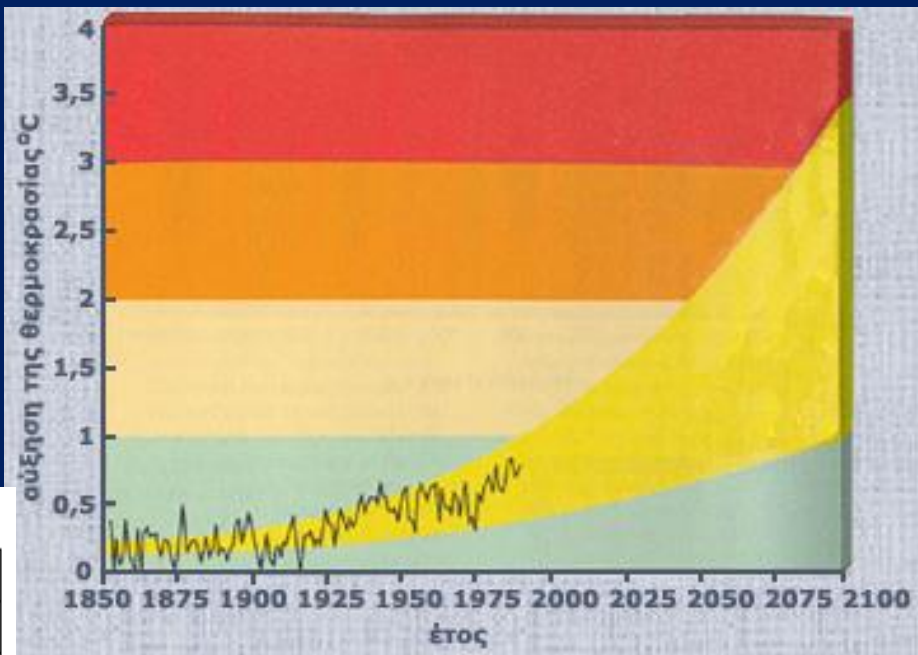
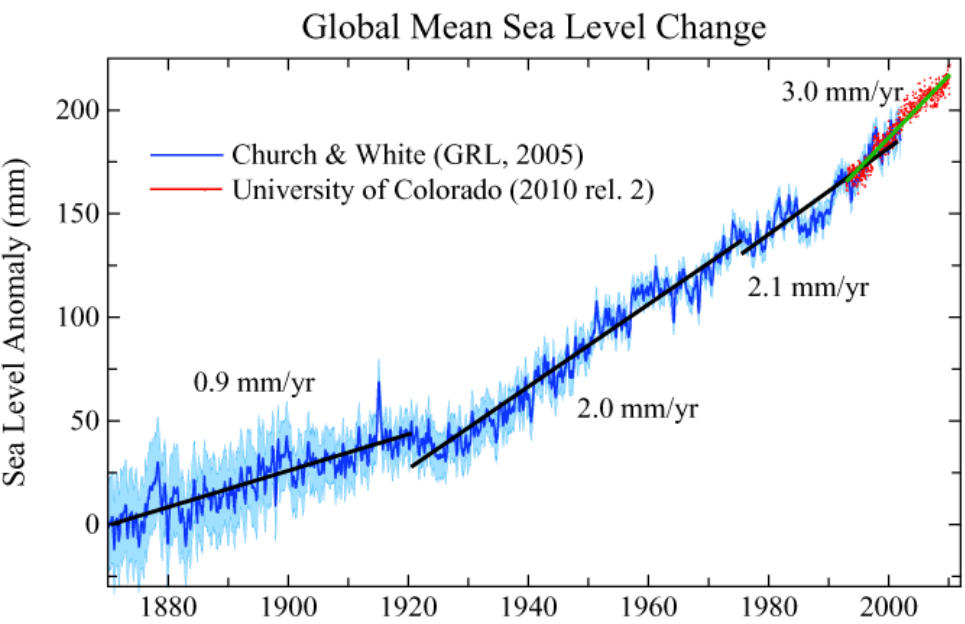


- 1) Ηλιακή ακτινοβολία θερμαίνει το εδαφος
- 2) Έδαφος εκπέμπει υπερυθρή ακτινοβολία
- 3) ...που ανακλάται από αέρια θερμοκηπίου
- 4) Η θερμοκρασία εδαφους και κατωτερης ατμόσφαιρας αυξάνεται, πάγοι λιώνουν κλπ

Το φαινόμενο θερμοκηπίου οφείλεται στους ρύπους αερίων όπως διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο κλπ (ppm = mg/L)



Κλιματική αλλαγή εξαιτίας φαινομένου θερμοκηπίου



Στάθμη θάλασσας

Κλιματική αλλαγή

Όλο και περισσότεροι επιστήμονες πιστεύουν ότι το φαινόμενο του θερμοκηπίου μπορεί να οδηγήσει σε μια θετική (αλλά όχι με την καλή έννοια) ανάδραση, κατά την οποία η αύξηση της θερμοκρασίας σε όλα τα μέρη της Γης θα έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση παγιδευμένων αερίων θερμοκηπίου, όπως στα θαλάσσια ιζήματα και στους πολικούς πάγους. Η σπειροειδής επανάληψη αυτής της διαδικασίας μπορεί να οδηγήσει τη θερμοκρασία του πλανήτη σε ακόμη υψηλότερες τιμές. Επιπλέον, οι αυξημένες θερμοκρασίες οδηγούν στη συρρίκνωση των κομματιών πάγου που καλύπτουν συνήθως ορεινές περιοχές (εμβαδού μικρότερου των 50.000 km²) στους πόλους της Γης, η οποία μπορεί να προκαλέσει σημαντική αύξηση του ύψους της στάθμης των ωκεανών. **Ίσως ακόμα πιο απειλητικές, αν και διατυπώνονται με μικρότερη βεβαιότητα, θα είναι οι συνέπειες των υψηλότερων θερμοκρασιών στο πόσιμο νερό, στη γεωργία και στην ανάπτυξη νέων στελεχών βακτηρίων και ιών που θα προκαλέσουν νέες ασθένειες.**

Αύξηση στάθμης θάλασσας αν λειώσουν ολοι οι πάγοι:



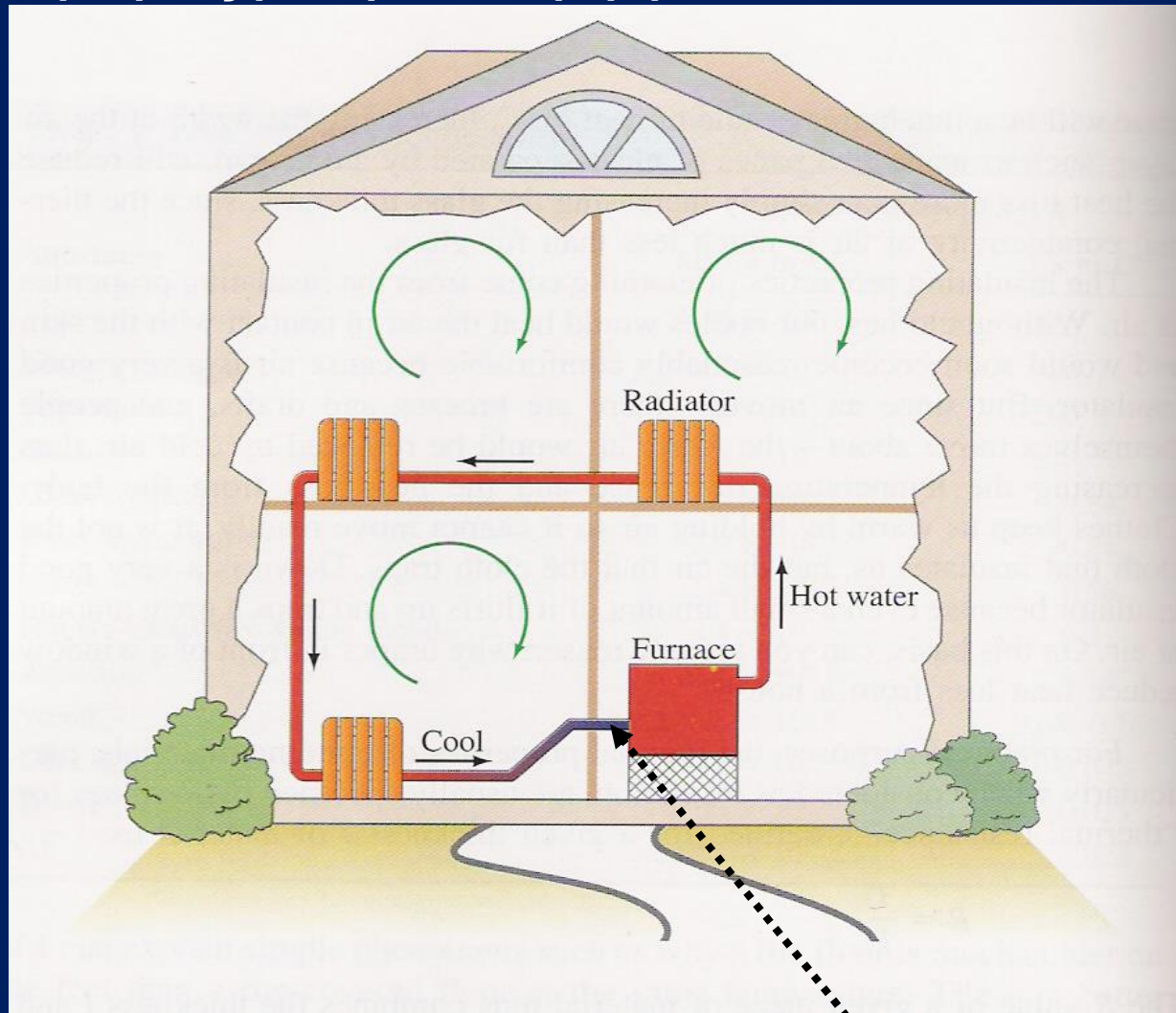
Νέα Υόρκη

Ουάσινγκτον

Μαϊάμι

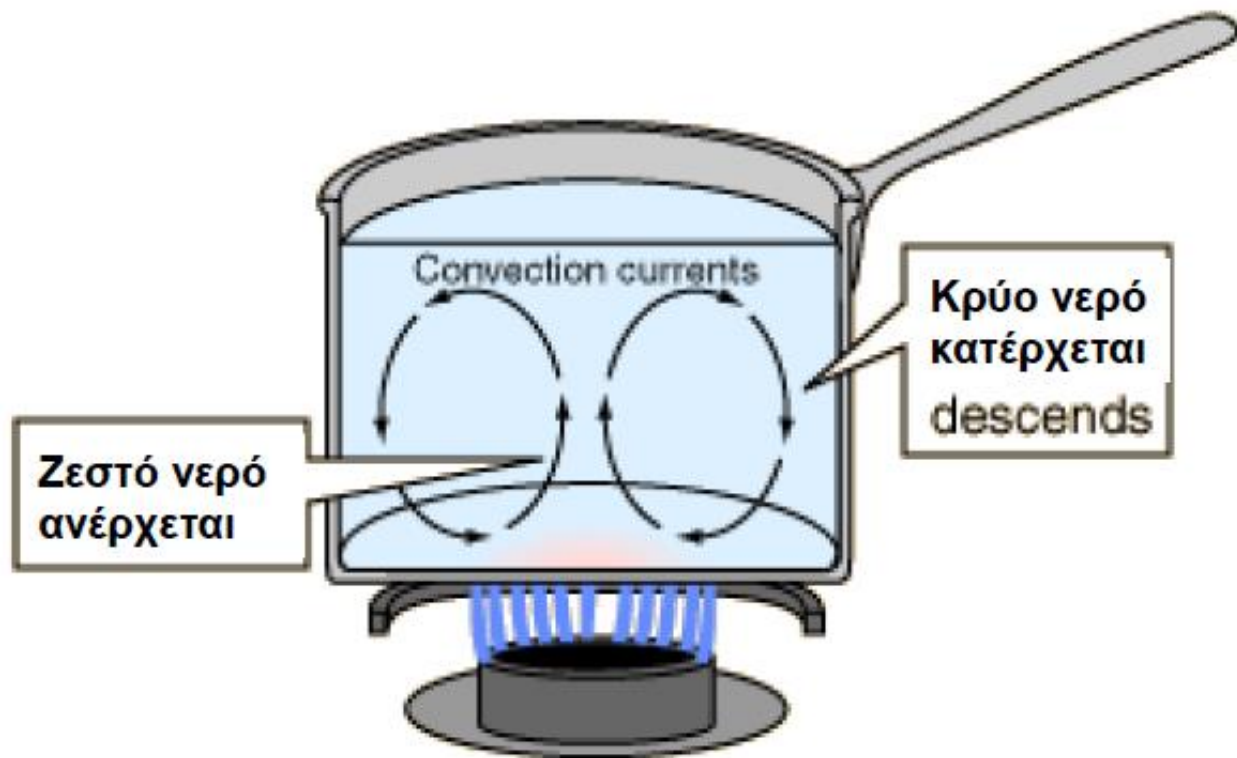
Διάδοση Θερμότητας με Μεταφορά Μάζας

Εφαρμογές: φουρνος με αερα, καλοριφέρ κλπ



Καλοριφέρ : Εξαναγκασμένη Μεταφορά

Αντλία
κυκλοφορητής



Ζεστό νερό
ανέρχεται

Κρύο νερό
κατέρχεται
descends

Η θερμική διαστολή είναι ανάλογη της μεταβολής της θερμοκρασίας

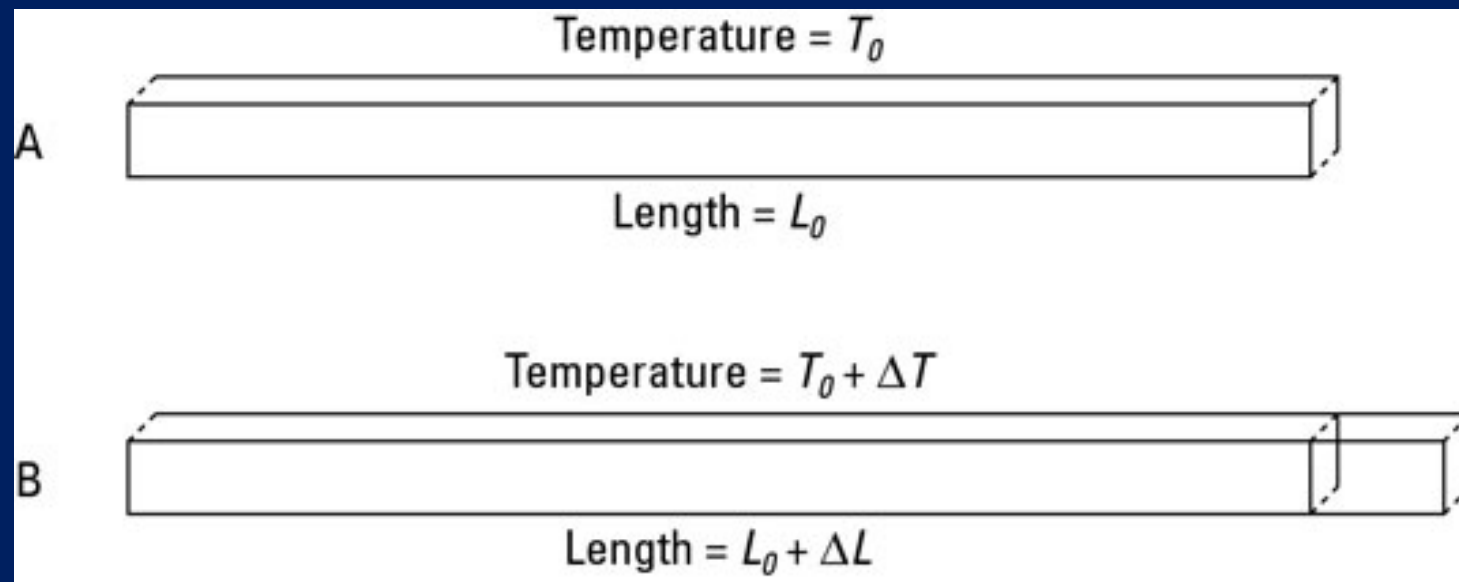
Μια στερεά ράβδος μήκους L διαστέλλεται ευθέως ανάλογα με την αύξηση της θερμοκρασίας και το μήκος της, σύμφωνα με τη σχέση:

$$\Delta L = \alpha L \Delta T, \alpha \text{ σε } m/(m.^{\circ}C)$$

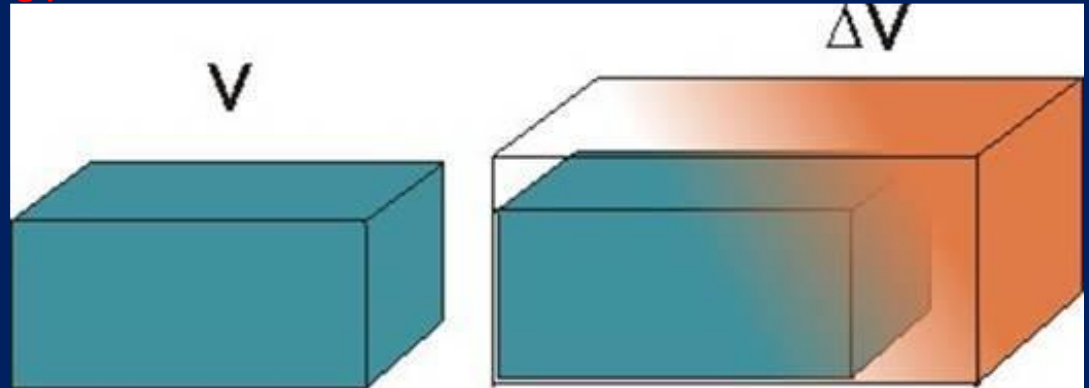
$$\rightarrow \alpha = (1/\Delta T).(\Delta L/L) \\ = \% \text{ επιμήκυνση ανά } ^{\circ}C$$

όπου α είναι ο συντελεστής γραμμικής διαστολής.

(όταν $L \gg$ από τις άλλες διαστάσεις της ράβδου, μπορούμε να θεωρήσουμε την ράβδο μονοδιάστατη).



Αν καμία από τις διαστάσεις δεν είναι πολύ μεγαλύτερη από τις υπόλοιπες τότε μπορούμε να αναφερθούμε σε κυβική διαστολή ή διαστολή όγκου.



Στις 3-διαστάσεις έχουμε διαστολή όγκου:

$$\Delta V = \beta V \Delta T, \beta \text{ σε } m^3/(m^3 \cdot ^\circ C) \rightarrow \beta: \% \text{ διόγκωση ανά } ^\circ C$$

όπου β , ο συντελεστής διαστολής όγκου. Ισχύει και στα υγρά.

Διαστολή: αύξηση της μέσης απόστασης μεταξύ ατόμων/μορίων του υλικού, λόγω μεγαλύτερης ταλάντωσης (θερμική κίνηση)

Συμμετρικές 3Δ δομές: $\beta = 3 \cdot \alpha$

Δεν ισχύει για μη συμμετρικές δομές (ανισότροπα στερεά)

Τιμές συντελεστών θερμικής διαστολής
γενικά εξαρτώνται από την θερμοκρασία



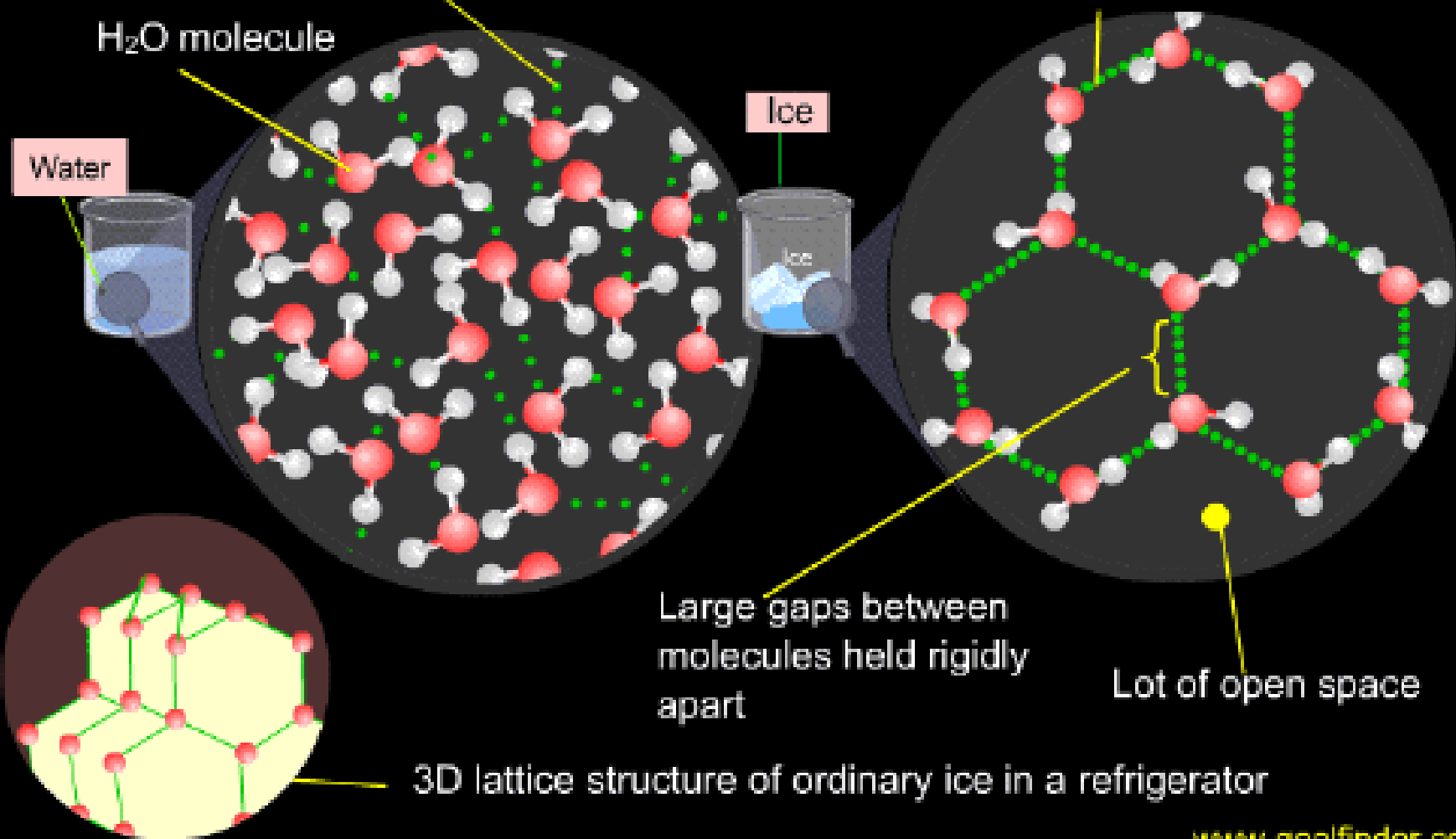
Thermal Expansion Coefficients at 20 C

Material	Fractional expansion per degree C x10 ⁻⁶	Fractional expansion per degree F x10 ⁻⁶
Glass, ordinary	9	5
Glass, pyrex	4	2.2
Quartz, fused	0.59	0.33
Aluminum	24	13
Brass	19	11
Copper	17	9.4
Iron	12	6.7
Steel	13	7.2
Platinum	9	5
Tungsten	4.3	2.4
Gold	14	7.8
Silver	18	10

Η διαστολή του νερού όταν ψύχεται κάτω από τους 4 °C

Loose hydrogen bonds between continuously moving H₂O molecules at 10 °C

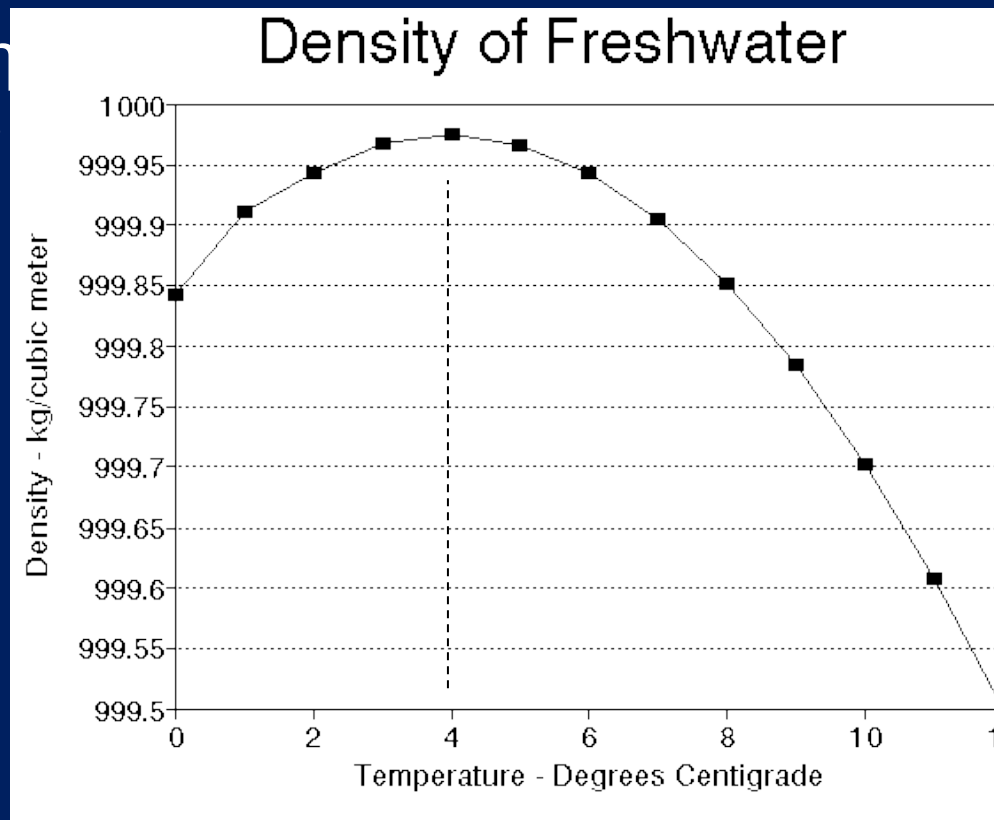
Strong stable hydrogen bonds between H₂O molecules at 0 °C, forming a rigid hexagonal crystal lattice structure



Το νερό αποτελεί μια εξαίρεση στον γενικό κανόνα διαστολής των υγρών με την αύξηση της θερμοκρασίας.

$T > 4 \text{ }^\circ\text{C}$ Αύξηση $T \rightarrow$
Διαστολή (μείωση πυκνότητας)

 $T < 4 \text{ }^\circ\text{C}$ Αύξηση $T \rightarrow$
Συστολή (αύξηση πυκνότητας)



Έτσι, η πυκνότητα του νερού είναι η μέγιστη στους $4 \text{ }^\circ\text{C}$ και όχι στους $0 \text{ }^\circ\text{C}$

Τον χειμώνα, για $T > 4 \text{ }^\circ\text{C}$, το κρύο νερό στην επιφάνεια μια λίμνης ή ενός ποταμού ψύχεται, η πυκνότητά του αυξάνεται και έτσι, βυθίζεται.

Για $T < 4 \text{ }^\circ\text{C}$, το κρύο νερό μένει στην επιφάνεια.

Έτσι, όταν η θερμοκρασία φθάσει και πέσει κάτω από τους $0 \text{ }^\circ\text{C}$ θα σχηματιστεί πάγος μόνο στην επιφάνεια του νερού, ο οποίος θα επιπλέει, αφού είναι λιγότερο πυκνός από το νερό.

Αυτό έχει σημαντικές συνέπειες για την υδρόβια ζωή.



Πυκνότητα του Νερού
Συναρτήσε
Της Θερμοκρασίας

