

# ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Διδάσκων: Ιωάννης Γκιάλας

Κεφάλαιο 3

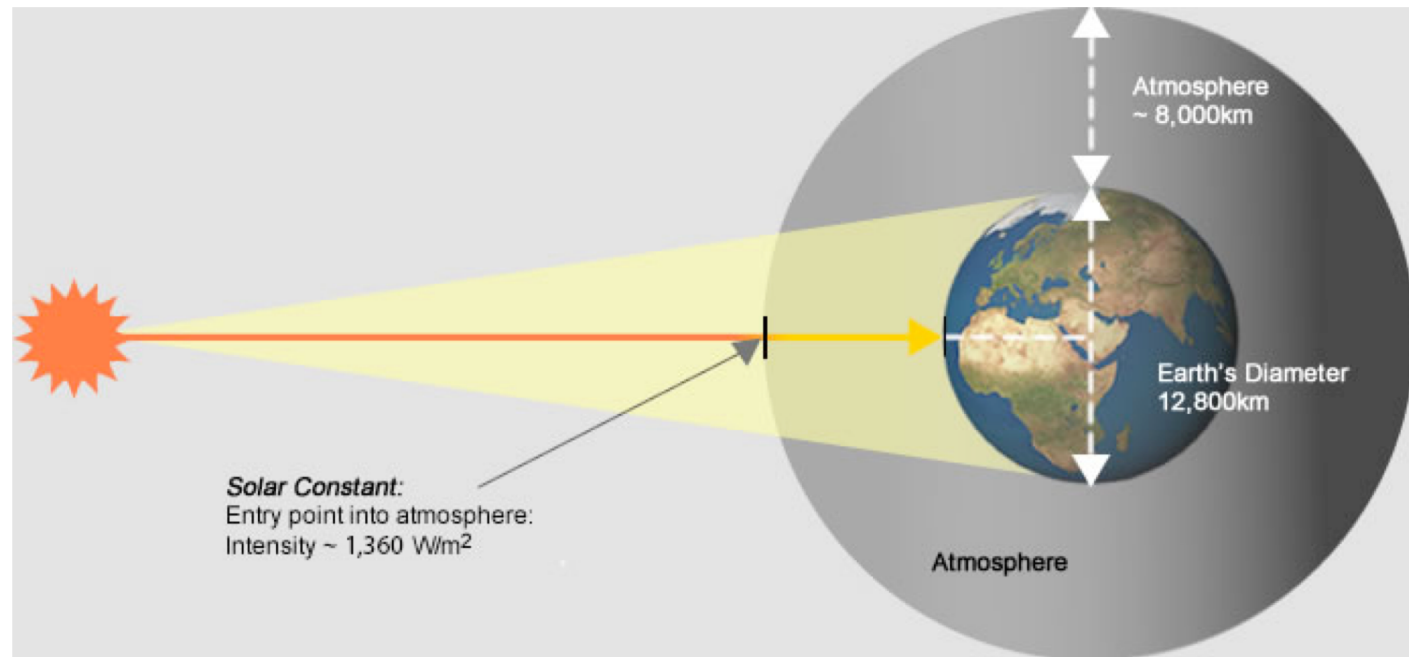
Ηλιακή Ενέργεια

# Solar Radiation outside the atmosphere

Solar constant  $G_0^* = 1367 \text{ W m}^{-2}$

The surface under the curve

Energy flux hitting a plane perpendicular to the sun ray (direction), positioned outside the atmosphere at a distance of  $1.496 \times 10^8 \text{ km}$  from the Sun



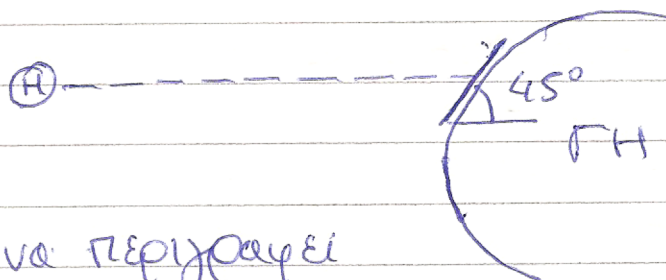


# Περιοχές ακτινοβολίας

## ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

- 1) Υπεριώδες ( $\lambda < 0.4 \mu\text{m}$ )  $\sim 5\%$
- 2) Ορατό ( $0.4 < \lambda < 0.7 \mu\text{m}$ )  $\sim 43\%$
- 3) Υπερώο ( $\lambda > 0.7 \mu\text{m}$ )  $\sim 52\%$

Ηλεκτρομαγνητικά  
κύματα (1,2,3)



Η ακτινοβολία μπορεί να περιγραφεί  
με ορατά κβαντών (στακέτων) ενέργειας,

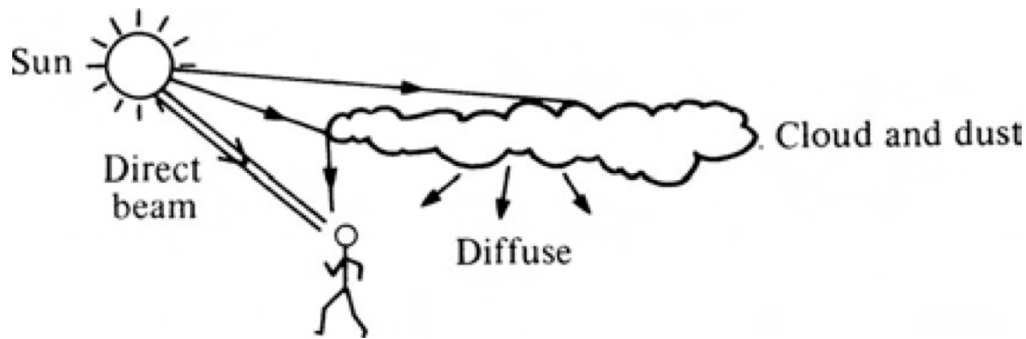
φωτονίων. Η ενέργεια  $E = \frac{hc}{\lambda}$  ( $1\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{J}$ )

$$\lambda = 0.3 \mu\text{m} \rightarrow E = 4.1 \text{eV}$$

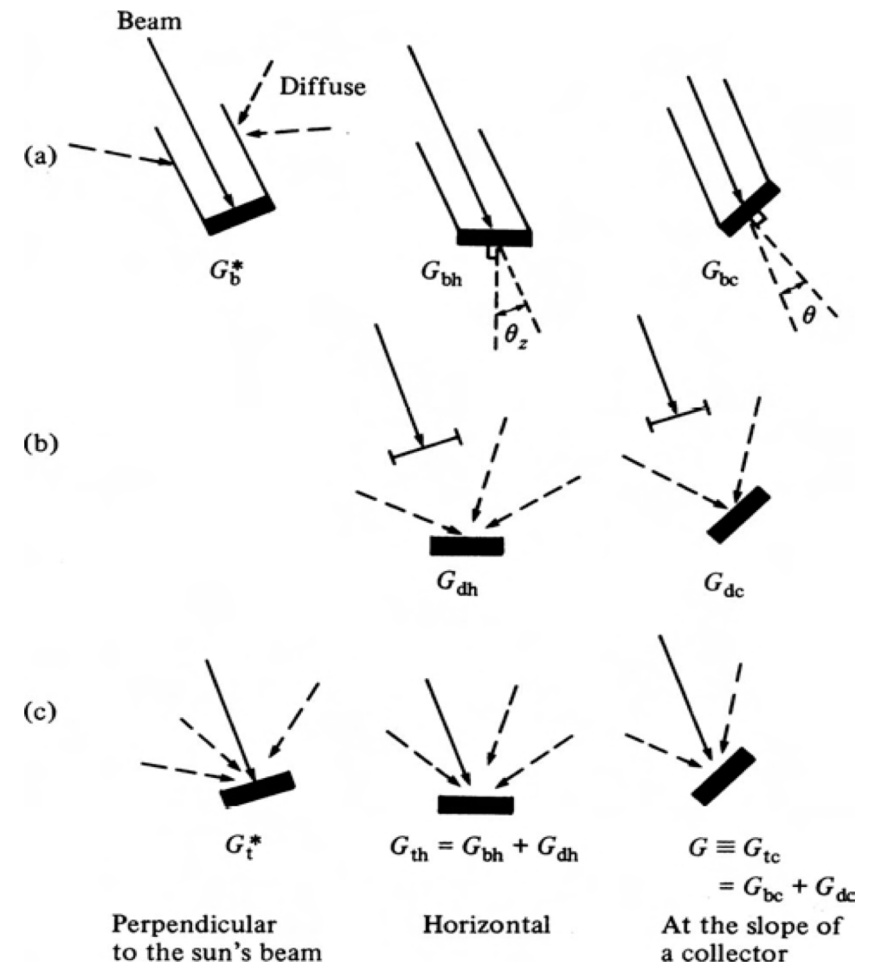
$$\lambda = 2.5 \mu\text{m} \rightarrow E = 0.5 \text{eV}$$



# Μέτρηση ηλιακής ακτινοβολίας - ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ



- Ηλιακή Δέσμη
- Διάχυτη ακτινοβολία



# Στοιχεία Γεωμετρίας

Περιστροφή σε 24 ώρες

Άξονας

Βόρειος-Νότιος πόλος

Γεωγραφικό μήκος  $\psi$  (longitude)

Γεωγραφικό πλάτος  $\phi$  (latitude)

Ισημερινό Επίπεδο

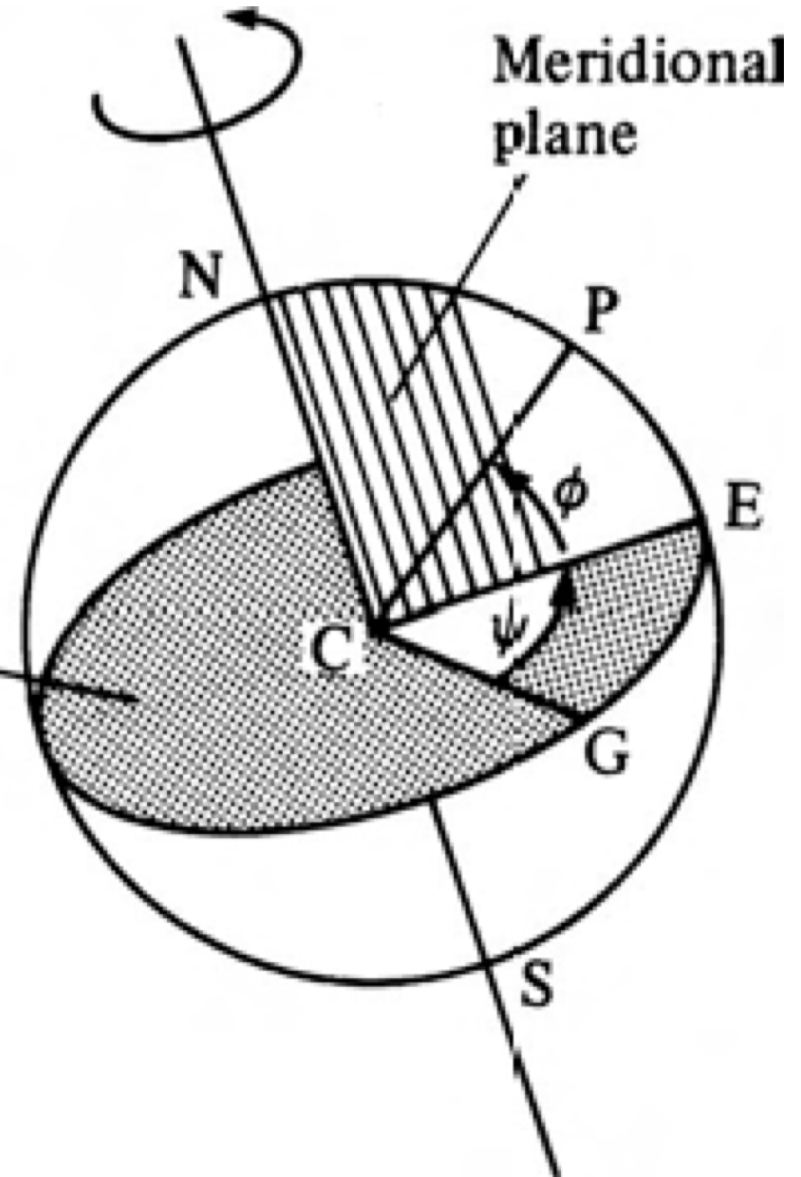
Μεσημβρινό Επίπεδο

Ηλιακή μεσημβρία (noon solar time)

όταν CPE περιλαμβάνει τον ήλιο

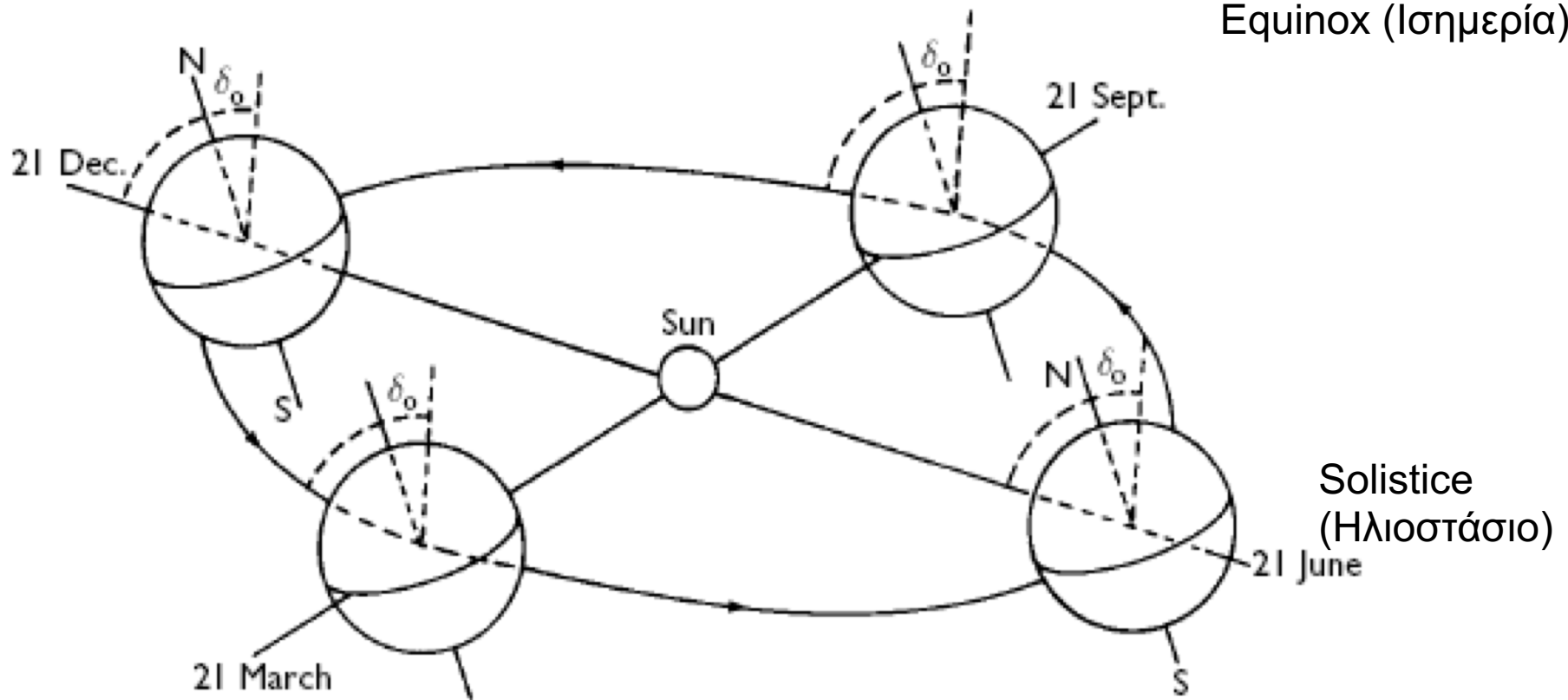
Χρονικές ζώνες ( $15^\circ$  σε γεωγραφικό μήκος)

Γωνία ώρας  $\omega$  στο P είναι η γωνία που έχει περιστραφεί η γη από την ώρα της ηλιακής μεσημβρίας  
 $360^\circ/24h = 15^\circ/h$



# Ετήσιος κύκλος

Equinox (Ισημερία)



Solstice  
(Ηλιοστάσιο)

Figure 4.5 The Earth revolving around the Sun, as viewed from a point obliquely above the orbit (not to scale!). The heavy line on the Earth is the equator. The adjectives 'autumnal, vernal (spring); summer and winter;' may be used to distinguish equinoxes and solstices, as appropriate for the season and hemisphere.

# Απόκλιση

Περιοτροφή Γης γύρω από τον Ήλιο μία φορά του χρόνου.

Ο άξονας περιφοράς παραμένει αμεταβλητός στο χώρο.

σε γωνία  $\delta_0 = 23,45^\circ$  ως προς την κάθετο στο επίπεδο κίνησης της γης γύρω από τον ήλιο

Γωνία μεταξύ κατεύθυνσης του ηλίου και του εσημερινού επιπέδου  $\delta$ , declination  $\delta$ . "Απόκλιση"

Σχετίζεται με τις αλλαγές των εποχών

(Declination) Απόκλιση είναι το γεωγραφικό πλάτος του σημείου όπου ο Ήλιος είναι ακριβώς από πάνω στην ώρα της ηλιακής μεσημβρίας

# Μεταβολή Απόκλισης

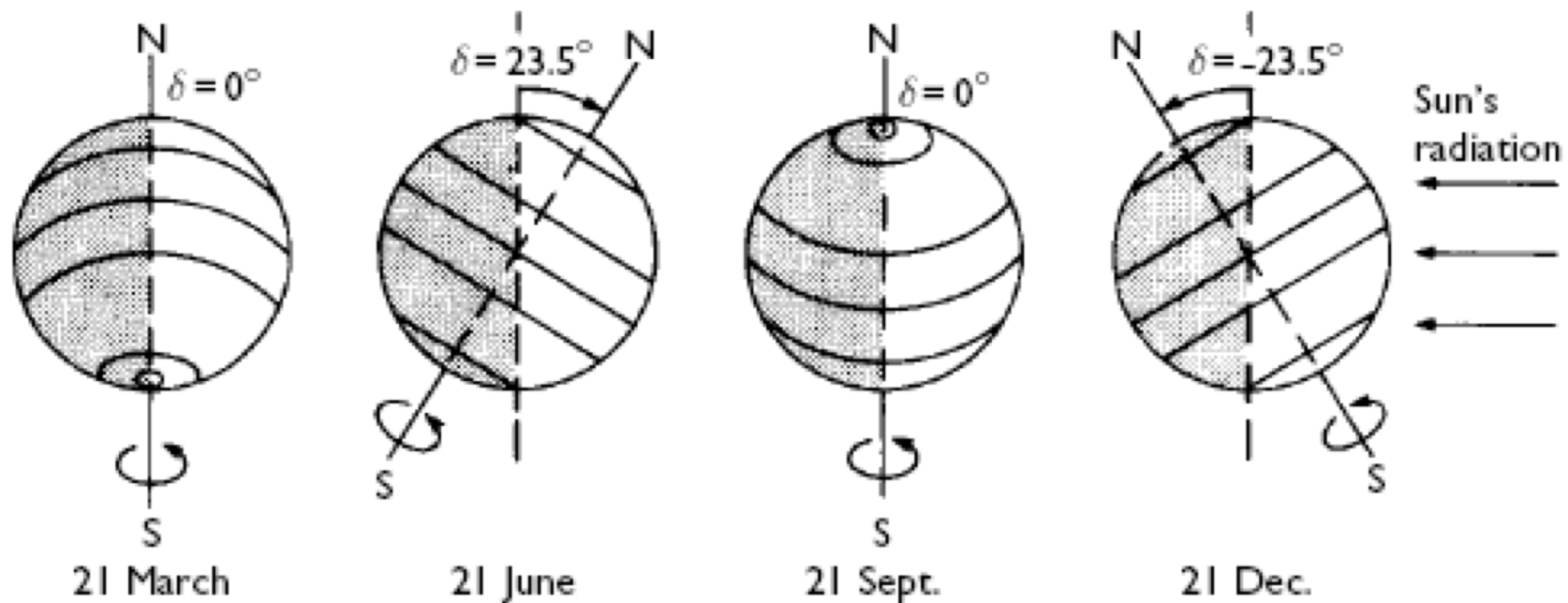


Figure 4.6 The Earth, as seen from a point further along its orbit. Circles of latitude  $0^\circ$ ,  $\pm 23.5^\circ$ ,  $\pm 66.5^\circ$  are shown. Note how the declination  $\delta$  varies through the year, equalling extremes at the two solstices and zero when the midday Sun is overhead at the equator for the two equinoxes (equal day and night on the equator).

# Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία-Daily Insolation

$$H = \int_{t=0h}^{t=24h} G dt.$$

Εποχική μεταβολή είναι πολύ σημαντική στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη.

Εποχική διακύμανση οφείλεται:

Διάρκεια ήρας

$$N = \frac{2}{15} \cos^{-1} (-\tan \phi \tan \delta)$$

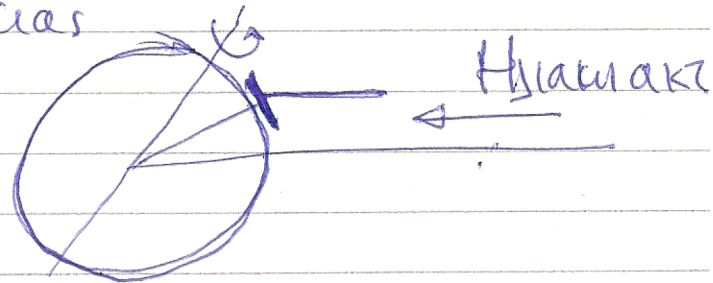
$$\phi = 48^\circ \quad N = 16 - 8 \text{ h}$$

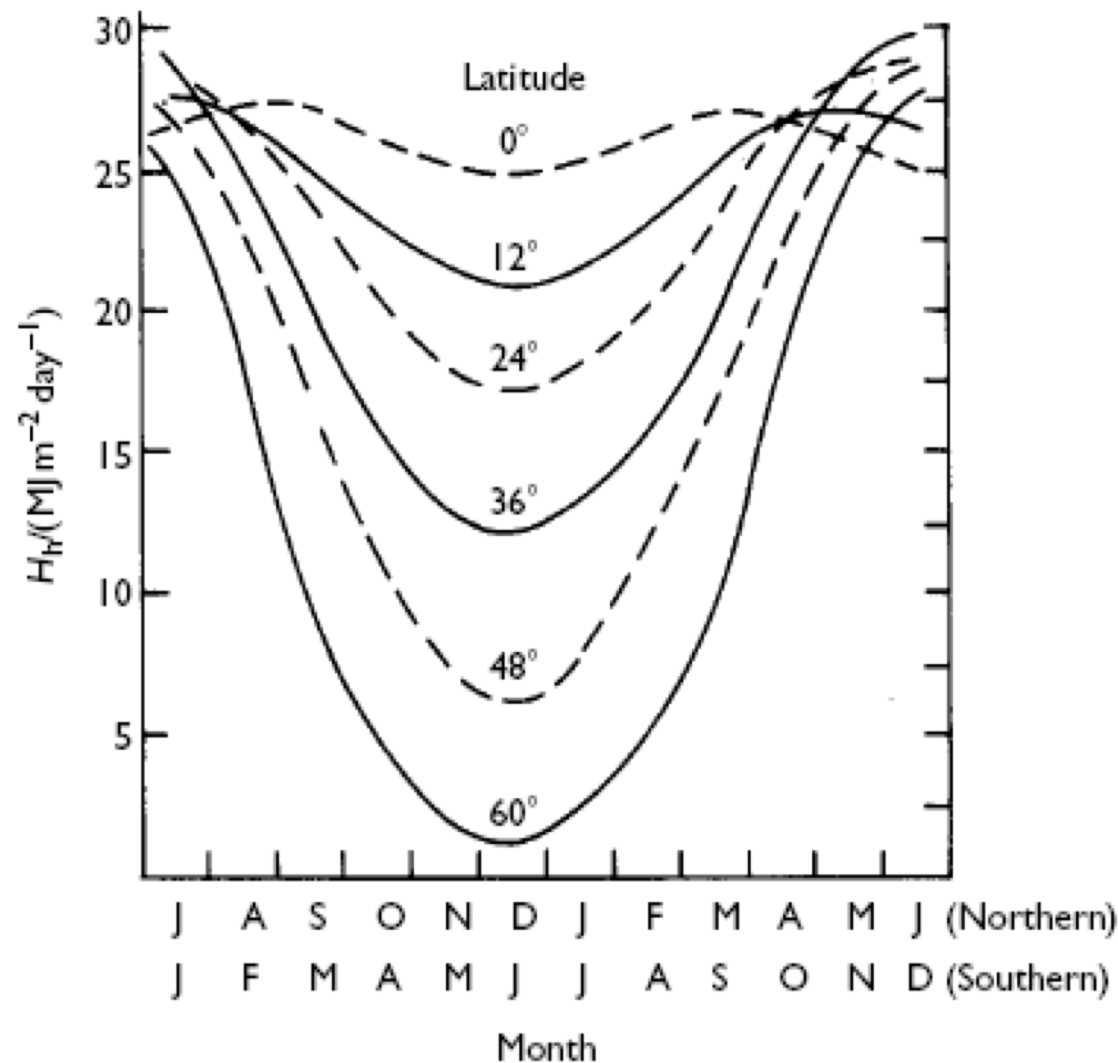
$$|\phi| > 66,5^\circ \quad N = 24 - 0$$

Προσανατολισμός επιφανείας

Για άλλες γωνίες πην ορθογώνια θα κινήσουμε αργότερα

Ατμοσφαιρική απορρόφηση



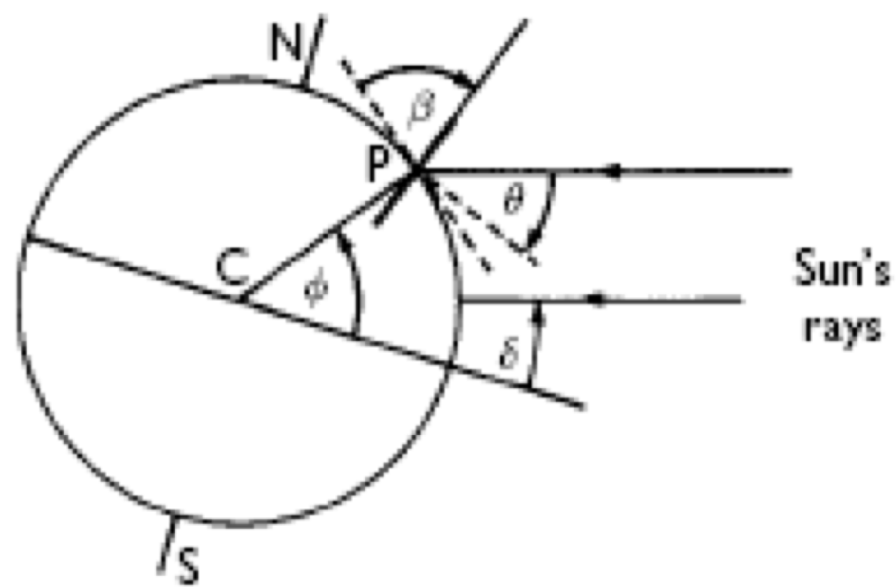


# Διακύμανση Ημερήσιας Ηλιακής Ακτινοβολίας

## Daily Insolation

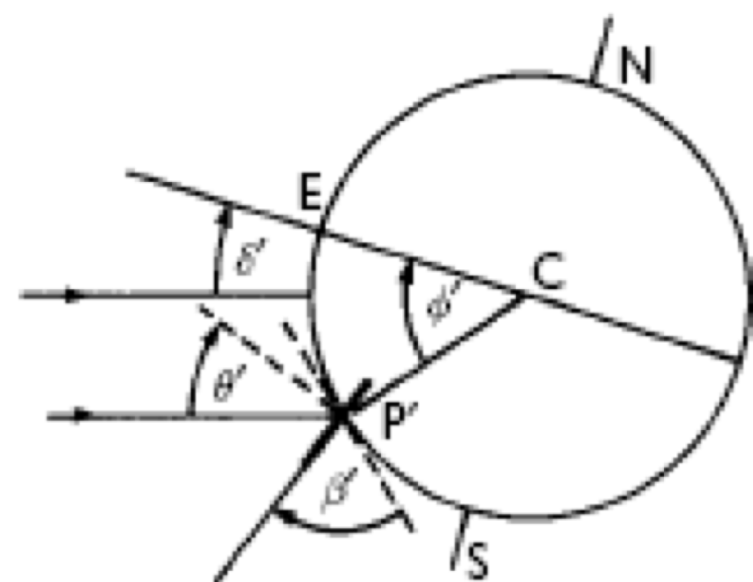
Figure 4.7 Variation with season and latitude of  $H_h$ , the daily insolation on a horizontal plane with clear skies. In summer,  $H_h$  is about  $25 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$  at all latitudes. In winter,  $H_h$  is much less at high latitudes because of shorter day length, more oblique incidence and greater atmospheric attenuation. However, see Figure 4.16 to note how daily insolation varies with the slope of the receiving surface, especially vertical surfaces such as windows.





(a)

Sun's rays



(b)

## Γεωμετρία συλλεκτών

Κλίση  $\theta$ .

Γωνία μεταξύ της επιφάνειας του συλλέκτη και του οριζοντίου επιπέδου  
 $0 < \theta < 90$  για επιφάνειες που βλέπουν προς τον Ισημερινό

Αψιμαθία επιφάνειας,  $\gamma$ . Προβολή στο οριζόντιο επίπεδο

της γωνίας μεταξύ καθέτου στην επιφάνεια και μεσημβρινών

$\gamma = 0$  για προσανατολισμό προς τον νότο

$\gamma = 180^\circ$  βορρά

$0 - 180^\circ$  δυτικά

$0 - (-180^\circ)$  ανατολικά

( $\gamma = 0$  για οριζόντια επιφάνεια)

Γωνία προσήζωσης  $\theta$

Γωνία μεταξύ διεφνης  
ήλιου και καθέτου  
στην επιφάνεια

2

Γωνία ζενιθ ηλιακή  $\theta_z$

Γωνία μεταξύ διεφνης  
ηλιου και κατακόρυφου

( $\theta$  και  $\theta_z$  δεν είναι απαραίτητα στο ίδιο επίπεδο)

Ηλιακή ανώγωση  $\alpha_s = 90^\circ - \theta_z$

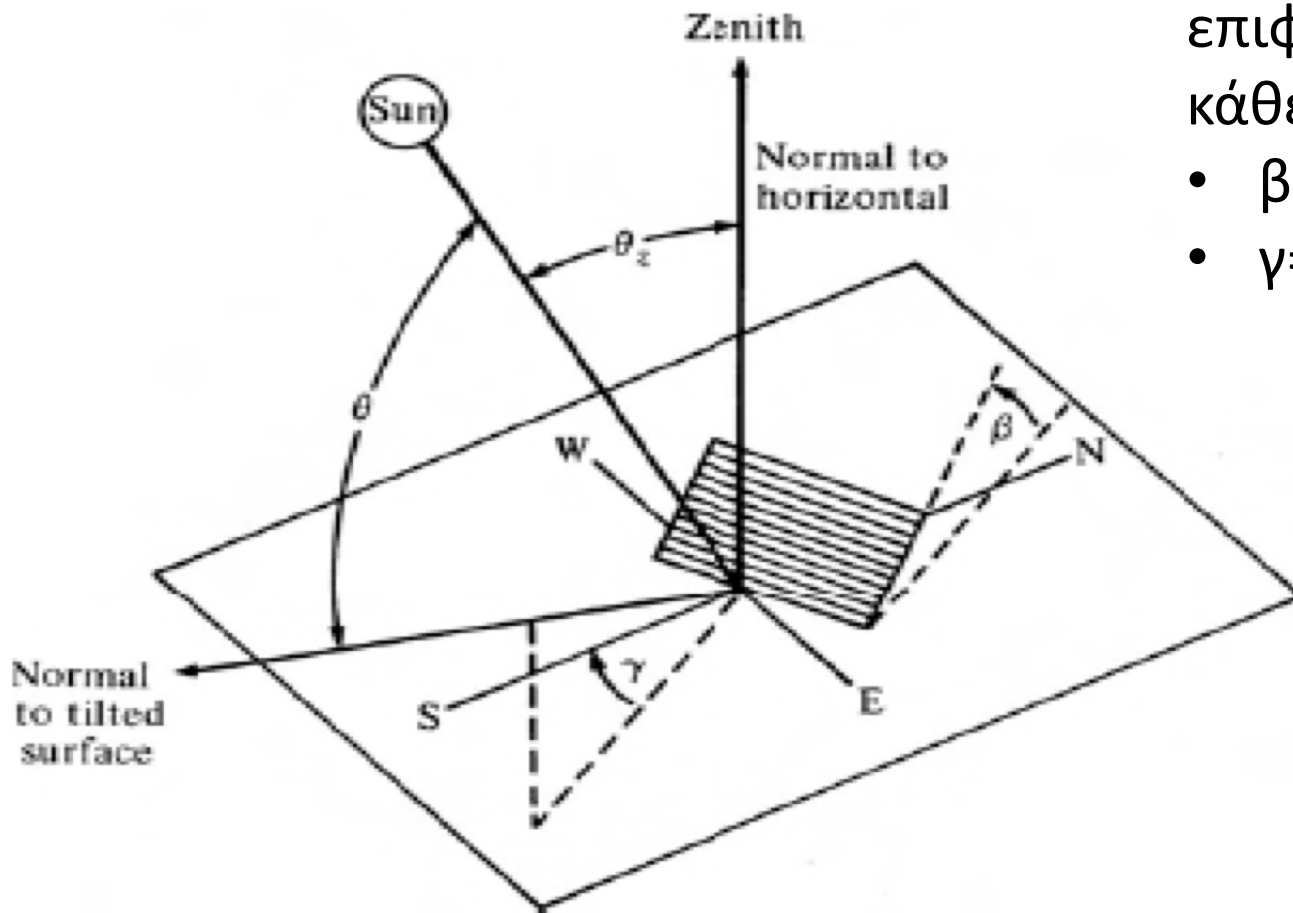
Ηλιακό αζιμουθίο  $\gamma_s$  . Προβολή στο οριζόντιο  
πιαζύ διεφνης και  
μεσημβρινού.

Ηλιακή ωρα  $\omega$  . Η γωνία περιστροφής της Γης από το  
ηλιακό μεσημέρι.

# Προσανατολισμός συλλεκτών

Βέλτιστη κλίση όταν η επιφάνεια του συλλέκτη είναι κάθετη στην ακτίνα του ήλιου

- $\beta = \text{γεωγραφικό πλάτος}$
- $\gamma = 0$



# Προσανατολισμός συλλεκτών

$$\cos\theta = (A-B) \sin\delta + [C \sin\omega + (D+E) \cos\omega] \cos\delta$$

$$A = \sin\varphi \cos\beta$$

$$B = \cos\varphi \sin\beta \cos\gamma$$

$$C = \sin\beta \sin\gamma$$

$$D = \cos\varphi \cos\beta$$

$$E = \sin\varphi \sin\beta \cos\gamma$$

και

$$\cos\theta = \cos\theta_z \cos\beta + \sin\theta_z \sin\beta \cos(\gamma_s - \gamma)$$

Βέλτιστος προσανατολισμοί συλλέκτη

3

Για συγκενρωτικό συλλέκτη πρέπει πάντα να είναι στραμμένος προς τον ήλιο ( $\theta=0$ )

Για σταθερό επίπεδο συλλέκτη

$$H_c = \int (G_b \cos \theta + G_d) dt$$

Κατάλληλος προσανατολισμός είναι προς την ημισφαίριο του Ισημερινού.  $\psi$  είναι κλίση· ίση με το γεωγραφικό πλάτος

$$\gamma=0, \beta=\phi \Rightarrow \cos \theta = \cos \omega \cos \delta$$

Επειδή  $\cos \theta \approx 1$  για  $\theta < 30^\circ$   
 μεταβολές  $\pm 30^\circ$  σε αζιμουθιο ή κλίση έχουν μικρή  
 επίπτωση στην βιομηχανική συλλογή ενέργειας  
 Όμως, μέσα σε ένα χρόνο η γωνία της ηλιακής ακτινοβολίας  
 μεταβάλλεται, οπότε και είναναι αλλαγές και ο παραμετρο-  
 λόγος του "σταθερού" συλλέκτη κάθε μήνα

Βλέπε σχήμα για μεταβολή της ακτινοβολίας στην  
 διάρκεια της ημέρας

$$G_h \approx G_h^{\max} \sin\left(\frac{\pi t'}{N}\right)$$

$t'$ : ώρα μετά την  
 ανατολή του ήλιου

$N$ : Ο αριθμός των  
 ωρών η. έρας  
 (daylight)

## Παράδειγμα

5

Σε γεωγραφικό πλάτος  $\pm 50^\circ$  το καλοκαίρι.

$$G_h^{\max} \approx 900 \text{ W m}^{-2}, \quad N = 16 \text{ h}, \quad H_n \approx 33 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$$

Τον χειμώνα

$$G_h^{\max} \approx 200 \text{ W m}^{-2}, \quad N = 8 \text{ h}, \quad H_n \approx 3,7 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$$

Στους τροπικούς

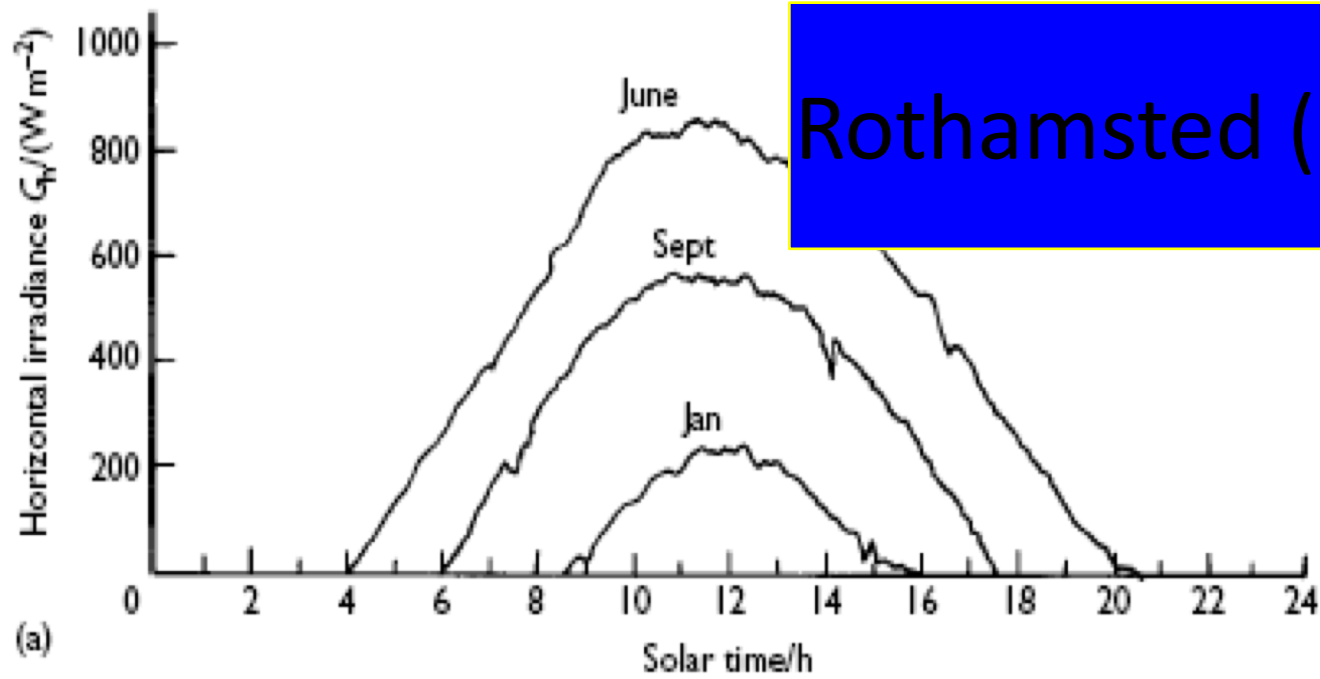
$$G_h^{\max} \approx 950 \text{ W m}^{-2}, \quad N \sim 12 \text{ h}, \quad H_n \approx 26 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$$

Πρέπει να αναποδογιοστούν συνεχώς και σκόνη

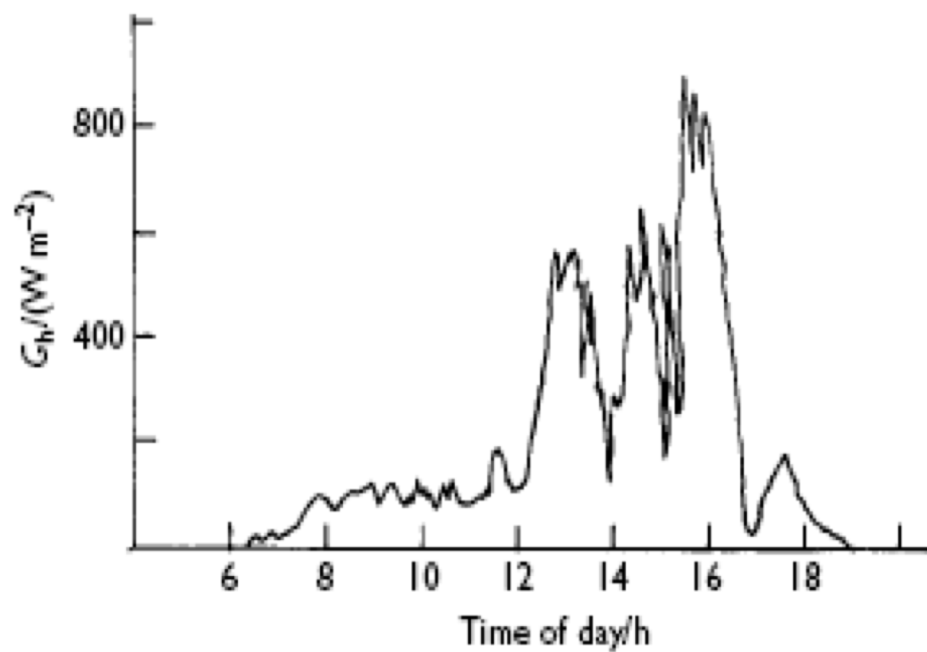
Τυπικά, μεσημεριένες ρυτίες 50-70% της ρητινής καθαρό ουρανό



Rothamsted (52N, 0W) Αγγλία.



(a)



(b)

# IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change] (2001)

ΕΠΙΠΤΟΞΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΤΗΝ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ  
Γαμία προσήζωθης στην ατμόσφαιρα (γαμία  $T_{\text{eff}}$ )  
Υψος του παρατηρητή πάνω από το επίπεδο της θάλασσας  
Θεωρούμε σαν μεταβλητή την παζα των αερίων  
της ατμόσφαιρας που ανασταεί η δεσμή του ηγίου  
και όχι αηζα την απόσταση.

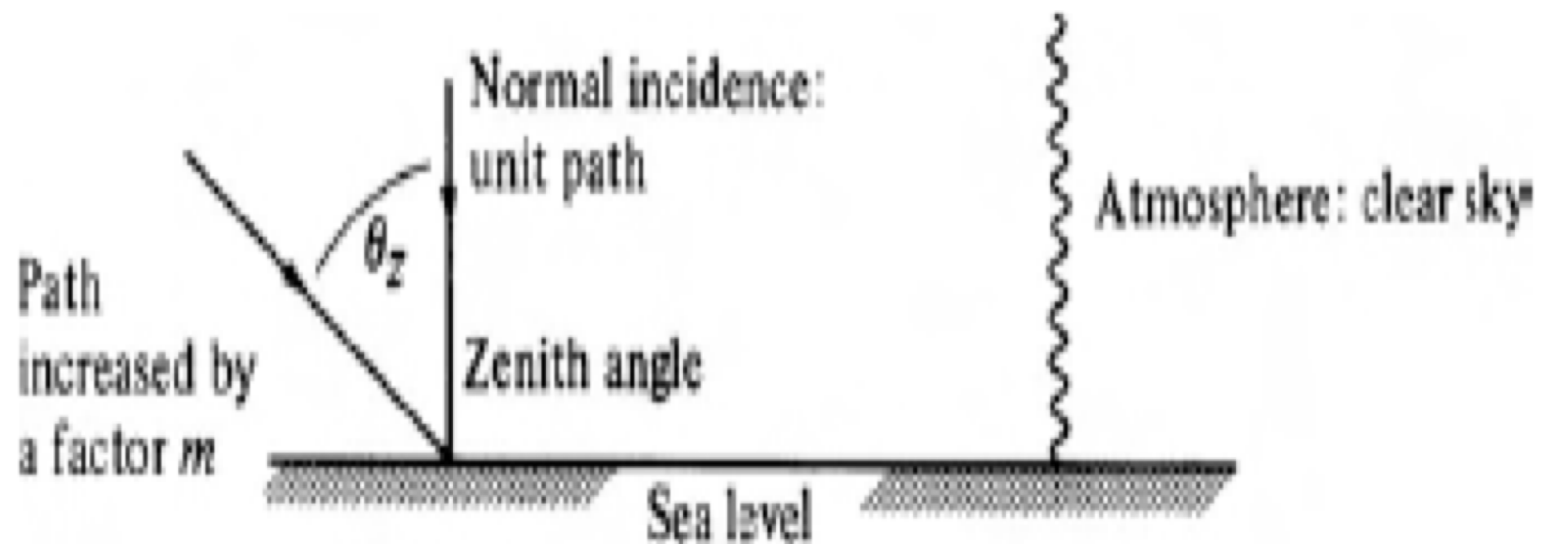
Τηνη αναφοράς είναι η παζα ατμόσφαιρας που  
διαρρεχεται από την δεσμή του ηγίου  
που πύζει κατακόρυφα σε κανονική πίεση  
Για γαμία προσήζωθης  $\theta_z$ , αυξημένη παζα  
κατά παραδοξα  $m$  (air-mass ratio) (AM)

# Air-mass ratio

AM0 : Έξω από την ατμόσφαιρα

AM1 : Στην επιφάνεια της γης, για  
κάθετη πρόσπτωση

$$m = 1 / \cos \theta_z$$



## ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

### Απορροφήση

Μετατροπή της ενέργειας της ακτινοβολίας σε θερμότητα και επανεκπομπή σε μεγάλα μήκη κύματος

### Σκέδαση

Αλλαγή κατεύθυνσης χωρίς αλλαγή συχνότητας.  
Εξαρτάται από το μήκος κύματος

### Ανακλάση

Ανεξάρτητο του μήκους κύματος.

# Ανάκλαση (albedo)

## ΑΝΑΚΛΑΣΗ

Περίπου 30% της ηλιακής ακτινοβολίας ανακλάται πίσω στο διάστημα. ( $\rho_0 = 0.3$ ). Κυρίως από τα σύννεφα και λιγότερο από το χιόνι και τον πάγο στην επιφάνεια (ALBEDO)

Το μη ανακλωμένο τμήμα της ακτινοβολίας που συνεχίζει και φθάνει στη γη είναι:

$$\sim (1 - \rho_0) \times 1.3 \text{ kWm}^{-2} \sim 1 \text{ kWm}^{-2}$$

# ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Μεταφορά θερμότητας

•Αγωγή

•Μεταφορά

•Ακτινοβολία

[Βίντεο μεταφοράς θερμότητας](#)

# Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

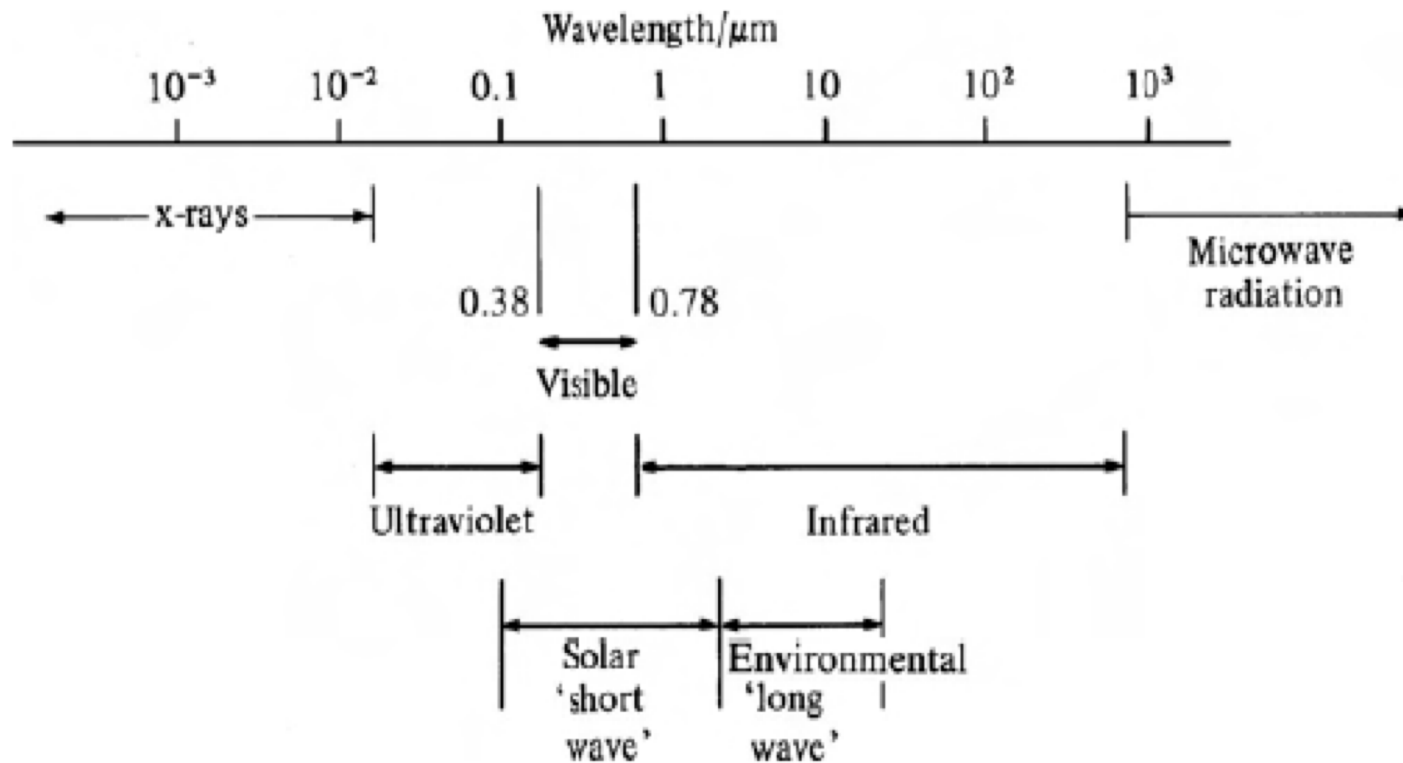


Figure 3.8 Some of the named portions of the electromagnetic spectrum. (The spectrum extends both 'longwards' and 'shortwards' from that shown.)

# Πυκνότητα ροής ακτινοβολίας

Η ακτινοβολία του ήλιου είναι ενέργεια που φθάνει στην Γη από τον Ήλιο με την μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (ή στην σωματιδιακή θεώρηση φωτονίων)

Η ενέργεια που προσπίπτει σε μία επιφάνεια ανά μονάδα χρόνου και επιφάνειας είναι η πυκνότητα ροής ακτινοβολίας,  $\varphi$  (Radiant Flux Density) ( $W m^{-2}$ )

Η spectral RFD ή φασματική πυκνότητα ροής ακτινοβολίας εξαρτάται και από το μήκος κύματος ( $W m^{-3}$ ) ;ή ( $W m^{-2} \mu m^{-1}$ )



# Μετρήσεις ακτινοβολίας από συγκεκριμένες διευθύνσεις

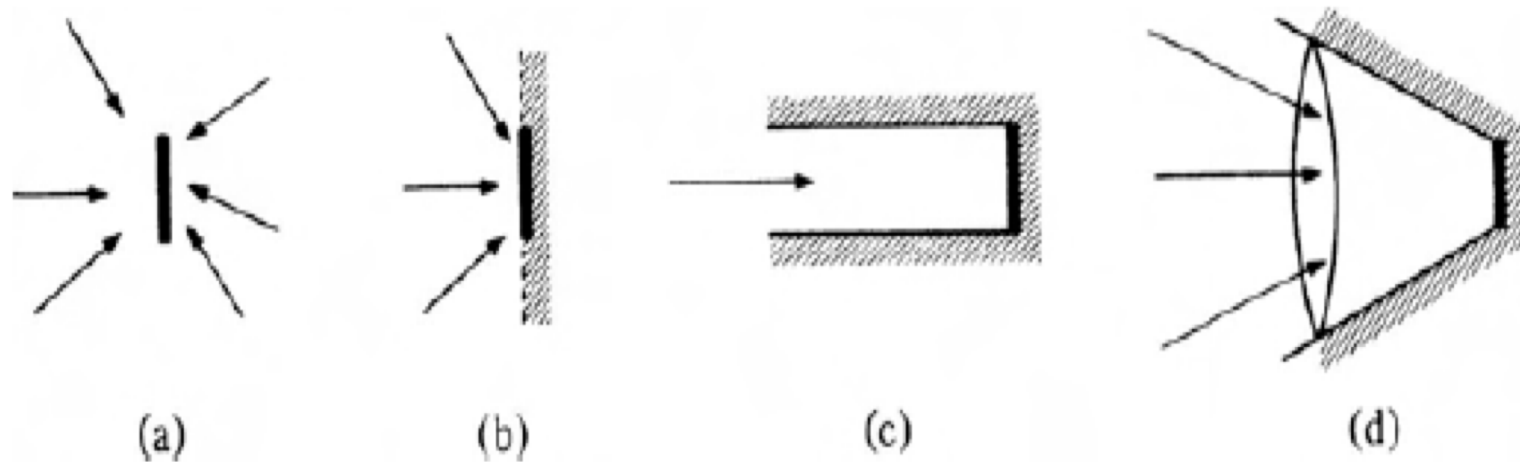


Figure 3.9 Measurements of various radiation parameters using a small totally absorbing plane. (a) Absorbs all directions. (b) Absorbs from hemisphere above one side only. (c) Absorbs from one direction only. (d) Absorbs from one solid angle only.

# Πυκνότητα ροής ακτινοβολίας

Η ακτινοβολία έχει ιδιότητες κατεύθυνσης.

Μετρητική διάταξη

Μεγαν βίρα. Απορροφάει δηλ την προσπίπτουσα ακτινοβολία.

Μπορούμε να μετρήσουμε την ~~από~~ απορροφούμενη ενέργεια αν ξέρουμε την θερμοχωρητικότητα και μετρήσουμε την αύξηση της θερμοκρασίας

(βλ. σχημα) 
$$\Phi = \frac{\Delta E}{\Delta A \Delta t}$$

Αν ~~εξ~~ τοποθετήσουμε μπροστά από το μετρητικό στοιχείο μια διάταξη που αφήνει μόνο ορισμένα μήκη κύματος να περάσουν

από  $1 - \left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right) \rightarrow 1 + \left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right)$ , τότε 
$$\Phi_2 = \frac{\Delta E}{\Delta A \Delta t \Delta\lambda} \quad (\text{Wm}^{-2}\text{m}^{-1})$$

# Απορρόφηση, μετάδοση, ανάκλαση ακτινοβολίας

ΜΟΝΟΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑ  $a_\lambda$

Σε φηκος κύματα  $\lambda$ , μέσα σε ένα διασπασ  $d\lambda$ , (προσπίπτουσα)  $a_\lambda$  είναι το κλάσμα της προσπίπτουσας ενέργειας που απορροφάται

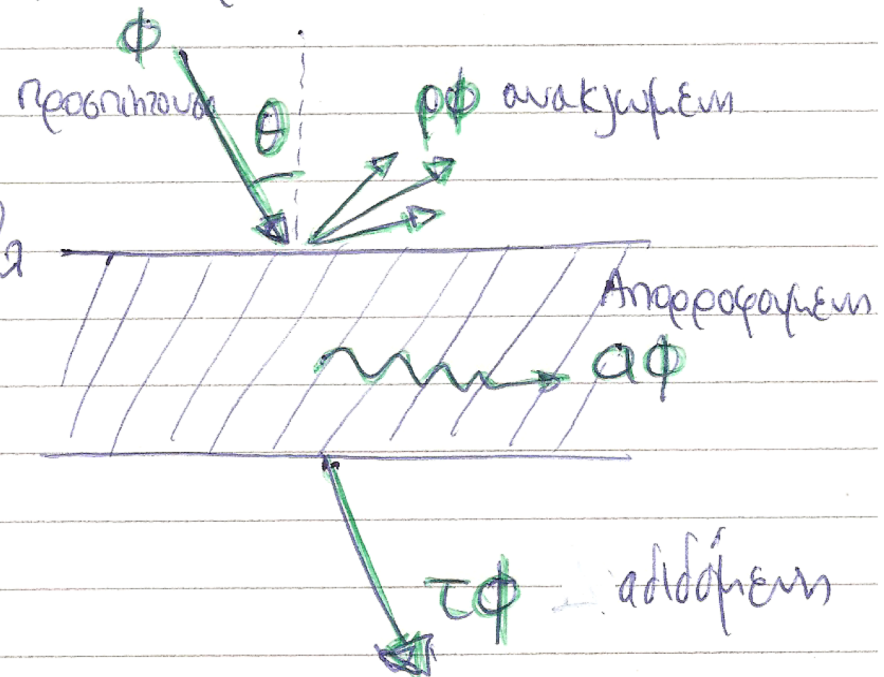
$a_\lambda$  είναι ιδιότητα της επιφάνειας μόνο.

Όμοια

Μονοχρωματική ανακροστικότητα  $\rho_\lambda$   
Μονοχρ, μεταδοτικότητα  $\tau_\lambda$

Πόσω της διατήρησης της ενέργειας

$$a_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1$$



# RFD, Απορροφητικότητα

Αποσπασματική ή ολική απορροφητικότητα,  $a$ , είναι η ολική απορροφούμενη ενέργεια ανά κλάση της ολικής προσπίπτουσας πυκνότητας ροής ακτινοβολίας RFD (Radiant Flux Density)

$$a = \rho + \tau = 1$$

RFD  $\rightarrow \phi$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

Spectral RFD:  $\phi_\lambda \equiv \frac{d\phi}{d\lambda}$  ( $\text{Wm}^{-3}$ )

ή  $\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$

$\Rightarrow \phi_\lambda \Delta\lambda$  : ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας σε μία περιοχή μικρών κυμάτων  $\Delta\lambda$

Χρησιμοποιούμε επιφάνεια σε  $\text{Jm}^{-2}\text{s}^{-1}$  μήκος και χρόνο σε κάποιο  $\text{m}^{-1}$  διάστημα

$$\phi = \int \phi_\lambda d\lambda$$

$$a = \frac{\phi_{\text{abs}} (\text{απορροφούμενη})}{\phi_{\text{προσπίπτουσα Inc}}}$$

# Νόμος του Kirchhoff

$$\text{Emittance} \quad \varepsilon = \frac{\Phi_{\text{απο επιφάνεια}}(T)}{\Phi_{\text{απο μαύρο σώμα}}(T)}$$

Μονοχρωματική

$$\text{Emittance} \quad \varepsilon_{\lambda}: \quad 0 \leq \varepsilon, \varepsilon_{\lambda} \leq 1$$

ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ KIRCHHOFF: Για μια επιφάνεια σε συγκεκριμένη θερμοκρασία, και για το ίδιο μήκος κύματος, ισχύει  $\varepsilon_{\lambda} = a_{\lambda}$

$a_{\lambda}, \varepsilon_{\lambda}$  είναι χαρακτηριστικά της επιφάνειας:

Παράδειγμα: Ο ήλιος εκπέμπει σε  $T = 5800 \text{ K}$ . Η μέγιστη ένταση στα  $\lambda \approx 0.5 \mu\text{m}$ .  
Η επιφάνεια είναι στα  $350 \text{ K}$  και εκπέμπει το μέγιστο σε  $\lambda \approx 10 \mu\text{m}$ .



# Μέλαν σώμα

ΜΕΛΑΝΑ ΣΩΜΑΤΑ, ΕΜΙΤΤΑΝΣΕ

ΒΑΣΙΚΟΙ ΚΙΡΧΗΦΟΦ

Ένα σώμα που απορροφά ολη την προσπίπτουσα ακτινοβολία, ορατή και μη ορατή, λέγεται "ΜΕΛΑΝ ΣΩΜΑ".

Οποιοδήποτε ένα μέλαν σώμα έχει  $a_{\lambda} = 1$  για όλα τα  $\lambda$ .  
 $a_{\lambda}$ : Απορροφητικότητα

Επίσης  $a = 1$  ολική απορροφή.

ΤΙΠΟΤΑ ΔΕΝ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΕΙ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΑΠΟ ΕΝΑ ΠΑΡΟΜΟΙΟ ΜΕΛΑΝ ΣΩΜΑ ΠΟΥ ΔΕΧΕΤΑΙ ΤΗΝ ΙΔΙΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΗΣΗ

Ο ΚΙΡΧΗΦΟΦ απέδειξε επίσης ότι κανένα σώμα δεν μπορεί να εκπέμψει περισσότερη ακτινοβολία από ~~από~~ ένα μέλαν σώμα στην ίδια θερμοκρασία

# Νόμος του Planck

Ακτινοβολία που εκπέμπεται από ένα σώμα

Μεγάλο σώμα σε θερμοκρασία (απόλυτη)  $T$ .

Μονοχρωματική ~~ρ~~ πυκνότητα ροής  $\Phi_{\text{B}\lambda}$

Υποδηλώνεται

Από την κβαντομηχανική

$$\Phi_{\text{B}\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5 \left[ \exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) - 1 \right]}$$

Νόμος του Planck

$$C_1 = hc^2 = 3.74 \times 10^{-16} \text{ Wm}^2$$

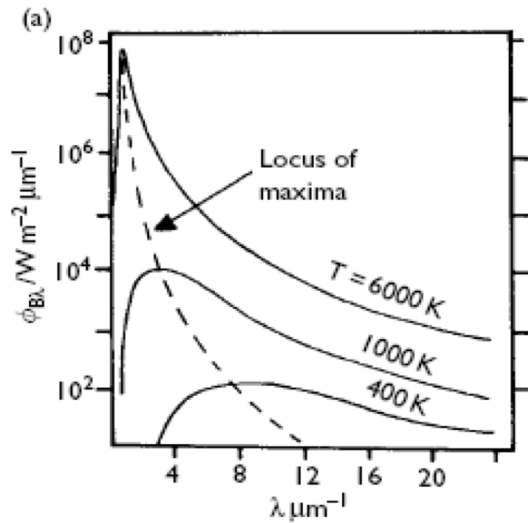
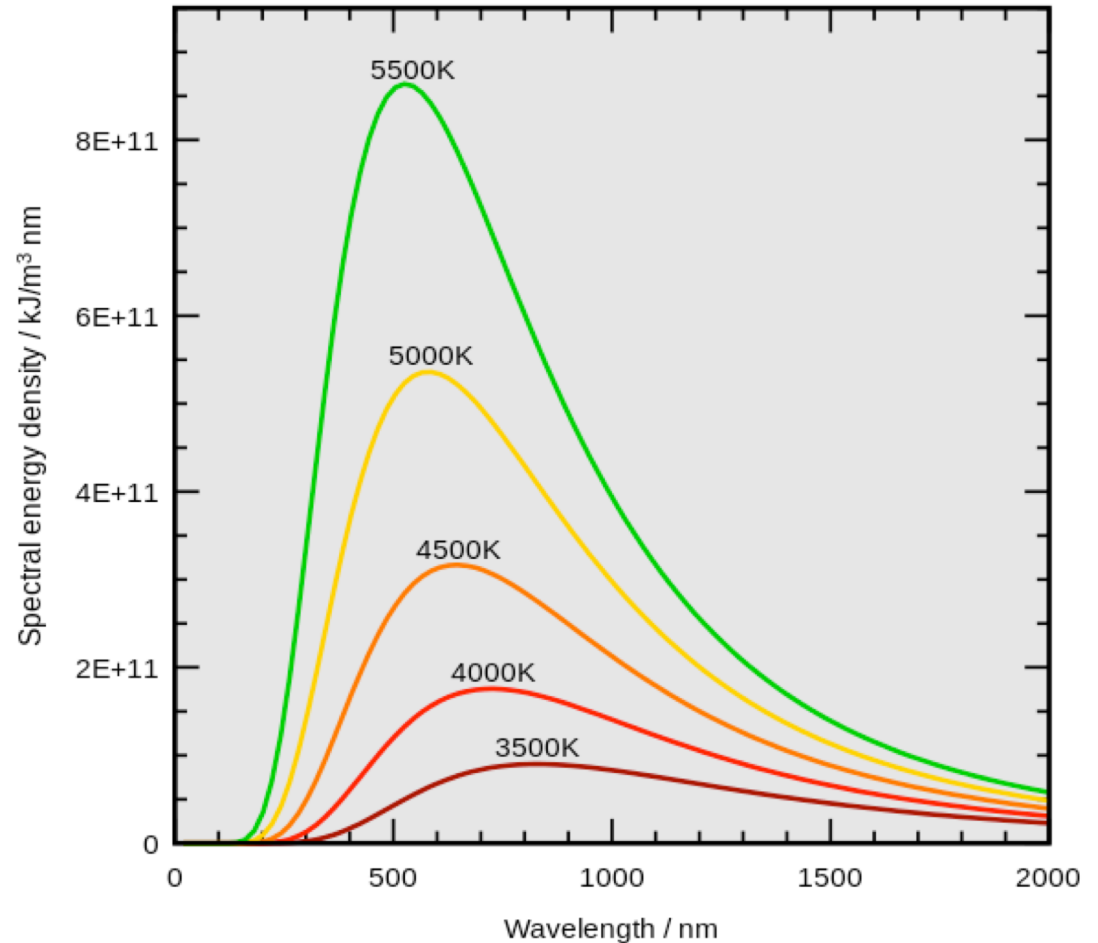
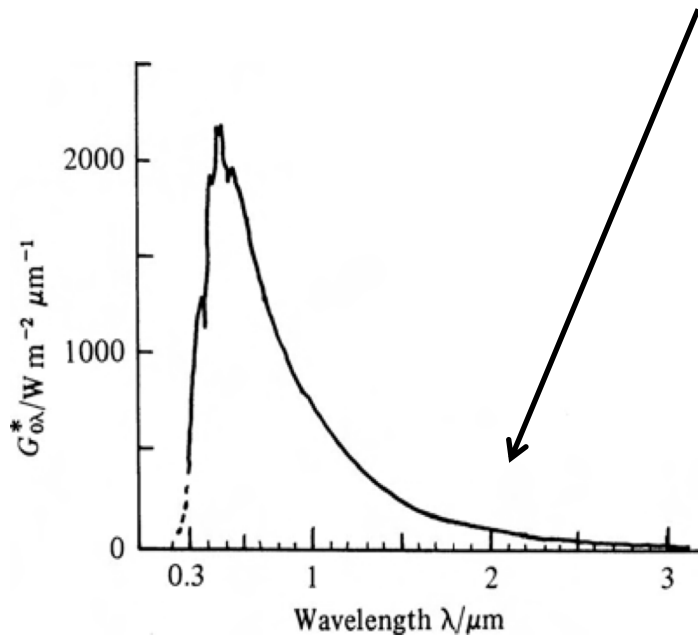
$$C_2 = hc/k = 0.0144 \text{ mk}$$

$h$ : Σταθερά του Planck,  $h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ Js}$

$k$ : Σταθερά του Boltzmann,  $k = 1.4 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$

$c$ : Ταχύτητα φωτός,  $c = 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$

# Φάσμα ηλιακής ακτινοβολίας (μέτρηση και θεωρία)





# Νόμος του Wien

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$$

Προβίξτε ότι το  $\lambda_m$  όπου έχουμε μέγιστη εντάση ακτινοβολίας αυξάνει καθώς μειώνεται η θερμοκρασία. (βλ. σχήμα)

Από την εμπειρία, αυξάνει η θερμοκρασία και το σώμα αρχίζει να κοκκινίζει και μετά να γίνεται λευκό, και μετά θαλασσί (ασπέρια)

Παραγωγίζοντας ως προς  $\lambda$  και θέτουμε

$$\frac{d(\Phi_{B\lambda})}{d\lambda} = 0$$

$$\Rightarrow \lambda_m T = 2898 \text{ } \mu\text{mK}$$

Νόμος του Wien

Ολοκληρώνοντας

$$\Phi_B = \int_0^{\infty} \Phi_{B\lambda} d\lambda = \sigma T^4$$

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4} \text{ ανα Stefan-Boltzmann}$$

# Πραγματικό σώμα

Ένα αχνό σώμα με emissance  $\epsilon$  ( $\epsilon < 1$ ), επιφάνεια  $A$   
και θερμοκρασία  $T$

ΠΡΟΣΟΧΗ:  $T$  είναι ΑΠΟΛΥΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ:  $T(K) = 273,15 + T(C)$

$P = \epsilon \sigma A T^4$  (W) Ισχύς που εκπέμπεται από σώμα

Λόγω του  $T^4$  οι απώλειες θερμότητας λόγω ακτινοβολίας  
κυριαρχούν για θερμοκρασίες  $\gtrsim 100^\circ C$

# Ηλιακή Ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία φθάνει στην επιφάνεια της γης με πυκνότητα ροής  $1.0 \text{ kW/m}^2$ . (0.3 - 2.5  $\mu\text{m}$ )  
βραχεία φάσμα κύματος

Αυτό ισοδυναφεί με 3-30  $\text{MJ/m}^2$  μέρα.

Η φασματική κατανομή είναι αυτή των μεγάλων σφαιρών θερμοκρασίας  $6000^\circ\text{C}$  (θερμοκρασία επιφανείας ηλίου)

Οι θερμοκρασίες της ατμόσφαιρας της γης ( $\approx 230 \text{ K} =$   
 $\approx 273.14 - 43^\circ\text{C}$ )

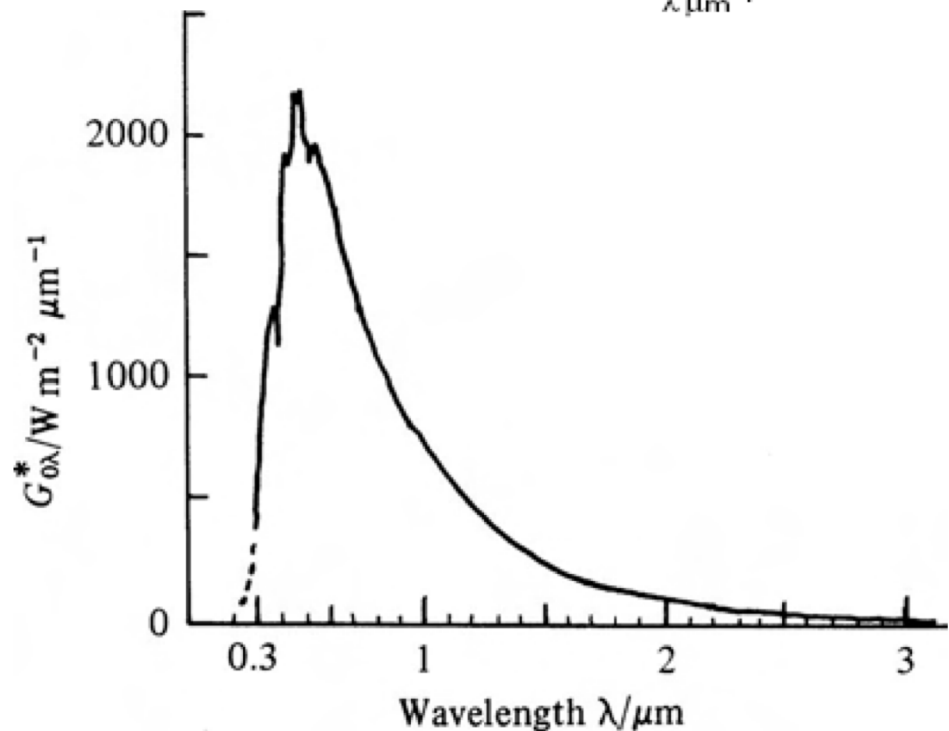
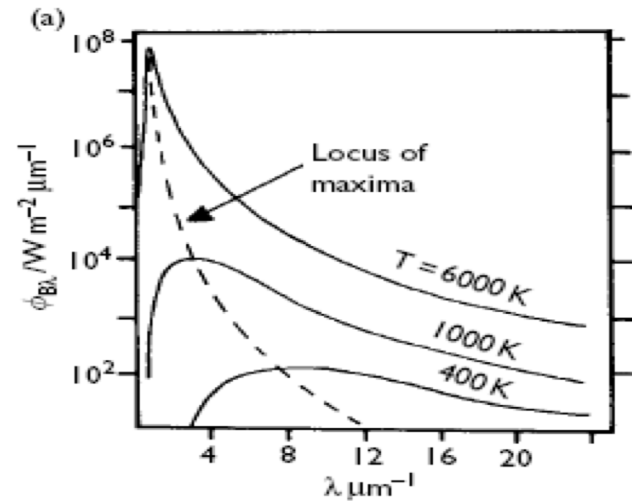
και της επιφάνειας ( $260-300 \text{ K}$ ,  $273 - 13^\circ\text{C} - 273 + 27^\circ\text{C}$ )  
βρίσκονται σε ισορροπία.

Άρα η ακτινοβολία που ενεργεί από την γη ισοστα με την ροή προς την γη ( $1.0 \text{ kW/m}^2$ )

Όπως συμβαίνει σε μακρύτερα  $\lambda \approx 5-25 \mu\text{m}$  (max  $10 \mu\text{m}$ )  
κύματα

# Ηλιακή ακτινοβολία έξω από την ατμόσφαιρα (1)

Ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει έξω από τον ήλιο πάνω από την ατμόσφαιρα, κάθετα στην κατεύθυνση του ήλιου και στην μέση απόσταση Γης-Ήλιου



# Ηλιακή ακτινοβολία

- Ηλιακή ακτινοβολία
- Θέρμανση Νερού και Κτιρίων
- Με ηλιακή ενέργεια -
- Ηλιακοί συλλέκτες

ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ  
ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΜΑΚΡΟΥ ΜΚ

$$\left. \begin{array}{l} \text{Με ακτίνα της γης } R \\ \text{Albedo } \sim 0.3 \\ \text{Ηλιακή σταθερά } G_0 \end{array} \right\} \Rightarrow \text{Προσπίπτοντα Ισχύς} \\ \pi R^2 (1 - \rho_0) G_0$$

Εκπεμπόμενη ισχύς από το σύστημα Γης  
με emittance  $\epsilon = 1$  και  $T = T_e$   
όπως παρατηρείται από το διάστημα.  
Σε θερμική ισορροπία

$$\pi R^2 (1 - \rho_0) G_0 = 4\pi R^2 \sigma T_e^4$$

και επομεως  $T_e \approx 250 \text{ K}$  ( $T_e = -23^\circ \text{C}$ )

Η ακτινοβολία του Γης αντιστοιχεί σε ακτινοβολία  
μελανος σώματος θερμοκρασία 250 K

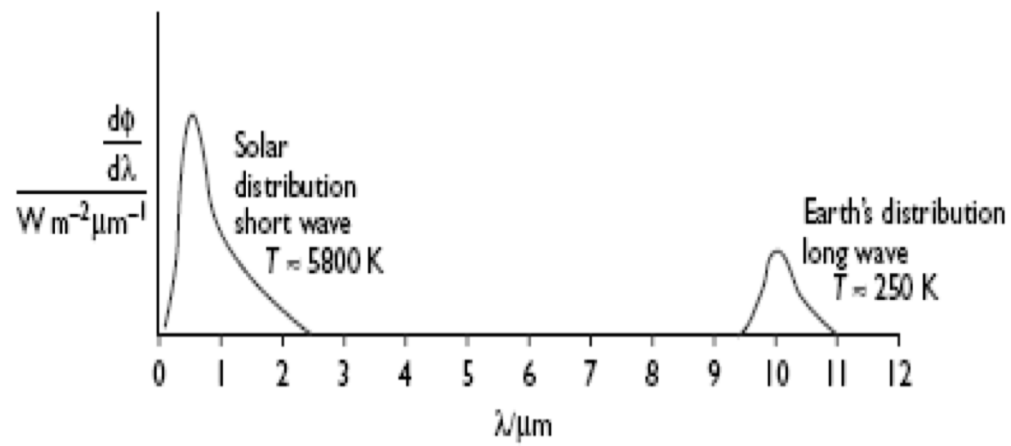
Η μεγαλύτερη ισχύς συμβαίνει στα 10 μm, αρα δεν  
συμπίπτει με την προστιήτουδα (βλ. σχήμα)

Αρα μπορούμε να διακρίνωμε τις ακτινοβολίες

Η ροή υπερύφρου ακτινοβολίας από την γη και των  
ατμοσφαιρα μπορεί να φθάσει το  $1 \text{ kW m}^{-2}$ .  $\Rightarrow$

Πρέπει να εφασε προσεκτικοί τους  
υπολογισμούς μας

---





Η θερμοκρασία φεγανόσφαιρας του βιοσφαιζου  
της Γης (Εδαφος - ατμοσφαιρα) είναι αυτι  
της εξωτερικης ατμοσφαιρας

Η θερμοκρασία της γης στην επιφανεια Μ.Τ.  $\sim 14^{\circ}\text{C}$   
 $40^{\circ}\text{C}$  μεγαλύτερη από την  $T_{\text{μς}}$ . (Γη χωρίς ατμοσφαιρα)

Η ατμοσφαιρα λειτουργει ως υπερθερη κουβερτα  
Επειδη μερικα απο τα αερια της απορροφουν

"ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ"

Ειναι κατ' αρχην φυσικό φαινόμενο

Τα αέρια που ευθύνονται είναι  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$   
"αέρια θερμοκηπίου" (GHG).

Από την αρχή της βιομηχανικής επανάστασης τα  
GHG's έχουν αυξηθεί.

$\text{CO}_2$ : Από 18<sup>ο</sup> αι. μέχρι το 2000 αυξήθηκε από  
280 → 360 ppm, κυρίως λόγω καύσης  
ορυκτών καυσίμων (IPCC 2001).

IPCC δίνει την θεωρητική άραξη πως η  
αύξηση των GHG προκαλεί αύξηση της  
θερμοκρασίας της γης (Global warming)

---

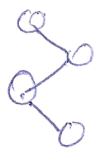
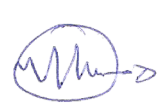
Μεγάλες αβεβαιότητες υπάρχουν λόγω της ποσότητας του θοοήφειος και των φυσικών μεταβολών χρονικών.

Η αύξηση της θερμοκρασίας φαίνεται να είναι αναλογική με την αύξηση των GHG's

IPCC 2001 εκτιμά ότι μεταξύ 1750 και 2000 τα GHG είχαν επίηωση  $+2.5 \text{ Wm}^{-2}$  σε συγκριτική ακτινοβολία

Το  $\text{CO}_2$  είναι το κυρίαρχο ανθρακωγενές GHG  $\sim 60\%$  των  $2.5 \text{ Wm}^{-2}$  και  $\text{CH}_4 \sim 20\%$

Μερικά ΑΗΓΑ συνεισφέρουν περισσότερο  
από άλλα στο φαινόμενο του θερμοκηπίου  
Συχνότεροι με μηχανική ιδιοσυχνότητα δίνουν



των κυρίως

⇒ απορροφούν  
υπεύθυνη ακτινοβολία

Το αποτέλεσμα των ΑΗΓΑ ανά μονάδα φάσης  
εξαρτάται από την πυκνότητα του αερίου,  
δευτερεύουσες αντιδράσεις και χρόνο παραμονής στην  
ατμόσφαιρα.

---

1 kg  $\text{CH}_4$  (5 αέρια ανά λίτρο) όταν προσεθεί στην ατμόσφαιρα έχει επίρρωση στο φαινόμενο θέρμανσης σε 100 χρόνια όσο 21 kg  $\text{CO}_2$  (3 αέρια ανά λίτρο).

Αυτή η σχέση αναφέρεται σαν GWP "Global Warming Potential"

ηχ GWP του  $\text{CH}_4$  είναι 21.

GWP του  $\text{N}_2\text{O}$  είναι ~~310~~ 310

GWP των υδροχλωροϋδροcarbon > 1000

GWP του  $\text{CO}_2$  1 (ορισμός)

---

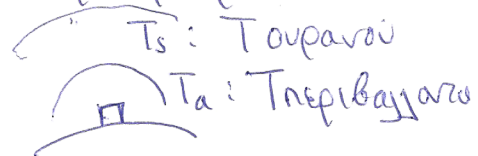
Συνεχίζονται αύξηση των εκπομπών ΑΗΘ  
Θα έχει απορρόφηση αύξησης της φέουθ θερμοκρασίας  
μεταξύ  $1,5^{\circ}\text{C}$  και  $5^{\circ}\text{C}$  μέχρι το 2100

"Ενισχυμένο φαινόμενο θερμοκηπίου"

Σημαντικός λόγος για την μέγιστη σε ηλιακή  
εργασία ενέργειας.

---

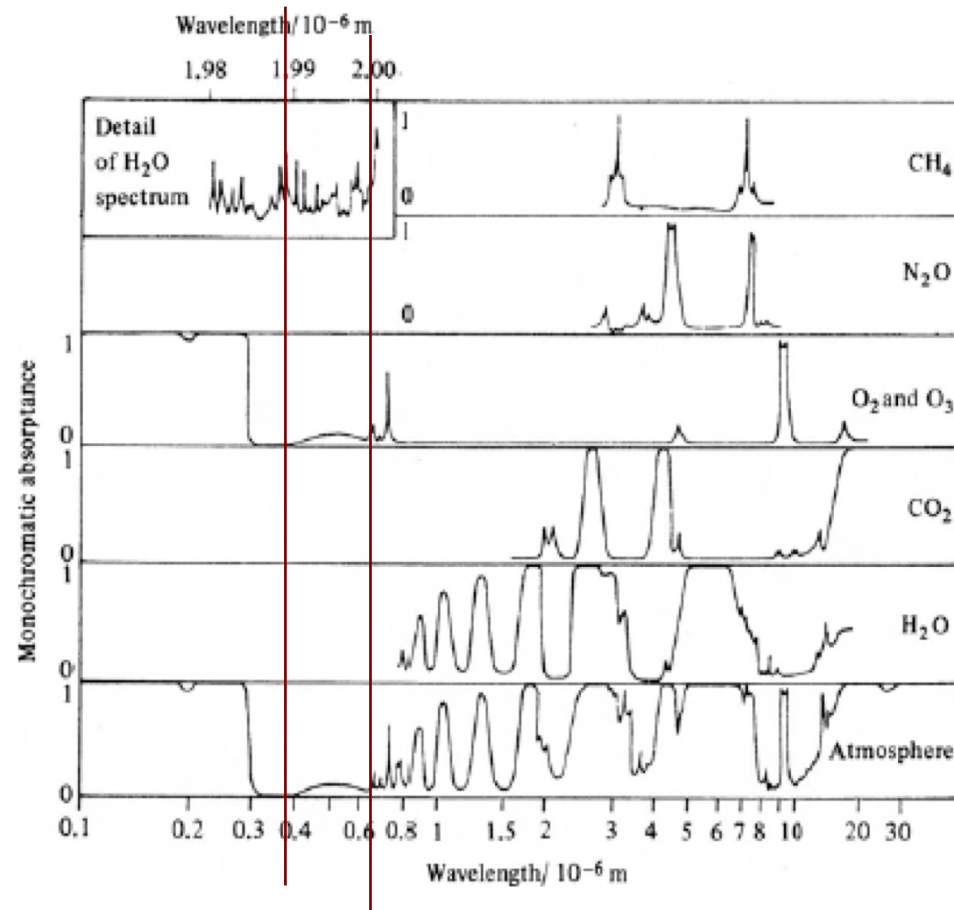
Αλλαγή ενέργειας μεταξύ ωφαιρας και ανώτερης  
ατμόσφαιρας



$$T_s \approx T_a - 6^{\circ}\text{C}$$

$$\text{(Σε ερήβου) } T_a - T_s \approx 25^{\circ}$$

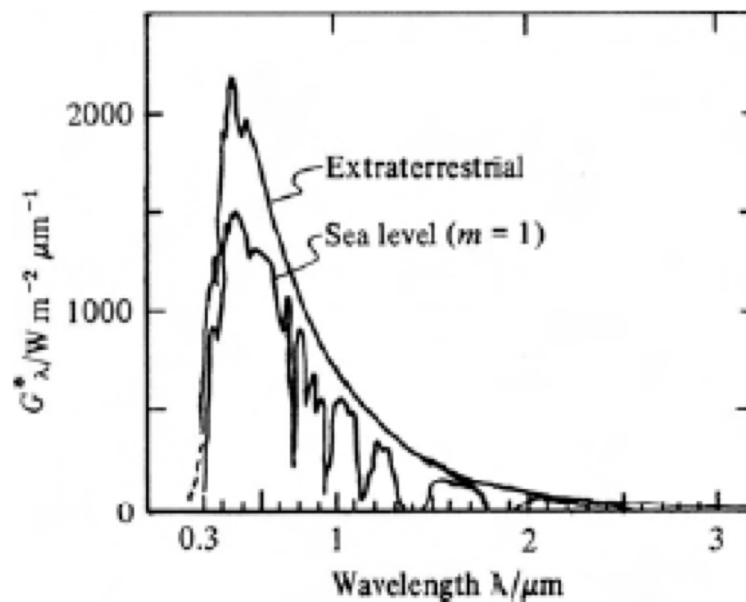
# Απορροφητικότητα έναντι μήκους κύματος στην



# • Απορρόφηση στην ατμόσφαιρα

Απορρόφηση στην ατμόσφαιρα (βλ σχήμα)

- Μικροί κύματα υπεριώδους ακτινοβολία  $\lambda < 0.3 \mu\text{m}$   
Απορροφάται από  $\text{O}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{O}$ ,  $\text{N}_2$  ηλιακή
- Εγγύς υπεριώδης  $0.3 \mu\text{m} < \lambda < 0.4 \mu\text{m}$ .  
Μικρό ποσοστό διαπερνάει την ατμόσφαιρα, αλ αρκετό για εγκαταστάσεις από τον ήλιο
- Ορατό  $0.4 \mu\text{m} < \lambda < 0.7 \mu\text{m}$   
Ενδεώς διαφανής στην ορατή ακτινοβολία  
Περίπου η μισή ακτινοβολία του ήλιου  
Απορροφάται όμως από αερόσφαιρα και άλλους ρυθμ





- d) Εγγύς υπέρυθρη  $0.7 \mu\text{m} < \lambda < 2.5 \mu\text{m}$   
 $\sim 50\%$  της ηλιακής ακτινοβολίας.  
 $\sim 20\%$  από αυτήν απορροφάται από  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ .
- e) Άνω υπέρυθρη  $\lambda > 12 \mu\text{m}$ .  
Η ατμόσφαιρα είναι ηγήρω **Αδιαφανής**

# ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ

Μέλανα σώματα σε γειτνίαση

Φαιά σώματα

Μεταφορά θερμότητας με μάζα

Αλλαγή φάσης