

# Ακτινοβολία

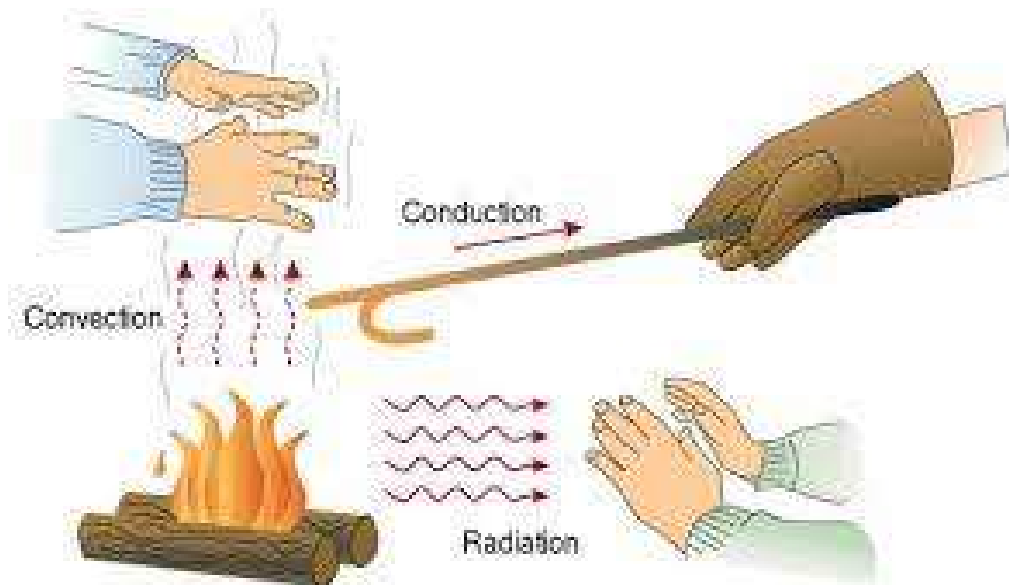


# Η ακτινοβολία ως παράμετρος που επηρεάζει το μικροκλίμα

- Η Φυσική της ακτινοβολίας
- Ακτινοβολία και φυτά
- Ακτινοβολία και υλικά κάλυψης θερμοκηπίων
- Ακτινοβολία και θερμότητα

# Ορισμός

Η **θερμική ακτινοβολία** είναι **ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία** και εκπέμπεται από κάθε σώμα θερμοκρασίας  $T > -273^{\circ}\text{C}$  ( $0\text{K}$  - απόλυτο μηδέν)



Μήκος Κύματος  $\lambda$   
**Θερμικής Ακτινοβολίας:**  
100 – 100000nm  
(0,1-100 $\mu\text{m}$ )

# Η ακτινοβολία του Ήλιου

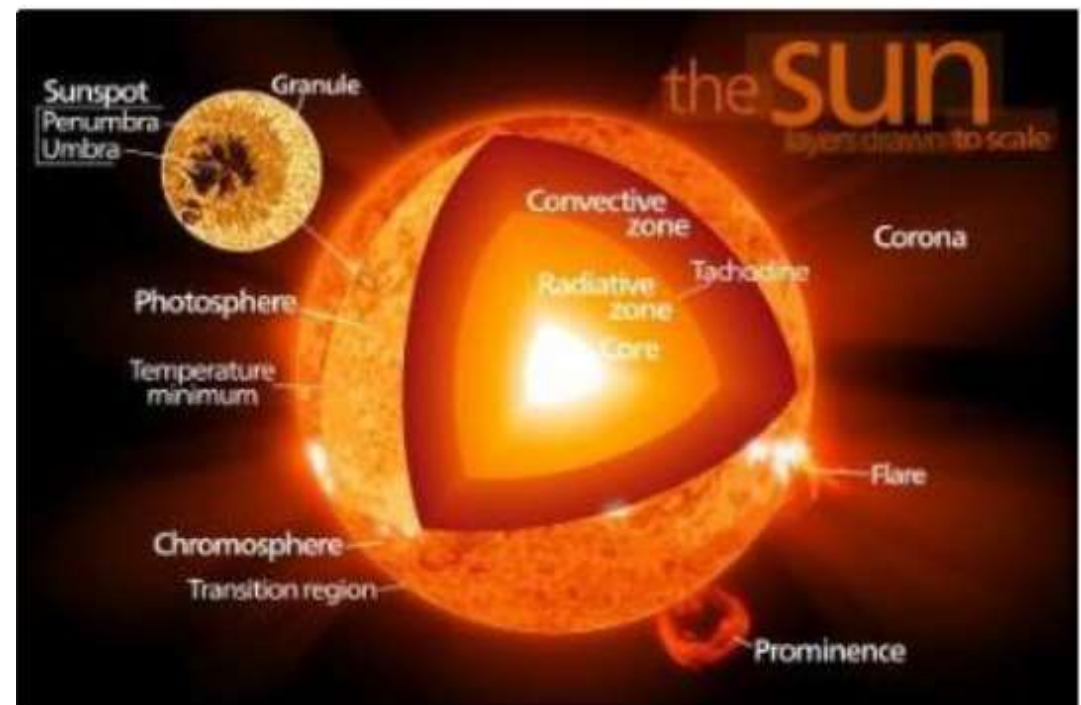
Ο **Ήλιος** διαχωρίζεται στον **πυρήνα** του και στην ατμόσφαιρά του →  
Φωτόσφαιρα – Χρωμόσφαιρα - Στέμμα

Η Η/Μ ακτινοβολία του Ήλιου φτάνει στην ατμόσφαιρα της Γης κυρίως από τη Φωτόσφαιρα και αποτελείται από όλα τα μήκη κύματος



Στο όριο της ατμόσφαιρας έχει ένταση  
 **$1367 \text{ W/m}^2$**   
(Ηλιακή Σταθερά)

$$T_{\text{ΗΛΙΟΥ}} = 5800 \text{ K}$$



# Η ακτινοβολία στη Γη

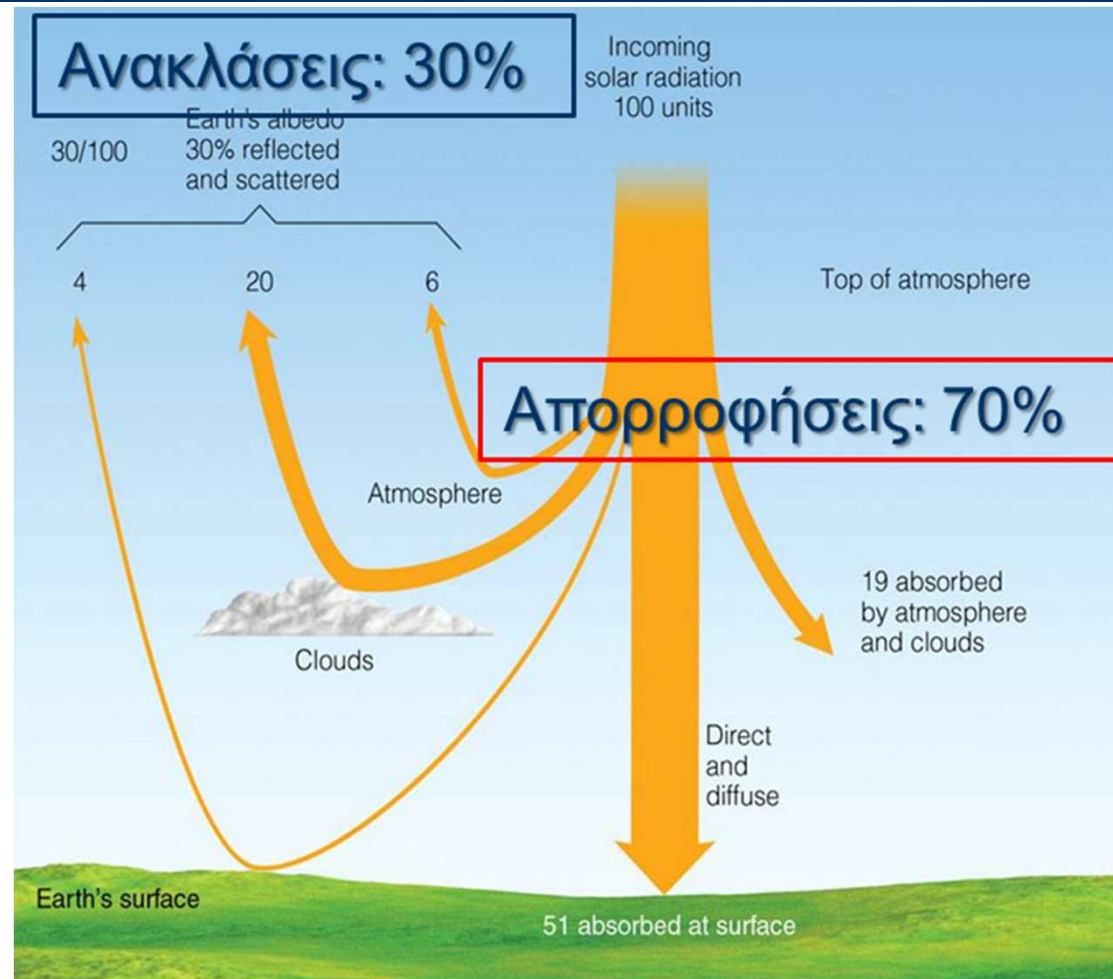
Ακτινοβολία στη Γη

*Μικρού Μήκους Κύματος (UV, Visible, NIR)*  
 $\lambda = 300\text{nm} - 3000\text{nm}$ , εκπέμπεται από τον Ήλιο

*Μεγάλου Μήκους Κύματος (IR)*  
 $\lambda = 3000\text{nm} - 100000\text{nm}$ , εκπέμπεται από τη Γη

Λόγω της υψηλής θερμοκρασίας του Ήλιου το 98% της ακτινοβολίας του είναι *Μικρού Μήκους Κύματος*

# Ισοζύγιο ηλιακής και γήινης ακτινοβολίας

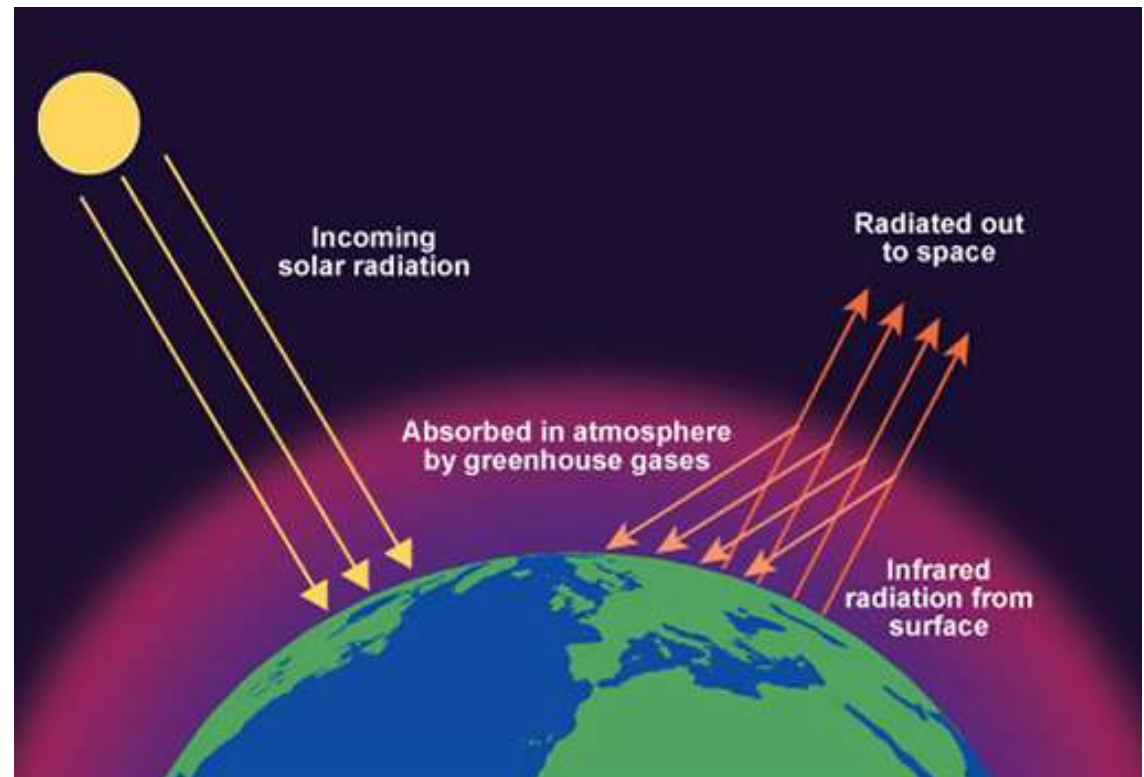


# Η ακτινοβολία της Γης

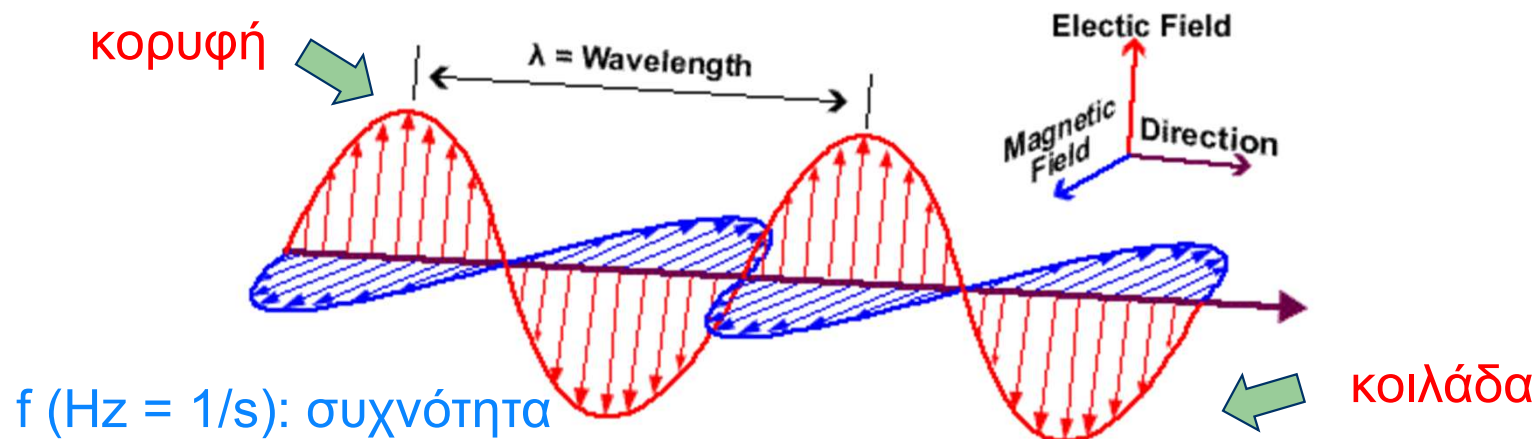
Η Γη θεωρείται ότι ακτινοβολεί ως μέλαν σώμα σε θερμοκρασία 288 K ή 15 °C

Η ακτινοβολία της Γης είναι κυρίως στο υπέρυθρο (Μεγάλου μήκους κύματος)  
 $\lambda = 3000nm - 100000nm$

Η Γη παράγει ελάχιστη ακτινοβολία → Απορροφά (ημέρα) - Ανακλά και επανεκπέμπει (νύχτα)



# Η φύση της ηλιακής ακτινοβολίας



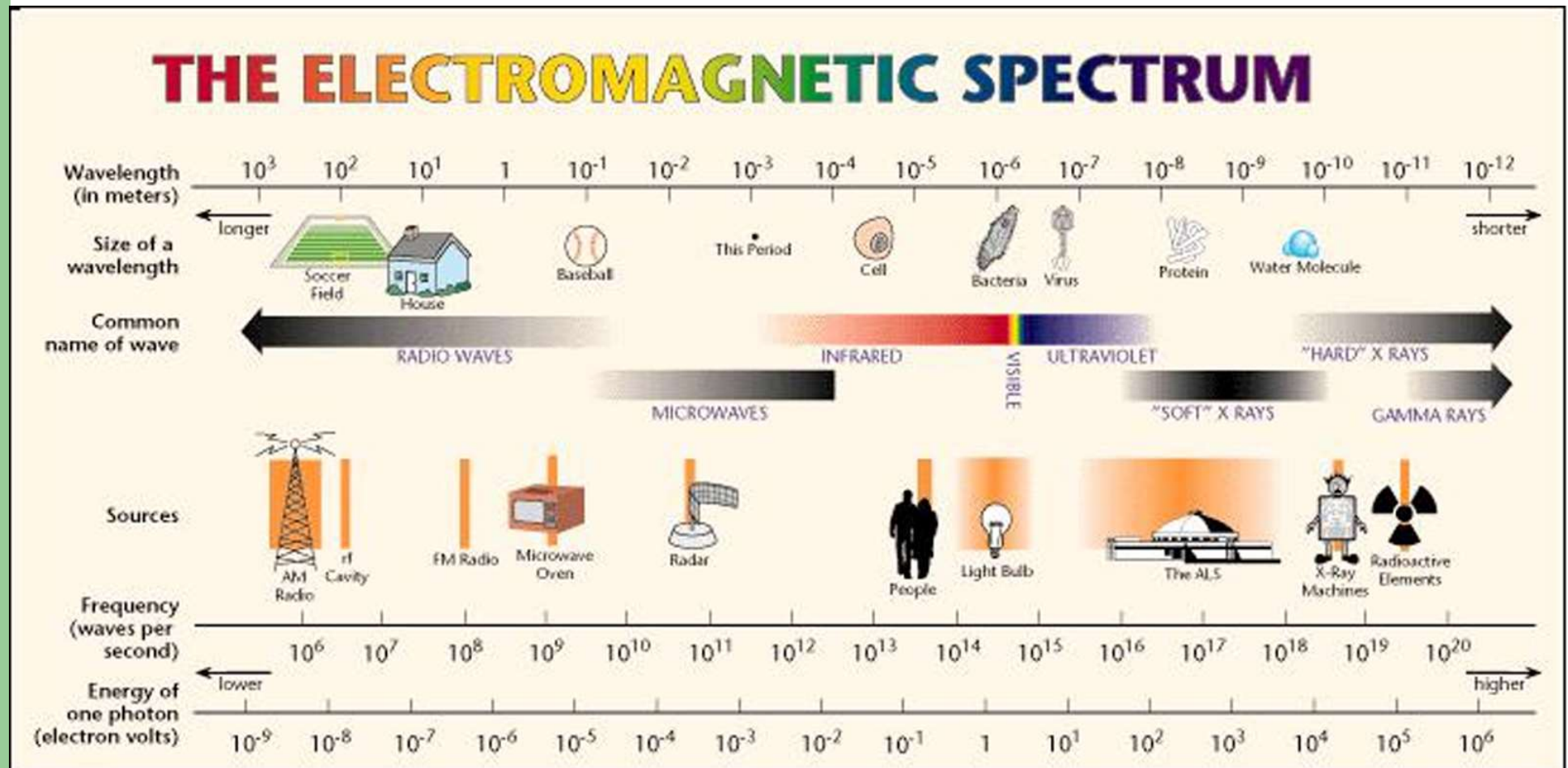
$$f \lambda = c \longleftrightarrow f = \frac{c}{\lambda}$$

$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$   
είναι η ταχύτητα του φωτός

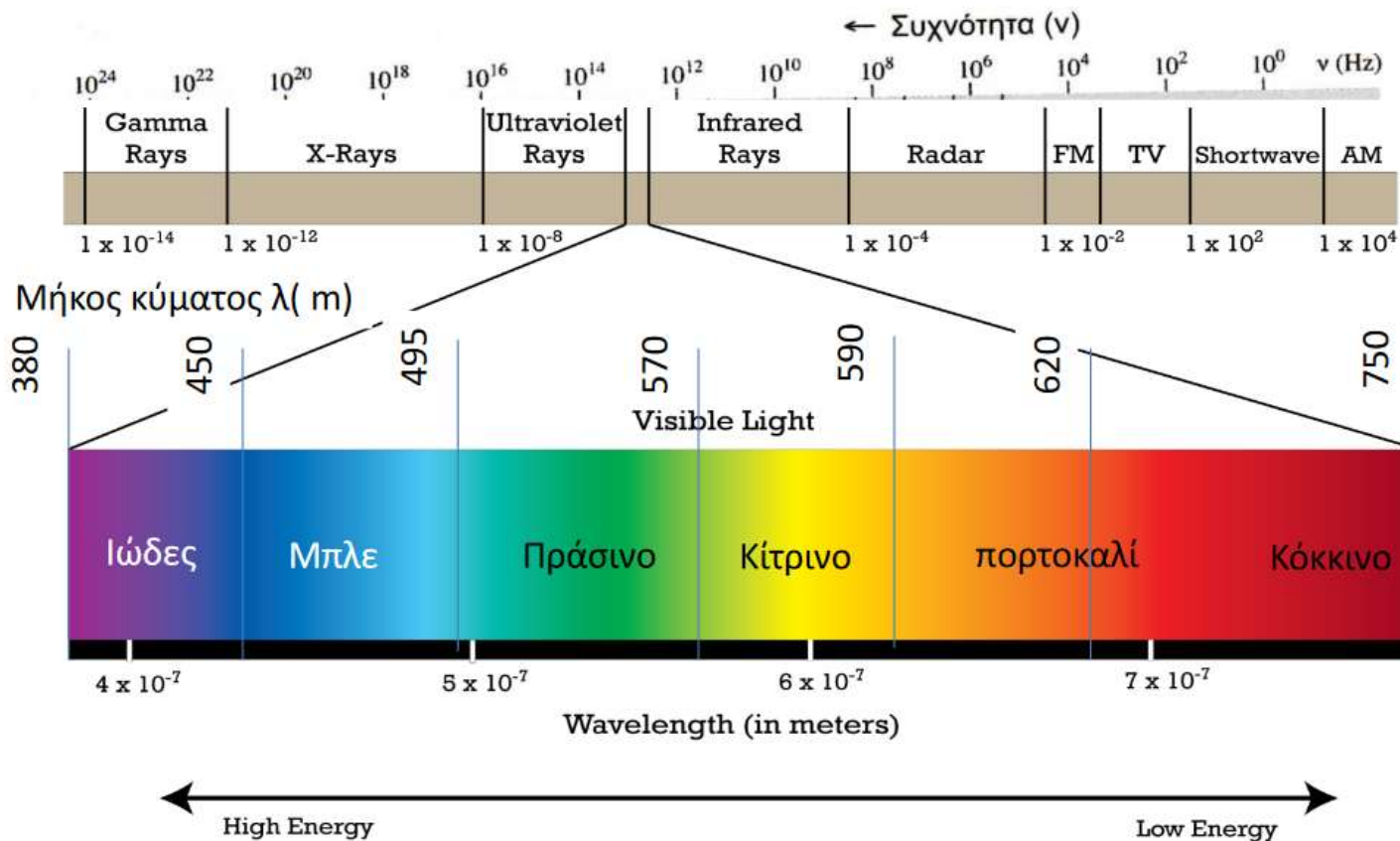
Η ακτινοβολία μεταφέρει ενέργεια μέσω φωτονίων  
Η ηλιακή ακτινοβολία είναι μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας  
Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχει κυματική φύση  
**ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ:** Ο αριθμός των κορυφών/κοιλιάδων που διέρχονται από ένα σταθερό σημείο στη μονάδα του χρόνου



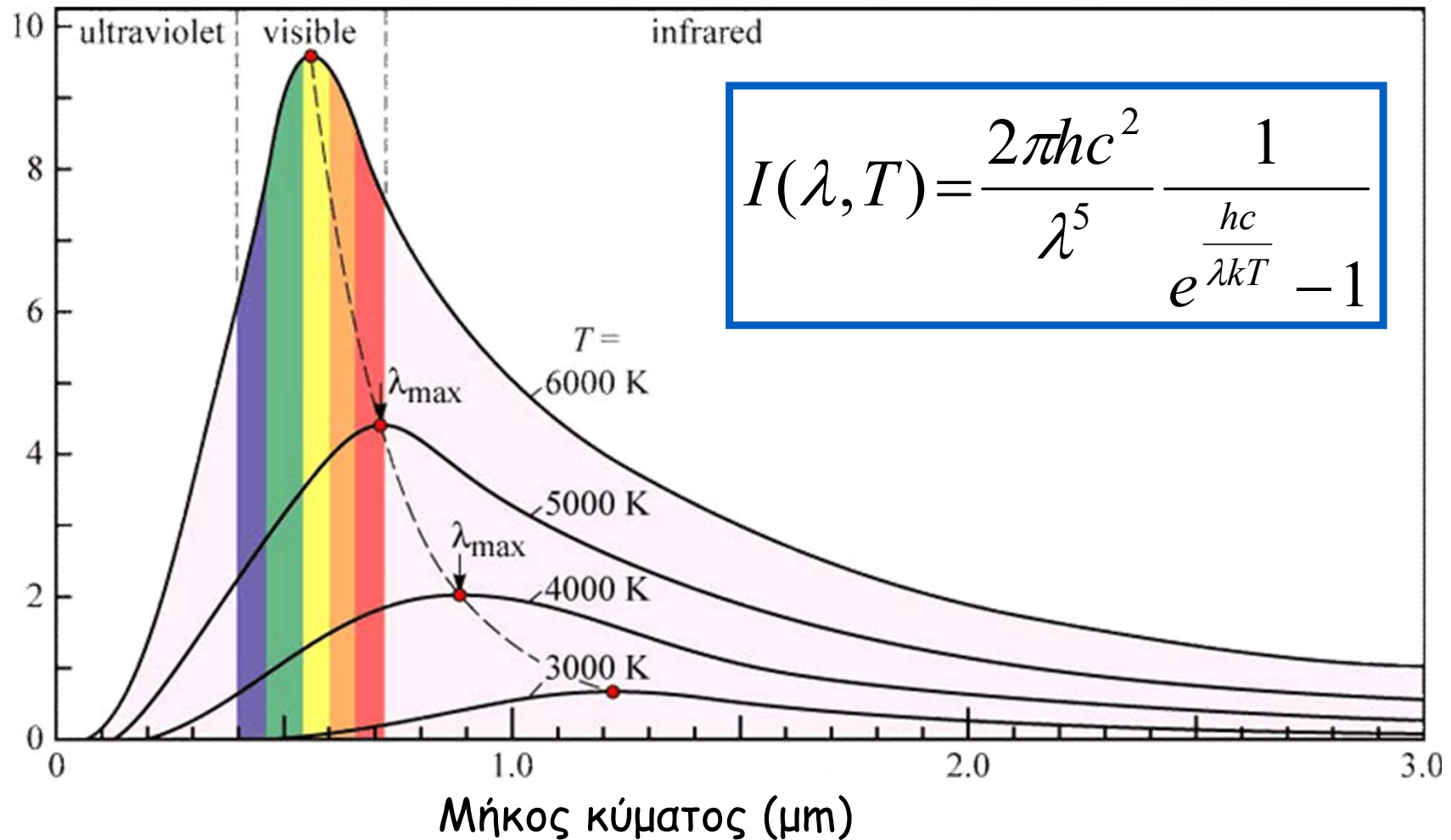
# Μορφές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας



# Το ορατό φάσμα ( $\lambda=380-750\text{nm}$ )



# Ακτινοβολία μέλανος σώματος



# Ακτινοβολία μέλανος σώματος - Νόμος του Planck

$$I(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$$

$I(\lambda, T)$  : φασματική ένταση ακτινοβολίας ( $W m^{-2} nm^{-1}$ )

$T$  : θερμοκρασία (K)

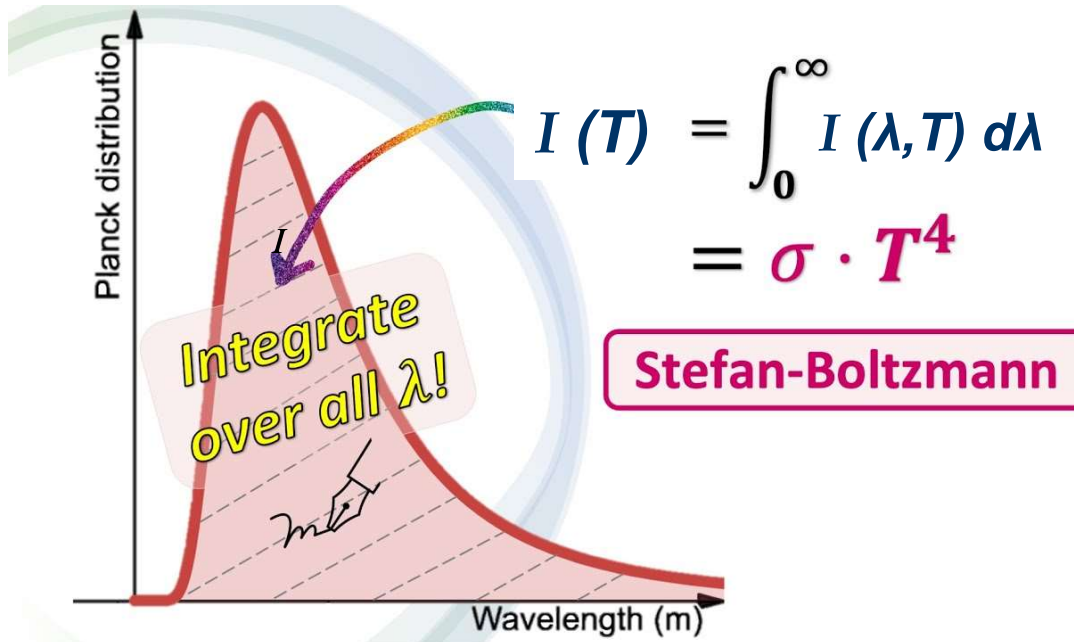
$\lambda$  : μήκος κύματος (μονάδες μήκους, συνήθως nm ή  $\mu m$ )

$h$  : σταθερά του Planck ( $6.626 \times 10^{-34} J s$ )

$c$  : ταχύτητα του φωτός ( $3 \times 10^8 m s^{-1}$ )

# Ακτινοβολία μέλανος σώματος – νόμος των Stefan-Boltzmann

$$I = \varepsilon \sigma T^4$$



$I$  : συνολική ένταση ακτινοβολίας ( $\text{W m}^{-2}$ )

$T$  : θερμοκρασία (K)

$\sigma$  : σταθερά των Stefan-Boltzmann ( $5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ )

$\varepsilon$  : συντελεστής εκπομπής-απορρόφησης (τιμές 0-1, μέλαν σώμα  $\varepsilon=1$ )

# Ακτινοβολία μέλανος σώματος- Νόμος του Wien

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$$

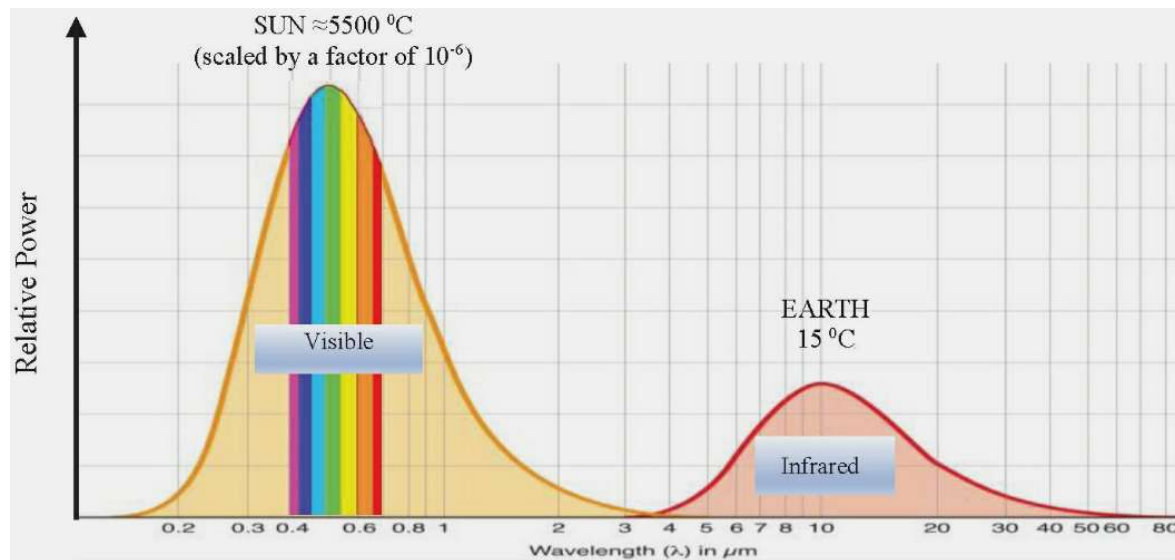
$\lambda_{\max}$  : μήκος κύματος με τη μέγιστη φασματική ένταση ακτινοβολίας ( $\text{W m}^{-2} \text{nm}^{-1}$ )

$T$  : θερμοκρασία (K)

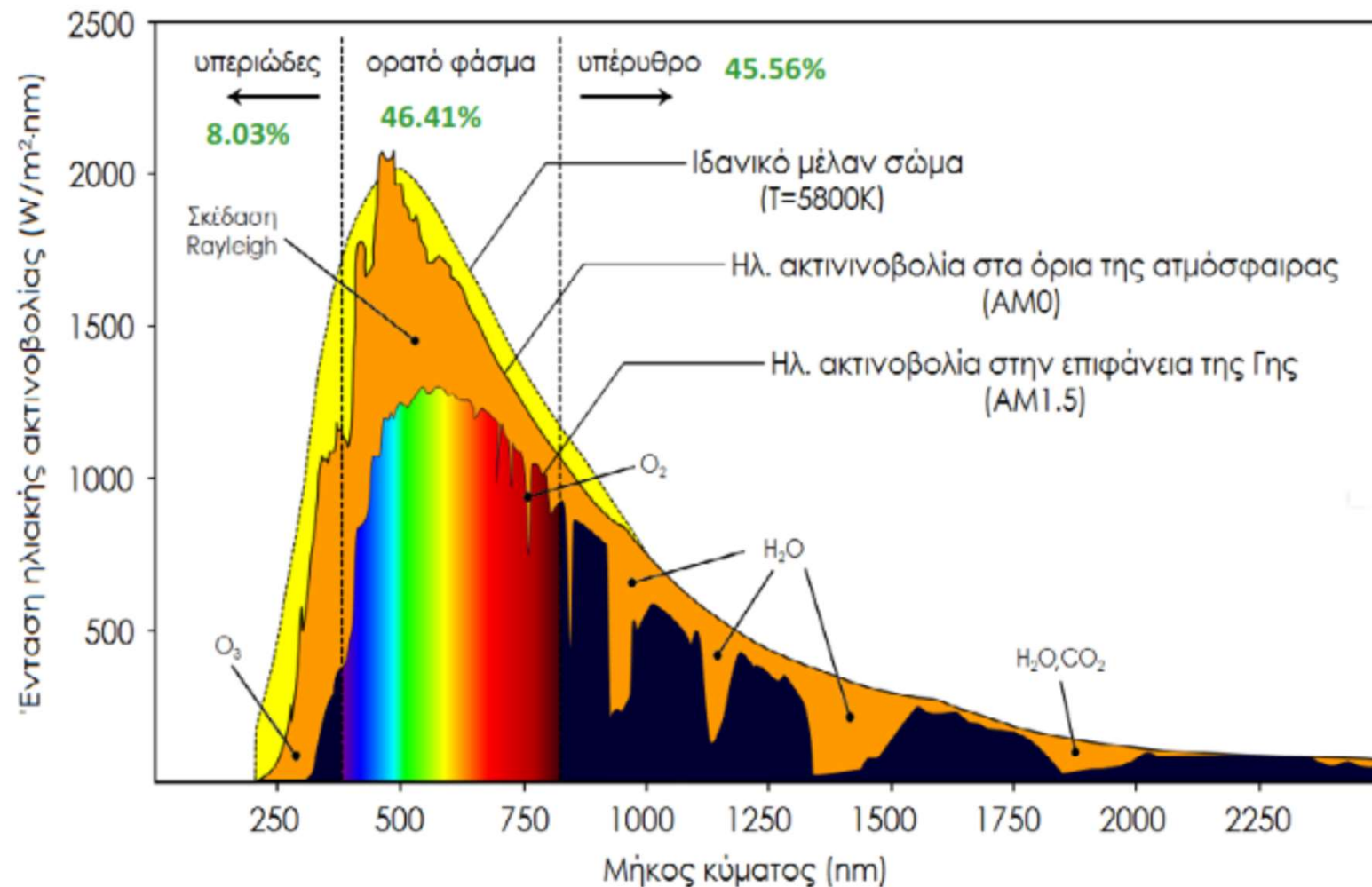
$b$  : σταθερά του Wien ( $2.8978 \times 10^{-3} \text{ K m}$ )

$T_{\text{ΓΗΣ}} = 288\text{K} \rightarrow \lambda_{\max} = 10000 \text{ nm} > 3000 \text{ nm}$  (μεγάλου μήκους κύματος)

$T_{\text{ΗΛΙΟΥ}} = 5800\text{K} \rightarrow \lambda_{\max} = 500 \text{ nm} < 3000\text{nm}$  (μικρού μήκους κύματος)

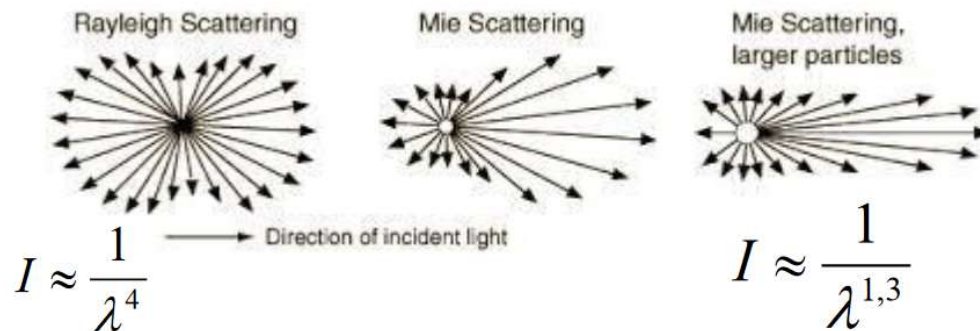


# Το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας στη Γη



# Σκέδαση ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα

## Σκέδαση Rayleigh – Σκέδαση Mie

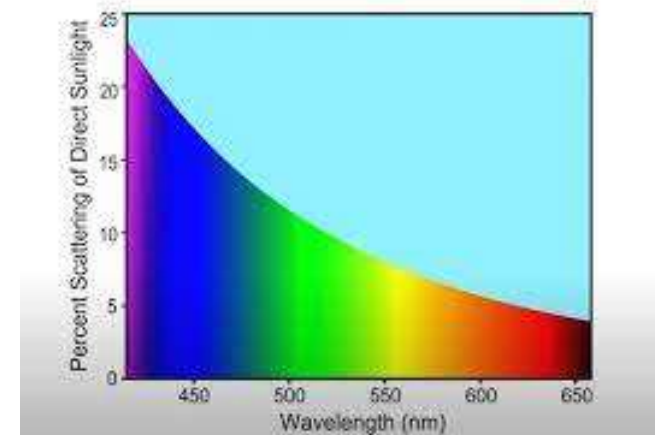


Η μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία σκεδάζει περισσότερο

ΜΠΛΕ χρώμα του ουρανού

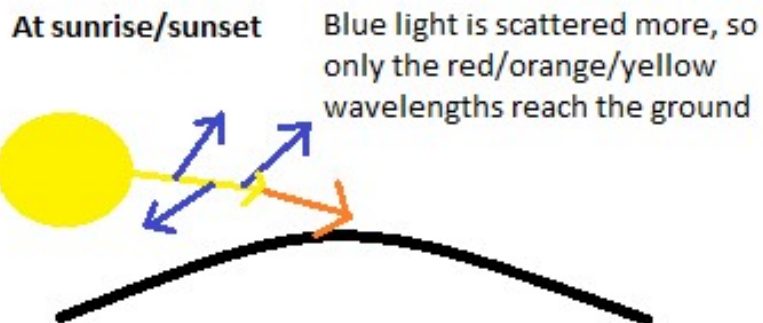
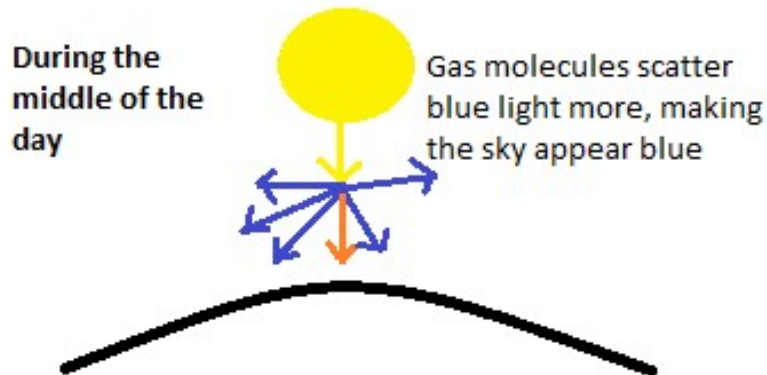
Όλα τα μήκη κύματος σκεδάζουν σχεδόν παρόμοια

ΛΕΥΚΟ χρώμα των νεφών





# Σκέδαση ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα



Όταν ο Ηλιος είναι στον ορίζοντα διανύει περισσότερη αποσταση η ακτινοβολία να φτάσει στα μάτια μας. Το μπλε φως διαχέεται υπερβολικά και φτάνει ατόφιο περισσότερο φως στο κοκκινο-πορτοκαλί

# Φυτά και ακτινοβολία

Τα φυτά αξιοποιούν 2%-4% της διαθέσιμης ενέργειας της ακτινοβολίας



Για την **ανάπτυξη των φυτών** μας ενδιαφέρει:

- Το **φάσμα** → φωτοσύνθεση, φωτοπεριοδισμός, φωτομορφογένεση
- Η **ένταση** → φωτοσύνθεση, φωτοπεριοδισμός, φωτοτροπισμός
- Η **διάρκεια** → φωτοσύνθεση, φωτοπεριοδισμός

# Φυτά και ακτινοβολία

- Φωτοπεριοδισμός: Η αντίδραση του φυτού στον κύκλο φως/σκοτάδι (ημέρα/νύχτα)



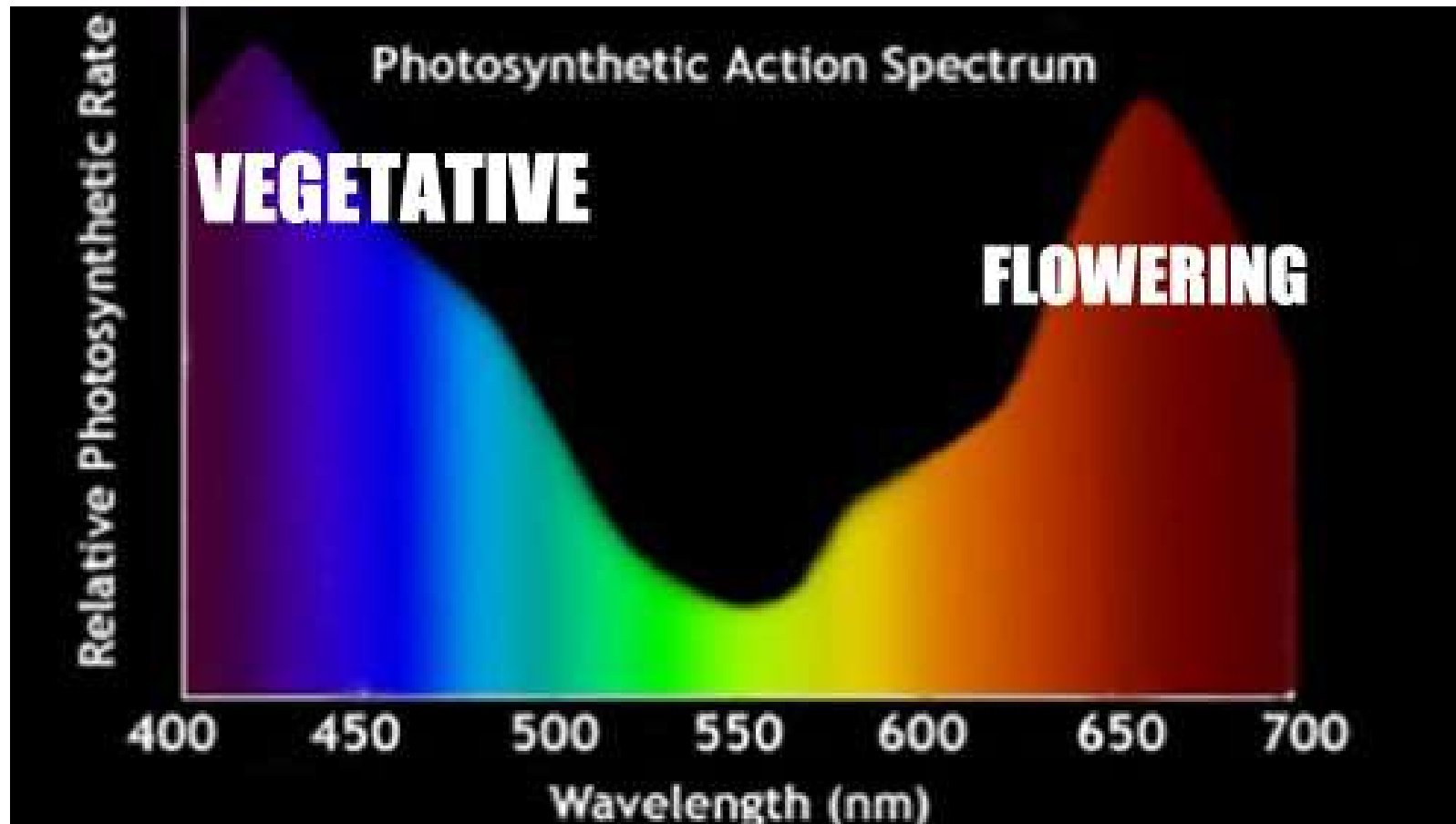
- Φωτοτροπισμός: Η ικανότητα των φυτών να προσανατολίζονται προς μια φωτεινή πηγή ή το αντίθετο



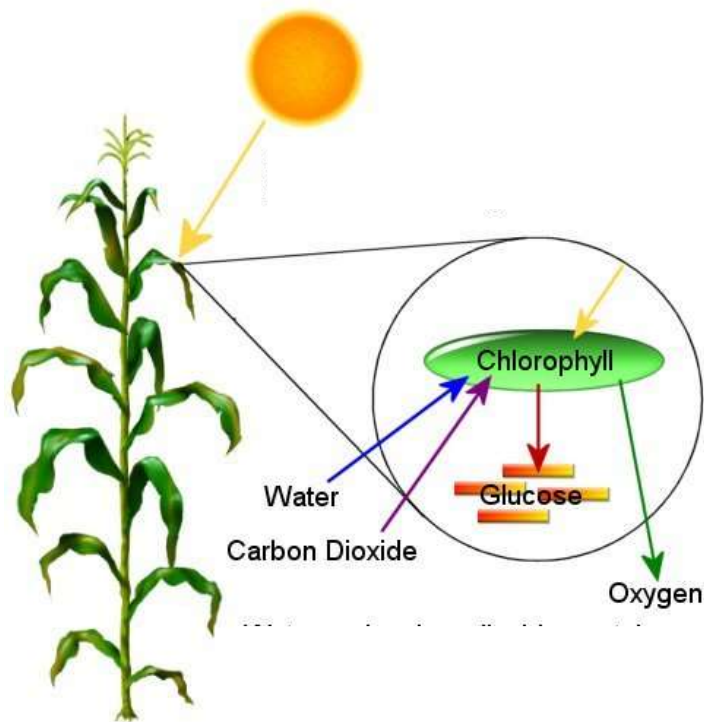
- Φωτομορφογένεση: Η επίδραση φωτός συγκεκριμένου μήκους κύματος στη μορφή και τη συμπεριφορά του φυτού



# Φωτοσύνθεση – ακτινοβολία PAR



# Φωτοσύνθεση

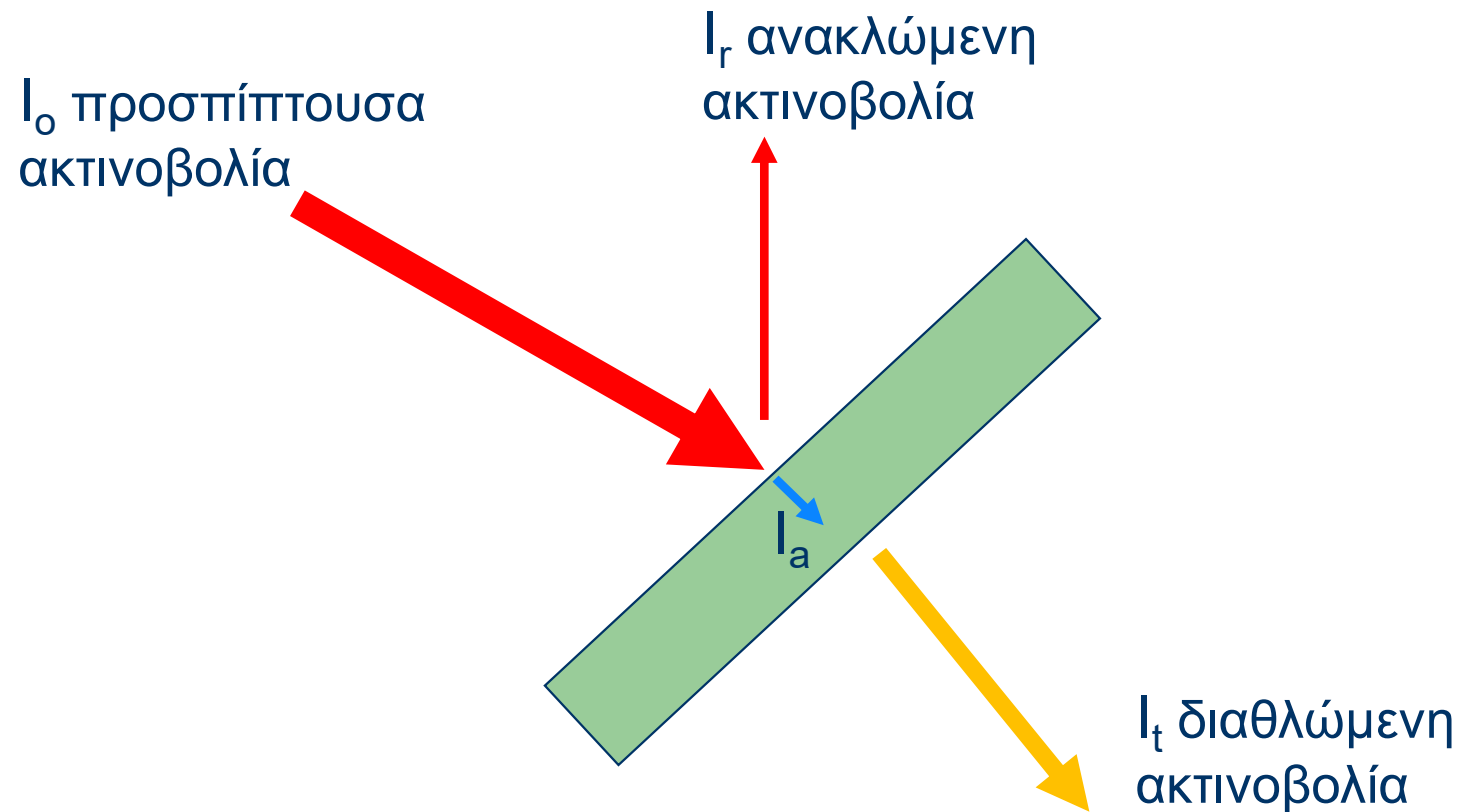


Στη χημική εξίσωση της φωτοσύνθεσης, το φως εμφανίζεται ως **σωματίδιο (φωτόνιο)**. Γι' αυτό η ένταση μετριέται σε  $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

**$1 \text{ mol} = 6.02214 \times 10^{23}$  σωματίδια**

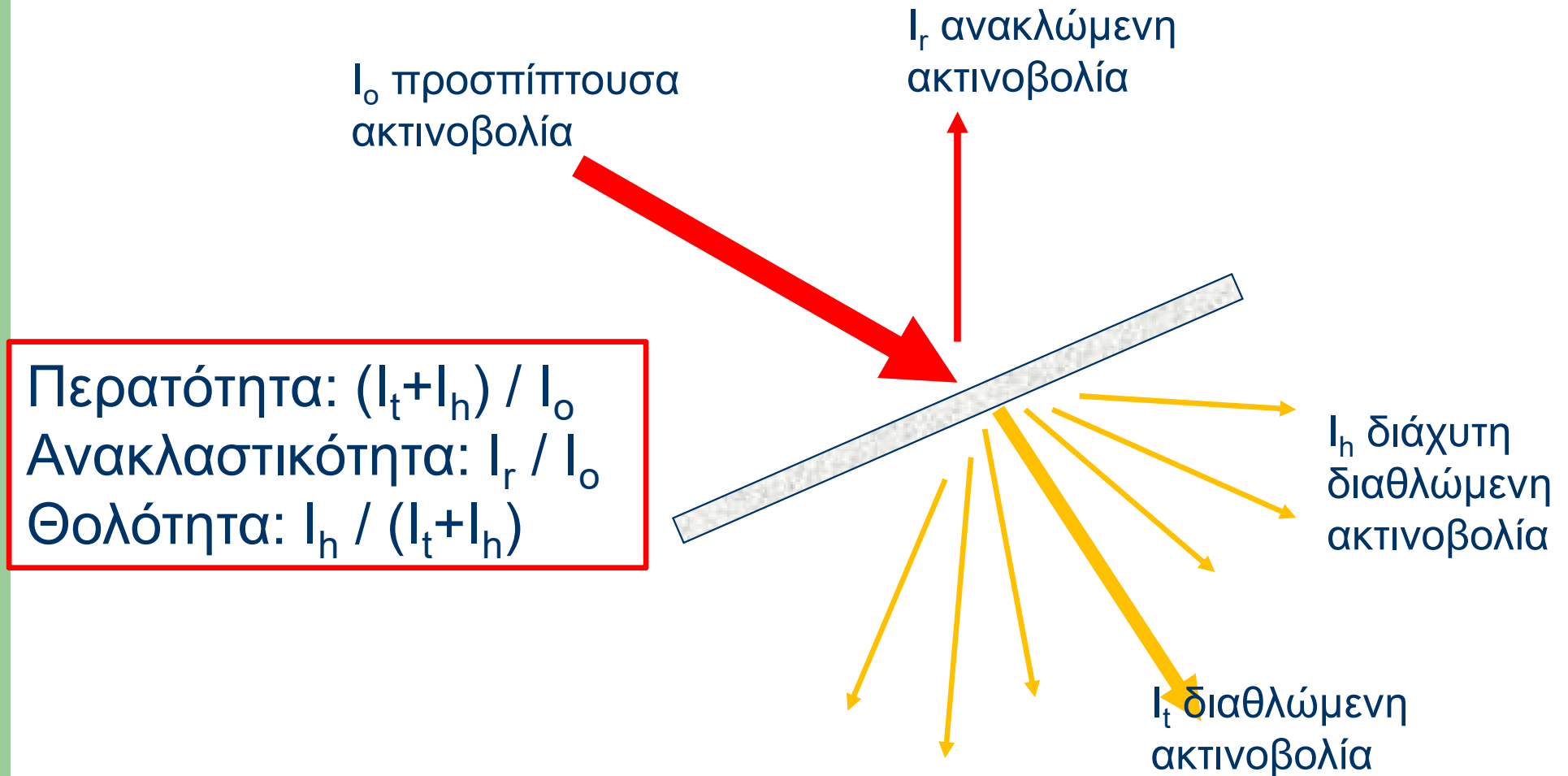
Η ενέργεια 1 mol φωτονίων εξαρτάται από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Για ακτινοβολία PAR:  
 $1 \text{ W m}^{-2} = 4,5\text{-}5,0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

# Υλικά κάλυψης και ηλιακή ακτινοβολία



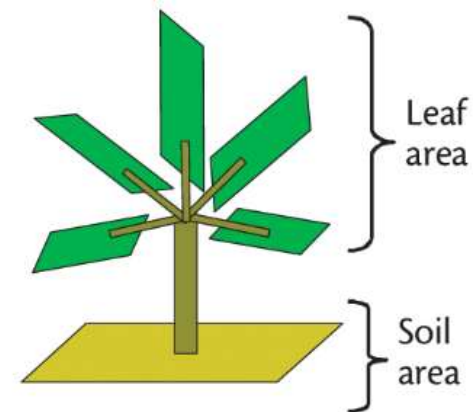
Αναρροφούμενη ακτινοβολία  $I_a = I_o - I_r - I_t$

# Ακτινομετρικές (οπτικές) ιδιότητες των υλικών



# Φυτά και ακτινοβολία

- Η ακτινοβολία PAR είναι απαραίτητη για τη φωτοσύνθεση. Το υλικό κάλυψης πρέπει να προσφέρει μεγάλη περατότητα στην ακτινοβολία PAR
- Επιφάνεια φύλλων – Δείκτης επιφάνειας φύλλων (LAI= προβαλλόμενη επιφάνεια φύλλων / επιφάνεια εδάφους)



$$LAI = \frac{\text{Leaf area}}{\text{Soil area}}$$



## Η υπέρυθρη (NIR - IR) ακτινοβολία

- Λέγεται και θερμική ακτινοβολία (υπέρυθρη μεγάλου μήκους κύματος) γιατί εκπέμπεται από όλα τα σώματα με θερμοκρασία περιβάλλοντος.
- Η IR με μικρό μήκος κύματος (NIR) έχει βιολογική δράση στα φυτά
- Το γυαλί είναι αδιαφανές στην IR ακτινοβολία με αποτέλεσμα να παγιδεύει τη θερμότητα (φαινόμενο θερμοκηπίου)
- Τα πλαστικά φύλλα θερμοκηπίου LDPE περιέχουν ειδικά πρόσθετα που τα κάνουν αδιαφανή στην IR

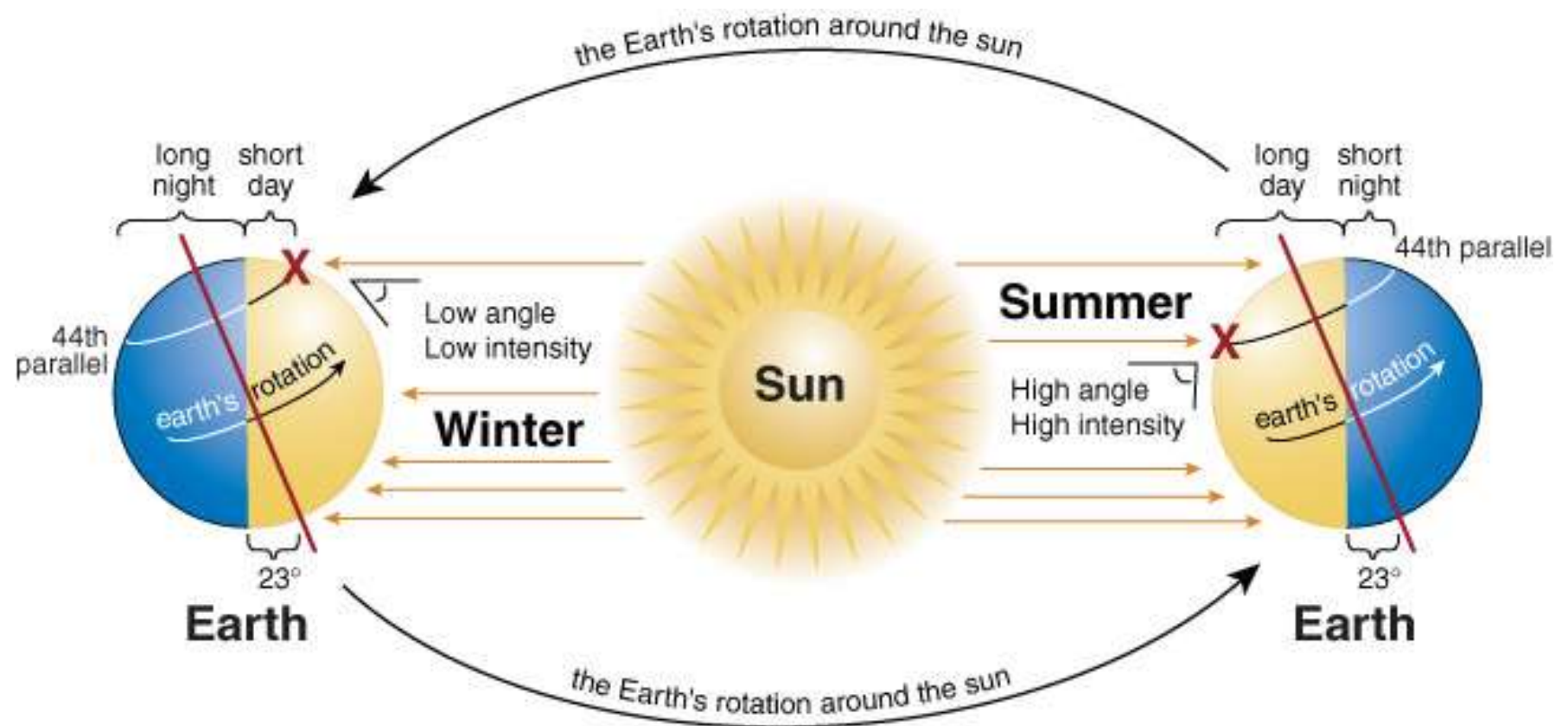
# Η υπεριώδης (UV) ακτινοβολία

- Διακρίνεται σε:
  1. UV-A: 315-400 nm
  2. UV-B: 280-315 nm
  3. UV-C: 100-280 nm
- Προσβάλλει τα **πλαστικά υλικά** για το λόγο αυτό αυτά τα πλαστικά υλικά κάλυψης θερμοκηπίων φτιάχνονται με χημικά πρόσθετα που λέγονται **σταθεροποιητές**

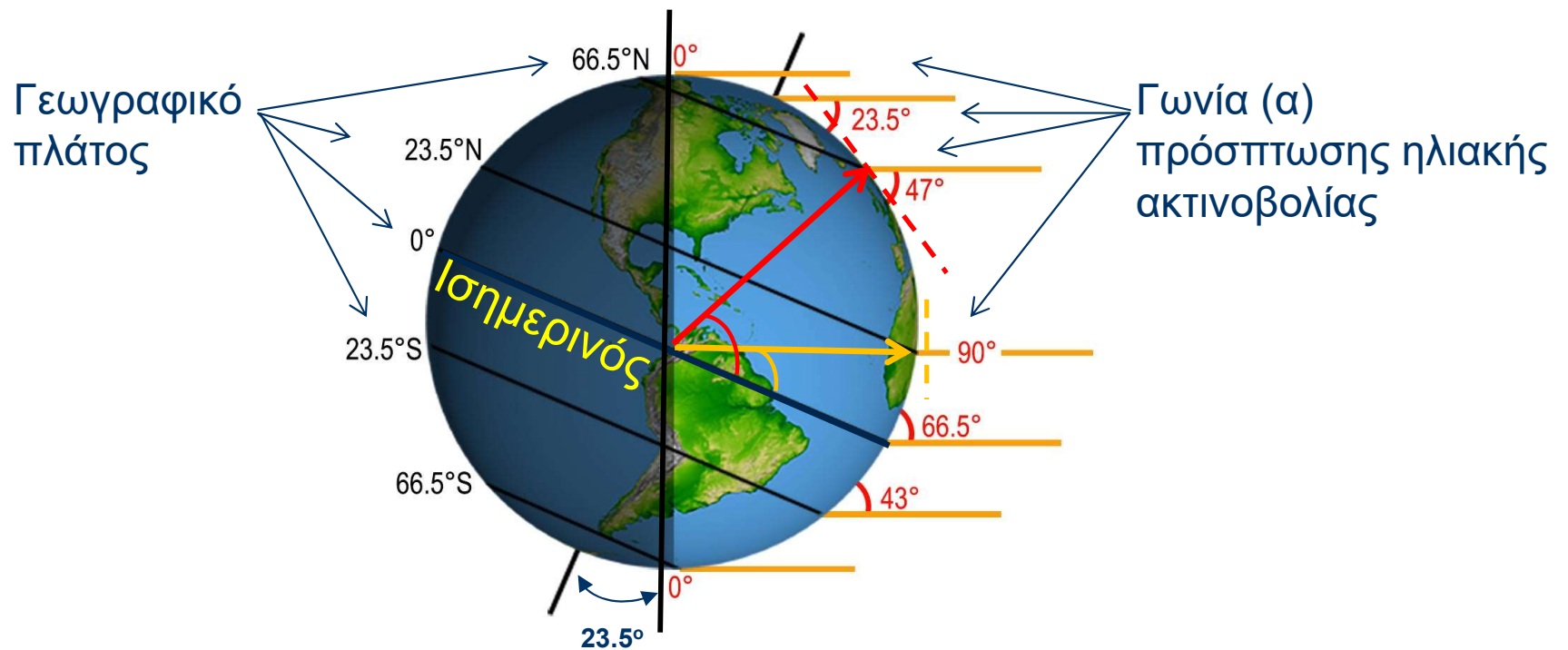
# Η υπεριώδης (UV) ακτινοβολία

- Η ακτινοβολία UV-C έχει ισχυρή μικροβιοκτόνο (αλλά και καρκινογόνο) δράση
- Οι ακτινοβολίες UV-A και UV-B έχουν σημαντική βιολογική δράση:
  - Στα φυτά (ποικίλει από είδος σε είδος)
  - Στα έντομα (εχθρικά ή φιλικά είδη)

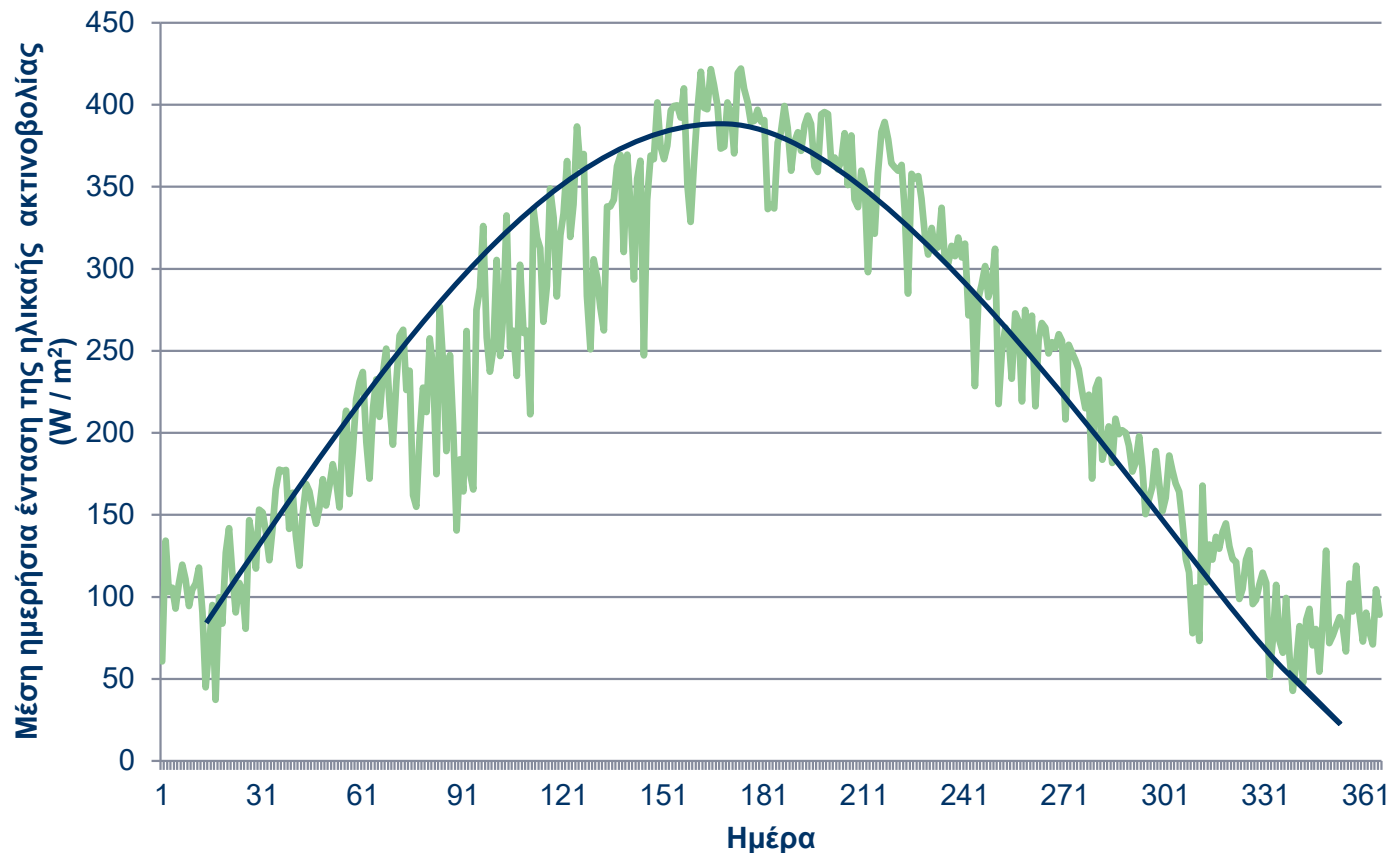
# Απορρόφηση ακτινοβολίας από οριζόντιο επίπεδο – Εποχές



# Απορρόφηση ακτινοβολίας από οριζόντιο επίπεδο – Γεωγραφικό Πλάτος

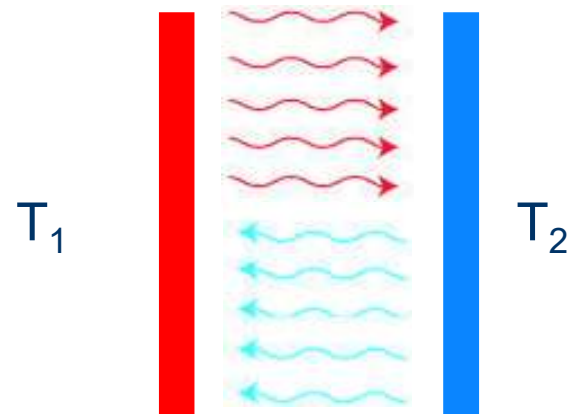


# Τυπικό έτος μέσης ηλιακής ακτινοβολίας στην Αθήνα



Μετρήσεις σε οριζόντιο επίπεδο

# Μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία



$$q = \sigma A \epsilon_{12} (T_1^4 - T_2^4)$$

$q$  : ροή θερμότητας - μεταφερόμενη θερμότητα ανά μονάδα χρόνου (W)

$T$  : θερμοκρασία (K)

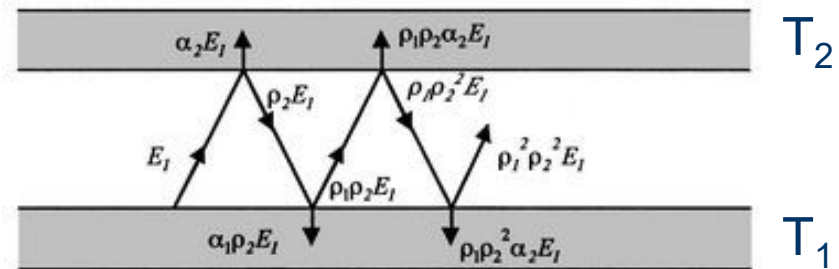
$A$  : επιφάνεια

$\epsilon_{12}$  : συντελεστής ανταλλαγής ακτινοβολίας

$\sigma$  : σταθερά των Stefan-Boltzmann ( $5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ )

# Μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία μεταξύ δύο επιφανειών

$\rho$ : ανακλαστικότητα  
 $\alpha$ : απορροφητικότητα



$$q = \sigma \varepsilon_{12} A (T_1^4 - T_2^4)$$

$$\varepsilon_{12} = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \varepsilon_2}$$

$q$  : ένταση ροής θερμότητας ( $\text{W m}^{-2}$ )

$T$  : θερμοκρασία (K)

$A$  : Επιφάνεια εκπομπής ( $\text{m}^2$ )

$\varepsilon_{12}$  : συντελεστής ανταλλαγής ακτινοβολίας

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$  : συντελεστές εκπομπής-απορρόφησης των δύο επιφανειών

$\sigma$  : σταθερά των Stefan-Boltzmann ( $5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ )



# Απώλειες θερμότητας λόγω ακτινοβολίας στη διάρκεια της νύχτας

Τα θερμά σώματα εκπέμπουν υπέρυθρη ακτινοβολία. Οι απώλειες θερμότητας λόγω ακτινοβολίας περιγράφονται από το νόμο των Stefan-Boltzmann όπου ο ουρανός προσομοιώνεται με μέλαν σώμα θερμοκρασίας  $T_{\text{sky}}$ .

Η εμπειρική αυτή θερμοκρασία  $T_{\text{sky}}$  εξαρτάται από τη νέφωση και τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας.

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν αρκετοί εμπειρικοί τύποι που σχετίζουν τη θερμοκρασία ουρανού  $T_{\text{sky}}$  με τη θερμοκρασία του αέρα  $T_{\text{air}}$ :

$$T_{\text{sky}} = 0.05532 T_{\text{air}}^{1.5} \text{ (Swinbank, 1963) (ισχύει για καθαρό ουρανό)}$$

# Θερμοκρασία ουρανού με νέφη

$$0.74 \sigma T_{sky}^4 = (1 + K C^2) 8.78 \times 10^{-13} T_{air}^{5.852} RH^{0.07195}$$

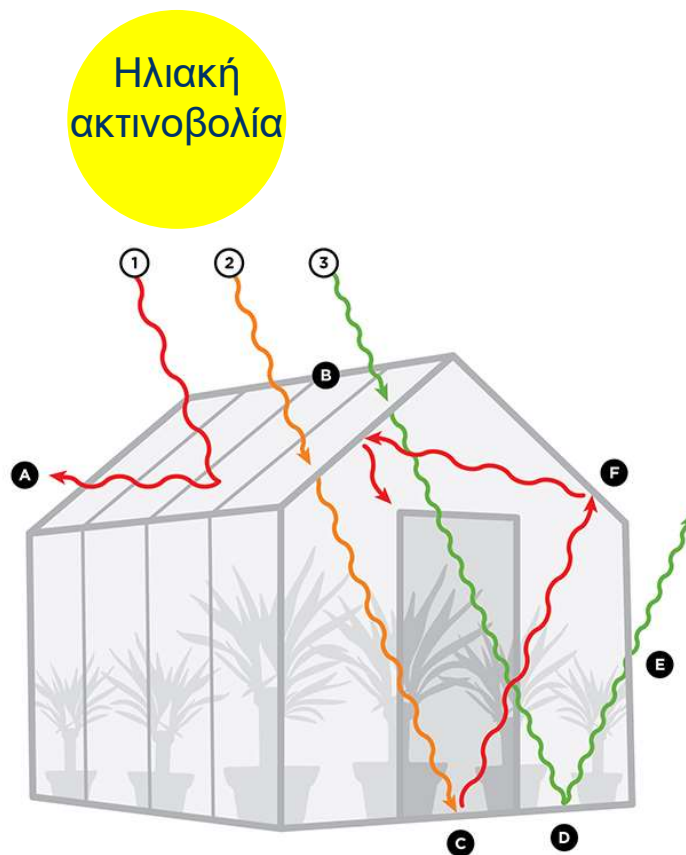
Όπου  $K$  είναι παράμετρος που εξαρτάται από το ύψος των νεφών

- 0.34 για πολύ χαμηλά σύννεφα
- 0.06 για πολύ ψηλά σύννεφα

$C$ : το ποσοστό του ουρανού που καλύπτεται από σύννεφα.

$RH$ : Η σχετική υγρασία του αέρα

# Ισοζύγιο ακτινοβολίας στο θερμοκήπιο



1. IR
2. NIR
3. Ορατή ακτινοβολία

Περατότητα σε Υπερυθρη (IR)  
Ακτινοβολία

- Γυαλί: 0%
- PVC: 12%
- PE (χωρίς πρόσθετα): 88%

# Κουρτίνες σκίασης - εξωτερικές



Οι εξωτερικές κουρτίνες σκίασης εμποδίζουν την ηλιακή ακτινοβολία να φτάσει στο θερμοκήπιο και μειώνουν δραστικά τις ανάγκες δροσισμού

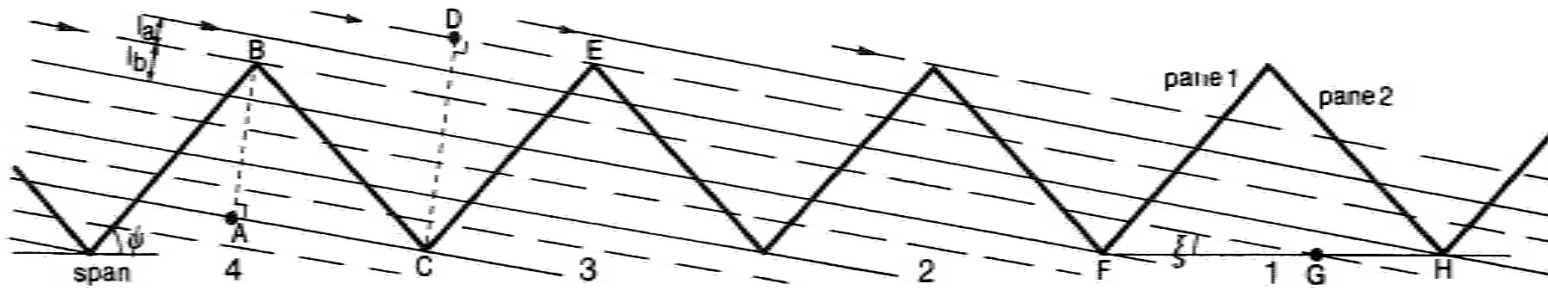
# Κουρτίνες σκίασης - εσωτερικές



Οι εσωτερικές κουρτίνες σκίασης εμποδίζουν την ηλιακή ακτινοβολία να φτάσει στα φυτά. Έτσι μειώνεται η διαπνοή. Χρησιμοποιούνται επίσης για τη ρύθμιση του φωτοπεριοδισμού

# Ηλιακή Ακτινοβολία και Δομικά Υλικά

Η σκίαση μεταξύ αλληπάληλων οροφών σε πολύρρικτα θερμοκήπια μειώνει τη ολική εισερχόμενη ακτινοβολία

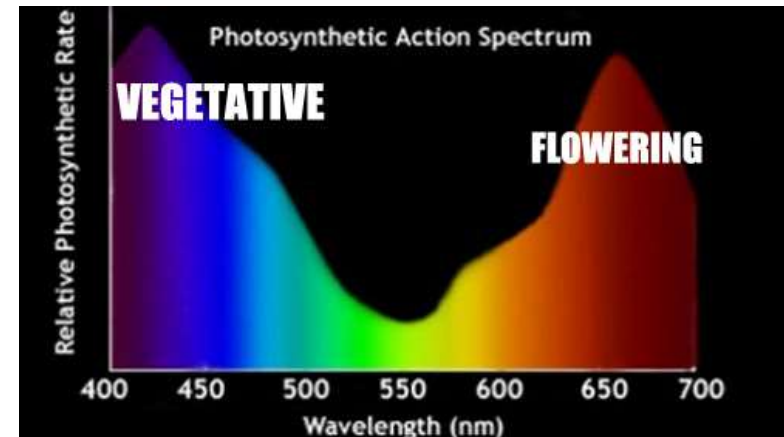


Τα μεταλλικά στοιχεία του σκελετού επίσης μειώνουν την εισερχόμενη ακτινοβολία

# Παράγοντες που ευνοούν το φυσικό φωτισμό

- Απλούστερος στηρικτικός σκελετός
- Μικρές διατομές δομικών στοιχείων
- Καθαρότητα υλικού κάλυψης
- Σχεδιασμός βέλτιστης τοποθέτησης πρόσθετων συστημάτων (σωληνώσεις, κουρτίνες, κλπ)
- Πυκνότητα φυτών στο θερμοκήπιο-σωστή διεύθυνση-πλατυτεροι διάδρομοι εργασίας

# ΤΕΧΝΗΤΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ



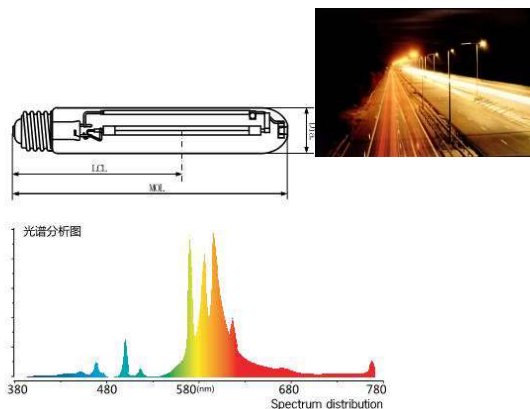
Ο τεχνητός  
φωτισμός ενισχύει  
τη φωτοσύνθεση

Ακτινοβολία εκτός του φάσματος της Φωτοσυνθετικά Ενεργής Ακτινοβολίας (PAR) είναι σπατάλη ενέργειας



# Λάμπες που χρησιμοποιούνται για τη φωτοσύνθεση σε θερμοκήπια

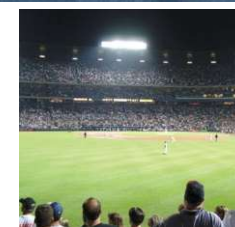
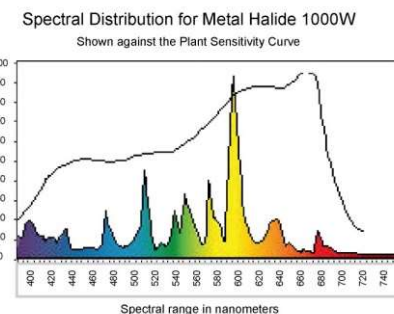
Type of lamp	Power (W)	Luminous flux (lm)	Radiant flux (W)	Economic life time (h)
Fluorescent 'TL'D33 (58W)	70	4800	14	7500
Metal-halide HPI-T (400W)	413	31500	88.2	8000
High-pressure sodium SON-T (400W)	436	47000	108.1	12000



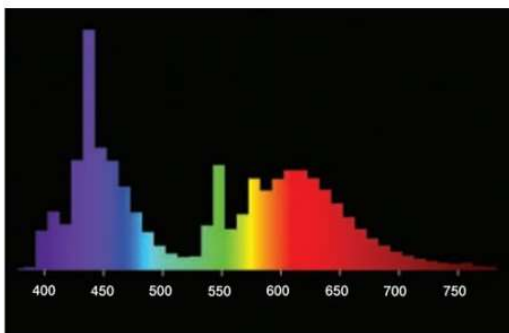
Λάμπες Νατρίου



Λάμπες αλογονούχων μετάλλων



# Λάμπες φθορισμού για θερμοκήπια



Spectral distribution curve  
Light colour 77



○ ○ special  
**OSRAM FLUORA®**



OSRAM FLUORA® sind die Lampen für Pflanzen...



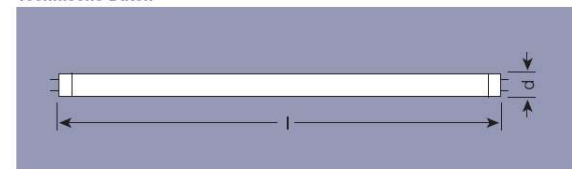
...und Aquarien: Sie spenden insbesondere Licht aus dem blauen und roten Spektralbereich. Ihr Wirkungsspektrum ist dem fotobiologischer Prozesse besonders gut angepasst. Dadurch fördern

## OSRAM FLUORA® – Wachstumslicht für schönere Pflanzen

Durch die Betonung des blauen und roten Spektralbereichs in ihrem Licht sind OSRAM FLUORA®-Leuchtstofflampen den Wirkungsspektren für fotobiologische Prozesse in Pflanzen besonders gut angepasst. Das Pflanzenwachstum wird dadurch erheblich gefördert.

OSRAM FLUORA®-Lampen werden überall dort eingesetzt, wo das natürliche Tageslicht allein für Pflanzen nicht ausreicht, zum Beispiel über Pflanzeninseln in Einkaufszentren, Büros, Hotels und Wohnräumen, aber auch in Blumenfenstern, Schaufenstern, Gewächshäusern und für Aquarien.

### Technische Daten



Typ	L 15 W/77	L 18 W/77	L 30 W/77	L 36 W/77	L 58 W/77
Nennleistung	15 W	18 W	30 W	36 W	58 W
Lichtstrom	400 lm	550 lm	1000 lm	1400 lm	2250 lm
Länge l max.	438 mm	590 mm	895 mm	1200 mm	1500 mm
Durchmesser d max.	26 mm	26 mm	26 mm	26 mm	26 mm

# Λάμπες LED για θερμοκήπια

