



# ΔΙΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

# ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

- Να μάθετε τους τρόπους με τους οποίους μεταφέρετε η θερμότητα.
- Να γνωρίζετε τους νόμους που διέπουν τον καθένα από αυτούς.
- Να τους συγκρίνετε και να εντοπίζετε τις ομοιότητες και τις διαφορές τους.
- Να μπορείτε να εξηγείτε το φαινόμενο του θερμοκηπίου.



# ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΣΗ ΣΤΙΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΩΝ ΒΙΒΛΙΩΝ

- Από το βιβλίο του J. Newman «Φυσική της Ζωής» την §12.7.
- Από το βιβλίο των Freedman/ Ruskell/ Kesten/ Tauck «Βασικές Αρχές Φυσικής στις Επιστήμες Υγείας» την §14.7.



# ΤΡΟΠΟΙ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ: ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ

- Είναι τρεις και σχηματικά φαίνονται στο σχήμα



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

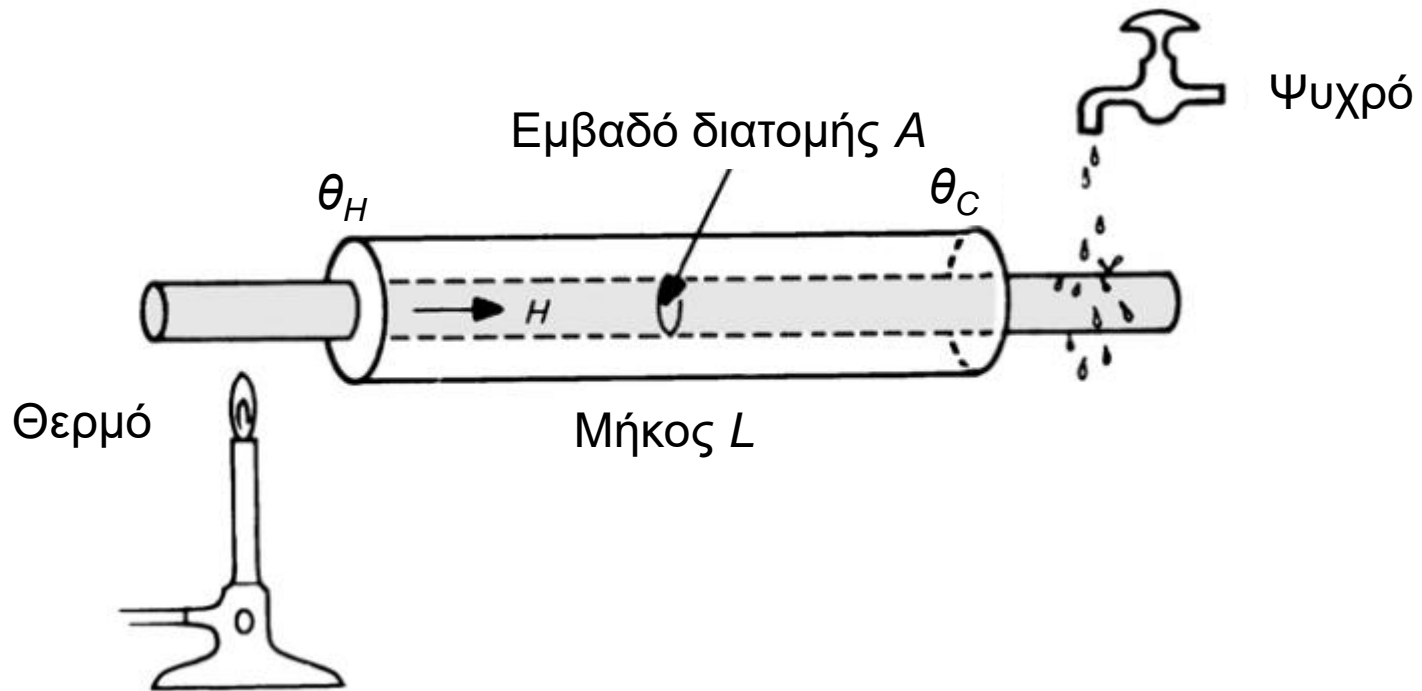
# ΑΓΩΓΗ (1<sup>Ο</sup>Σ ΤΡΟΠΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ)

# ΑΓΩΓΗ (1<sup>ΟΣ</sup> ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ)

- Έστω δύο σώματα που διατηρούνται με κάποιο μηχανισμό σε διαφορετικές θερμοκρασίες  $\theta_H > \theta_C$ .
- Τα σώματα συνδέονται με μια πρισματική μεταλλική ράβδο μήκους  $L$  και εμβαδού διατομής  $A$ .
- Υποθέτουμε ότι από την παράπλευρη επιφάνεια δεν μεταφέρεται θερμότητα.

# ΑΓΩΓΗ

## ○ Σχηματικά



# ΑΓΩΓΗ

- Μετά την *επίτευξη μιας σταθερής κατάστασης*, η θερμοκρασία δεν θα μεταβάλλεται με τον χρόνο, και η κατανομή της κατά μήκος της ράβδου θα παραμένει σταθερή.





# ΑΓΩΓΗ

- Σε αυτή τη σταθερή κατάσταση, ο ρυθμός μεταφοράς της θερμότητας υπολογίζεται από τη σχέση (Νόμος Fourier):

$$H = \frac{Q}{t} = k \cdot A \cdot \left( \frac{\theta_H - \theta_C}{L} \right)$$



# ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΑΓΩΓΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΑΤΟΜΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

- Η αγωγή θερμότητας γίνεται επειδή τα σωματίδια που βρίσκονται πιο κοντά στην πηγή υψηλής θερμοκρασίας έχουν υψηλότερη μέση κινητική ενέργεια την οποία σταδιακά μεταφέρουν στα γειτονικά τους σωματίδια.
- Ο όλος μηχανισμός υποβοηθείται από την παρουσία ελευθέρων ηλεκτρονίων. ●

## ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

- Ο ρυθμός αγωγής της θερμότητας:  
Α) Εξαρτάται από την εγκάρσια διατομή  $A$  της ράβδου ( $\uparrow A$  συνεπάγεται ταχύτερη διάδοση της θερμότητας, λόγω της αύξησης της περιοχής των συγκρούσεων των σωματιδίων και επομένως του ρυθμού μεταφοράς της ενέργειας).



## ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

- Ο ρυθμός αγωγής της θερμότητας:  
B) Εξαρτάται γραμμικά από τη θερμοβαθμίδα (μεταβολή της θερμοκρασίας κατά μήκος της ράβδου ανά μονάδα μήκους,  $\Delta T / \Delta L$ ) αφού *μεγαλύτερη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των άκρων της ράβδου ή βραχύτερη ράβδος έχουν ως αποτέλεσμα αύξηση του ρυθμού αγωγής θερμότητας.*



## ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

- Η θερμοβαθμίδα είναι εξαιρετικά σημαντικό μέγεθος καθώς δείχνει το ρυθμό μεταβολής της θερμοκρασίας καθώς κινούμαστε στο χώρο.
- Μοιάζει πάρα πολύ με το ρυθμό μεταβολής ενός μεγέθους με το χρόνο.



## ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

- Ο ρυθμός αγωγής της θερμότητας:  
Γ) Εξαρτάται τέλος από την εγγενή θερμική ιδιότητα του υλικού, γνωστή ως θερμική αγωγιμότητα  $k$  που έχει μονάδα το  $1 \text{ J}/(\text{s}\cdot\text{m}\cdot^\circ\text{C})$  ή  $1 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ .



# ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ

<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	$10 \times 10^{-4}$



## ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

- Η ποσότητα  $H = Q/t$  ονομάζεται θερμικό ρεύμα και είναι ουσιαστικά η μεταφερόμενη θερμική ισχύς.
- Έχει μονάδες  $\text{Joule/second} = \text{Watt}$ .





## ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ

- Τα μέταλλα είναι *καλοί αγωγοί της θερμότητας* για τον ίδιο λόγο που είναι καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού: έχουν μεγάλο πλήθος ελευθέρων ηλεκτρονίων που περιφέρονται στο εσωτερικό του μετάλλου και συγκρούονται με αποτελεσματικό τρόπο για τη μεταφορά ενέργειας.



# ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ

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



# ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ

- Ο ακίνητος 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.



# ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ

- Ο αέρας για να ενεργήσει καλά ως μονωτής, πρέπει είναι παγιδευμένος και ακίνητος, έτσι ώστε να μην διαδίδει θερμότητα με μεταφορά.



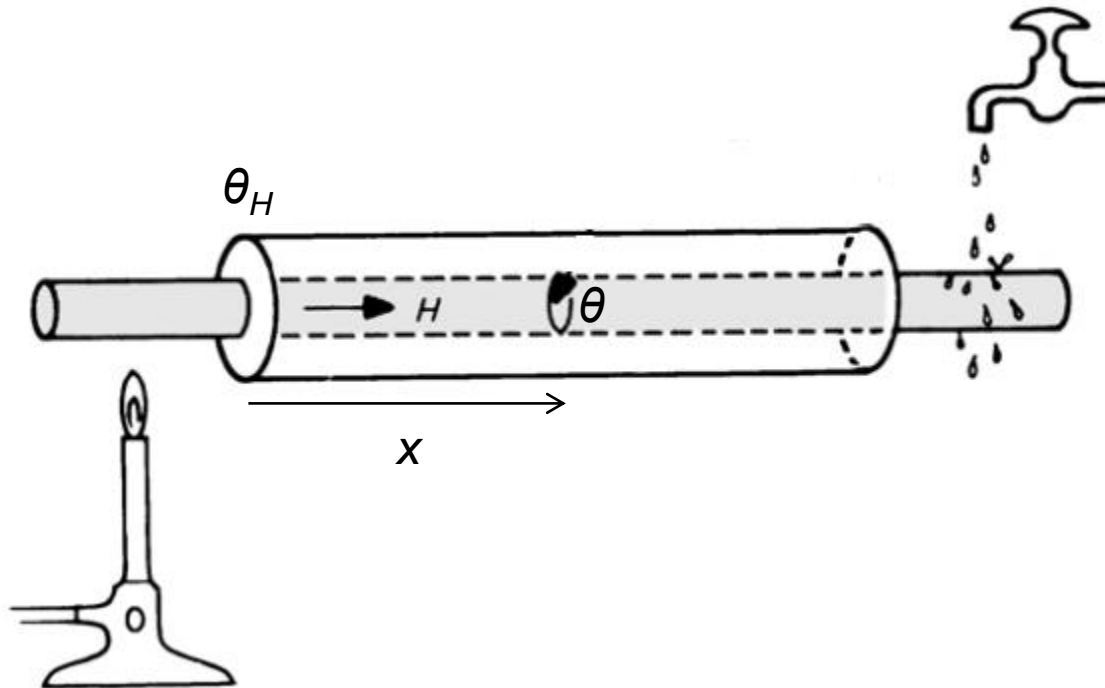
# ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΡΑΒΔΟΥ

- Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την αρχική σχέση προκειμένου να βρούμε την κατανομή της θερμοκρασίας κατά μήκος της ράβδου.
- Έστω ένα τυχαίο σημείο της ράβδου σε απόσταση  $x$  από την υψηλή θερμοκρασία. Σε αυτό το σημείο η ράβδος έχει θερμοκρασία  $\theta$ .



# ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΡΑΒΔΟΥ

## ο Σχηματικά



# ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΡΑΒΔΟΥ

○ Θα ισχύει:

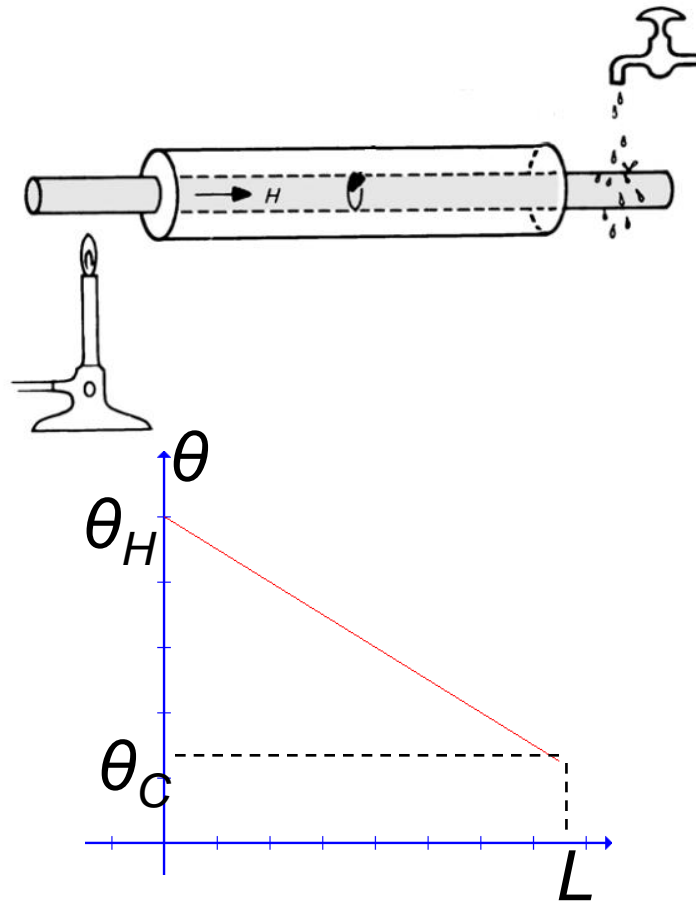
$$H = k \cdot A \cdot \left( \frac{\theta_H - \theta}{x} \right) \Rightarrow \frac{H \cdot x}{k \cdot A} = \theta_H - \theta \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \theta = \theta_H - \frac{H}{k \cdot A} \cdot x$$

○ Πρόκειται για μια γραμμική μείωση με την απόσταση κατά μήκος της ράβδου ●

# ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΡΑΒΔΟΥ

## ο Σχηματικά





# ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗ ΦΥΣΙΚΗ

- Ο νόμος της θερμικής αγωγιμότητας, ανήκει σε μια ευρύτερη οικογένεια νόμων που παριστάνουν σταθερή ροή ενός μεγέθους.
- Όλοι αυτοί οι νόμοι έχουν παρόμοια μαθηματική μορφή.




# ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗ ΦΥΣΙΚΗ

ΕΙΔΟΣ ΡΟΗΣ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΝΟΜΟΣ	ΑΙΤΙΟ
Φορτίο	Νόμος Ohm	$\frac{Q}{t} = \frac{A}{\rho} \cdot \left( \frac{V_+ - V_-}{L} \right)$	Διαφορά Δυναμικού
Θερμότητα	Νόμος Fourier	$\frac{Q}{t} = k \cdot A \cdot \left( \frac{\theta_H - \theta_C}{L} \right)$	Διαφορά θερμοκρασιών
Ρευστό	Νόμος Poiseuille	$\frac{V}{t} = \frac{\pi \cdot r^4}{8 \cdot \eta} \cdot \left( \frac{p_H - p_L}{L} \right)$	Διαφορά πιέσεων
Διάχυση	Νόμος Fick	$\frac{n}{t} = D \cdot A \cdot \left( \frac{n_H - n_L}{L} \right)$	Διαφορά συγκέντρωσης



# ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗ ΦΥΣΙΚΗ

- Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις υπάρχει κάποια ποσότητα που μεταφέρεται (φορτίο, θερμότητα, ρευστό, μόρια).
  - Για να υπάρχει η αντίστοιχη ροή θα πρέπει να υπάρχει η αντίστοιχη αιτία (διαφορά δυναμικού, διαφορά θερμοκρασίας, διαφορά πιέσεων, διαφορά συγκεντρώσεων).
- 

# ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗ ΦΥΣΙΚΗ

- Σε κάθε περίπτωση η ροή γίνεται από την υψηλότερη τιμή (δυναμικό, θερμοκρασία, πίεση συγκέντρωση) προς τη μικρότερη τιμή.
- Ο ρυθμός που ρέει το μέγεθος είναι ανάλογος με τη βαθμίδα της αιτίας που προκαλεί τη ροή.



# ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗ ΦΥΣΙΚΗ

- Πολλές φορές αποκαλούμε την ποσότητα  $\frac{L}{k \cdot A} = R$  θερμική αντίσταση.



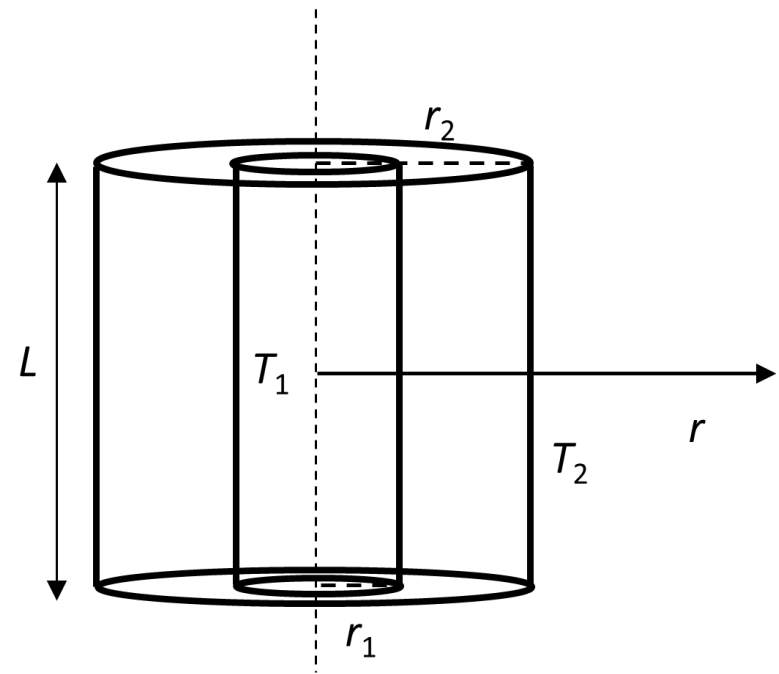
# ΑΓΩΓΗ – ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ

- Στην περίπτωση που διάδοση της θερμότητας γίνεται σε μια διάταξη με κυλινδρική γεωμετρία τότε υπάρχει καταλήγουμε σε διαφορετική σχέση για το θερμικό ρεύμα.



# ΑΓΩΓΗ – ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ

- Σε αυτή τη διάταξη ο εσωτερικός κύλινδρος ακτίνας  $r_1$  διατηρείται σε θερμοκρασία  $T_1$ , ενώ έξω από τον κύλινδρο  $r_2$  η θερμοκρασία είναι σταθερή και ίση με  $T_2$ .



## ΑΓΩΓΗ – ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ

- Στην περίπτωση αυτή, και στη σταθερή κατάσταση, το θερμικό ρεύμα δίνεται από τη σχέση:

$$H = \frac{Q}{t} = -k \cdot 2 \cdot \pi \cdot L \cdot \left( \frac{T_2 - T_1}{\ln(r_2/r_1)} \right)$$





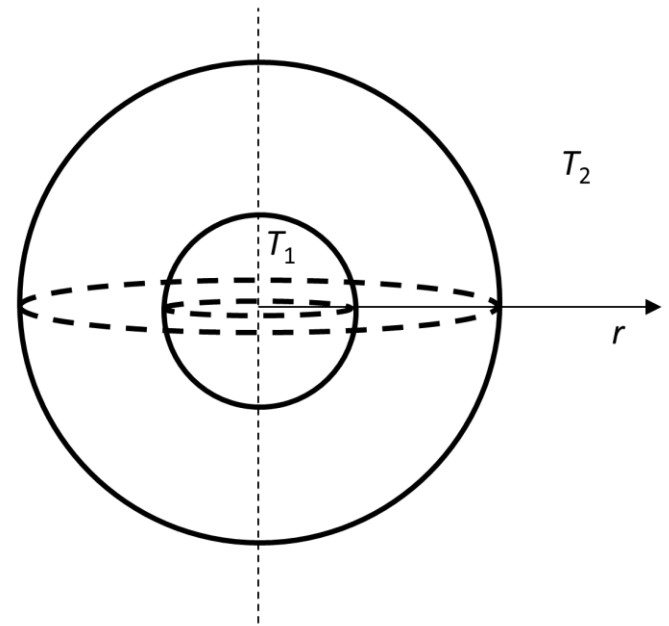
# ΑΓΩΓΗ – ΣΦΑΙΡΙΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ

- Στην περίπτωση που διάδοση της θερμότητας γίνεται σε μια διάταξη με σφαιρική γεωμετρία τότε και πάλι η σχέση που δίνει το θερμικό ρεύμα είναι διαφορετική.



# ΑΓΩΓΗ – ΣΦΑΙΡΙΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ

- Σε αυτή τη διάταξη η εσωτερική σφαίρα ακτίνας  $r_1$  διατηρείται σε θερμοκρασία  $T_1$ , ενώ έξω από τη σφαίρα ακτίνας  $r_2$  η θερμοκρασία είναι σταθερή και ίση με  $T_2$ .



## ΑΓΩΓΗ – ΣΦΑΙΡΙΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ

- Στην περίπτωση αυτή, και στη σταθερή κατάσταση, το θερμικό ρεύμα δίνεται από τη σχέση:

$$H = \frac{Q}{t} = 4 \cdot \pi \cdot k \cdot \left( \frac{r_1 r_2}{r_1 - r_2} \right) (T_2 - T_1)$$





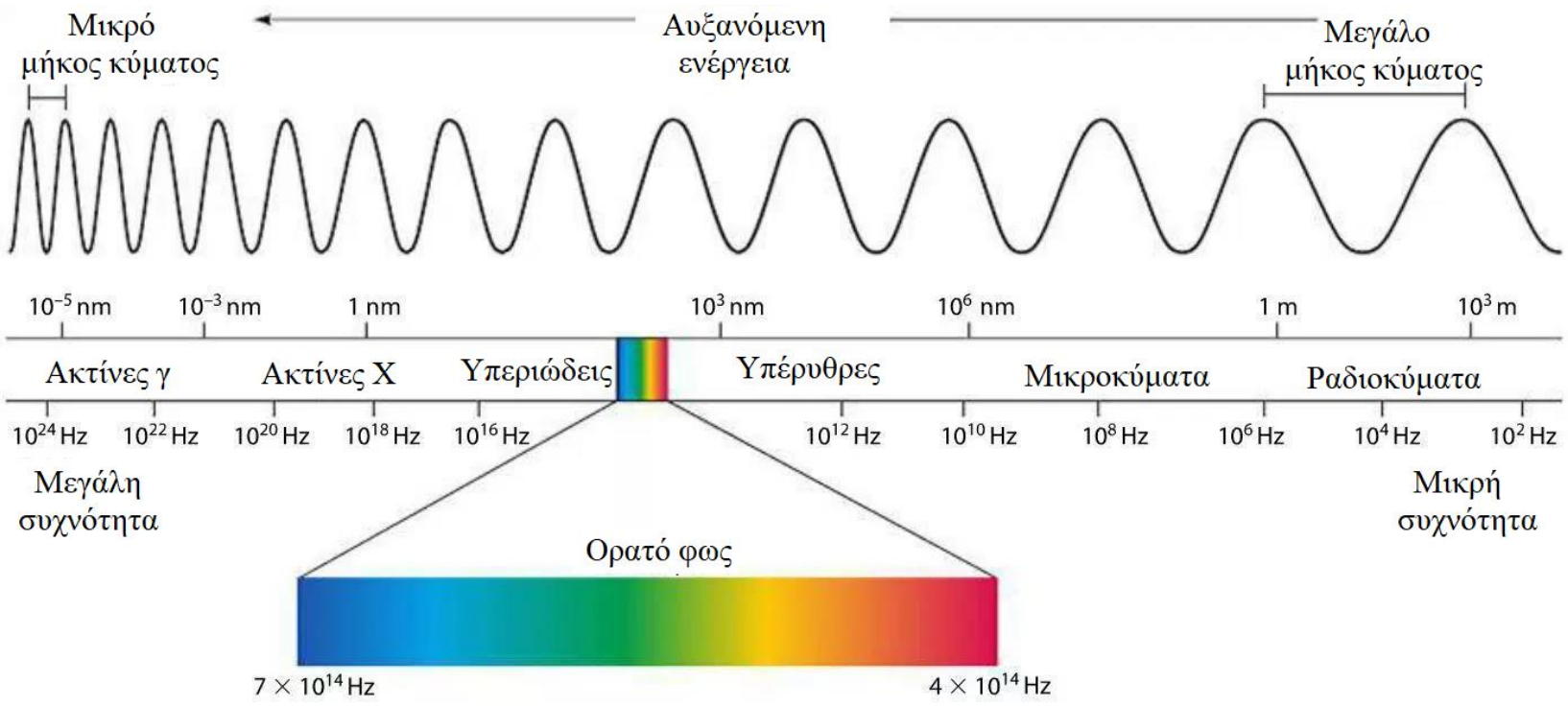
# ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ (2<sup>Ο</sup>Σ ΤΡΟΠΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ)

# ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ (2<sup>Ο</sup>Σ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ)

- Όλα τα σώματα σε  $T > 0$  K εκπέμπουν ενέργεια με τη μορφή Η/Μ ακτινοβολίας (φωτόνια).
- Πολύ θερμά σώματα εκπέμπουν ορατή ακτινοβολία, όπως π.χ. οι αντιστάσεις θέρμανσης μιας παλιάς τοστιέρας, τα κάρβουνα σε μια φωτιά, ο ήλιος.
- Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία χαρακτηρίζεται από το μήκος κύματός ( $\lambda$ ) ή τη συχνότητά της ( $f$ ).

# ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ

## ○ Σχηματικά



# ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ (2<sup>ΟΣ</sup> ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ)

- Θεωρητικά κάθε σώμα εκπέμπει όλες αυτές τις ακτινοβολίες, αλλά η ποσότητα της ενέργειας που εκπέμπεται σε κάθε μήκος κύματος εξαρτάται από τη θερμοκρασία του σώματος.
- Το 1900 ο M. Planck μετά από πολλές αποτυχημένες προσπάθειες προσδιόρισε τη συνάρτηση  $J(f, T)$  που αναπαρήγαγε πιστότερα τα πειραματικά δεδομένα και είναι η

$$J(f, T) = \frac{2 \cdot \pi \cdot h \cdot f^3}{c^2} \cdot \left( \frac{1}{e^{h \cdot f / k \cdot T} - 1} \right)$$



# ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΜΕΛΑΝΟΣ ΣΩΜΑΤΟΣ

$$J(f, T) = \frac{2 \cdot \pi \cdot h \cdot f^3}{c^2} \cdot \left( \frac{1}{e^{h \cdot f / k \cdot T} - 1} \right)$$

- Όπου  $J(f, T)$  η ενέργεια της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας ανά μονάδα συχνότητας και ανά μονάδα χρόνου και επιφάνειας,  $f$  η συχνότητα της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας,  $T$  η απόλυτη θερμοκρασία του σώματος,  $h$  μια σταθερά που εισήγαγε ο Planck,  $c$  η ταχύτητα του φωτός και  $k$  η σταθερά Boltzmann.





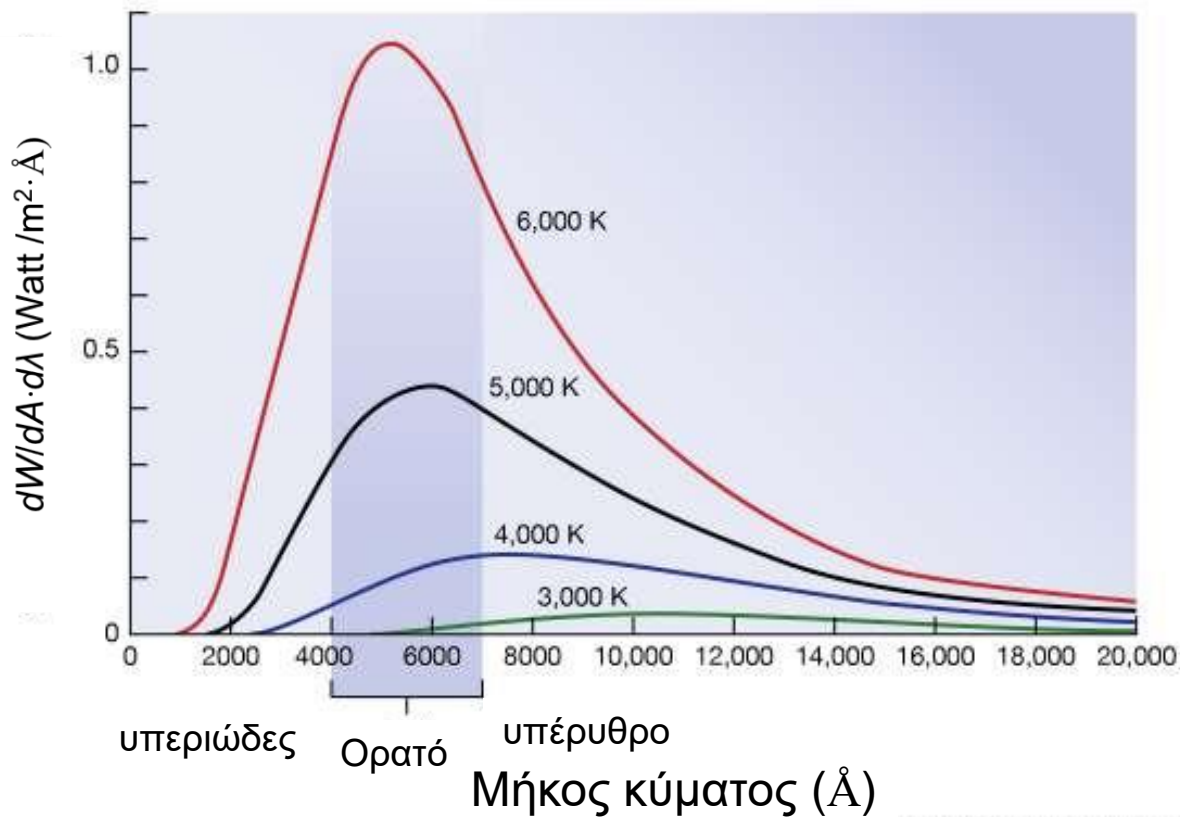
# ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΜΕΛΑΝΟΣ ΣΩΜΑΤΟΣ

- Δεν θα μας χρειαστεί η προηγούμενη εξίσωση που απέδειξε ο Planck αλλά μόνο η γραφική της παράσταση η οποία φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



# ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΜΕΛΑΝΟΣ ΣΩΜΑΤΟΣ

- Η κατανομή της ακτινοβολίας στα διάφορα μήκη κύματος.



# ΝΟΜΟΣ STEFAN-BOLTZAMANN

- Η συνολική ισχύς ή θερμικό ρεύμα (ενέργεια ανά μονάδα χρόνου) που εκπέμπεται από όλη την επιφάνεια ( $A$ ) του μέλανος σώματος που διατηρείται σε σταθερή απόλυτη θερμοκρασία ( $T$ ) δίνεται από τη σχέση:

$$H = \sigma \cdot A \cdot T^4$$

όπου  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$  η σταθερά Stefan-Boltzmann.

# ΝΟΜΟΣ STEFAN-BOLTZAMANN

- Για πραγματικά σώματα που εκπέμπουν ακτινοβολία ο νόμος των Stefan, Boltzmann τροποποιείται ως εξής:

$$H = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4$$

όπου  $\varepsilon$  ο συντελεστής εκπομπής που είναι αδιάστατος αριθμός και ίσος με 1 για το μέλαν σώμα.



# ΝΟΜΟΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ WIEN

- Το μήκος κύματος στο οποίο εμφανίζεται η μέγιστη ένταση εκπομπής από το μέλαν σώμα είναι αντιστρόφως ανάλογο της θερμοκρασίας:

$$\lambda_{max} \cdot T = 2,989 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$$



# ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

- Τα σώματα πρέπει να φτάσουν σε μια θερμοκρασία περίπου 1000 K ώστε να εκπέμψουν μια ορατή κόκκινη λάμψη που οφείλεται στην εκπομπή φωτονίων συγκεκριμένης ενέργειας που οι άνθρωποι αντιλαμβανόμαστε και ορίζουμε ως κόκκινο φως.



# ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

- Σε υψηλότερες θερμοκρασίες εκπέμπονται φωτόνια με περισσότερη ενέργεια και μέχρι τη θερμοκρασία περίπου  $1.700\text{ K}$  τα σώματα εκπέμπουν λευκό φως, που προκύπτει από τη μίξη φωτονίων με ενέργειες που αντιστοιχούν σε όλα τα χρώματα.



# ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

- Σώματα που η θερμοκρασία τους ξεπερνά και αυτό το όριο, όπως ο ήλιος, εκπέμπουν και υπεριώδη ακτινοβολία, στην οποία οφείλονται τα ηλιακά εγκαύματα.





# ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

- Τα σώματα που έχουν θερμοκρασία κάτω από 1000 K, ακόμα και στη θερμοκρασία περιβάλλοντος, εκπέμπουν υπέρυθρη ακτινοβολία που δεν μπορεί να γίνει αντιληπτή από τα μάτια μας, αφού είναι έξω από την περιοχή του ορατού φάσματος ακτινοβολίας.



# ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΟΥΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

- Κάθε σώμα εκτός από το να ακτινοβολεί ενέργεια απορροφά ενέργεια που ακτινοβολείται από τα γύρω του σώματα.



# ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΟΥΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

○ Έτσι, αν ένα σώμα έχει θερμοκρασία  $T_2$  και βρίσκεται εντός ενός δωματίου που επικρατεί θερμοκρασία  $T_1$ , τότε συμβαίνουν δύο διεργασίες:

A) Το σώμα εκπέμπει ενέργεια με ρυθμό  $H_{\text{εκπεμπόμενη}} = \sigma \cdot A \cdot T_2^4$

B) Το σώμα απορροφά ενέργεια με ρυθμό  $H_{\text{απορροφούμενη}} = \sigma \cdot A \cdot T_1^4$



# ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΟΥΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

- Αυτό σημαίνει ότι το καθαρό θερμικό ρεύμα θα είναι:

$$H_{ολικό} = H_{εκπεμπόμενη} - H_{απορροφούμενη}$$

$$= \sigma \cdot A \cdot T_2^4 - \sigma \cdot A \cdot T_1^4 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow H_{ολικό} = \sigma \cdot A \cdot (T_2^4 - T_1^4)$$



## ΜΙΑ ΕΙΔΙΚΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ

- Στην περίπτωση που  $T_2 = T_1 + \Delta T$  με  $\Delta T \ll T_2, T_1$  ισχύει η προσεγγιστική σχέση:

$$H_{ολικό} = 4 \cdot \sigma \cdot A \cdot T^3 \cdot \Delta T$$

όπου  $T \approx T_1 \approx T_2$ .



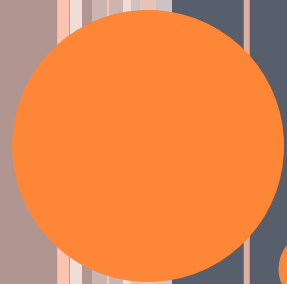
## ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ

- Πρόκειται για μια τεχνική που ανιχνεύει τη διαφορά του εκπεμπόμενου θερμικού ρεύματος από ένα σώμα την οποία αποδίδει σε διαφορά θερμοκρασιών.



# ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ



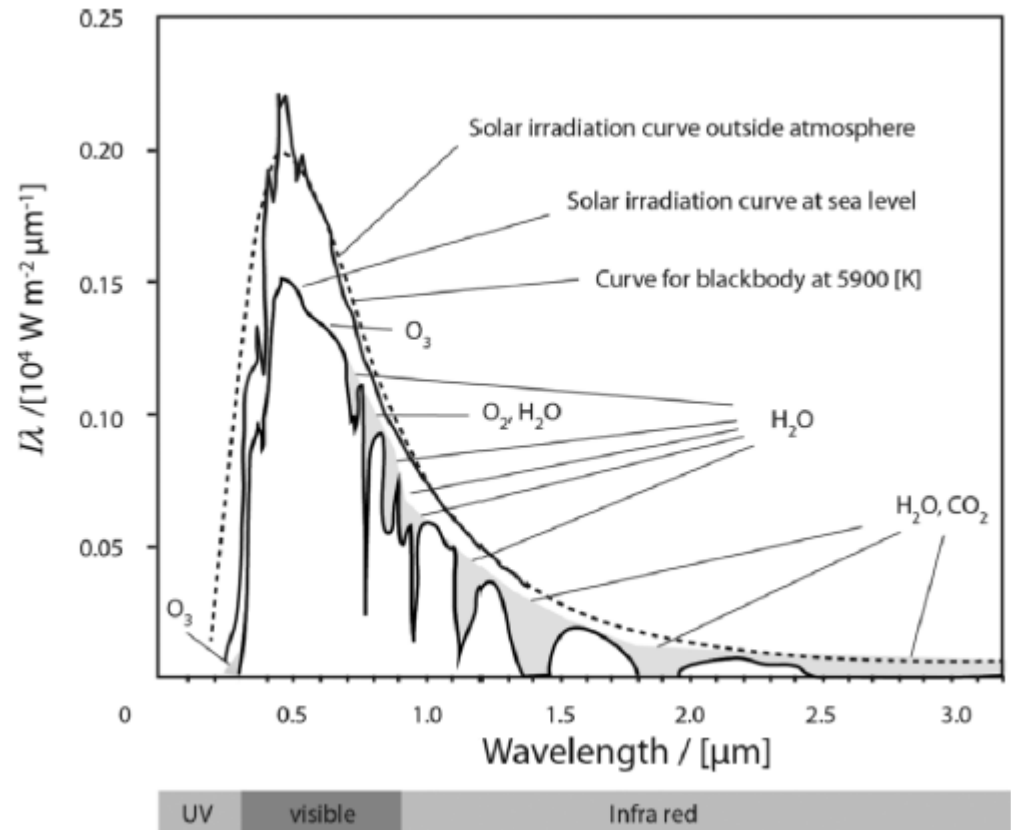


# ΤΡΥΠΑ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ



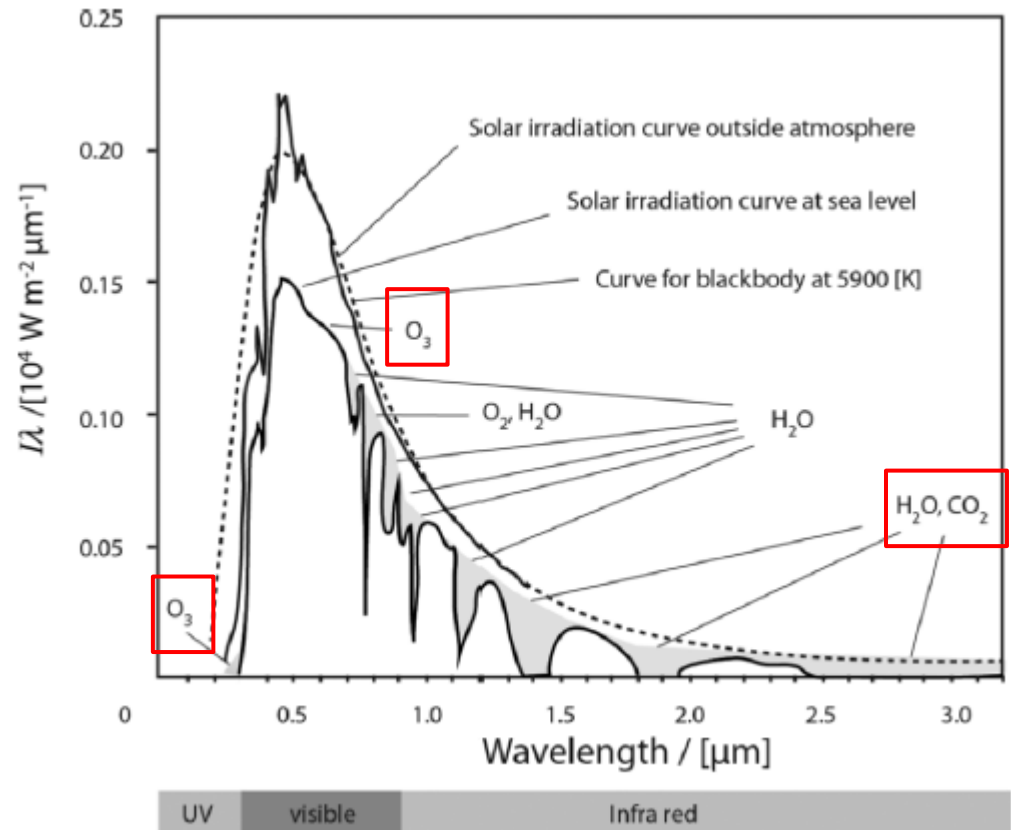
# ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

- Η ακτινοβολία που εκπέμπει ο Ήλιος, στα όρια της ατμόσφαιρας και στην επιφάνεια της Γης, μαζί με τη θεωρητική καμπύλη για την ακτινοβολία μέλανος σώματος στη θερμοκρασία των 5900 K.



# ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

- Παρατηρείτε η ισχυρή απορρόφηση από το  $O_3$  της υπεριώδους ακτινοβολίας, και η απορρόφηση από το  $CO_2$  και το  $H_2O$  της υπέρυθρης ακτινοβολίας.



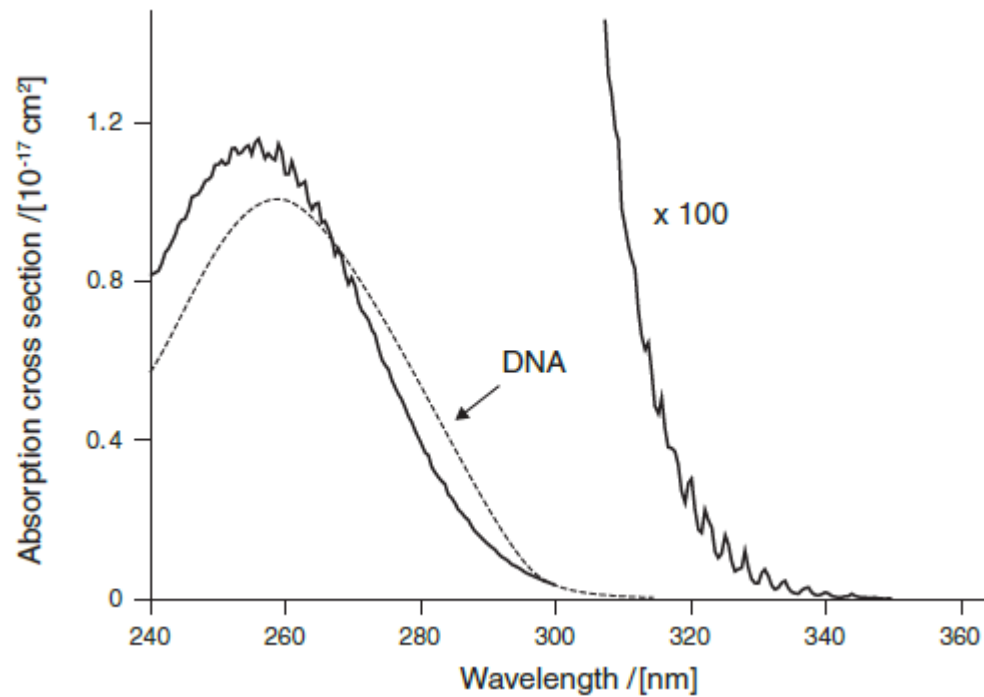
# ΤΟ ΣΤΡΩΜΑ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ

- Το όζον σχηματίζει ένα εξαιρετικά λεπτό στρώμα στην στρατόσφαιρα που απορροφά την υπεριώδη ακτινοβολία.



# ΤΟ ΣΤΡΩΜΑ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ

## ○ Απορροφή





# ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

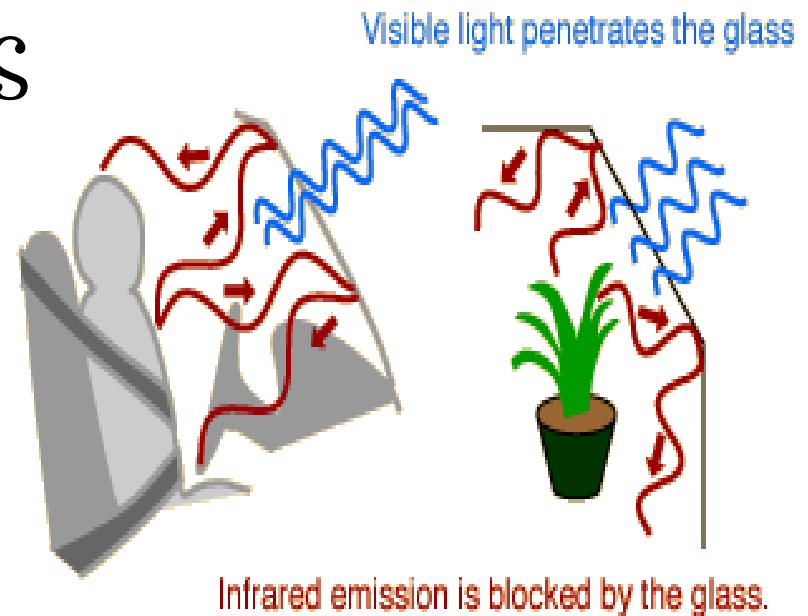
# ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

- Το ορατό φως περνά το γυαλί του θερμοκηπίου και θερμαίνει το έδαφος.
- Το έδαφος εκπέμπει υπέρυθρη ακτινοβολία.
- Η υπέρυθρη ακτινοβολία δεν μπορεί να διαπεράσει το γυαλί.



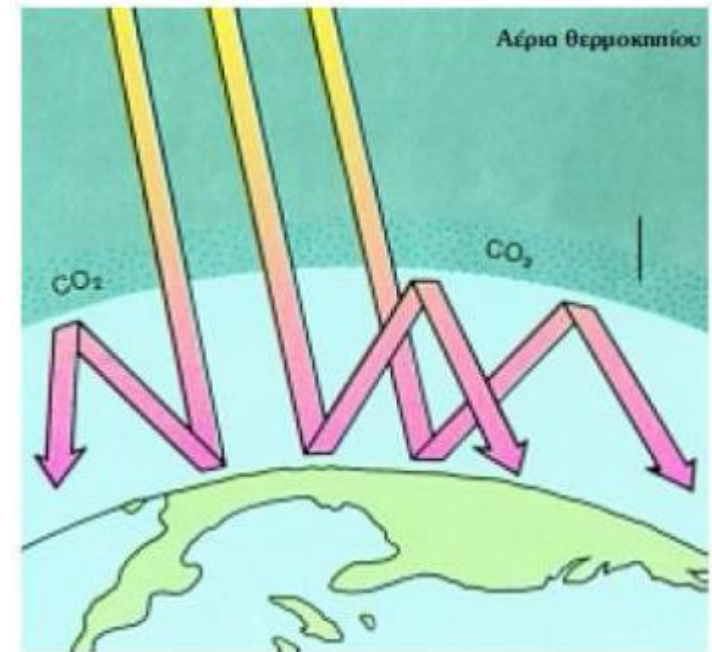
# ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

- Το αποτέλεσμα είναι η αύξηση της θερμοκρασίας μέσα στο θερμοκήπιο.



# ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

- Το ίδιο συμβαίνει με την ατμόσφαιρα της Γης μόνο που το ρόλο του γυαλιού τον παίζουν τα ονομαζόμενα θερμοκηπιακά αέρια ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ).





## ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

- Η παρουσία των αερίων αυτών δεν είναι απαραίτητως αρνητική, αφού αν δεν υπήρχαν εκτιμάται ότι η μέση θερμοκρασία της Γης θα ήταν κοντά στους  $-20^{\circ}\text{C}$ .
- Το πρόβλημα παρουσιάζεται όταν η συγκέντρωση αυτών των αερίων αυξάνεται.



## ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

- Οι H. Suess και R. Revelle ήταν από τους πρώτους, που το 1957, διαπίστωσαν την αύξηση του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα.



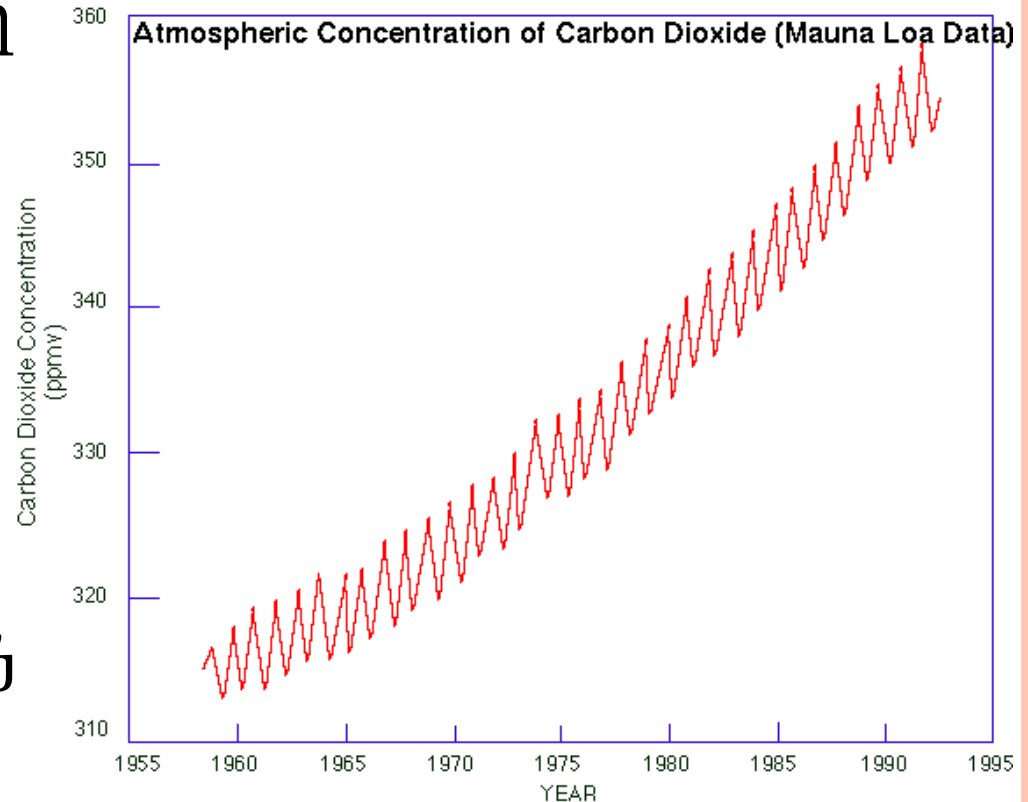
# ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

- Σε ένα άρθρο που έγραψαν την εποχή εκείνη αναφέρουν: *«human beings are now carrying out a large scale geophysical experiment of a kind that could not have happened in the past nor be reproduced in the future. Within a few centuries we are returning to the atmosphere and oceans the concentrated organic carbon stored in sedimentary rocks over hundreds of million of years. This experiment, if adequately documented, may yield a far reaching insight into the processes determining weather and climate.»*



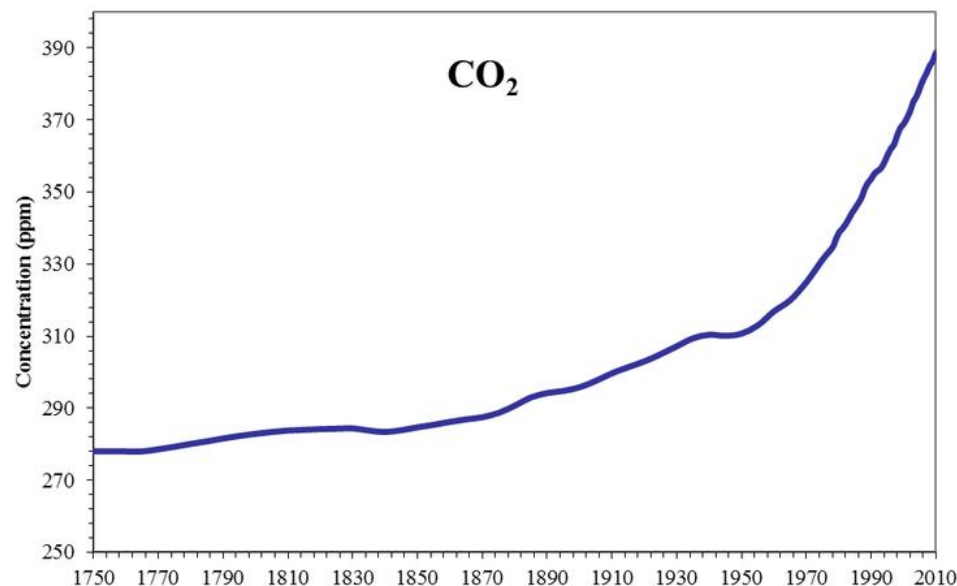
# ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

- Από τότε η αύξηση της συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα θεμελιώθηκε με περαιτέρω μετρήσεις όπως αυτή του διπλανού διαγράμματος που οφείλεται στον D. Keeling.




# ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

- Κατάφεραν επίσης να μετρήσουν την περιεκτικότητα σε CO<sub>2</sub> σε παλαιότερες εποχές αναλύοντας τον αέρα που παγιδεύεται μέσα στους πάγους.

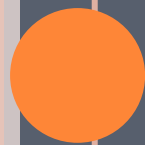
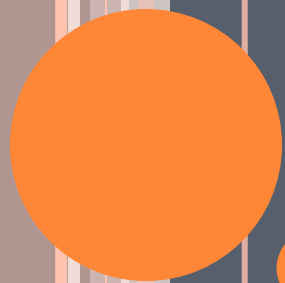


# ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

- Εξαιτίας του φαινομένου του θερμοκηπίου περιμένουμε μια αύξηση της μέσης θερμοκρασίας στη Γη.
- Το ερώτημα είναι πόσο, και για να απαντηθεί δημιουργούνται υπολογιστικά μοντέλα τα οποία είναι εξαιρετικά πολύπλοκα, αλλά και ευαίσθητα σε διάφορες υποθέσεις. 

# ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ



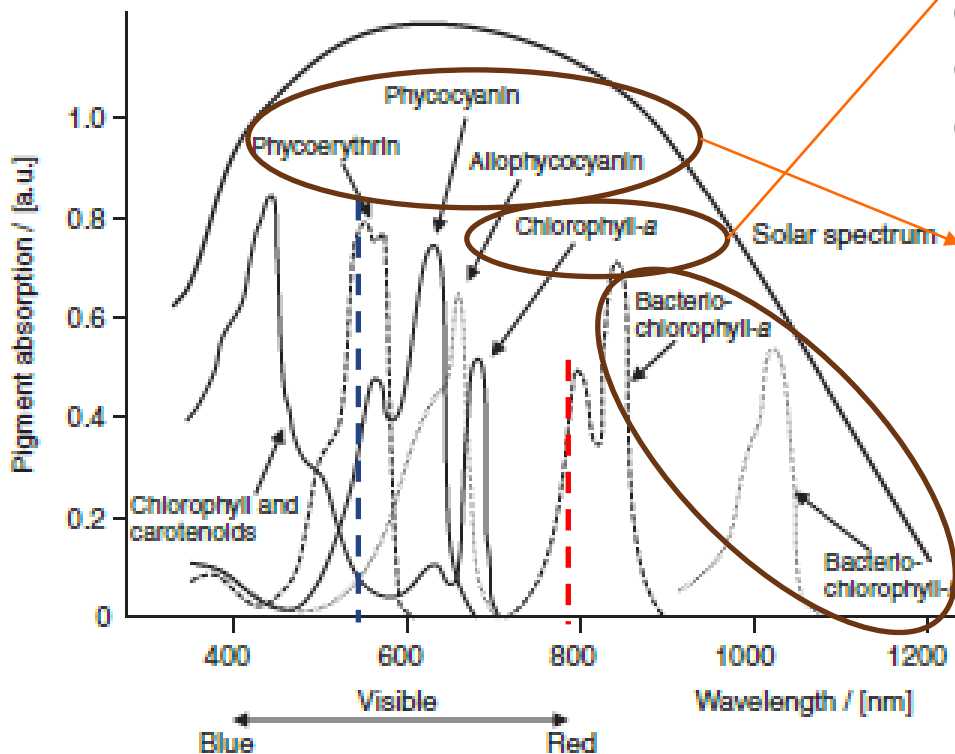


# ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ



# ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ


- Η ακτινοβολία που εκπέμπει ο Ήλιος, απορροφάται από διάφορες χρωστικές που υπάρχουν στα φυτά.



**ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗ:** Η χρωστική στα ανώτερα φυτά που είναι υπεύθυνη για τη φωτοσύνθεση. Παρουσιάζει μέγιστα απορρόφησης στο **μπλε** και κοντά στο **κόκκινο** (γι' αυτό είναι πράσινη)

**ΦΥΚΟΕΡΥΘΡΙΝΗ, ΦΥΚΟΚΥΑΝΙΝΗ, ΑΛΛΟΦΥΚΟΚΥΑΝΙΝΗ:** Πρόκειται για τις χρωστικές με τις οποίες φωτοσυνθέτουν τα κυανοβακτήρια, που ζουν στους ωκεανούς.

**ΒΑΚΤΗΡΙΧΛΩΡΟΦΥΛΛΕΣ:** Χρωστικές που επιτελούν φωτοσύνθεση με υπέρυθη ακτινοβολία

A decorative vertical bar on the left side of the slide, featuring a gradient from light orange to dark blue. It contains several orange circles of varying sizes, with the largest one at the top left and smaller ones below it. The text is centered on the right side of the slide.

**ΜΕ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΑΖΑΣ  
(3<sup>ΟΣ</sup> ΤΡΟΠΟΣ  
ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ)**

## ΔΙΑΔΟΣΗ ΜΕ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΑΖΑΣ (3<sup>Ο</sup>Σ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ)

- Σε αυτόν η θερμότητα μεταφέρεται κάθε φορά που μεταφέρονται θερμές μάζες από μια περιοχή σε μια άλλη.
- Η μεταφορά μπορεί να γίνεται με φυσικό τρόπο (διαφορές πυκνότητας) ή εξαναγκασμένα.

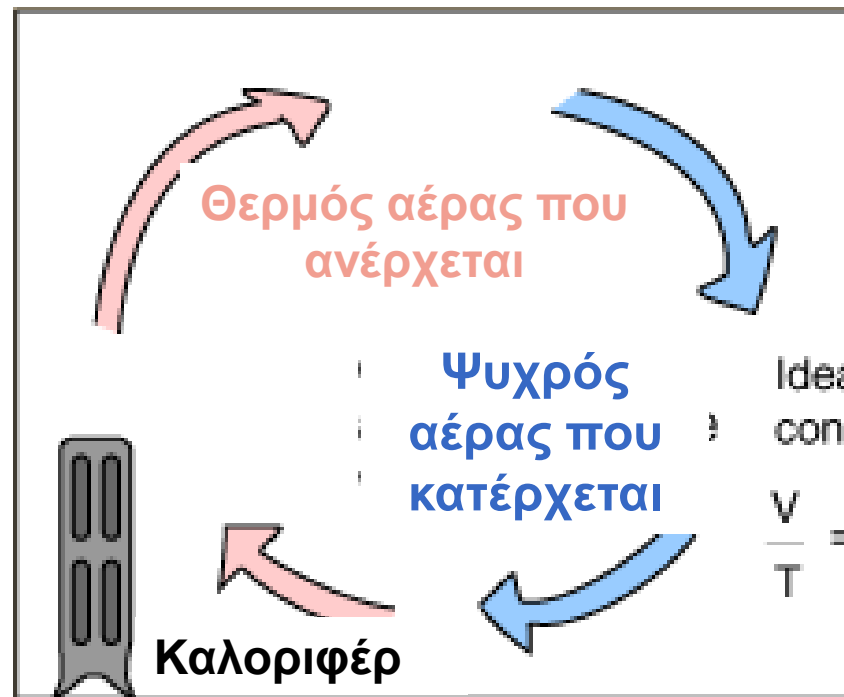


# ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ: ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΔΩΜΑΤΙΟΥ

Ο αέρας  
θερμαίνεται ( $\theta \uparrow$ )

↓  
 $V \uparrow$   
↓  
 $\rho \downarrow$

Ο θερμός αέρας  
έχει μικρότερη  
πυκνότητα και  
ανεβαίνει



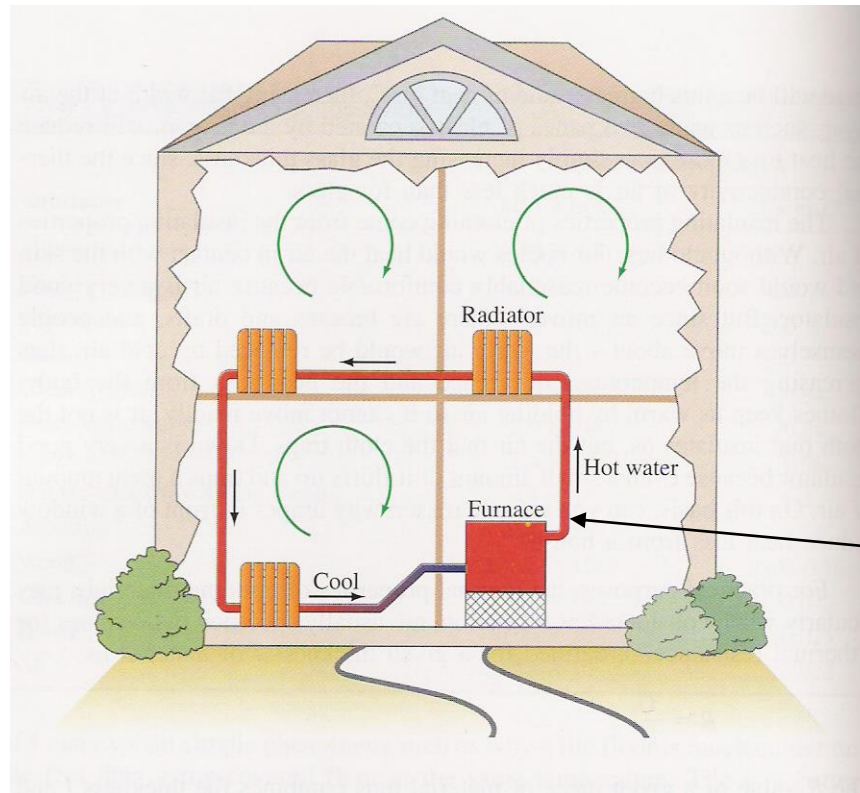
Ideal gas law for  
constant pressure

$$\frac{V}{T} = \frac{nR}{P} = \text{constant}$$

Φυσική Μεταφορά στον αέρα



# ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ: ΚΑΛΟΡΙΦΕΡ

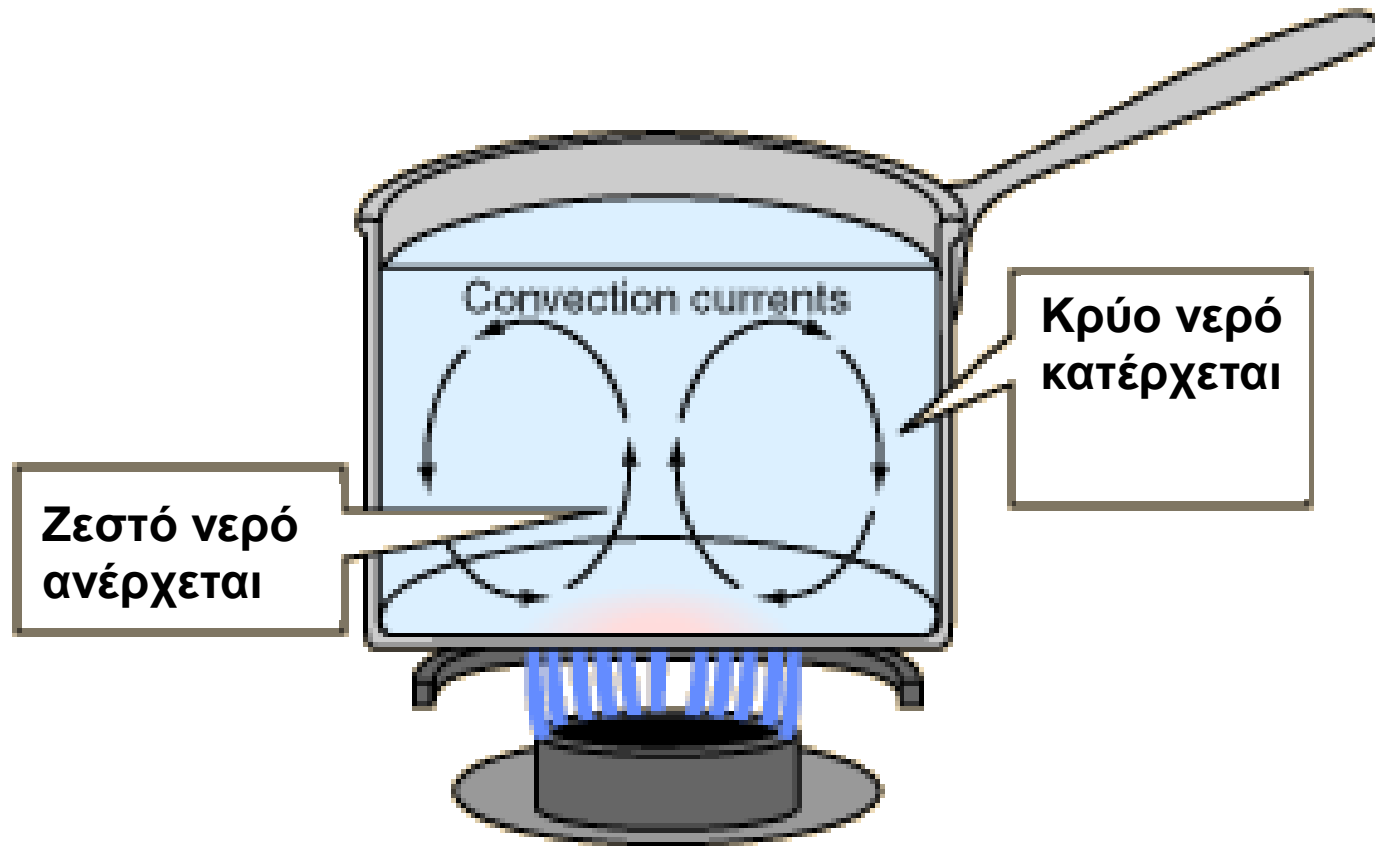


**Αντλία  
κυκλοφορητής**

**Εξαναγκασμένη Μεταφορά**



# ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ: ΝΕΡΟ ΠΟΥ ΒΡΑΖΕΙ

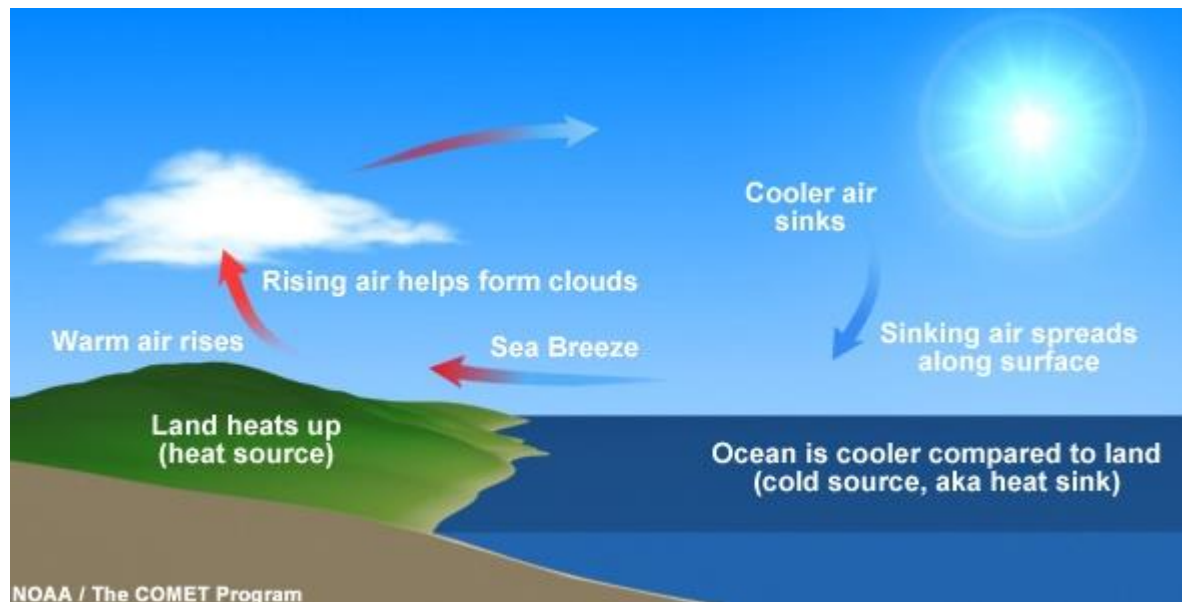


**Φυσική Μεταφορά σε υγρό**



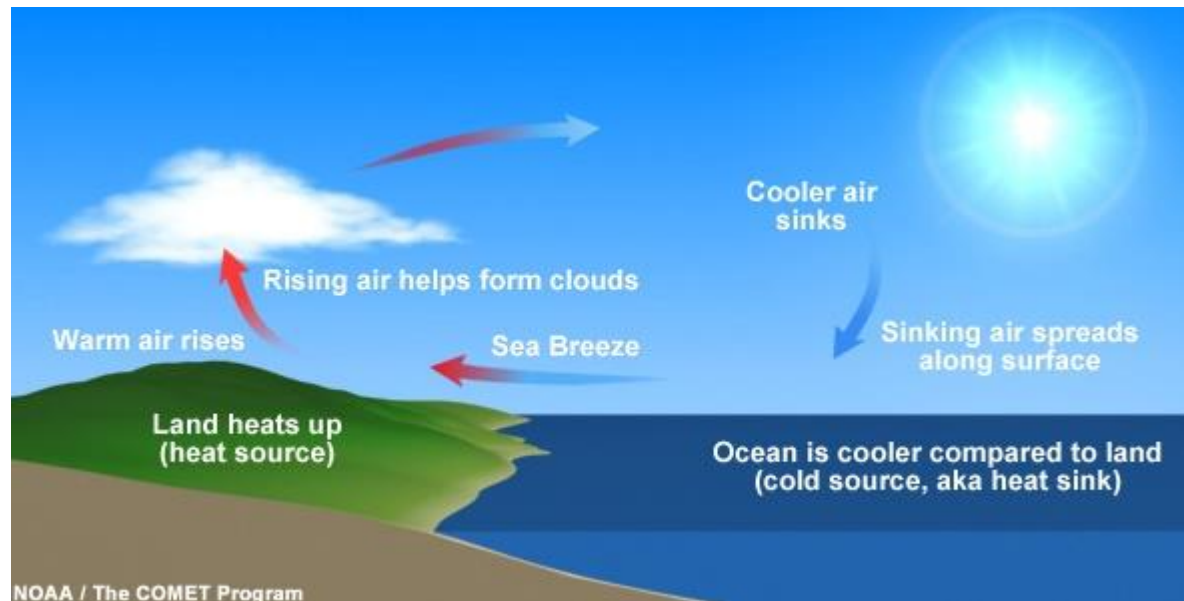
# ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ: ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΑΥΡΑ

- Εμφανίζεται τις θερμές καλοκαιρινές ημέρες όταν η θερμοκρασία της στεριάς είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία της θάλασσας.



# ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ: ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΑΥΡΑ

- Ο θερμός αέρας πάνω από τη στεριά διαστέλλεται και ανέρχεται → το κενό καλύπτεται από ψυχρότερο αέρα που φυσά από τη θάλασσα → ο αέρας πάνω από τη θάλασσα αντικαθίσταται από άλλο αέρα που κατεβαίνει από τα ανώτερα στρώματα.





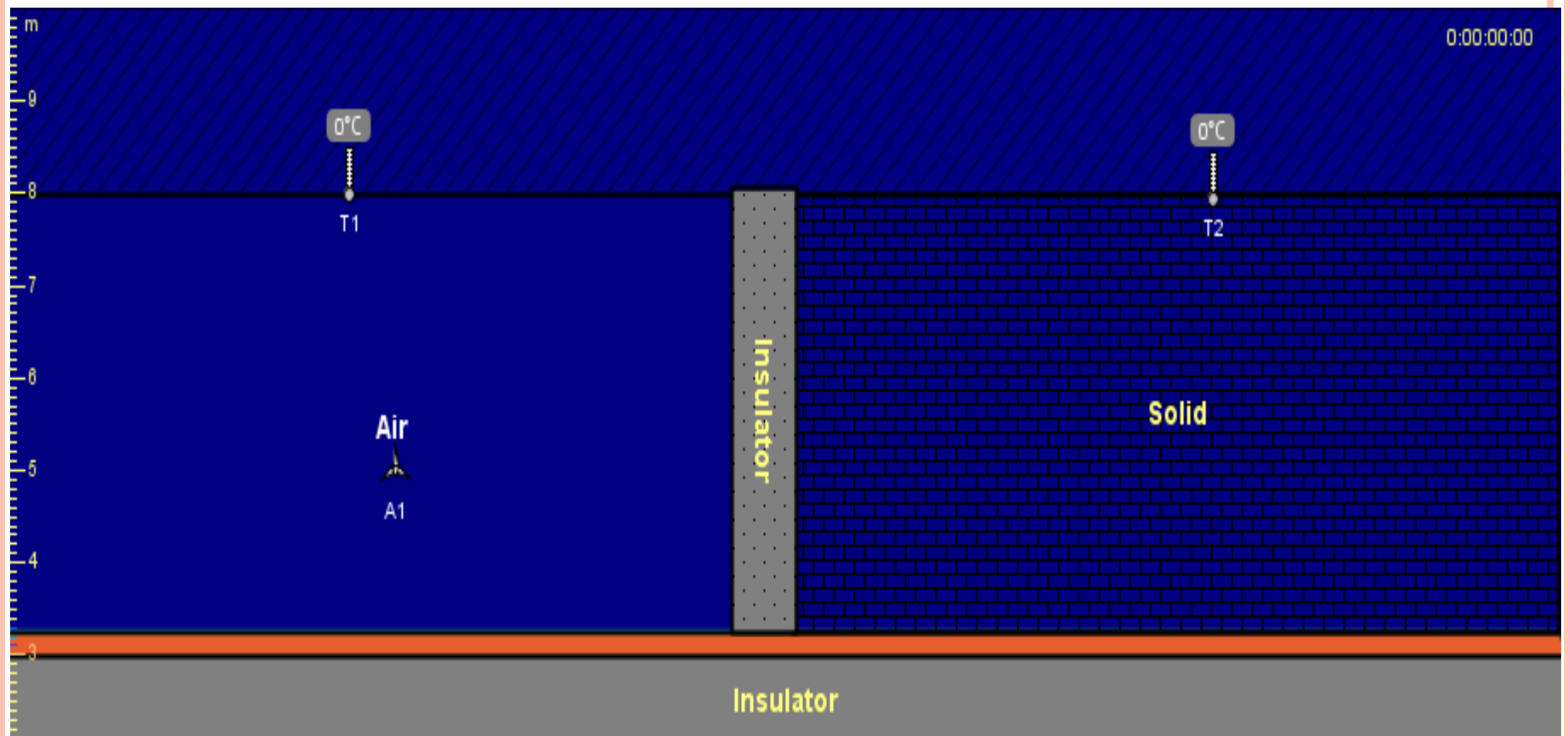
# ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ: ΑΠΟΓΕΙΟΣ ΛΥΡΑ

- Εμφανίζεται τις θερμές καλοκαιρινές νύκτες όταν η θερμοκρασία της στεριάς είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία της θάλασσας.



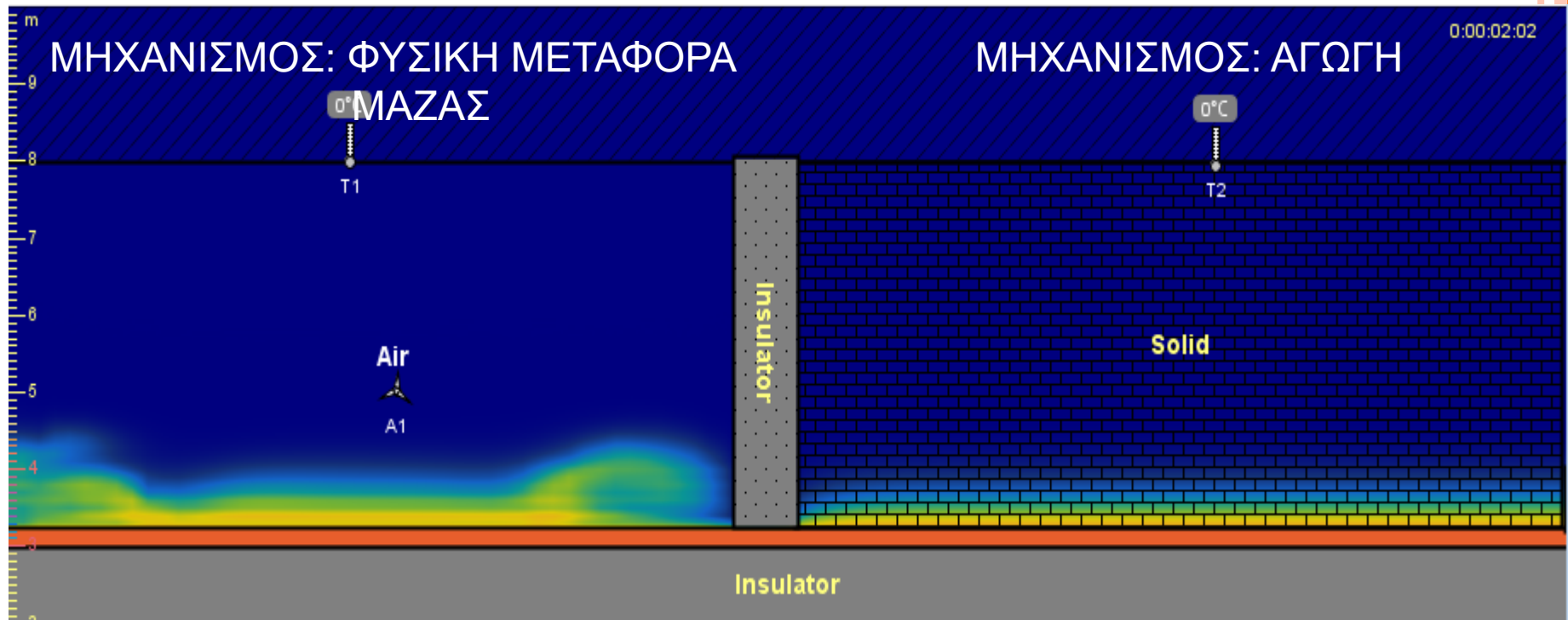
# ΜΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ (ΦΥΣΙΚΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ & ΑΓΩΓΗ)

## ○ Αρχικά



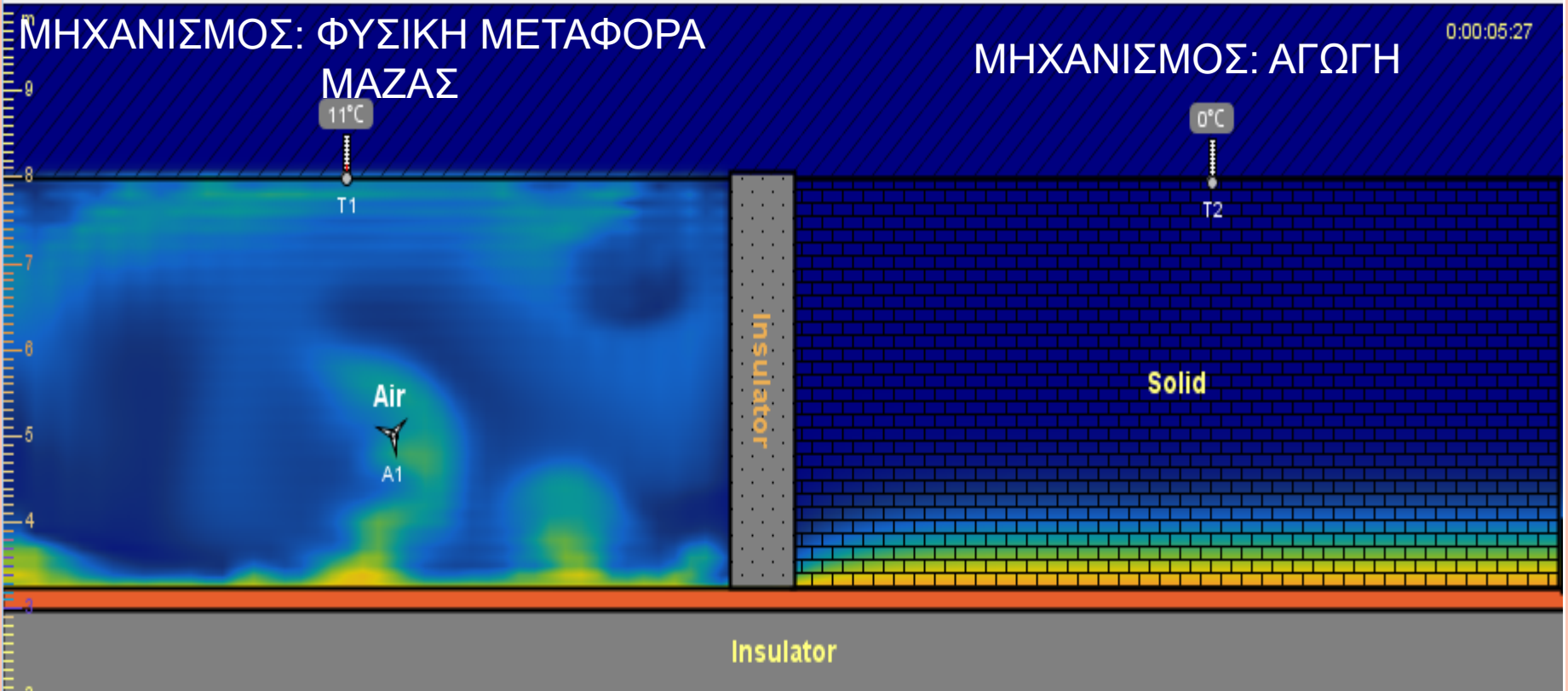
# ΜΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ (ΦΥΣΙΚΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ & ΑΓΩΓΗ)

- Το δάπεδο είναι θερμό και αρχίζει η διάδοση και με τους δύο τρόπους.



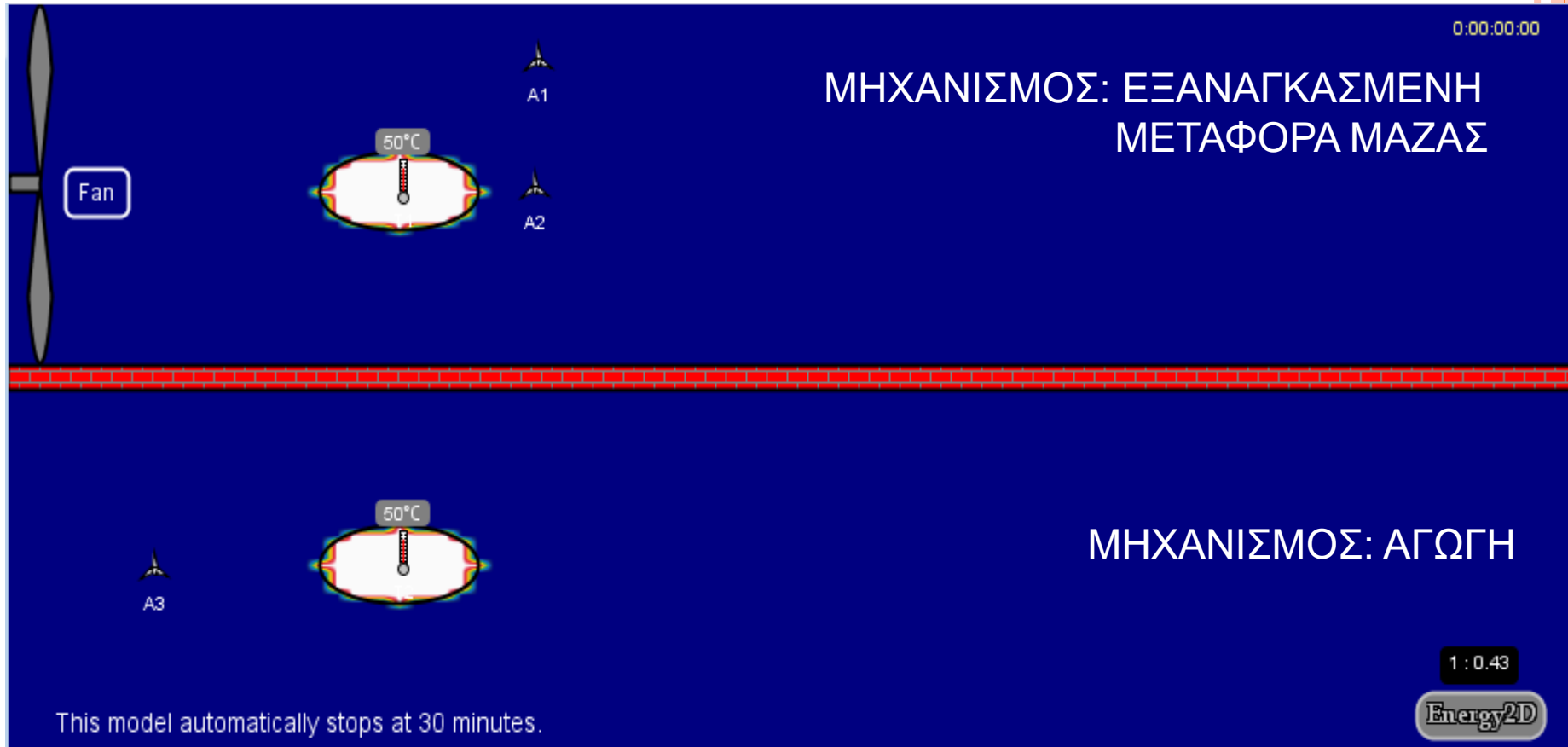
# ΜΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ (ΦΥΣΙΚΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ & ΑΓΩΓΗ)

- Μετά από αρκετό χρόνο



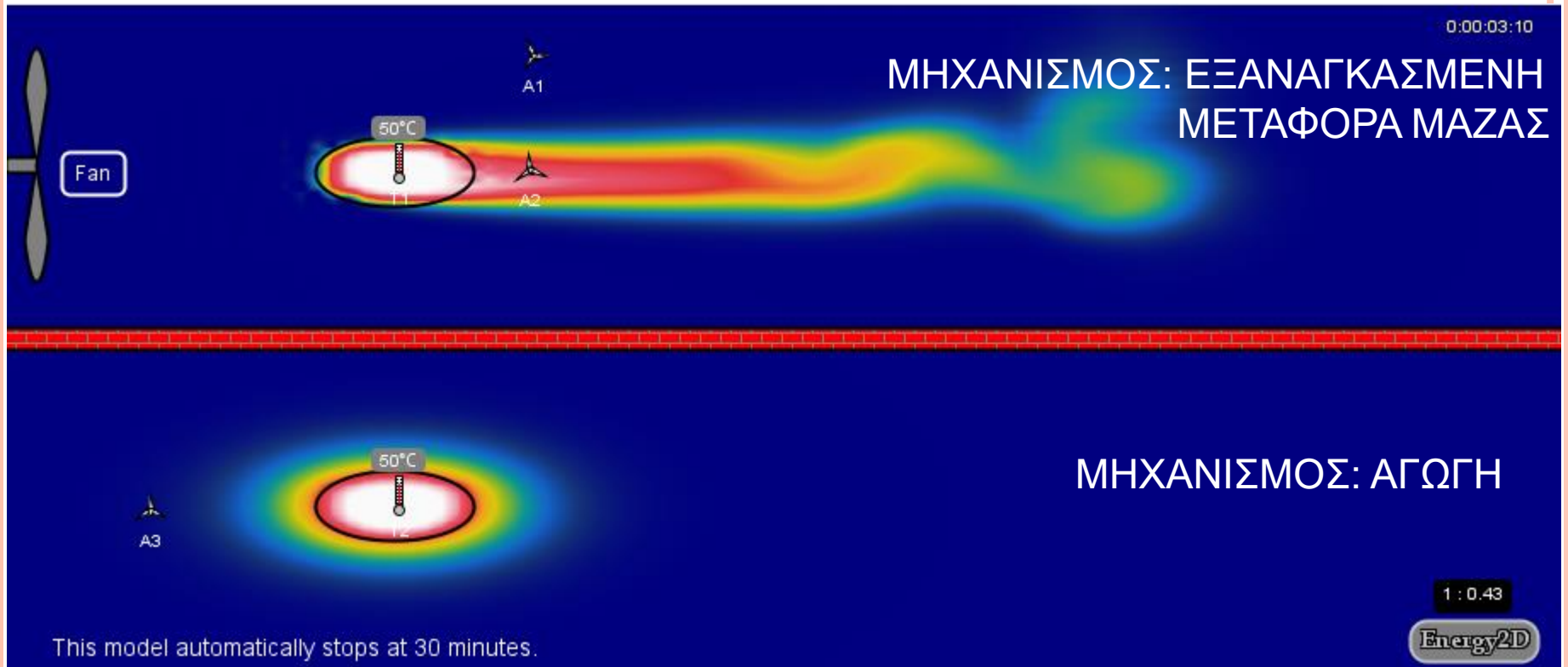
# ΜΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ (ΕΞΑΝΑΓΚΑΣΜΕΝΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ & ΑΓΩΓΗ)

## ○ Αρχικά



# ΜΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ (ΦΥΣΙΚΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ & ΑΓΩΓΗ)

- Τα δύο σώματα είναι θερμά ενώ ξεκινά να λειτουργεί ο ανεμιστήρας.



## ΔΙΑΔΟΣΗ ΜΕ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΑΖΑΣ

- Με τη ροή του αίματος στο ανθρώπινο σώμα επιτυγχάνεται και μεταφορά θερμότητας.
- Η θερμοκρασία δεν είναι παντού η ίδια στο ανθρώπινο σώμα, το οποίο είναι θερμότερο στο εσωτερικό από ότι στα άκρα και την επιφάνειά του.



## ΔΙΑΔΟΣΗ ΜΕ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΑΖΑΣ

- Όταν το σώμα μας είναι κρύο, οι μύες του ελαστικού τοιχώματος των φλεβών συστέλλονται (αγγειοσυστολή) ώστε να περιορίζουν τη ροή του αίματος σε περιοχές κοντά στην επιφάνεια του σώματος και έτσι να μειώνονται οι απώλειες θερμότητα.





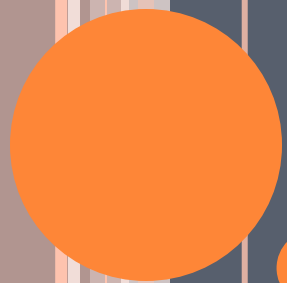
## ΔΙΑΔΟΣΗ ΜΕ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΑΖΑΣ

- Αντίθετα, όταν το σώμα μας υπερθερμαίνεται, ανοίγει η βαλβίδα προς τις επιφανειακές φλέβες, οι οποίες διαστέλλονται, προκαλώντας το «κοκκίνισμα» του δέρματος και επιτρέποντας την αποτελεσματική απαγωγή θερμότητας προς το περιβάλλον για την ψύξη του αίματος.



# ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΤΡΟΠΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΤΡΟΠΟΣ	ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ	ΜΕΣΟ ΔΙΑΔΟΣΗΣ
Αγωγή	Κινήσεις σωματιδίων (π.χ. ελεύθερα ηλεκτρόνια στα μέταλλα)	Στερεά, υγρά, αέρια
Μεταφορά	Μεταφορά θερμών μαζών φυσική (διαφορές πυκνότητας) ή εξαναγκασμένη	Ρευστά (υγρά και αέρια)
Ακτινοβολία	Η/Μ ακτινοβολία	Στερεά, υγρά, αέρια, κενό



# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

# ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

- Το 1792 Thomas Wedgwood (κατασκευαστής πορσελάνης) παρατήρησε ότι όλα τα αντικείμενα που τοποθετούσε στον φούρνο του, ανεξάρτητα σχήματος, χημικής σύστασης, μεγέθους κ.ο.κ. εξέπεμπαν ερυθρή ακτινοβολία στην ίδια θερμοκρασία.



# ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

- Μέχρι τα μέσα του 1800 ήταν γνωστό ότι όλα τα στερεά εξέπεμπαν συνεχή και όχι γραμμικά φάσματα όπως τα αέρια.




## ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ\*

- Το 1859 ο G. Kirchhoff απέδειξε ότι για κάθε σώμα που βρίσκεται σε θερμική ισορροπία με την ακτινοβολία ισχύει ότι

$$\frac{E_f}{a_f} = J(f, T)$$

όπου  $E_f = dE/(dt \cdot dA \cdot df)$  η ενέργεια που εκπέμπεται στην μονάδα του χρόνου από την μονάδα της επιφάνειας του σώματος στη μονάδα της συχνότητας.

# ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ\*

- $a_f$  = κλάσμα της προσπίπτουσας ενέργειας που απορροφάται στην μονάδα του χρόνου από την μονάδα της επιφάνειας του σώματος στη μονάδα της συχνότητας.
- Ο Kirchhoff απέδειξε ότι ο λόγος  $E_f / a_f$  εξαρτάται μόνο από την απόλυτη θερμοκρασία και την συχνότητα, άλλα όχι από τις ιδιαιτερότητες του σώματος. 

# ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΜΕΤΑΞΥ ΣΩΜΑΤΟΣ & ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ\*

- Λέγοντας ότι το σώμα βρίσκεται σε θερμική ισορροπία με την ακτινοβολία, εννοούμε ότι η θερμοκρασία του σώματος και η θερμοκρασία που θα έδειχνε ένα θερμόμετρο στο πεδίο της ακτινοβολίας είναι η ίδια.





# ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΜΕΤΑΞΥ ΣΩΜΑΤΟΣ & ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ\*

- Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί ένας κλειστός φούρνος που διατηρείται σε σταθερή θερμοκρασία.
- Θεωρητικά περιμένουμε ότι ένα θερμόμετρο στα τοιχώματα του φούρνου και ένα θερμόμετρο εντός της κοιλότητά του θα δείξουν την ίδια ένδειξη.



# ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΜΕΛΑΝΟΣ ΣΩΜΑΤΟΣ

- Προκειμένου να μελετήσουμε την ακτινοβολία που εκπέμπει ένα σώμα επιλέγουμε να ασχοληθούμε με το μέλαν σώμα.
- Πρόκειται για ένα ΙΔΕΑΤΟ σώμα που απορροφά κάθε προσπίπτουσα ακτινοβολία.



# ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΜΕΛΑΝΟΣ ΣΩΜΑΤΟΣ

- Ένα τέτοιο σώμα ορίζεται με την απαίτηση να είναι  $a_f = 1$ .
- Αυτό σημαίνει ότι ένα τέτοιο σώμα απορροφά το 100% από κάθε ακτινοβολία (οποιασδήποτε συχνότητας) που πέφτει πάνω του.



# ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΜΕΛΑΝΟΣ ΣΩΜΑΤΟΣ

- Αυτό σημαίνει ότι με βάση τον νόμο του Kirchhoff θα είναι

$$\frac{E_f}{1} = J(f, T) \Rightarrow E_f = J(f, T).$$

- Άρα η εκπομπή ακτινοβολίας από ένα τέτοιο σώμα δεν εξαρτάται από κανένα φυσικό ή χημικό χαρακτηριστικό του σώματος.

