



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα **ΠΠ**

ΤΙΤΛΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ: ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ - ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

ΕΝΟΤΗΤΑ: **3β. ΕΝΕΡΓΕΙΑ – ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ –
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ**

ΟΝΟΜΑ ΚΑΘΗΓΗΤΗ: ΑΓΓΕΛΙΚΗ ΦΩΤΙΑΔΗ

ΤΜΗΜΑ: Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών
Πόρων

ΑΓΡΙΝΙΟ

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Πατρών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΑΓΓΕΛΙΚΗ ΦΩΤΙΑΔΗ

Επίκουρος Καθηγήτρια

του Τμήματος Διαχείρισης

Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων

 2641074156

 afotiadi@upatras.gr

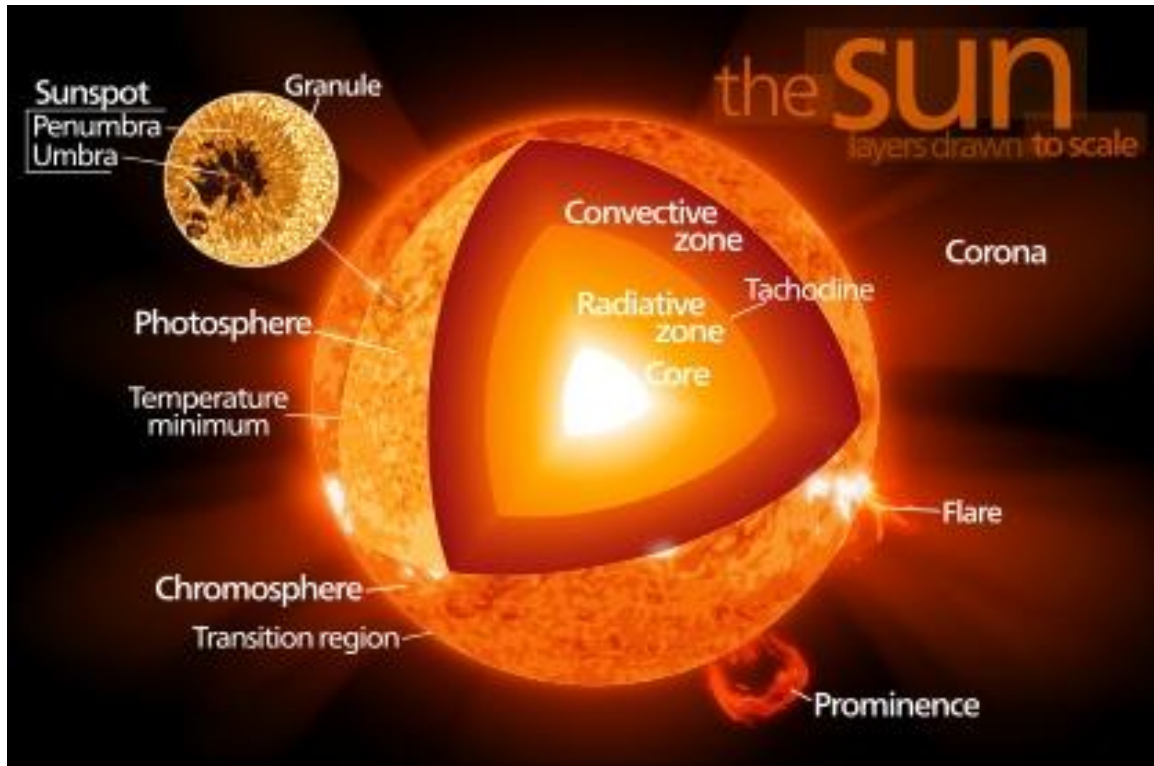
Ηλιακή Ακτινοβολία

- Ο **Ήλιος** αποτελεί την **πιο σημαντική** & στην ουσία τη **μοναδική πηγή ενέργειας** του πλανήτη. Ένα ποσοστό αυτής της ενέργειας, μετασχηματίζεται σε κινητική και δυναμική ενέργεια, δηλαδή παράγεται έργο.
- Η ηλιακή ενέργεια που φτάνει στη Γη αντιπροσωπεύει το **99.97 %** των αναγκών της
- Παρόλα αυτά η **ατμόσφαιρα** θερμαίνεται έμμεσα από την επιφάνεια της Γης παρά άμεσα από τον Ήλιο καθώς απορροφά μόλις το **21%** της εισερχόμενης ακτινοβολίας
- Διαμορφώνει το **κλίμα** της Γης
- Είναι υπεύθυνη για τη **Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας**
- Δημιουργεί **οπτικά φαινόμενα** (γαλάζιο χρώμα του ουρανού, άλως, ...)
- **Εξατμίζει** μεγάλες μάζες νερού
- Τα **φυτά** αφομοιώνουν το **3%** αυτής μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης

➡ Η ακριβής μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι σημαντική για:

- ✓ Κλιματολογία (κλιματικά μοντέλα)
- ✓ Μετεωρολογία
- ✓ Φυσική Περιβάλλοντος
- ✓ Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
- ✓ Οικολογία

Ηλιακή Ακτινοβολία



Πηγή: <https://en.wikipedia.org/?title=Sun>

Ο Ήλιος είναι ένα από τα 10^{11} αστέρια του γαλαξία μας & ο πλησιέστερος σε εμάς αστέρας

Ο Ήλιος παρουσιάζει ανομοιογενή κατανομή θερμοκρασίας με πολύ διαφορετικές θερμοκρασίες στα διάφορα στρώματά του (από $\sim 16 \times 10^6$ βαθμούς στον πυρήνα του, έως μερικές χιλιάδες ή εκατομμύρια βαθμούς στο εξωτερικό του, φωτόσφαιρα και στέμμα, αντίστοιχα)

Η θερμοκρασία του Ήλιου στην επιφάνεια του (φωτόσφαιρα) είναι περίπου 5800 K

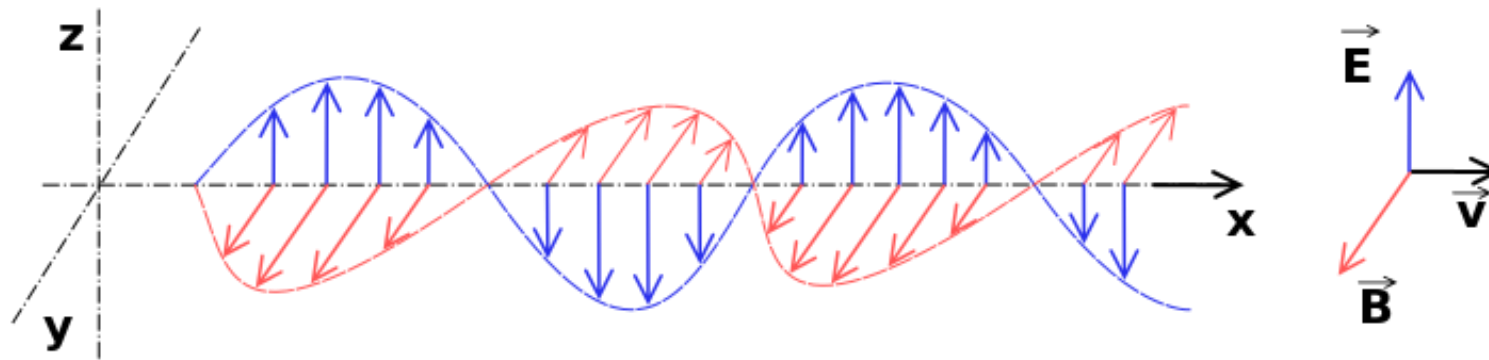
Ηλιακή ακτινοβολία: προέρχεται κυρίως από τη **φωτόσφαιρα**

Η ενέργεια του Ήλιου εκπέμπεται και διαδίδεται στο χώρο με τη μορφή **ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας**

Ηλιακή Ακτινοβολία

- Η ηλιακή ακτινοβολία είναι **ηλεκτρομαγνητικό κύμα**

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται στο χώρο και μεταφέρουν ηλεκτρική και μαγνητική ενέργεια με την ταχύτητα του φωτός



Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_radiation

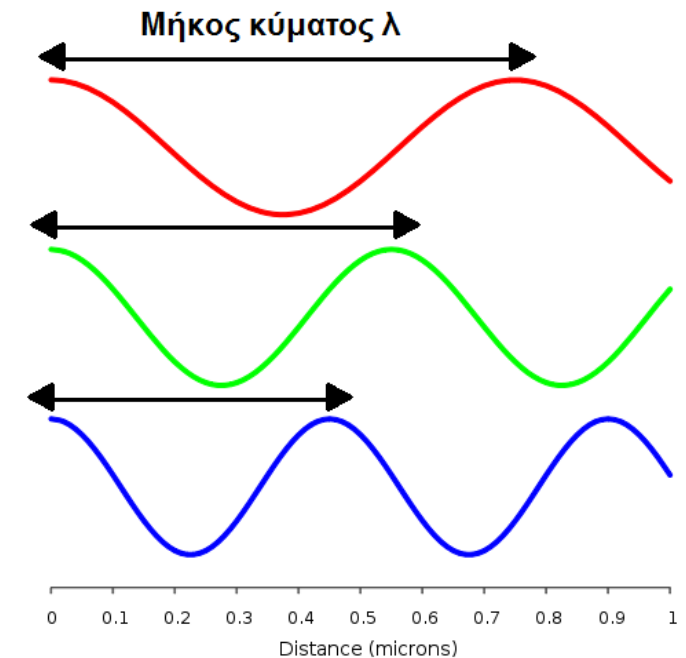
Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα χαρακτηρίζονται από:

- μήκος κύματος (λ)
- συχνότητα (ν)
- ταχύτητα (c)

*Υπενθυμίζεται πως στο κενό η ταχύτητα είναι γνωστή ως ταχύτητα του φωτός και ισούται με: **$C_0 = 300.000 \text{ km / sec}$**

Ηλιακή Ακτινοβολία

Πηγή: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e2/VisibleEmrWavelengths.svg>



Μήκος κύματος (λ): η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών ή κοιλάδων ενός κύματος

Μονάδες μέτρησης: m, cm, mm, μm , nm

$$1 \text{ cm} = 0.01 \text{ m} = 10^{-2} \text{ m}$$

$$1 \text{ mm} = 0.001 \text{ m} = 10^{-3} \text{ m}$$

$$1 \mu\text{m} = 0.000001 \text{ m} = 10^{-6} \text{ m}$$

$$1 \text{ nm} = 0.000000001 \text{ m} = 10^{-9} \text{ m}$$

Συχνότητα (ν): ο αριθμός των κορυφών ή κοιλάδων (N) που διέρχονται σε χρονικό διάστημα (t) από ένα σταθερό σημείο:

$$\nu = N / t$$

Μονάδες μέτρησης: Hz = 1 / sec

Περίοδος (T): ο χρόνος που χρειάζεται για να διαδοθεί το κύμα σε απόσταση ίση με ένα μήκος

$$T = 1 / \nu$$

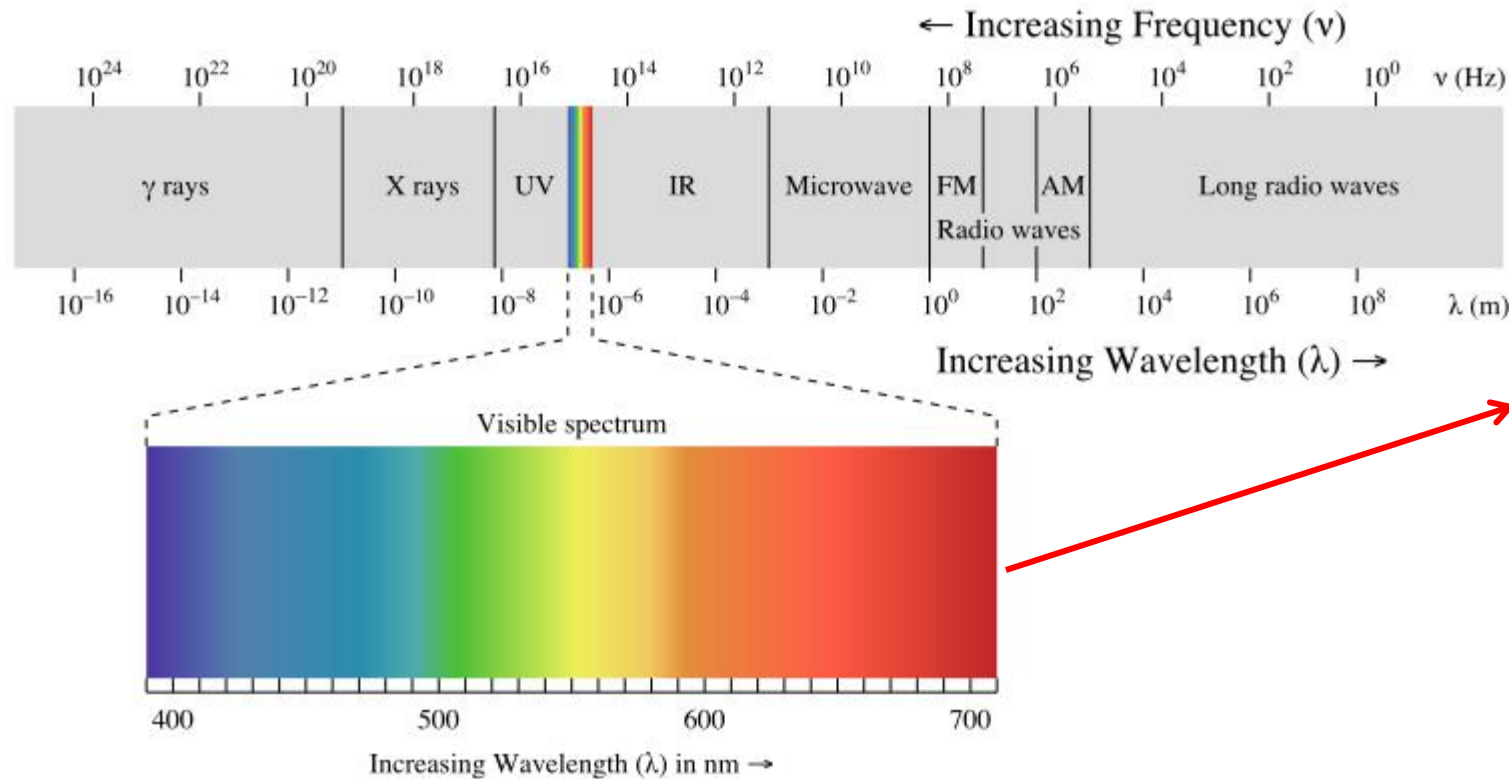
Μονάδες μέτρησης: sec

Ηλιακή Ακτινοβολία

Η ενέργεια που εκπέμπεται, διαδίδεται ή απορροφάται με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σπάνια χαρακτηρίζεται από ένα μήκος κύματος (είναι μονοχρωματική)

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία χαρακτηρίζεται από ένα εύρος μηκών κύματος (από 10^{-14} έως 10^{10} m), τα οποία αντιστοιχούν σε επίσης μεγάλο εύρος συχνοτήτων (από 10^{22} s^{-1} ως 10^{-2} s^{-1})

Το σύνολο ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών όλων των μηκών κύματος ή συχνοτήτων συνιστούν το **ηλεκτρομαγνητικό φάσμα**



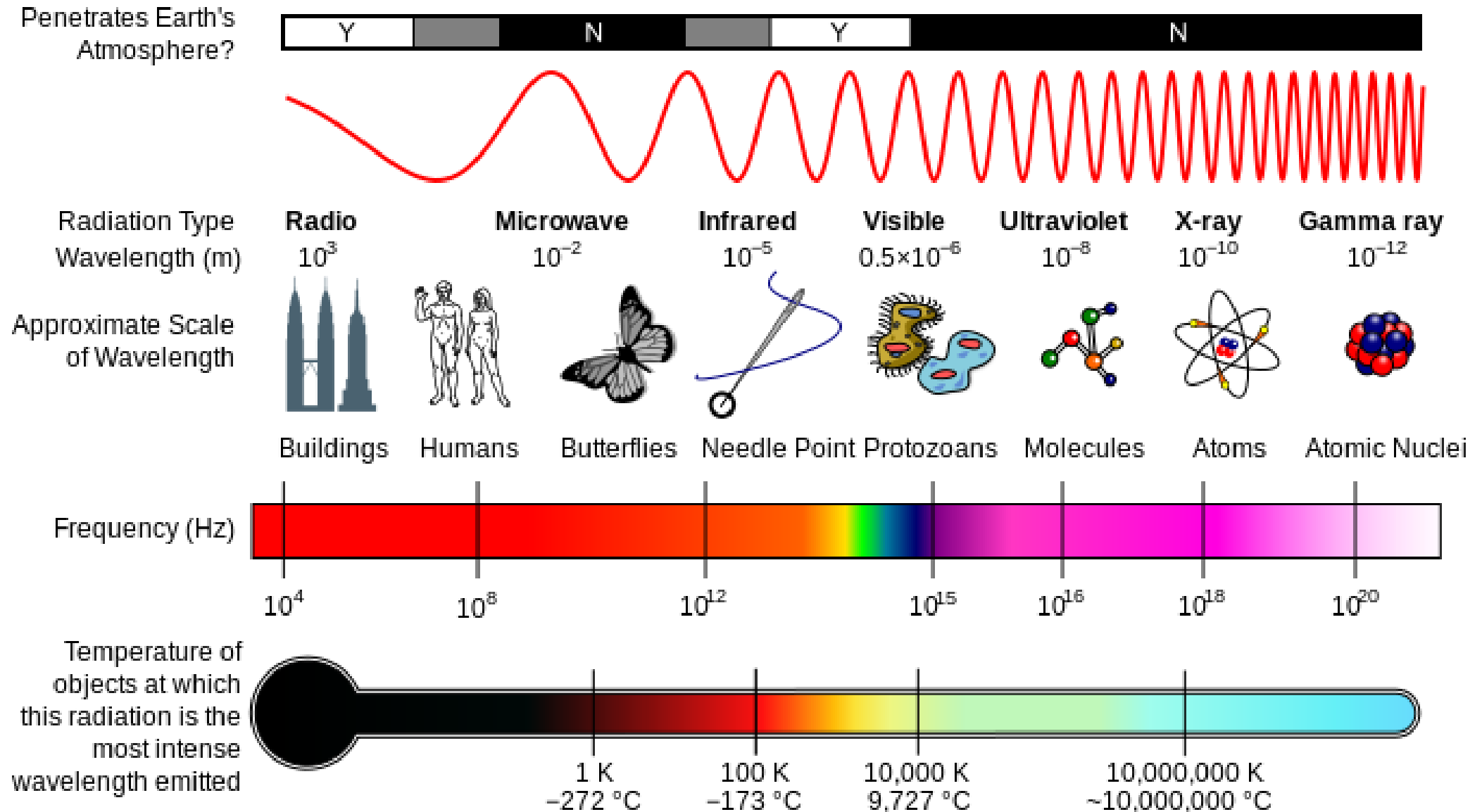
**Φάσμα
ηλιακής
ακτινοβολίας**

0.29 – 4.0 μm

Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_radiation

Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία - φάσμα

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα



Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_spectrum

Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία - φάσμα

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα διαιρείται σε διάφορες φασματικές περιοχές ή ζώνες (bands)
Μερικές από αυτές τις περιοχές συνήθως υποδιαιρούνται και σε μικρότερες υποπεριοχές

Ταξινόμηση Μήκους Κύματος	
Τύπος Ακτινοβολίας	Μήκος Κύματος (μm)
Γάμμα	<0.0001
Ακτίνες Χ	0.0001 ως 0.01
Υπεριώδης	0.01 ως 0.4
Ορατή	0.4 ως 0.7
Κοντινό Υπέρυθρο	0.7 ως 4.0
Θερμικό Υπέρυθρο	4 ως 100
Μικροκύματα	100 ως 1.000.000 (1m)
Ραδιοκύματα	> 1.000.000 (1 m)

Το μέρος του ηλιακού φάσματος που ενδιαφέρει τη μελέτη της ατμόσφαιρας εκτείνεται από 10^{-2} μm έως 10^2 μm, δηλαδή από το υπεριώδες μέχρι και το υπέρυθρο

Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία - φάσμα

Το μέρος της ακτινοβολίας που αφορά τη μελέτη της ατμόσφαιρας σχετίζεται με χρώματα

Χρώμα	Περιοχή Μήκους Κύματος(nm)	Τυπικό μήκος κύματος(nm)
Ιώδες	390-455	430
Βαθύ μπλε	455-495	470
Ανοιχτό μπλε	485-505	495
Πράσινο	505-575	530
Κιτρινοπράσινο	550-575	560
Κίτρινο	575-585	580
Πορτοκαλί	585-620	600
Κόκκινο	620-760	640

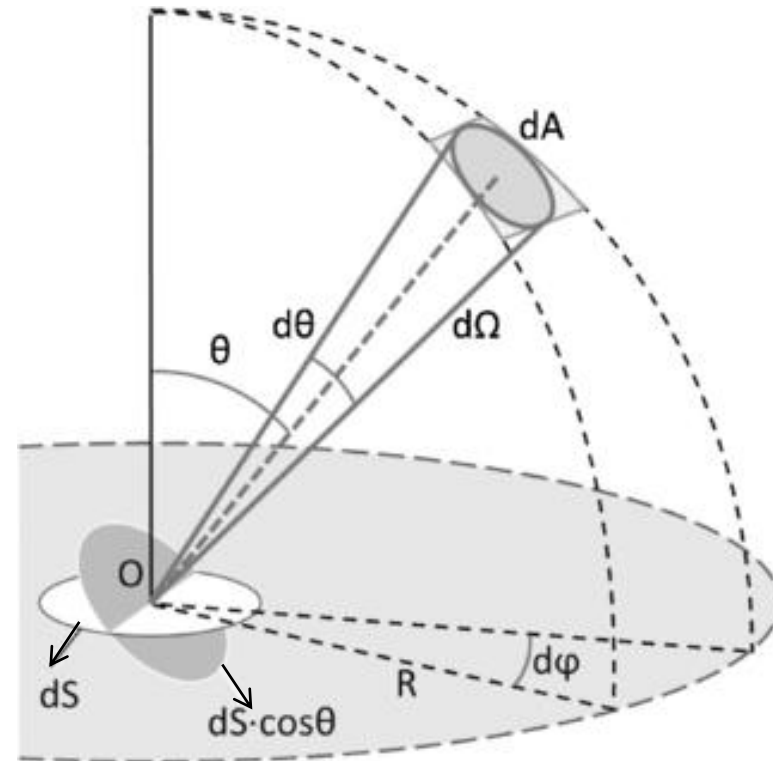
Νόμοι και μεγέθη της Ακτινοβολίας

Ειδική Ένταση Ακτινοβολίας (Specific Intensity) $I_{(\lambda)}$: το ποσό της ενέργειας $dQ_{(\lambda)}$ ακτινοβολίας μήκους κύματος λ η οποία προσπίπτει σε μία στοιχειώδη επιφάνεια dS σε χρόνο dt από μια διεύθυνση μέσα σε στερεά γωνία $d\Omega$, διά του εμβαδού της προβολής της επιφάνειας dS σε επίπεδο κάθετο προς τη διεύθυνση

θ είναι η γωνία μεταξύ της καθέτου της επιφάνειας dS και της διεύθυνσης

Μονάδες μέτρησης: $W / m^2 / \Omega / \mu m$

$$I_{(\lambda)} = \frac{dQ_{(\lambda)}}{dt \cdot d\lambda \cdot d\Omega \cdot dS \cdot \cos\theta}$$



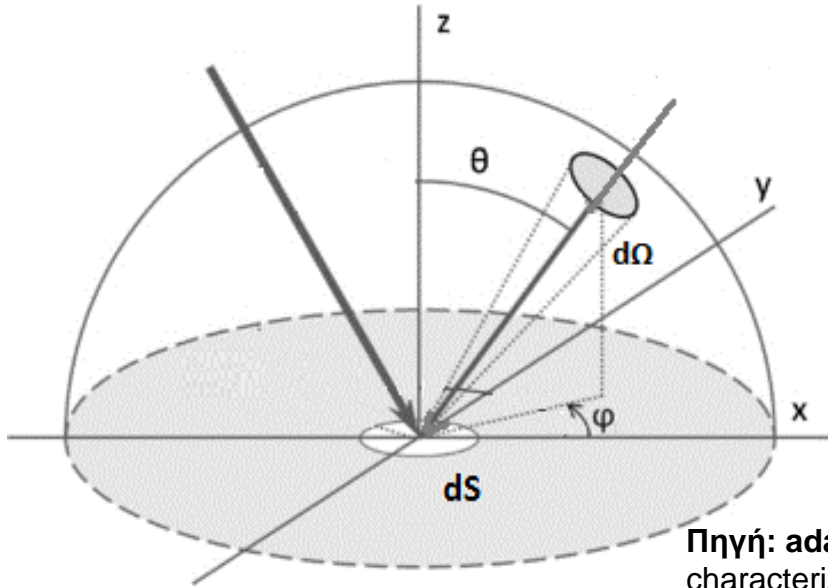
Πηγή: N Matsapey *et al* 2013, Design of a gonio-spectro-photometer for optical characterization of gonio-apparent materials, *Meas. Sci. Technol.* 24 065901

- Για να υπολογιστεί η ολική ένταση της ακτινοβολίας ολοκληρώνουμε για όλα τα μήκη κύματος

$$I = \int_{\lambda} I_{(\lambda)} d\lambda$$

Νόμοι και μεγέθη της Ακτινοβολίας

Ροή ακτινοβολίας (Radiant flux) $F_{(\lambda)}$: το ποσό της ενέργειας $dQ_{(\lambda)}$ ακτινοβολίας μήκους κύματος λ η οποία διέρχεται από μία επιφάνεια dS σε χρόνο dt , από όλες τις διευθύνσεις μέσα σε ένα ημισφαίριο με βάση dS



Μονάδες μέτρησης: $W / m^2 / \mu m$

$$F_{(\lambda)} = \frac{dQ_{(\lambda)}}{dt \cdot dS \cdot d\lambda}$$

Πηγή: adapted from: N Matsapey *et al* 2013, Design of a gonio-spectro-photometer for optical characterization of gonio-apparent materials, *Meas. Sci. Technol.* 24 065901

Στην ουσία η ροή ακτινοβολίας είναι το ολοκλήρωμα της έντασης ακτινοβολίας μέσα σε ένα ημισφαίριο

$$F_{(\lambda)} = \int I_{(\lambda)} \sin\theta \cdot d\Omega$$

Ολοφασματική (Ολική) Ροή ακτινοβολίας F : η ροή ακτινοβολίας που εκπέμπει η πηγή ή που προσπίπτει σε μια επιφάνεια απ' όλα τα μήκη κύματος. Υπολογίζεται αν ολοκληρώσουμε σε όλα τα μήκη κύματος

$$F = \int_{\lambda} F_{(\lambda)} d\lambda$$

Μονάδες μέτρησης: W / m^2

Νόμοι και μεγέθη της Ακτινοβολίας

Μονάδες Μέτρησης της Ροή ακτινοβολίας F : είναι μονάδες ισχύος και εκφράζονται σε:

$$\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1} \quad \text{ή} \quad \text{ly} \cdot \text{min}^{-1} \quad \text{όπου} \quad 1 \text{ ly} = 1 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2}$$

$$\text{Watt} \cdot \text{m}^{-2} \quad (\text{W m}^{-2}) \quad \text{ή} \quad \text{Kcal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \quad \text{ή} \quad \text{Kly} \cdot \text{h}^{-1}$$

Όπου: $1 \text{ Kcal} \cdot \text{h}^{-1} = 1625 \text{ W}$

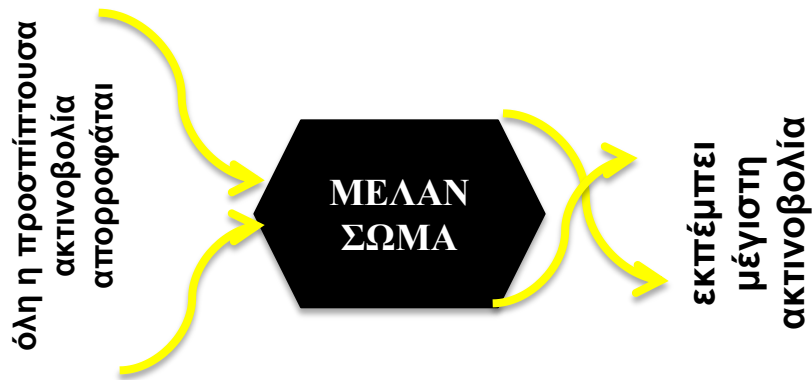
$$1 \text{ W} = 0.86 \text{ Kcal} \cdot \text{h}^{-1}$$

$$1 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1} = 697 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Νόμοι και μεγέθη της Ακτινοβολίας

Μέλαν σώμα (Blackbody): το θεωρητικό ή υποθετικό εκείνο σώμα, το οποίο έχει την ιδιότητα να εκπέμπει τη μέγιστη δυνατή ένταση ακτινοβολίας για κάθε μήκος κύματος και σε κάθε θερμοκρασία, σε σχέση με όλα τα σώματα που βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία

- Το μέλαν σώμα απορροφά πλήρως την ακτινοβολία όλων των μηκών κύματος



Πηγή: with courtesy E. kodouli

Τα πραγματικά σώματα :

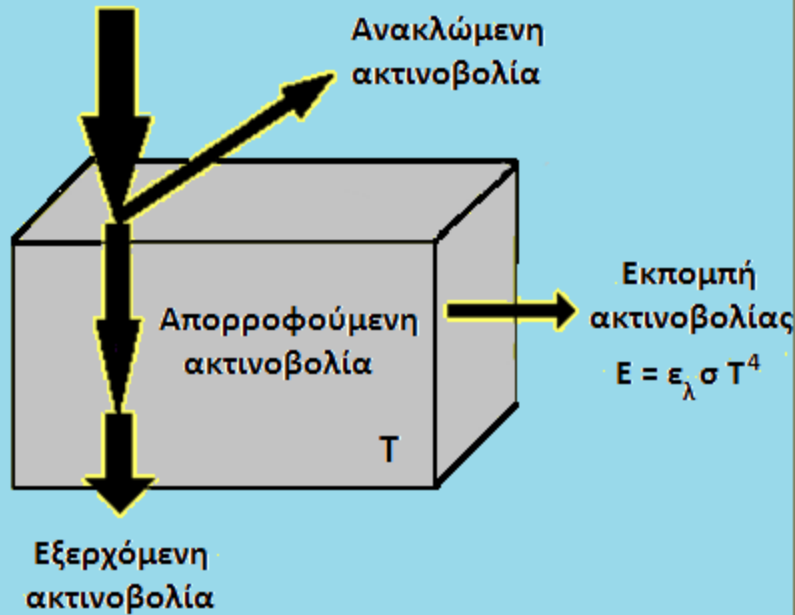
Απορροφούν μέρος της ακτινοβολίας που προσπίπτουν σε αυτά

Εκπέμπουν μικρότερη ακτινοβολία σε σχέση με το μέλαν σώμα ίδιας θερμοκρασίας

- Ο Ήλιος θεωρούμε ότι συμπεριφέρονται ως 'μέλανα σώματα'
- Σημείωση: τα αντικείμενα που συμπεριφέρονται ως 'μέλανα σώμα' δεν έχουν μαύρο χρώμα

Αλληλεπίδραση Ακτινοβολίας με Ύλη

Προσπίπτουσα
ακτινοβολία



■ Κάθε σώμα **εκπέμπει** ακτινοβολία στο περιβάλλον ενέργειας I όταν η θερμοκρασία του είναι μεγαλύτερη του απόλυτου μηδέν ($> 273 \text{ }^{\circ}\text{K}$)

■ **Ικανότητα εκπομπής** ($\epsilon_{(\lambda)}$, **emissivity**) ενός πραγματικού σώματος για ένα ορισμένο μήκος κύματος λ , ορίζεται από το πηλίκο της έντασης ακτινοβολίας $I_{emit(\lambda)}$ που εκπέμπει **το σώμα** σε θερμοκρασία T , προς την ένταση ακτινοβολίας $I_{(\lambda)M}$ του ίδιου μήκους κύματος που εκπέμπει **το μέλαν σώμα** στην ίδια θερμοκρασία

$$\epsilon_{(\lambda)} = \frac{I_{emit(\lambda)}}{I_{(\lambda)M}}$$

$\epsilon_{(\lambda)} = 1$ για το μέλαν σώμα (για κάθε λ)

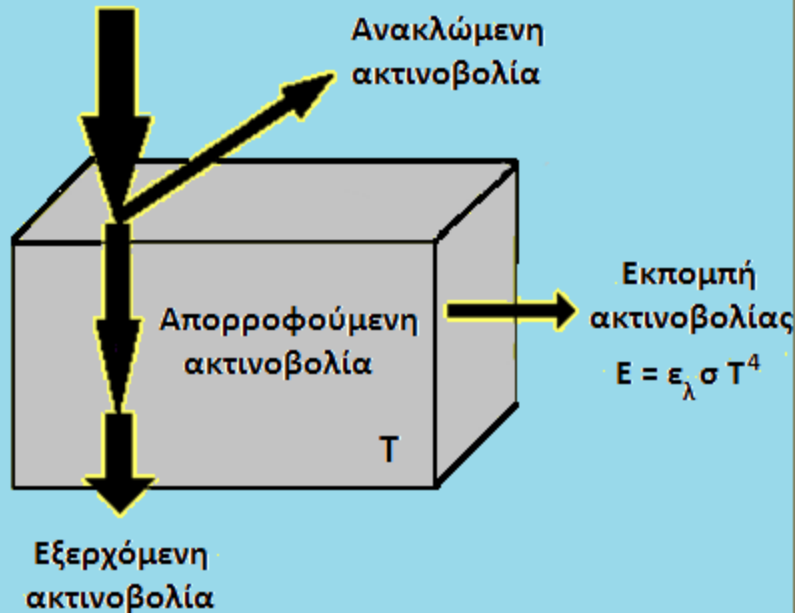
$\epsilon_{(\lambda)} < 1$ για πραγματικό σώμα

Φαιό σώμα (grey body): κάθε σώμα το οποίο σταθερή ικανότητα εκπομπής $\epsilon_{(\lambda)}$ σε όλα τα μήκη κύματος, με τιμή μικρότερη της μονάδας δηλ. του μέλανος σώματος ίδιας θερμοκρασίας με αυτό

Τα πραγματικά σώματα θεωρούμε ότι συμπεριφέρονται ως φαιά σώματα (π.χ. η ατμόσφαιρα)

Αλληλεπίδραση Ακτινοβολίας με Ύλη

Προσπίπτουσα
ακτινοβολία



- Ένα σώμα μπορεί να **απορροφά** μέρος της ακτινοβολίας που προσπίπτει σε αυτό
- **Ικανότητα απορρόφησης** ($\alpha_{(\lambda)}$, **absorptivity**) ενός πραγματικού σώματος για ένα ορισμένο μήκος κύματος λ , ορίζεται από το πηλίκο της έντασης ακτινοβολίας $I_{abs(\lambda)}$ που απορροφά **το σώμα** σε θερμοκρασία T , προς την ένταση ακτινοβολίας $I_{o(\lambda)}$ που προσπίπτει σε αυτό

$$\alpha_{(\lambda)} = \frac{I_{abs(\lambda)}}{I_{o(\lambda)}}$$

- Εξαρτάται από τη φύση του σώματος και το μήκος κύματος (λ)

Αλληλεπίδραση Ακτινοβολίας με Ύλη

■ Ο Νόμος του Kirchhoff

Όταν ένα σώμα βρίσκεται σε θερμοδυναμική ισορροπία, τότε ο λόγος της έντασης εκπομπής I_λ προς τον συντελεστή απορρόφησης α_λ δεν εξαρτάται από τη φύση του υλικού. Εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία του υλικού (T) και το μήκος κύματος (λ). Δηλ.

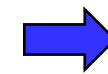
$$I_\lambda / \alpha_{(\lambda)} = f(\lambda, T)$$

Για το μέλαν σώμα, για κάθε μήκος κύματος λ ισχύει: $\alpha_{(\lambda)} = 1$

Για πραγματικό σώμα ισχύει: $\alpha_{(\lambda)} < 1$

• Αφού το σώμα βρίσκεται σε θερμοδυναμική ισορροπία \Rightarrow την ενέργεια που απορροφά θα την εκπέμψει \Rightarrow

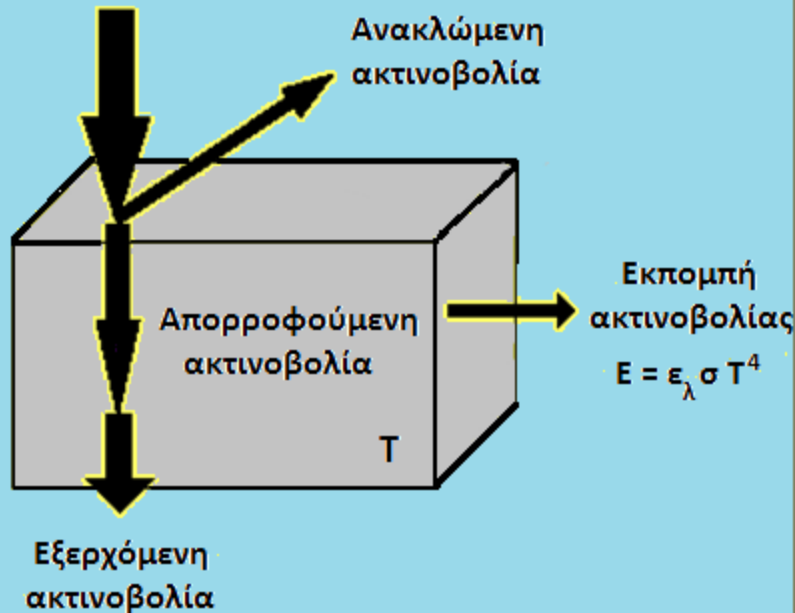
$$\varepsilon_{(\lambda)} = \alpha_{(\lambda)}$$



Νόμος του Kirchhoff

Αλληλεπίδραση Ακτινοβολίας με Ύλη

Προσπίπτουσα
ακτινοβολία



- Ένα σώμα **ανακλά** μέρος της ακτινοβολίας που προσπίπτει σε αυτό
- **Ανακλαστικότητα ή λευκαύγεια ($R_{(\lambda)}$, albedo)** ενός πραγματικού σώματος για ένα ορισμένο μήκος κύματος λ , ορίζεται από το πηλίκο της έντασης ακτινοβολίας $I_{ref(\lambda)}$ που **ανακλάται** από το σώμα προς την ένταση ακτινοβολίας $I_{o(\lambda)}$ που προσπίπτει σε αυτό

$$R_{(\lambda)} = \frac{I_{ref}(\lambda)}{I_{o(\lambda)}}$$

■ Ισχύει:

$$\alpha_{(\lambda)} + R_{(\lambda)} = 1$$

- Εξαρτάται από τη από το **μήκος κύματος** (λ), τη γωνία πρόσπτωσης και τη **φύση** του σώματος

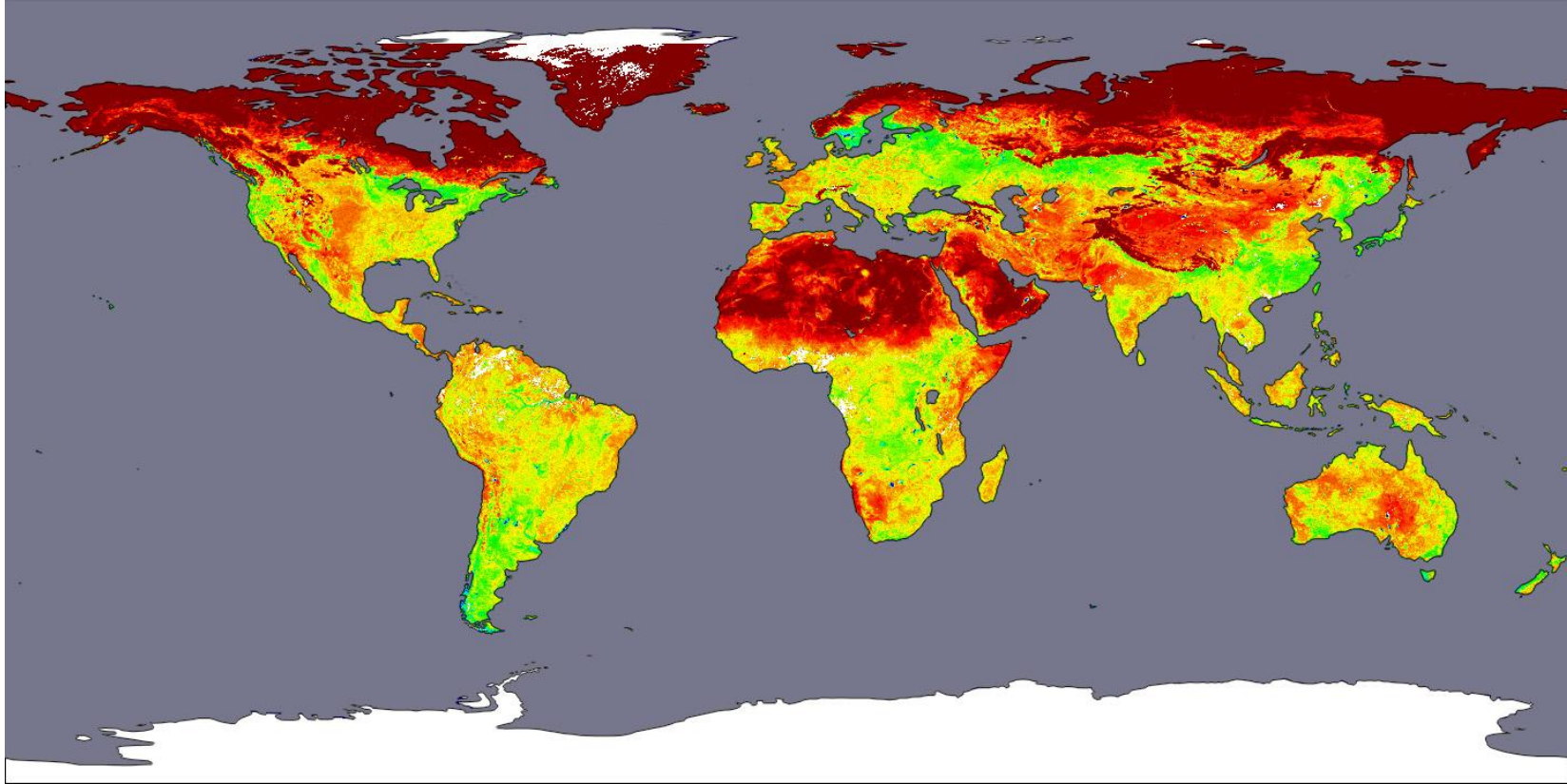
Αλληλεπίδραση Ακτινοβολίας με Ύλη

- Ανακλαστικότητα ή λευκαύγεια ($R_{(\lambda)}$, albedo) διαφόρων επιφανειών

Νέο χιόνι	80%
Παλιό χιόνι	55%
Χλόη	25%
Δάσος	5 - 10%
άμμος	20 - 30%
Υγρό έδαφος	10%
Νέφη	50 – 65 %

Αλληλεπίδραση Ακτινοβολίας με Ύλη

- Γεωγραφική κατανομή της λευκαύγεια (R_s) της επιφάνειας του πλανήτη

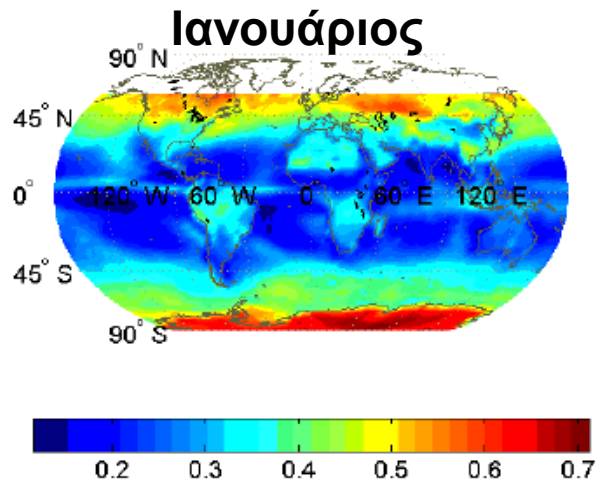


Πηγή: <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=2599>, εικόνα από τον δορυφόρο MODIS Terra

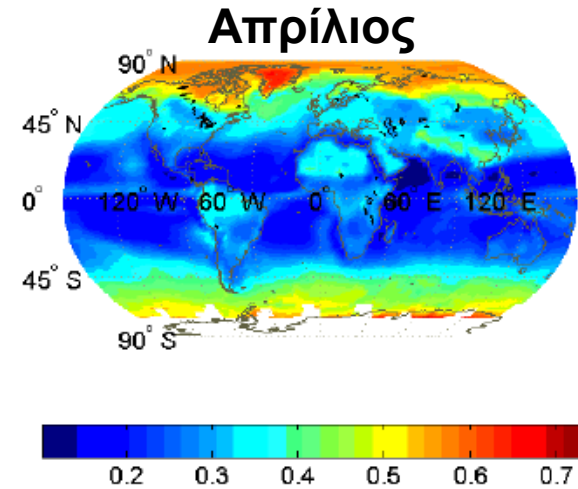
- Μέση λευκαύγεια της Γης χωρίς νέφη = 15%
- Μέση λευκαύγεια της Γης με νεφοσκεπή ουρανό 50%
- **Μέση λευκαύγεια της Γης= 32.5%**

Αλληλεπίδραση Ακτινοβολίας με Ύλη

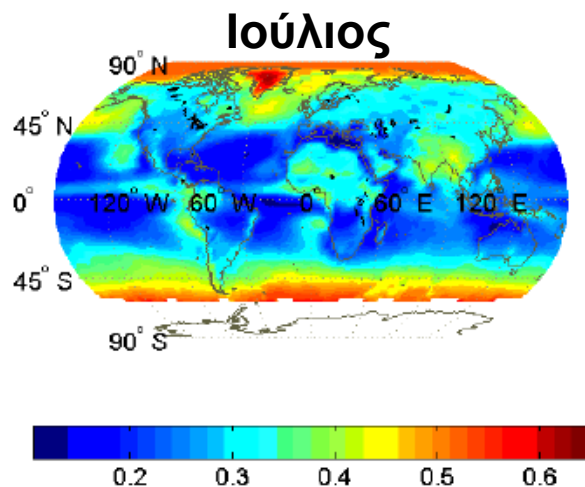
- Γεωγραφική κατανομή της λευκαύγειας (R_p) του πλανήτη (επιφάνεια + ατμόσφαιρα) – Planetary albedo



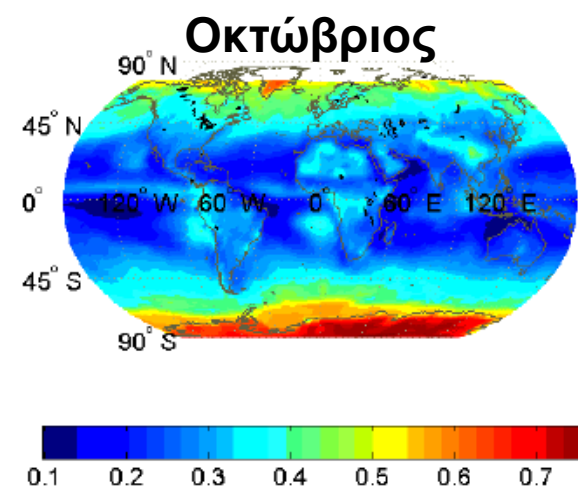
(a)



(b)



(c)

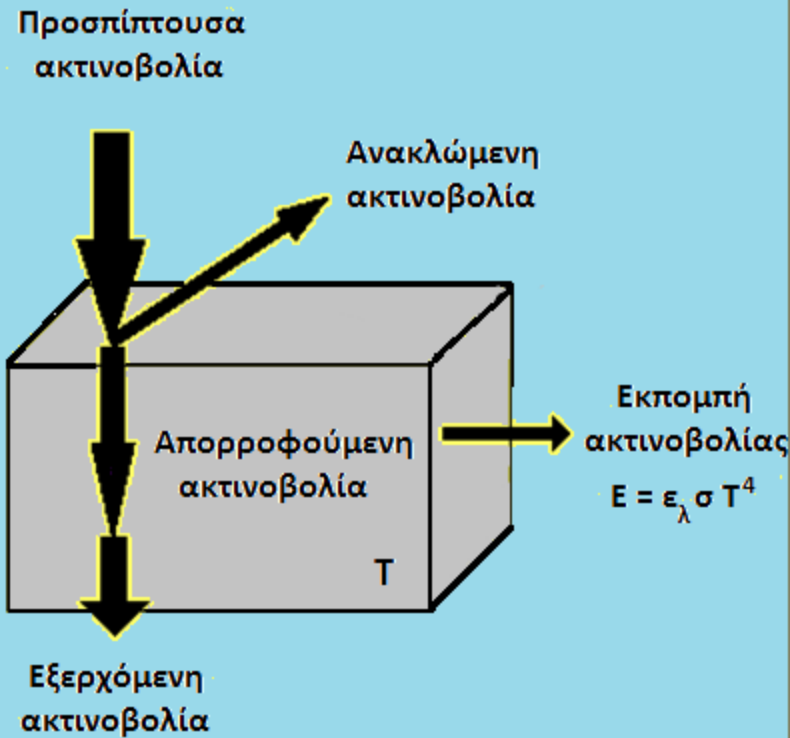


(d)

Πηγή: Hatzianastassiou, N. et al., (2004): Long-term global distribution of Earth's shortwave radiation budget at the top of atmosphere, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 4, 1217-1235

- Οι διαφορές σε σχέση με τη λευκαύγεια της επιφάνειας του πλανήτη οφείλονται κυρίως στην παρουσία των νεφών. Ακολουθώς σημαντικό ρόλο παίζουν τα αιωρούμενα σωματίδια

Αλληλεπίδραση Ακτινοβολίας με Ύλη



- Ένα μέρος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, **εξέρχεται** από το σώμα διαπερνώντας το
- **Διαπερατότητα** ($\tau_{(\lambda)}$, **transmissivity** ή **transmittance**) ενός πραγματικού σώματος για ένα ορισμένο μήκος κύματος λ , ορίζεται από το πηλίκο της έντασης ακτινοβολίας $I_{trans(\lambda)}$ που **διαπερνά** το σώμα προς την ένταση ακτινοβολίας $I_{oin(\lambda)}$ που εισέρχεται σε αυτό

$$R_{(\lambda)} = \frac{I_{ref(\lambda)}}{I_o(\lambda)}$$

ανακλαστικότητα

$$\alpha_{(\lambda)} = \frac{I_{abs(\lambda)}}{I_o(\lambda)}$$

απορροφητικότητα

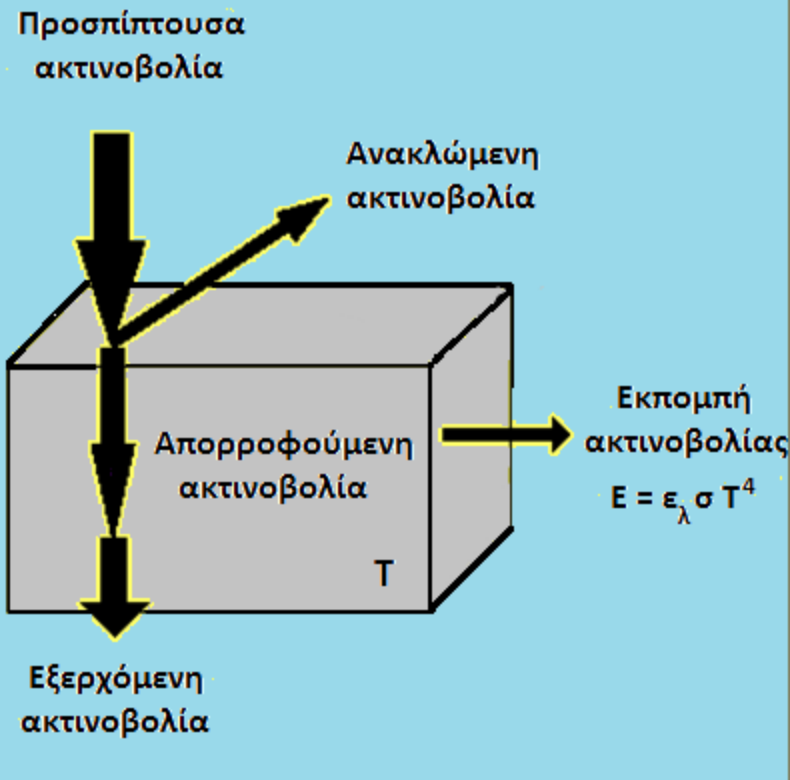
$$\tau_{(\lambda)} = \frac{I_{trans(\lambda)}}{I_o(\lambda)}$$

διαπερατότητα

$$\tau_{(\lambda)} = \frac{I_{trans(\lambda)}}{I_{oin(\lambda)}}$$

- **Ισχύει:** $R_{(\lambda)} + \alpha_{(\lambda)} + \tau_{(\lambda)} = 1$ ή $I_{ref(\lambda)} + I_{abs(\lambda)} + I_{trans(\lambda)} = 1$

Αλληλεπίδραση Ακτινοβολίας με Ύλη



- Για ορισμένα σώματα όπως η ατμόσφαιρα, ένα μέρος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας ανακλάται, ένα άλλο απορροφάται και κάποιο το διαπερνά => οπότε ισχύει:

$$\tau_{(\lambda)} = \frac{I_{trans}(\lambda)}{I_{oin}(\lambda)}$$

- Για την ατμόσφαιρα η διαπερατότητα δίνεται από τον νόμο των Beer-Lambert:

$$\tau = e^{-bm}$$

b = συνολικός συντελεστής εξασθένησης

m = η συνολική διαδρομή που διασχίζει η ακτινοβολία

- Εξαρτάται από τη φύση του σώματος (σύσταση της ατμόσφαιρας), το μήκος κύματος (λ) και τη διαδρομή που διασχίζει η ακτινοβολία μέσα στην ατμόσφαιρα

Νόμοι της Ακτινοβολίας

Ο Νόμος του Planck

- Η ακτινοβολία που εκπέμπεται σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος (λ) από ένα μέλαν σώμα θερμοκρασίας T δίνεται από την παρακάτω σχέση:

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

λ = μήκος κύματος (m)

T = θερμοκρασία (°K)

$c = 3 \times 10^8$ m/s, η ταχύτητα του φωτός

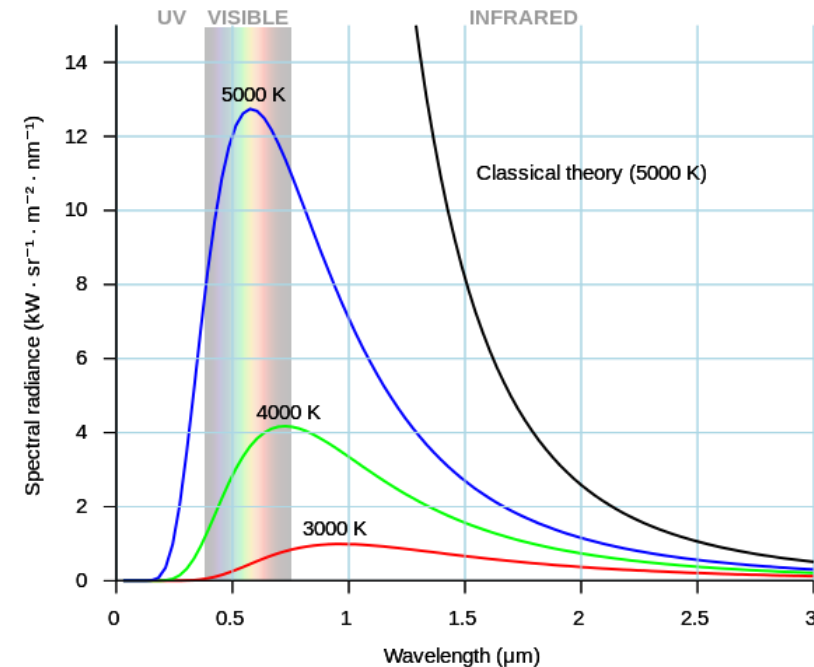
$k = 1.381 \times 10^{-23}$ J/K, η σταθερά του Boltzmann

$h = 6.626 \times 10^{-34}$ Js, η σταθερά του Planck

- Για ένα πραγματικό σώμα:

$$I_{\lambda} = \varepsilon_{(\lambda)} I_{(\lambda)}$$

$\varepsilon_{(\lambda)}$: συντελεστής εκπομπής, $\varepsilon_{(\lambda)} < 1$

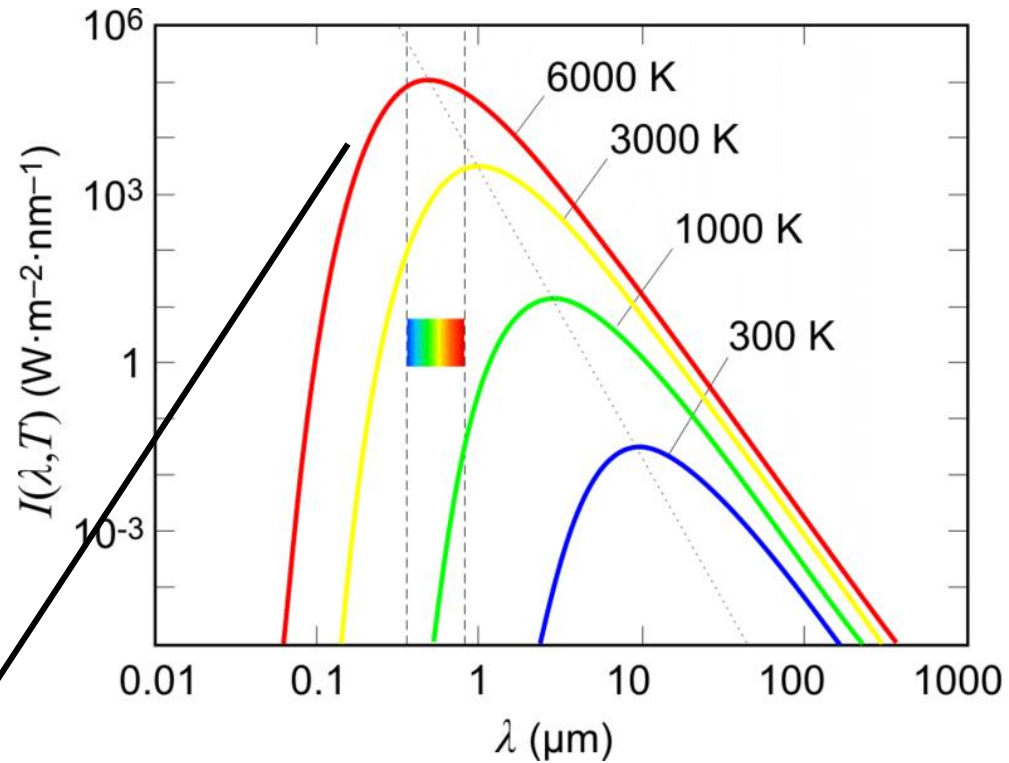


Πηγή:

https://en.wikipedia.org/wiki/Planck%27s_law#/media/File:Black_body.svg

Νόμοι της Ακτινοβολίας

Φασματική κατανομή της έντασης ακτινοβολίας μέλανος σώματος σε διάφορες θερμοκρασίες

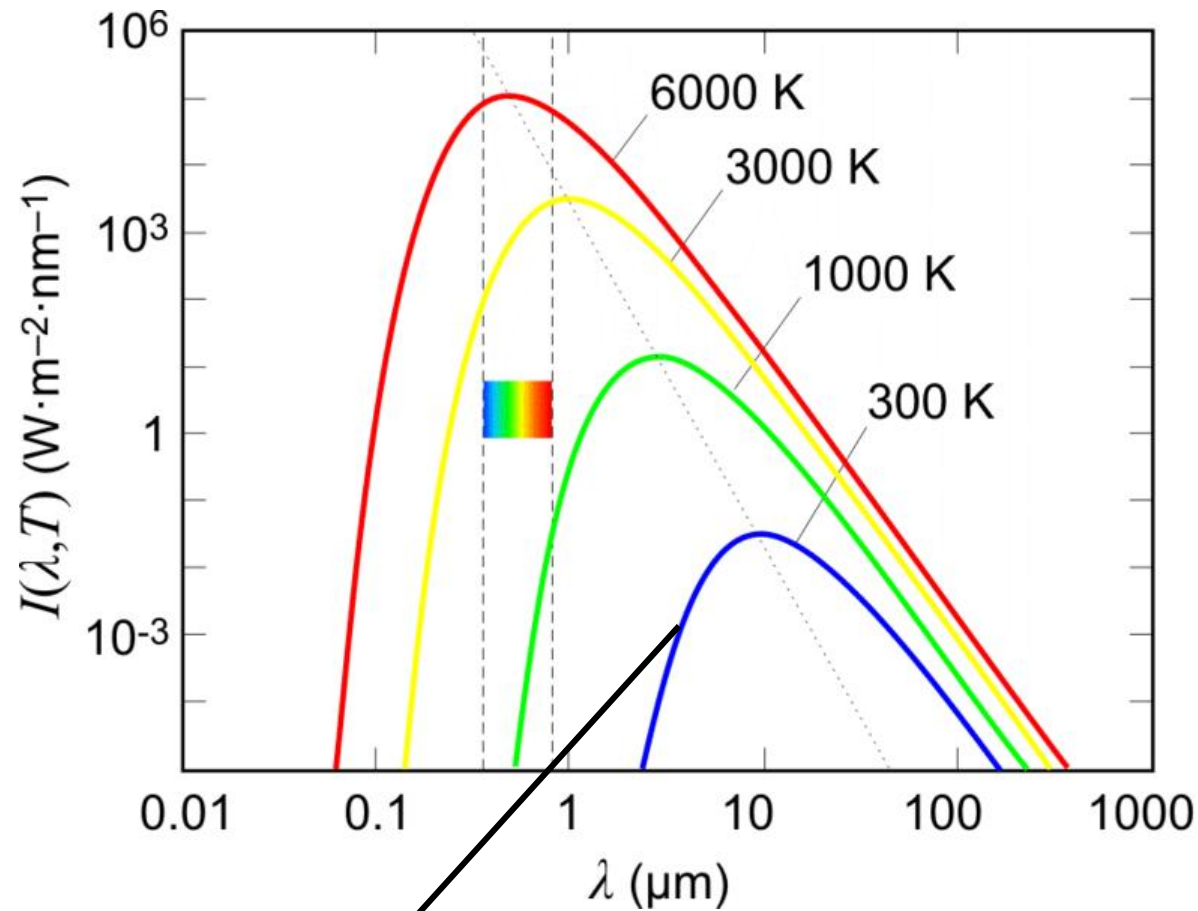


Πηγή: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f6/Planck_law_log_log_scale.png

Ο Ήλιος εκπέμπει σαν μέλαν σώμα περίπου στους 6000 K

Νόμοι της Ακτινοβολίας

Φασματική κατανομή της έντασης ακτινοβολίας μέλανος σώματος σε διάφορες θερμοκρασίες πλησίον της μέσης θερμοκρασίας της Γης (~ 288 K)



Πηγή: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f6/Planck_law_log_log_scale.png

Μέλαν σώμα με θερμοκρασία ίση περίπου με αυτή της Γης εκπέμπει ακτινοβολία στην περιοχή του υπέρυθρου

Νόμοι της Ακτινοβολίας

Ο Νόμος των Stefan-Boltzman

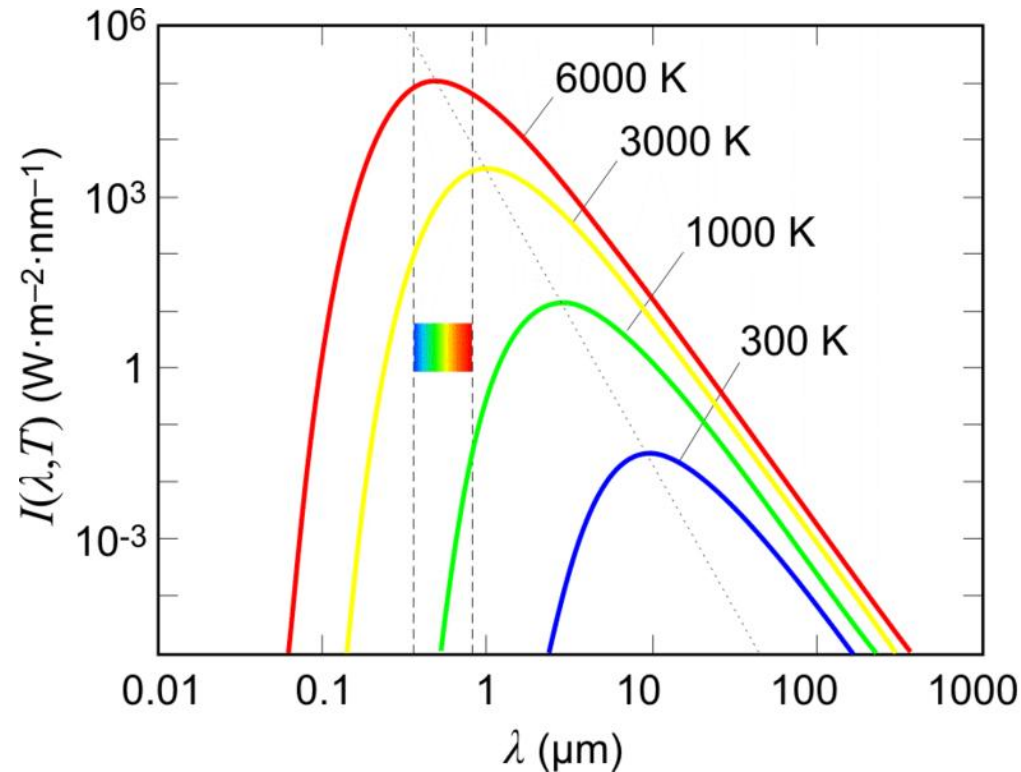
- Το συνολικό ποσό ακτινοβολίας που εκπέμπεται από ένα σώμα εξαρτάται από τη θερμοκρασία του:

$$E = \sigma T^4$$

E = η ακτινοβολία που εκπέμπεται από ένα σώμα (Watts / m²)

$\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$ Watts m⁻² K⁻⁴ η σταθερά των Stefan-Boltzman

T = η θερμοκρασία του σώματος σε °K



Πηγή: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f6/Planck_law_log_log_scale.png

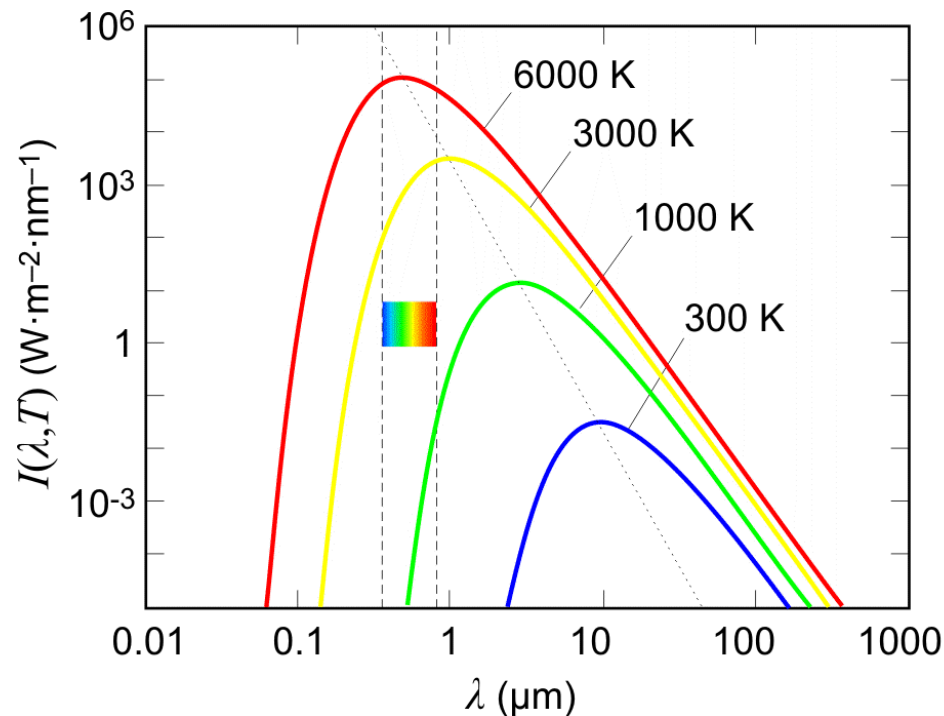
Όσο πιο θερμό είναι ένα σώμα τόσο περισσότερο ακτινοβολεί

Νόμοι της Ακτινοβολίας

Ο Νόμος του Wein

• Τα περισσότερα σώματα εκπέμπουν ακτινοβολία σε όλα τα μήκη κύματος. Όμως, υπάρχει ένα μήκος κύματος το οποίο αντιστοιχεί στο μέγιστο της εκπεμπόμενης ισχύος. Το γινόμενο αυτού του μήκους κύματος και της απόλυτης Θερμοκρασίας του σώματος είναι σταθερό:

$$\lambda_{\max} T(^{\circ}\text{K}) = 2897 \text{ nm}$$



Πηγή: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f6/Planck_law_log_log_scale.png

Ήλιος ($T = \sim 6000 \text{ K}$): μέγιστο στα $0.475 \mu\text{m}$ (ορατή περιοχή του φάσματος => μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία $\lambda < 0.4 \mu\text{m}$)

Γη ($T = \sim 300 \text{ K}$): μέγιστο στα $10 - 12 \mu\text{m}$ (θερμικό υπέρυθρο => μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία $\lambda > 0.4 \mu\text{m}$)

Ηλιακή Ακτινοβολία



Πηγή: <https://en.wikipedia.org/wiki/Light>

Φασματική Κατανομή της Ηλιακής ακτινοβολίας

Υπεριώδες (< 0.40 μm)	8.03 %
Ορατό (0.40 – 0.77 μm)	46.41 %
Υπέρυθρο (> 0.77 μm)	46.40 %

- Μας ενδιαφέρει η περιοχή του φάσματος:

0.29 – 14 μm

(υπεριώδες – υπέρυθρο)

Γιατί μόνο αυτή η περιοχή φτάνει στην επιφάνεια της Γης

Ηλιακή Ακτινοβολία

□ Κατανομή της ενέργειας στο ηλιακό φάσμα

Φασματική περιοχή	Μήκος κύματος	Ένταση
Υπεριώδης	150 nm – 400 nm	0.183 ly/min
I	150 – 280	0.011
II	280 – 320	0.035
III	320 - 400	0.137
Ορατή	400 nm – 740 nm	0.865 ly/min
I	400 – 520	0.343
II	520 – 620	0.259
III	620 - 740	0.263
Υπέρυθρη	740 nm – 4000 nm	0.922 ly/min
I	740 – 1400	0.658
II	1400 – 3000	0.241
III	3000 - 4000	0.022

9 % της ολικής έντασης

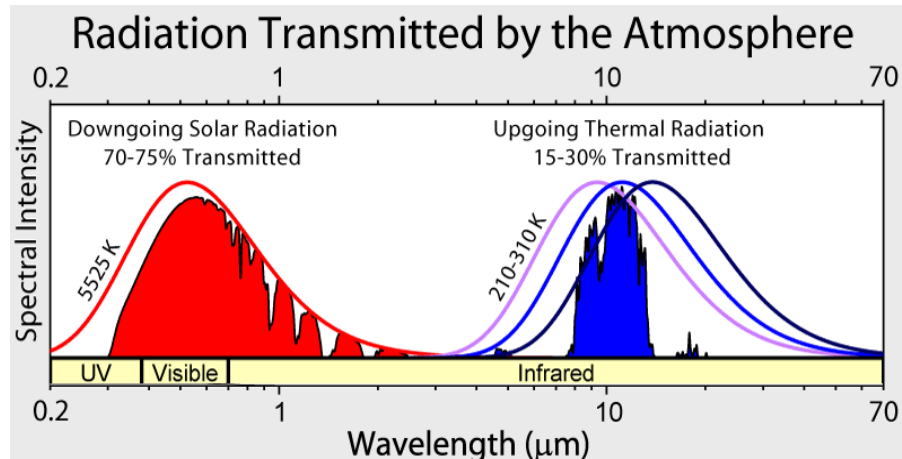
44 % της ολικής έντασης

47 % της ολικής έντασης

* $ly = langley$, $1 ly = 11.628 Wh$

$1 ly / min = 1 cal / cm^2 / min = 697.8 W / m^2$

Γήινη Ακτινοβολία & Ατμόσφαιρα



Πηγή:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f6/Planck_law_log_log_scale.png

- Θεωρούμε ότι και η Γη ακτινοβολεί ως “μέλαν σώμα” σε θερμοκρασία

$$T_{Γης} = \sim 288 \text{ }^\circ\text{K} \text{ ή } 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

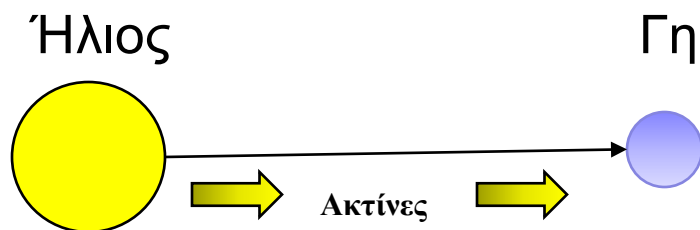
- Στην πραγματικότητα όμως η Γη ακτινοβολεί ως τέλειο μέλαν σώμα (διότι η ικανότητα εκπομπής της μεταβάλλεται με το μήκος κύματος) αλλά ως ‘φαιό’ με ικανότητα εκπομπής των διαφόρων φυσικών επιφανειών από 0.85 έως 0.99 (μέση τιμή **0.95**)

- Το φάσμα της γήινης ακτινοβολίας εκτείνεται από τα **4 μm** μέχρι τα **100 μm** (θερμικό υπέρυθρο)
- Το μέγιστο της γήινης ακτινοβολίας αντιστοιχεί στα **10 μm** και ισούται με:

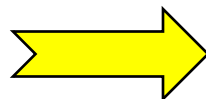
$$390 \text{ W/m}^2$$

- Η γήινη ακτινοβολία καλείται **μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία**

Ηλιακή Ακτινοβολία - Ηλιακή Σταθερά



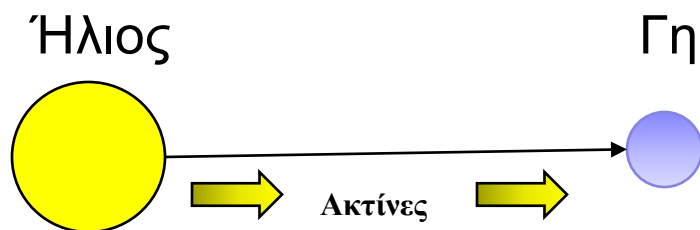
Πηγή: with the courtesy of E. Kodouli



Στη Γη φθάνει πολύ μικρό τμήμα της συνολικά εκπεμπόμενης ενέργειας από τον Ήλιο

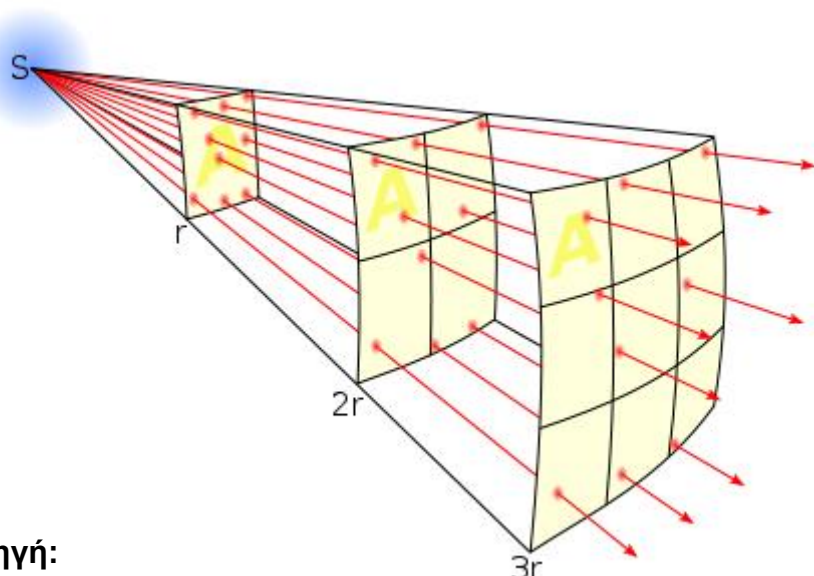
- **Ηλιακή Σταθερά:** η τιμή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας που μετρείται στην κορυφή της ατμόσφαιρας όταν η γη βρίσκεται στη μέση απόσταση της από τον Ήλιο
- **Ορίζεται:** ως η συνολική ηλιακή ενέργεια που διέρχεται από τη μονάδα επιφάνειας (1 cm^2) τοποθετημένη κάθετα στις ακτίνες του ηλίου και έξω από την ατμόσφαιρα, στη μονάδα του χρόνου και σε απόσταση από τον ήλιο ίση με 1 αστρονομική μονάδα ($149.5 \times 10^6 \text{ km}$)
- Στην ουσία αντιπροσωπεύει το ποσό ενέργειας που έχει στη διάθεση του ο πλανήτης

Ηλιακή Ακτινοβολία - Ηλιακή Σταθερά

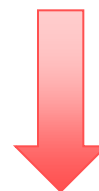


Πηγή: with the courtesy of E. Kodouli

- Έστω ο Ήλιος εκπέμπει ενέργεια από ολόκληρη την επιφάνεια του με ρυθμό F
- Ο Ήλιος εκπέμπει ενέργεια ομοιόμορφα προς όλες τις διευθύνσεις στο χώρο
- Αν R_s η ακτίνα του Ήλιου και R_d η μέση απόσταση Γης - Ήλιου \Rightarrow τότε με βάση το νόμο των αντιστρόφων τετραγώνων



$$4\pi R_s^2 F = 4\pi R_d^2 S_o \Rightarrow S_o = 1370 \text{ Wm}^{-2}$$



Ηλιακή σταθερά

Η τιμή της Ηλιακής Σταθερά βάσει σύγχρονων δορυφορικών παρατηρήσεων εκτιμάται $1366.25 \pm 0.71 \text{ Wm}^{-2}$

Πηγή: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/28/Inverse_square_law.svg/2000px-Inverse_square_law.svg.png

Ηλιακή Ακτινοβολία - Ηλιακή Σταθερά

Η Γη έχει πολύ μικρή ενεργό επιφάνεια απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας, ίση με αυτή ενός δίσκου, παρά με εκείνη μιας τρισδιάστατης σφαίρας. Έτσι

Πηγή:
<http://physics.stackexchange.com/questions/185452/black-body-golf-balls>

- Η Γη αποκόπτει ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας καθώς αυτή διαδίδεται στο διάστημα λόγω του ότι παρεμβάλλεται κάθετα στην πορεία της σαν ένας δίσκος εμβαδού πR^2 , R η ακτίνα της
- Η επιφάνεια όμως της Γης που δέχεται ακτινοβολία από τον Ήλιο είναι σφαιρική με εμβαδό $4\pi R^2$

$$\frac{\pi R^2}{4\pi R^2} S_o = \frac{1}{4} S_o \approx 343 Wm^{-2}$$



Το κλάσμα της ηλιακής ενέργειας που λαμβάνεται ανά μονάδα επιφάνειας από το σύστημα Γη-Ατμόσφαιρα στην κορυφή της ατμόσφαιρας

Ηλιακή Ακτινοβολία - Ηλιακή Σταθερά

□ Η μέση ισχύς που δέχεται το φωτισμένο τμήμα της Γης (θεωρώντας την χωρίς ατμόσφαιρα) είναι: $\bar{P} = \pi R_{\Gamma}^2 I_0 = 175.8 \times 10^{12} \text{ KW}$ →

→ Άρα κατά τη διάρκεια μιας μέρας η Γη δέχεται από τον ήλιο ενέργεια:

$$Q_{sol} = 4.2 \times 10^{16} \text{ KWh} / \text{day} = 3.61 \times 10^{21} \text{ cal} / \text{day}$$

→ Στη μοναδιαία επιφάνεια της Γης, η μέση ηλιακή ενέργεια που αντιστοιχεί είναι:

$$\bar{Q}_s = \frac{Q_{sol}}{4\pi R_{\Gamma}^2} = 86.4 \text{ KWh} / \text{m}^2 / \text{day} = 708.6 \text{ ly} / \text{day}$$

→ Το αντίστοιχο ποσό για όλο το χρόνο είναι:

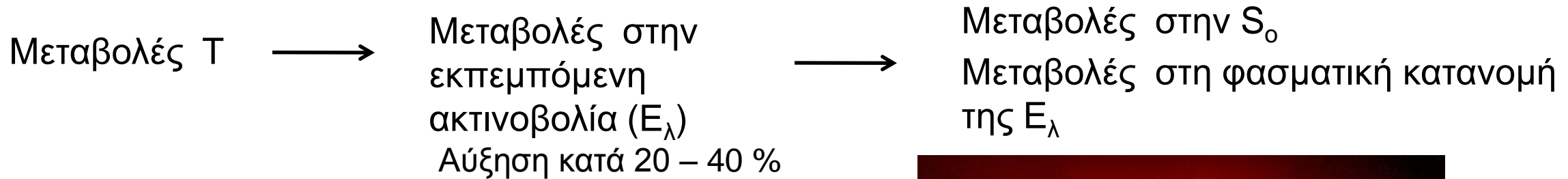
$$\bar{Q}_s = 3 \times 10^4 \text{ KWh} / \text{m}^2 / \text{year} = 256 \text{ Kly} / \text{year}$$

Ηλιακή Ακτινοβολία - Ηλιακή Σταθερά

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη Γη (ή διαφορετικά η τιμή της Ηλιακής σταθεράς) εξαρτάται και καθορίζεται από **αστρονομικούς παράγοντες** σε διάφορες κλίμακες χρόνου

- Την εξέλιξη του Ήλιου ως αστέρα

Μεταβολές μεγάλης κλίμακας χρόνου της τάξης των δισεκατομμυρίων ετών (σήμερα ο Ήλιος είναι ένας αστέρας στο μέσο της ζωής του 4.6 My)



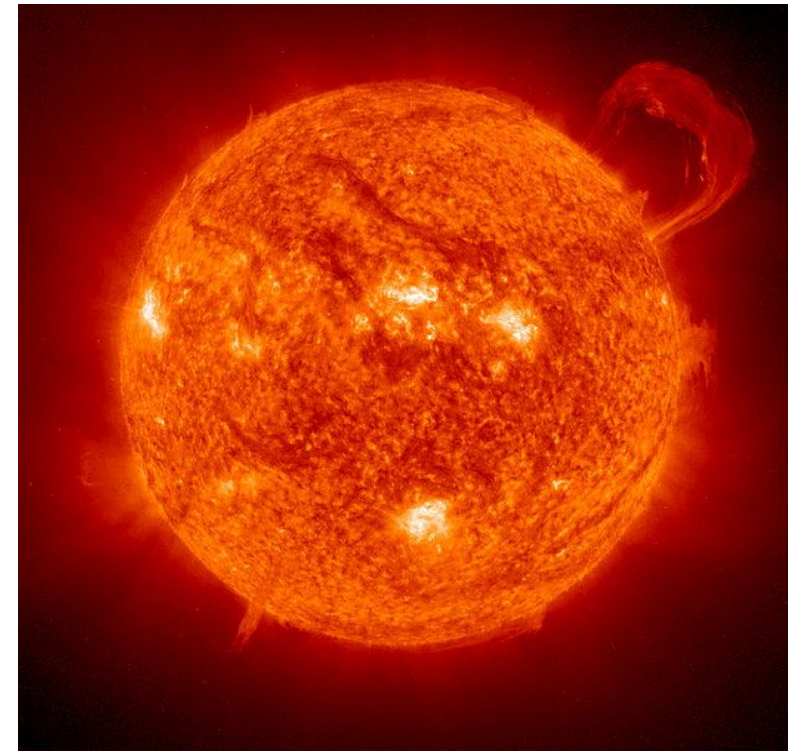
- Μεταβλητότητα της δραστηριότητας του Ήλιου

Μεταβολές μικρής κλίμακας χρόνου

11-ετής κύκλος ηλιακών κηλίδων

Ηλιακές Εκλάμψεις (Solar Flares)

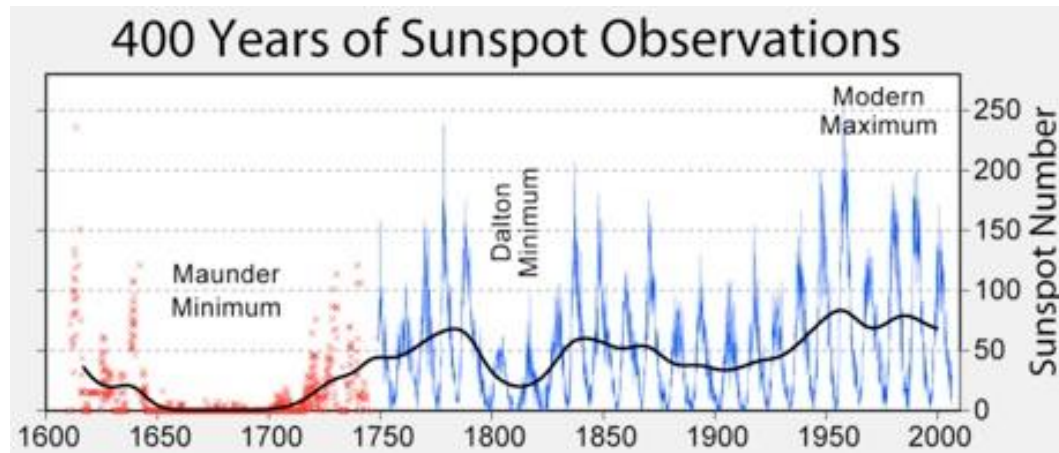
(αυξημένη εκπομπή ακτινοβολίας γ , X και UV)



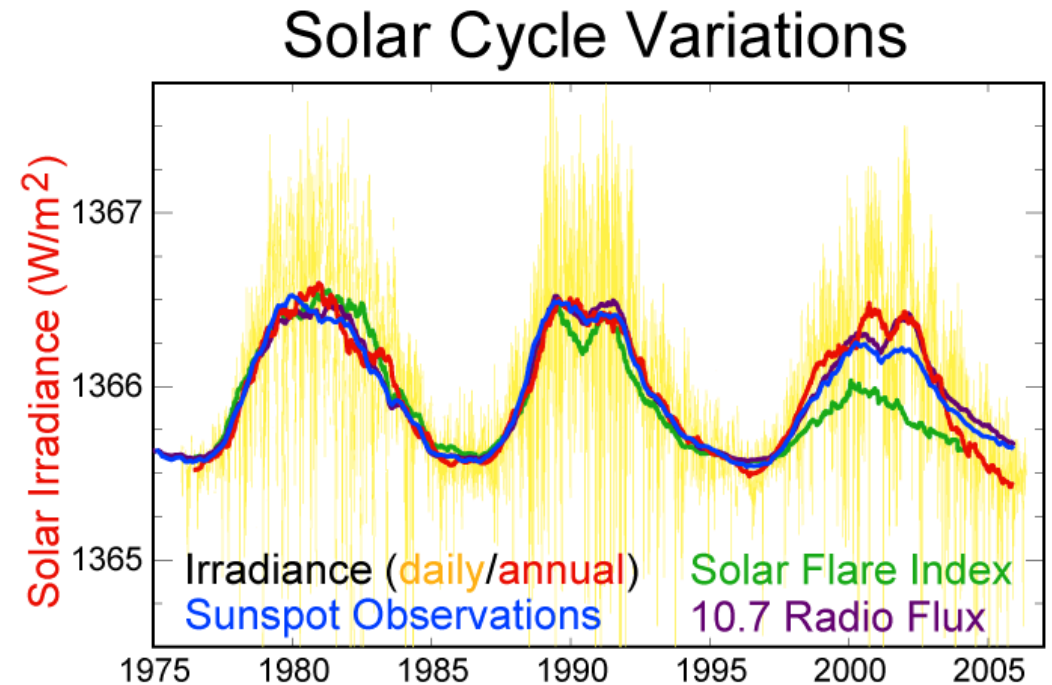
Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/File:The_Sun_in_extreme_ultraviolet.jpg

Ηλιακή Ακτινοβολία - Ηλιακή Σταθερά

Μεταβολές της Ηλιακής Σταθεράς συναρτήσει της Δραστηριότητας του Ηλίου (ηλιακές κηλίδες)



Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Sunspot#/media/File:Sunspot_Numbers.png



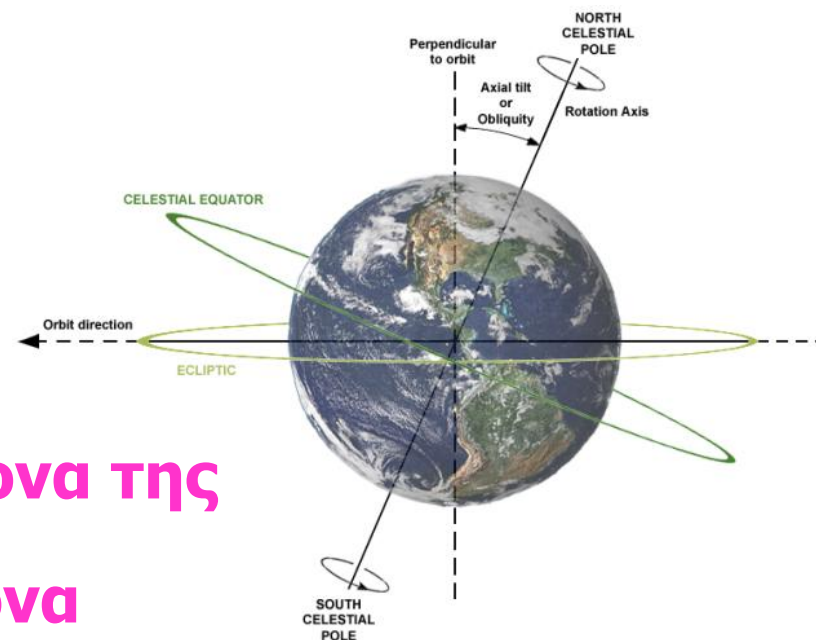
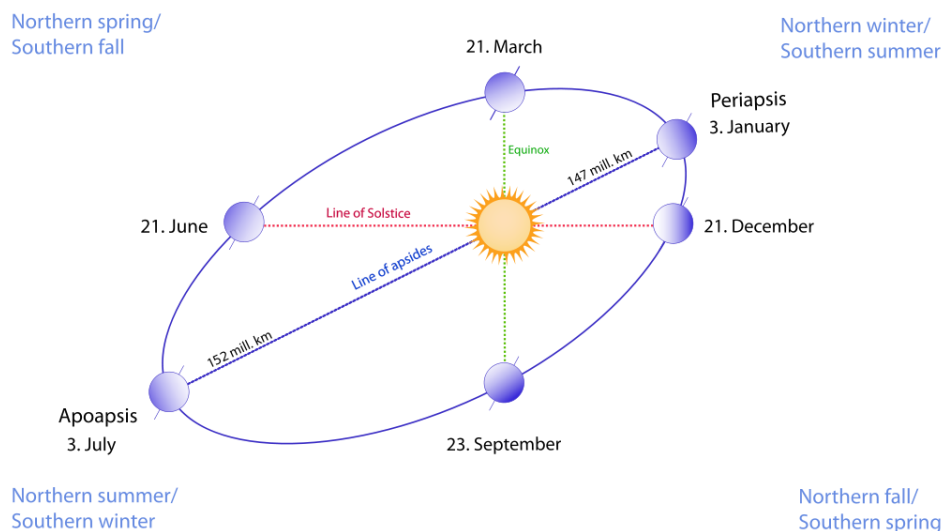
Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cycle

Ηλιακή Ακτινοβολία - Ηλιακή Σταθερά

Μεταβολές της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη Γη (Ηλιακής σταθεράς) λόγω **αστρονομικών παραγόντων**

- Περιστροφή της Γης **γύρω από τον Ήλιο** σε ελλειπτική τροχιά

Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Earth%27s_orbit

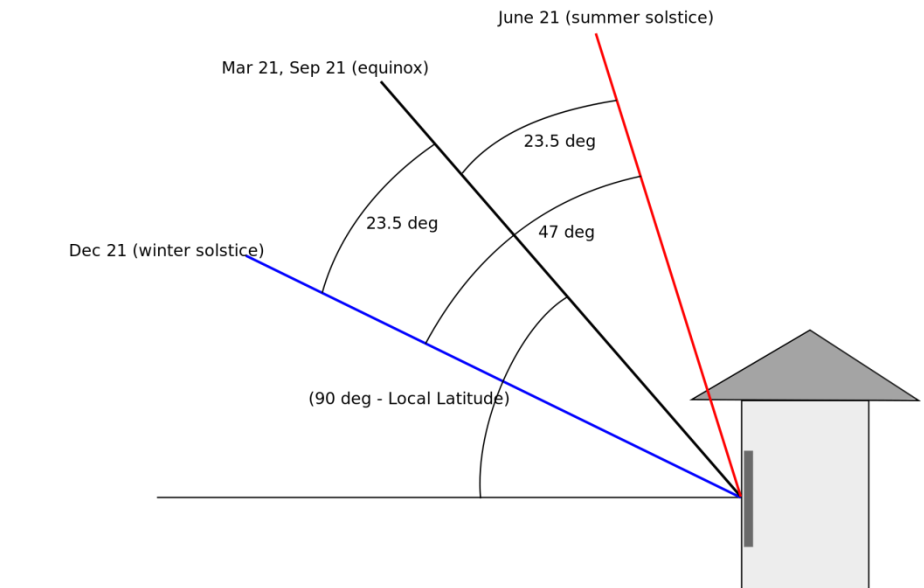
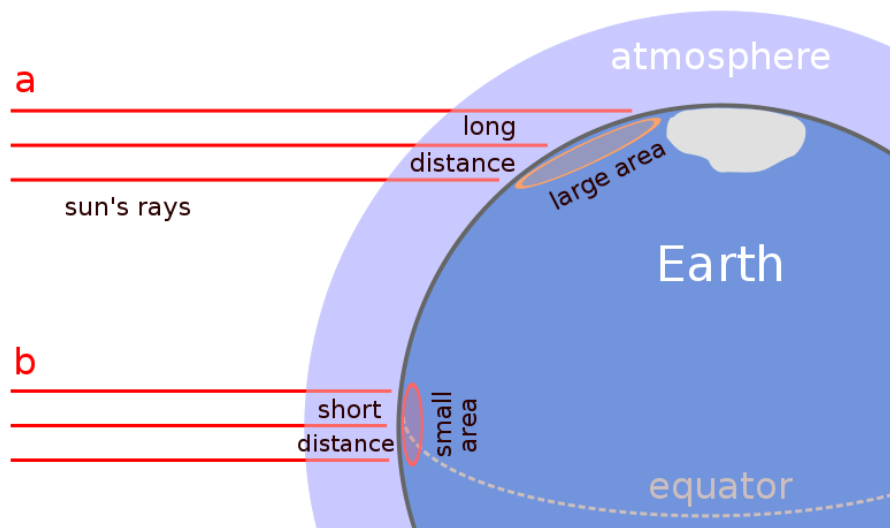


- Περιστροφή της Γης **γύρω από τον άξονα της**
- Η **σφαιρικότητα της & η κλίση του άξονα** περιστροφής της Γης

Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Earth%27s_rotation

Ηλιακή Ακτινοβολία - Ηλιακή Σταθερά

- ⇒ Δημιουργούν **μεταβαλλόμενες συνθήκες πρόσπτωσης** της ηλιακής ακτινοβολίας σε έναν τόπο με αποτέλεσμα αυτή να μεταβάλλεται τόσο **χωρικά** όσο και **χρονικά** ⇒
- σε **ετήσια βάση** και
 - σε **ημερήσια βάση**
- ↓
- με το **γεωγραφικό πλάτος**



Ηλιακή Ακτινοβολία - Ηλιακή Σταθερά

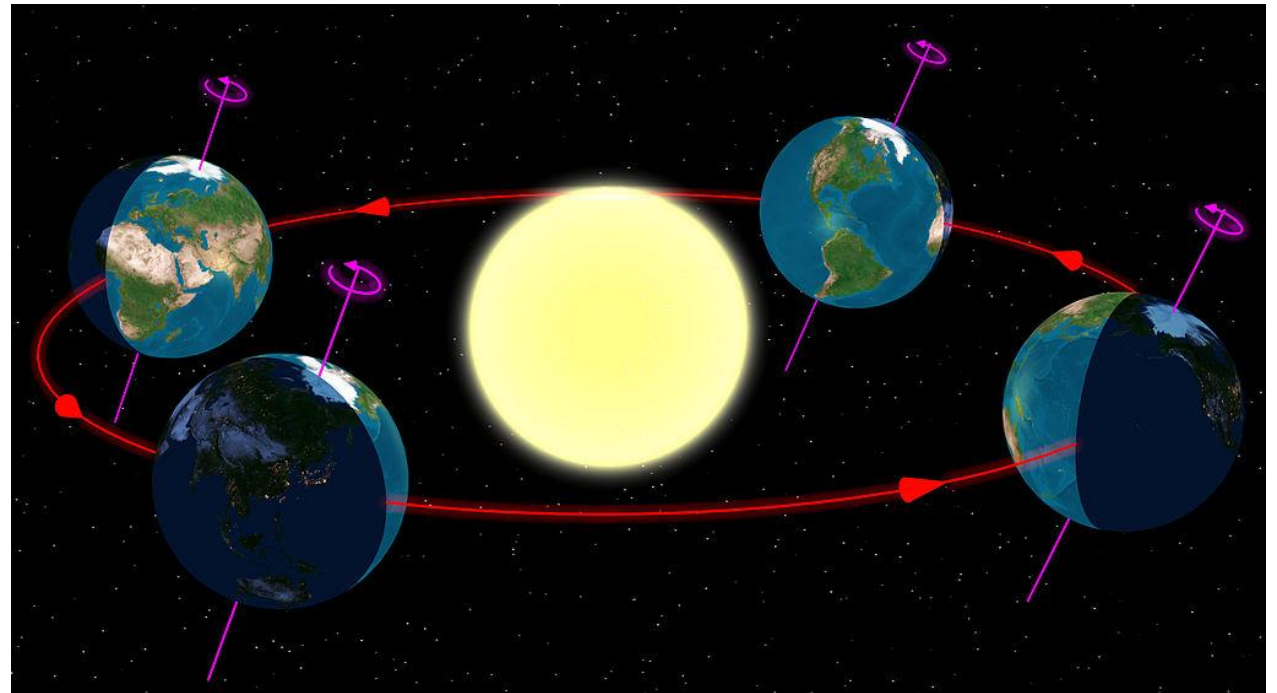
- Εξαιτίας της ελλειπτικής τροχιάς της Γης γύρω από τον Ήλιο η ένταση της ακτινοβολίας που φτάνει στη Γη μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του έτους
- Επειδή η απόσταση Γης-Ηλίου μεταβάλλεται (περιήλιο, αφήλιο), η ηλιακή σταθερά μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του έτους, με διακύμανση $\pm 3.4\%$ από τη μέση τιμή:

- Η ένταση της ακτινοβολίας μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα του τετραγώνου της απόστασης από τον Ήλιο

$$I = S_o \left(\frac{R_0}{R} \right)^2$$

$$R = 1 - 0.01672 \sin[0.9856(D - 4)] \text{ σε AU}$$

Όπου $D = 1, 2, 3, \dots 365 / 366$
ο αριθμός της ημέρας του έτους



Πηγή: <https://en.wikipedia.org/wiki/Equinox>

- Στην καθημερινή πρακτική θεωρούμε την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας σταθερή & ίση με I_0

Ηλιακή Ακτινοβολία

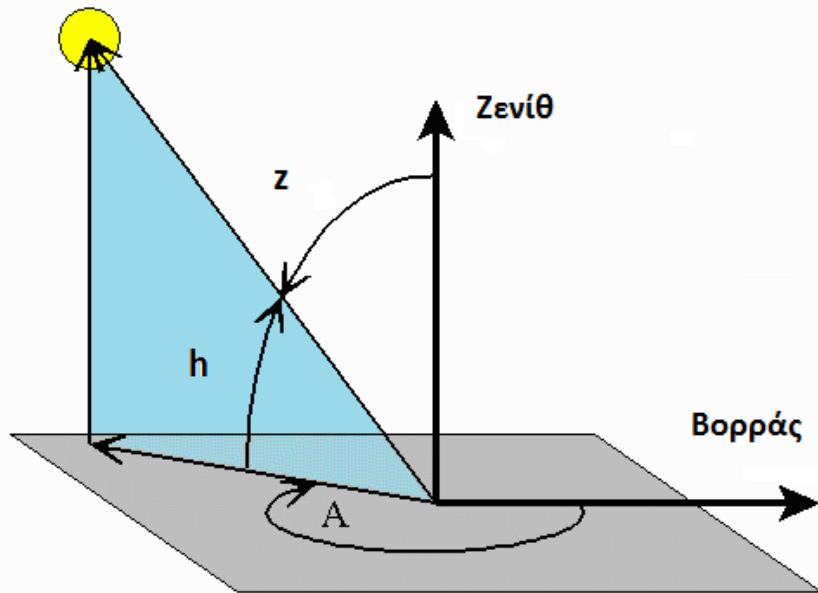
□ Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της Γης σ' έναν τόπο, μια ορισμένη χρονική στιγμή εξαρτάται:

- ✓ Από την ηλιακή δραστηριότητα, η οποία επηρεάζει την τιμή της ηλιακής σταθεράς
 - ✓ Από την απόσταση Γης – Ηλίου
 - ✓ Το ύψος του Ηλίου πάνω από τον ορίζοντα του τόπου
- } ✓ Από το γεωγραφικό πλάτος
- ✓ Από την εποχή του έτους
- ✓ Από την ώρα της ημέρας

✓ Από την διαδρομή της ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα

Ηλιακή Ακτινοβολία

- Το ύψος του Ηλίου (ηλιακή γωνία-solar angle) πάνω από τον ορίζοντα (η γωνία μεταξύ των ακτίνων του ηλίου και του ορίζοντα σ' έναν τόπο)



Η ένταση (I) της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μια οριζόντια επιφάνεια ισούται:

$$I = I_{\max} \sigma \nu \nu z$$

ή

$$I = I_{\max} \eta \mu h$$



Η ένταση, I , της ηλιακής ακτινοβολίας μεταβάλλεται με το ύψος του Ηλίου (νόμος Lambert ή νόμος των ημιτόνων)

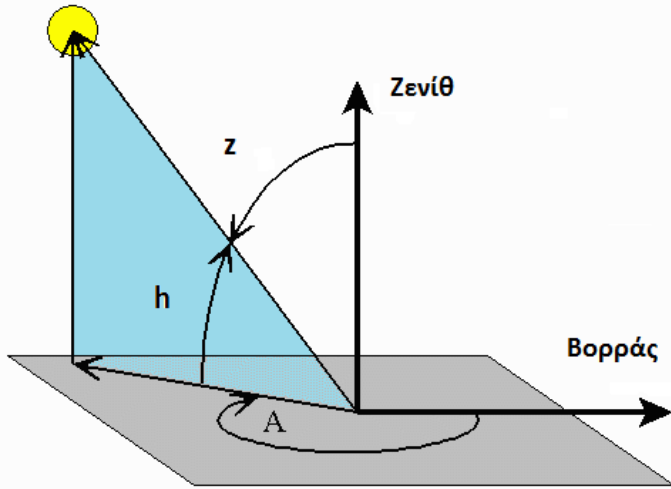
I_{\max} , η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που πέφτει κάθετα σε μια οριζόντια επιφάνεια
 z , η ζενιθία γωνία του ηλίου (η γωνία μεταξύ της πρόσπτωσης και της καθέτου στην επιφάνεια)

h , το ύψος του ηλίου ή ηλιακή γωνία (η γωνία μεταξύ της πρόσπτωσης και της επιφάνειας)

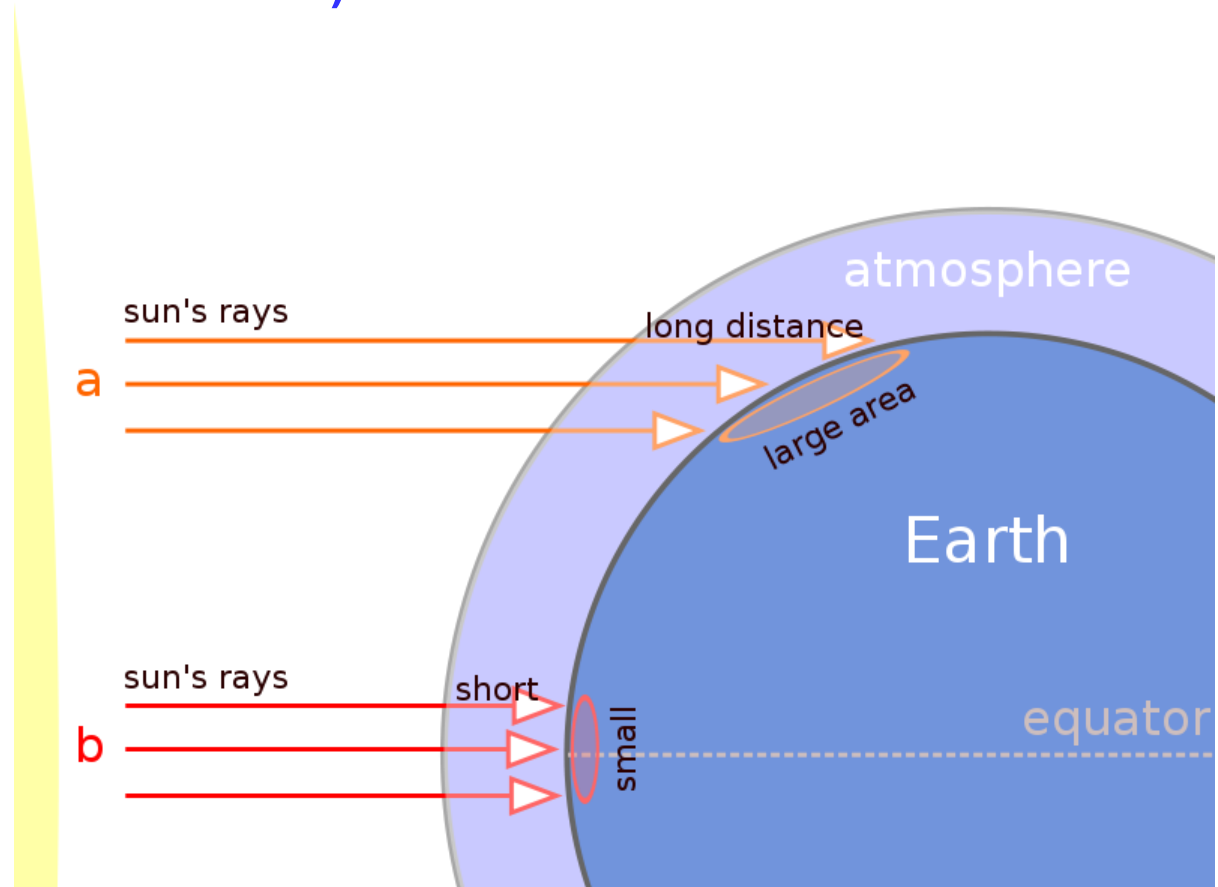
A , αζιμούθιο

Ηλιακή Ακτινοβολία

- Το ύψος του Ηλίου (ηλιακή γωνία-solar angle) πάνω από τον ορίζοντα (η γωνία μεταξύ των ακτίνων του ηλίου και του ορίζοντα σ' έναν τόπο)



$$I = I_{\max} \eta \mu h$$



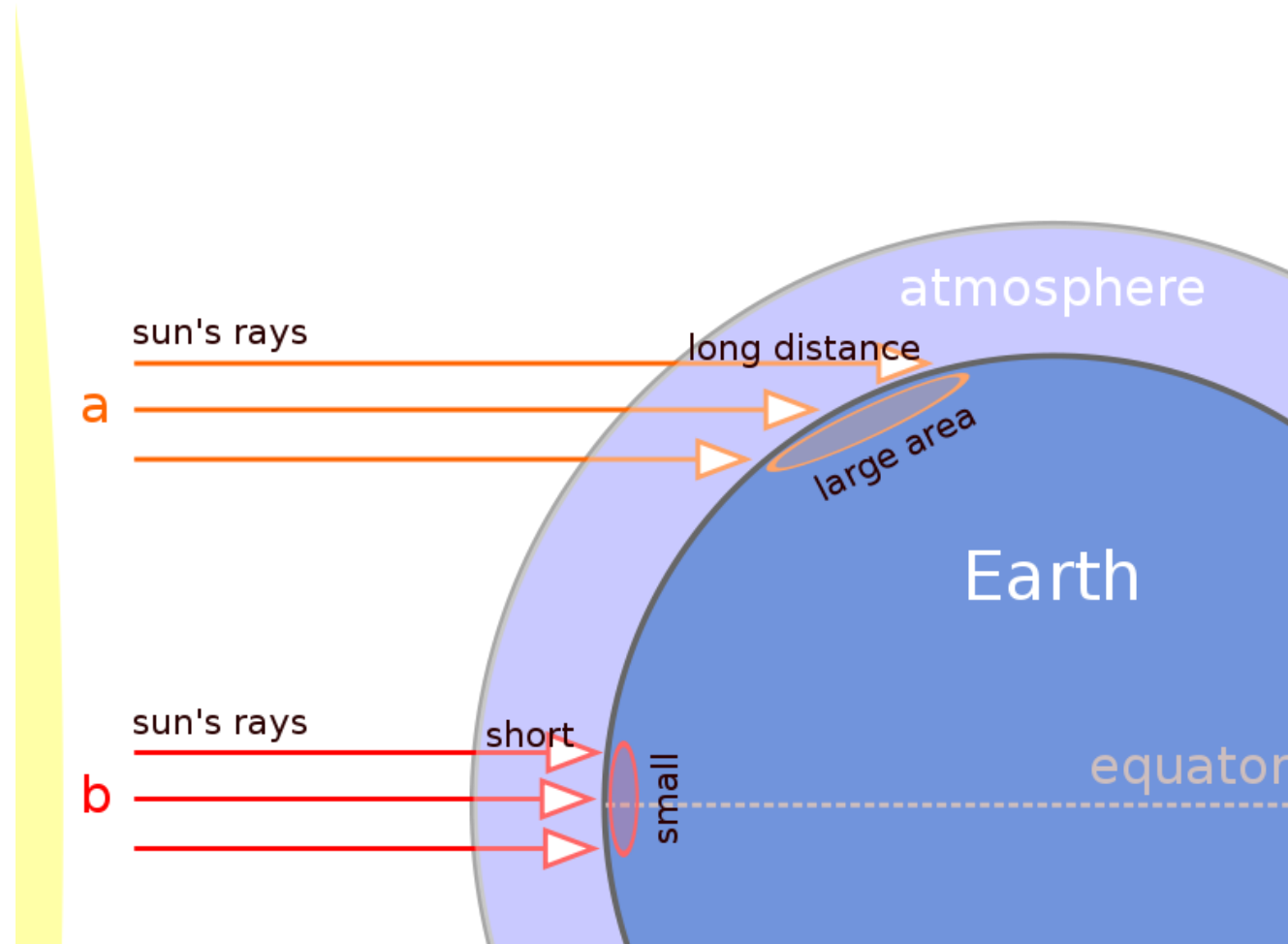
Πηγή: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Oblique_rays.svg

- Όσο μικρότερο είναι το ύψος ηλίου (h) τόσο λιγότερη ενέργεια ακτινοβολίας θα μοιράζεται στην επιφάνεια & επομένως τόσο μικρότερη θα είναι η ένταση της ακτινοβολίας



Ηλιακή Ακτινοβολία

Πράγματι ...



Πηγή: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Oblique_rays.svg

- Όσο μικρότερο είναι το ύψος ηλίου (h) τόσο λιγότερη ενέργεια ακτινοβολίας θα μοιράζεται στην επιφάνεια & επομένως τόσο μικρότερη θα είναι η ένταση της ακτινοβολίας

Ηλιακή Ακτινοβολία

Πηγή:

<http://www.itacanet.org/the-sun-as-a-source-of-energy/part-1-solar-astronomy/>

$$I = I_{\max} \sigma \nu \zeta$$

ή

$$I = I_{\max} \eta \mu h$$

Όπου: $\sigma \nu \zeta = \eta \mu \phi \cdot \eta \mu \delta + \sigma \nu \phi \cdot \sigma \nu \delta \cdot \sigma \nu \omega$

$$h = 90 - \phi \pm \delta \quad \text{Όπου:}$$

ϕ το γεωγραφικό πλάτος

δ η απόκλιση του Ηλίου (declination)

ω η ωριαία γωνία

το γεωγραφικό πλάτος του τόπου όπου εκείνη την στιγμή (ημέρα) ο ήλιος το μεσημέρι μεσουρανά ακριβώς στο κέντρο του ουράνιου θόλου & οι ακτίνες του πέφτουν κάθετα

$\omega = 0$ μεσημβρία

$\omega < 0$ προ μεσημβρίας

$\omega > 0$ μετά μεσημβρίας

$\delta = 0$ Ισημερίες

$\delta > 0$ όταν το γεωγραφικό πλάτος του παρατηρητή και το πλάτος απόκλισης είναι στο ίδιο ημισφαίριο (Β. Ημισφαίριο)

$\delta < 0$ όταν το γεωγραφικό πλάτος του παρατηρητή και το πλάτος απόκλισης είναι σε αντίθετα ημισφαίρια (Ν. Ημισφαίριο)

Συνεπώς... 

Ηλιακή Ακτινοβολία - απόκλιση του Ηλίου

Απόκλιση Ηλίου ή πλάτος απόκλισης (declination latitude)

- Επειδή οι ακτίνες του Ηλίου που φτάνουν στην επιφάνεια της Γης είναι παράλληλες μεταξύ τους & σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η Γη είναι σφαιρική => αυτές προσπίπτουν κάθετα στην επιφάνεια της Γης μόνο σε ένα σημείο της
- Στην περιοχή που συμβαίνει αυτό, ο ήλιος κατά την αληθή μεσημβρία μεσουρανεύ ακριβώς στο κέντρο του ουράνιου θόλου. Το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής αυτής καλείται **πλάτος απόκλισης**
- Το **πλάτος απόκλισης** κυμαίνεται $\pm 23.5^\circ$ γύρω από τον Ισημερινό

Πηγή

<http://www.physicalgeography.net/fundamentals/6h.html>

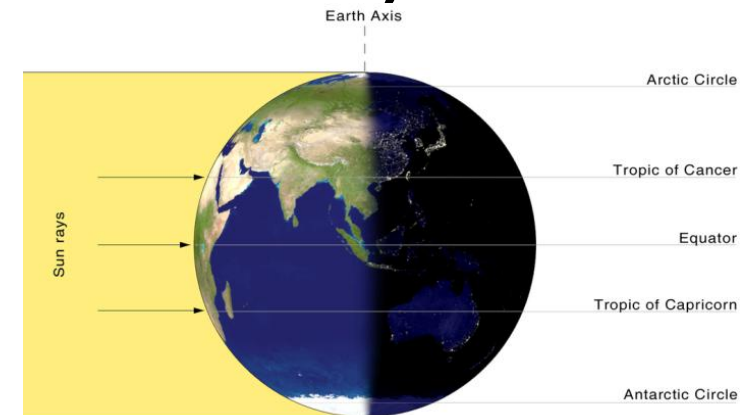
Ηλιακή Ακτινοβολία - απόκλιση του Ηλίου

Απόκλιση Ηλίου ή πλάτος απόκλισης (declination latitude)

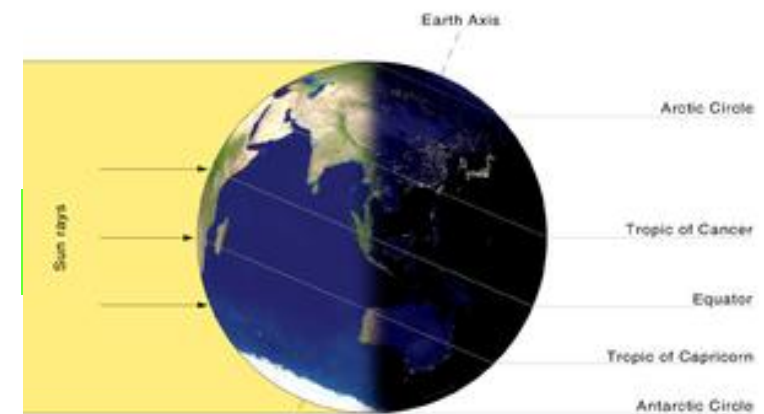
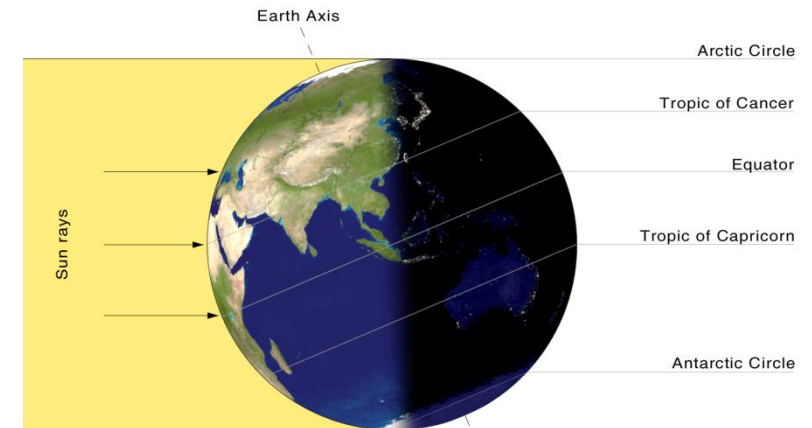
- Το **πλάτος απόκλισης** είναι **0°** (οι ακτίνες πέφτουν κάθετα στην περιοχή του ισημερινού κατά τις **Ισημερίες** (21 Μαρτίου & 21 Σεπτεμβρίου))

- Κατά το **θερινό ηλιοστάσιο** (21 Ιουνίου) οι ακτίνες πέφτουν κάθετα στην περιοχή του **Τροπικού του Καρκίνου** (**23.5° Βόρεια**)

- Κατά το **χειμερινό ηλιοστάσιο** (21 Δεκεμβρίου) οι ακτίνες πέφτουν κάθετα στην περιοχή του **Τροπικού του Αιγόκερου** (**23.5° Νότια**)



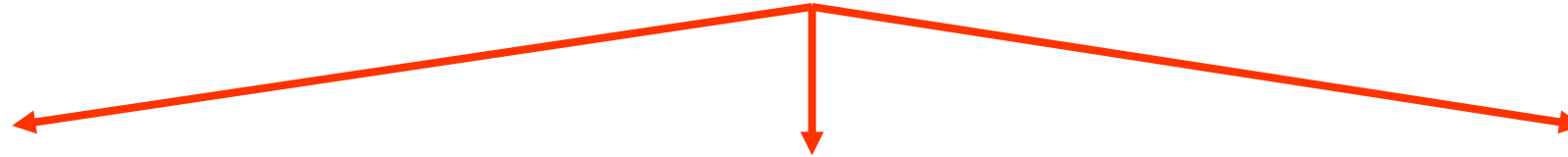
Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/September_equinox



Πηγή: <https://en.wikipedia.org/wiki/Daytime>

Ηλιακή Ακτινοβολία

→ Το ύψος Ηλίου (h), η Ζενιθία γωνία και επομένως η ένταση της ακτινοβολίας εξαρτώνται από



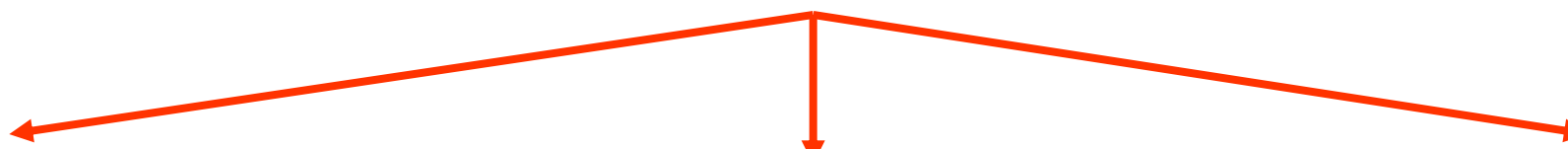
Ωρα της ημέρας

Εποχή του έτους

Γεωγραφικό πλάτος

Ηλιακή Ακτινοβολία

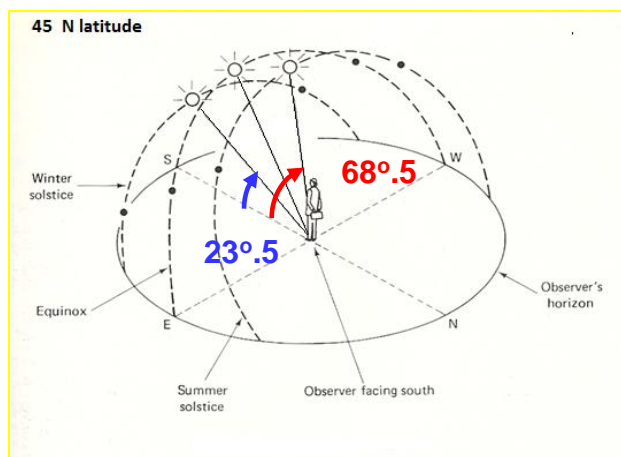
➔ Το ύψος Ηλίου (h) και επομένως η ένταση της ακτινοβολίας εξαρτώνται από



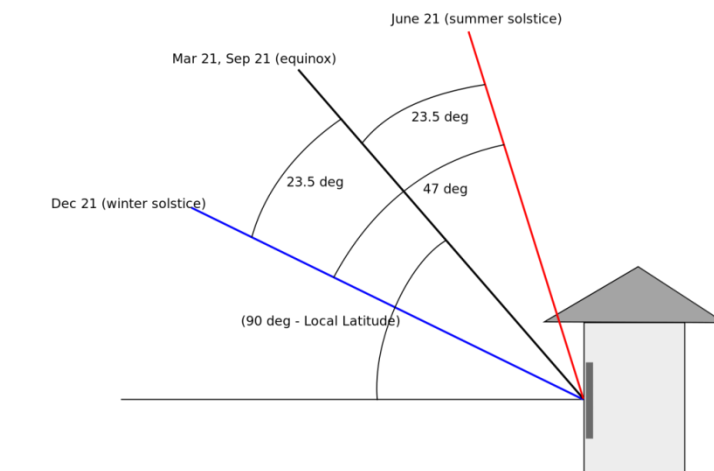
Ώρα της ημέρας

Εποχή του έτους

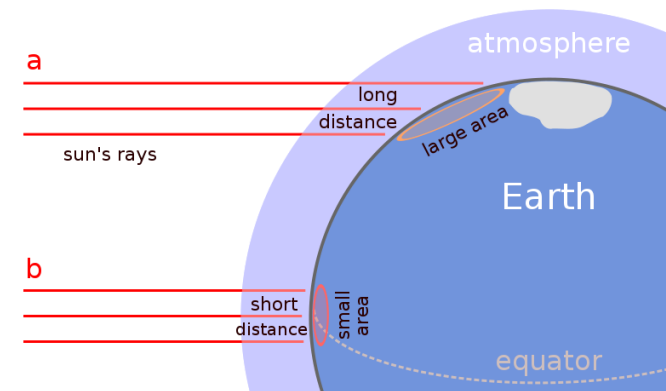
Γεωγραφικό πλάτος



Πηγή: http://solarwiki.ucdavis.edu/The_Science_of_Solar/Solar_Basics/B._Basics_of_the_Sun/VI._The_Sun%27s_Motion



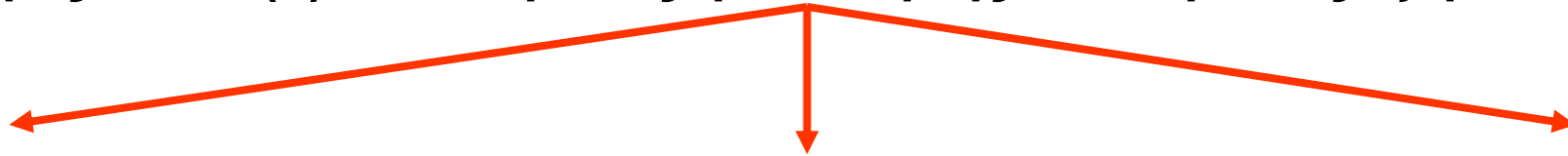
Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Sun_path



Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Effect_of_sun_angle_on_climate

Ηλιακή Ακτινοβολία

→ Το ύψος Ηλίου (h) και επομένως η ένταση της ακτινοβολίας εξαρτώνται από



Ωρα της ημέρας

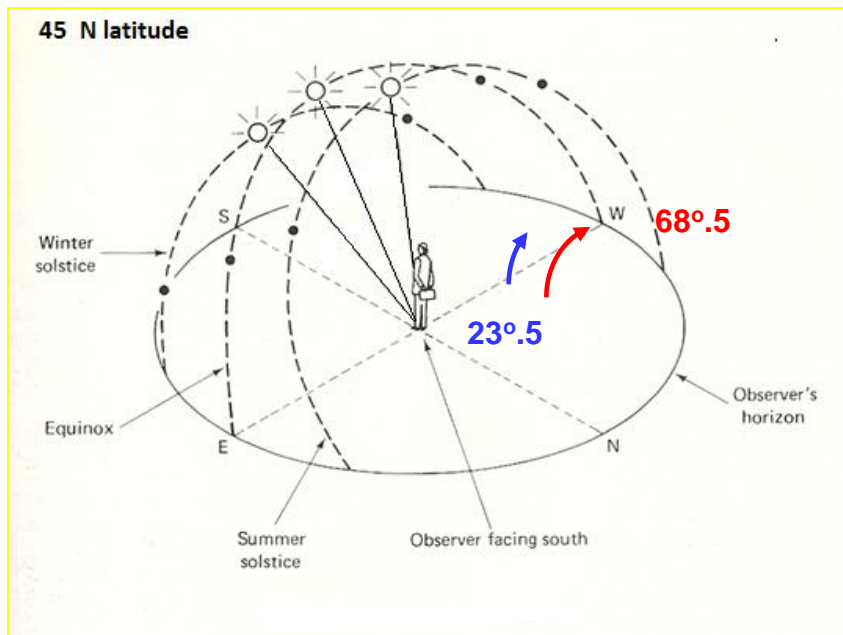
Εποχή του έτους

Γεωγραφικό πλάτος

Ισημερίες
21 Μαρτίου
21 Σεπτεμβρίου

Θερινό ηλιοστάσιο
21 Ιουνίου

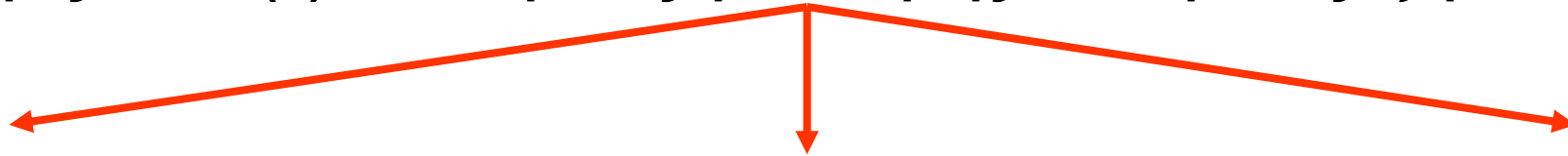
Χειμερινό ηλιοστάσιο
21 Δεκεμβρίου



Στα μέσα γεωγραφικά πλάτη (45°)
η ένταση της ακτινοβολίας μειώνεται μεταξύ
θερινού και χειμερινού ηλιοστασίου από
93 σε 38 %

Ηλιακή Ακτινοβολία

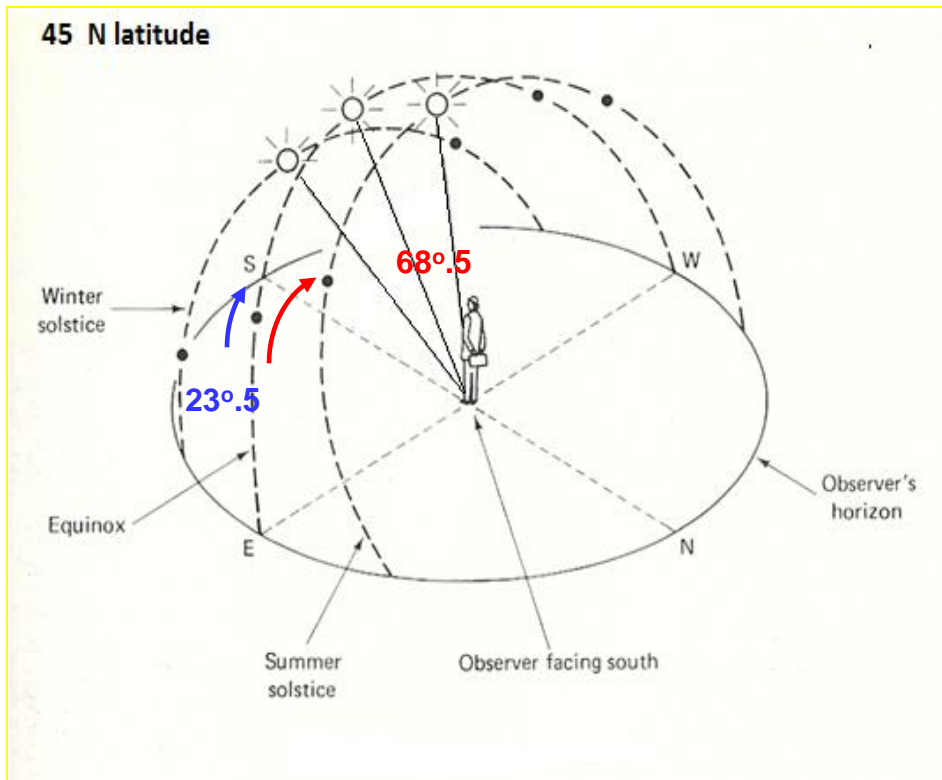
→ Το ύψος Ηλίου (h) και επομένως η ένταση της ακτινοβολίας εξαρτώνται από



Ώρα της ημέρας

Εποχή του έτους

Γεωγραφικό πλάτος



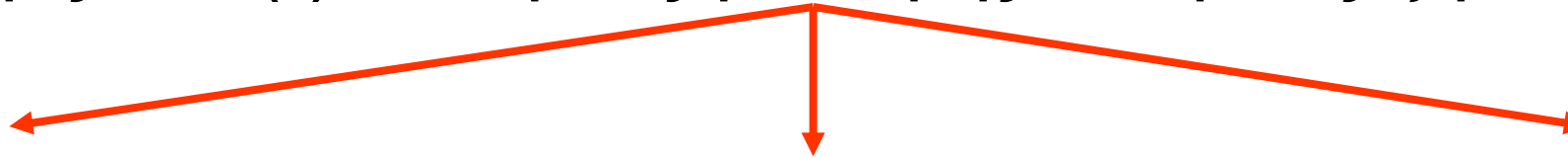
Στα μέσα γεωγραφικά πλάτη (**40°**) η ένταση της ακτινοβολίας μειώνεται από **96%** (θερινό ηλιοστάσιο) σε **45%** (χειμερινό ηλιοστάσιο)

Πηγή:

http://solarwiki.ucdavis.edu/The_Science_of_Solar/Solar_Basics/B._Basics_of_the_Sun/VI._The_Sun%27s_Motion

Ηλιακή Ακτινοβολία

→ Το ύψος Ηλίου (h) και επομένως η ένταση της ακτινοβολίας εξαρτώνται από



Ώρα της ημέρας

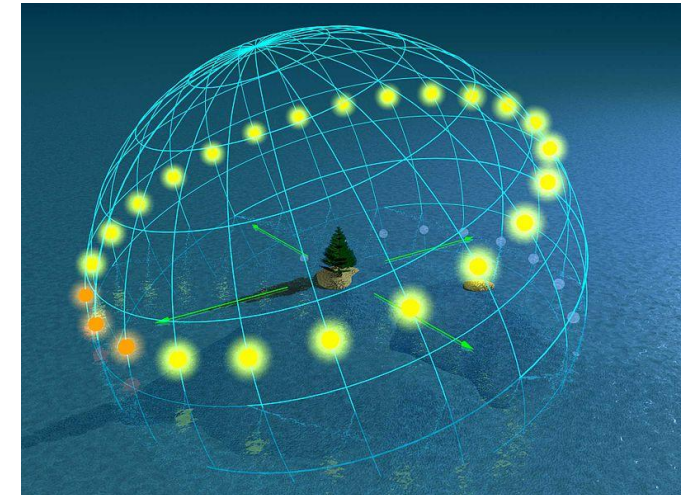
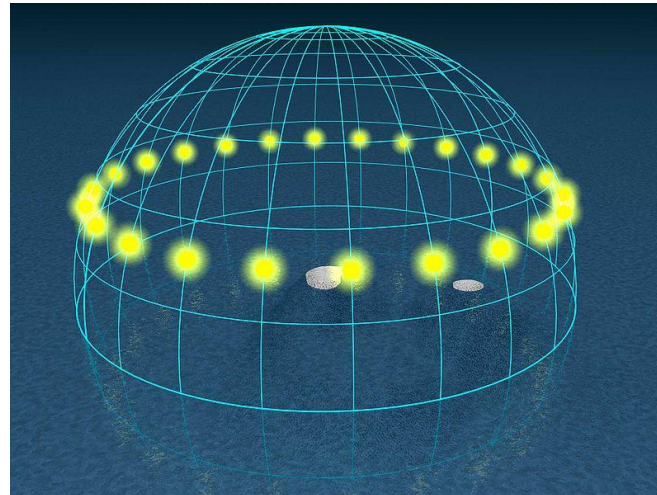
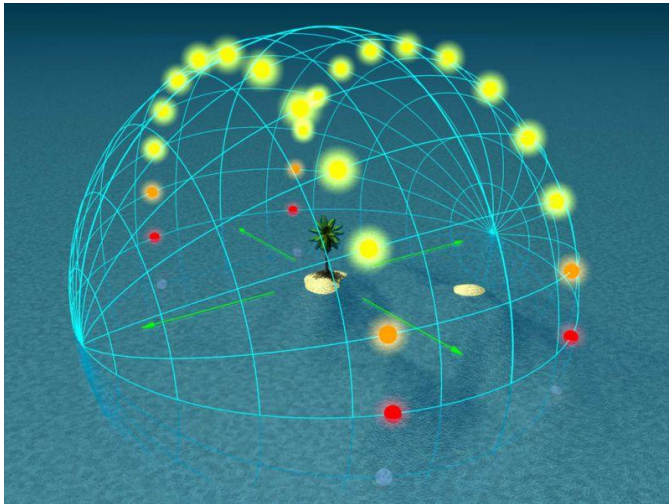
Εποχή του έτους

Γεωγραφικό πλάτος

Ισημερινός

Β. Πόλος

Αρκτικός κύκλος



Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Sun_path

Στον Ισημερινό η ένταση της ακτινοβολίας μειώνεται μεταξύ θερινού και χειμερινού ηλιοστασίου μειώνεται κατά **8 %**

Ηλιακή Ακτινοβολία

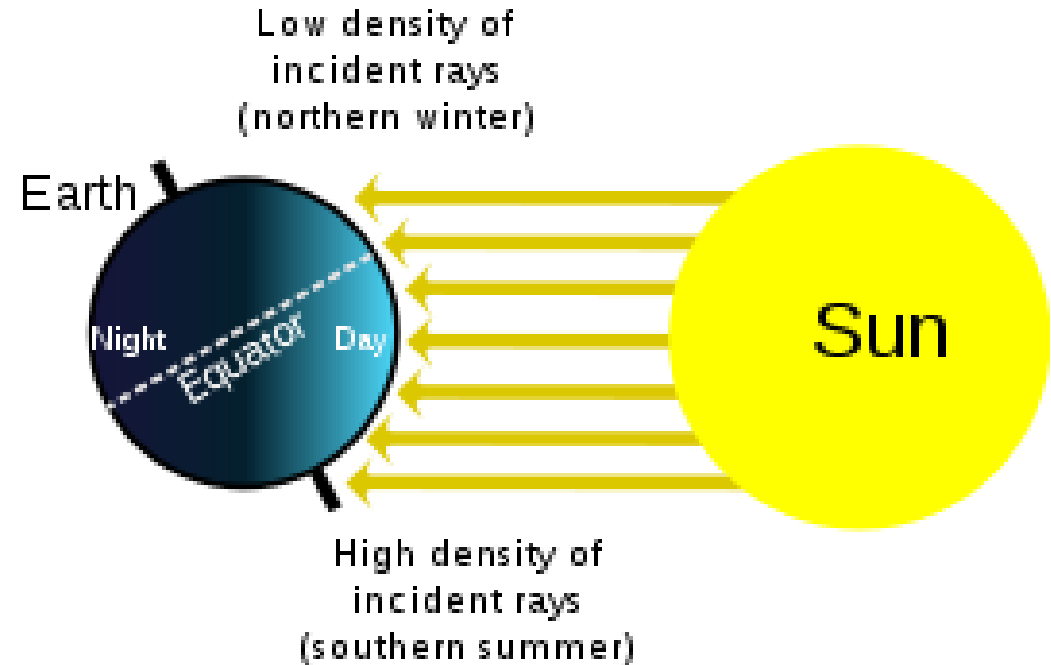
Το ύψος Ηλίου (h) και επομένως η ένταση της ακτινοβολίας εξαρτώνται από

Ώρα της ημέρας

Εποχή του έτους

Γεωγραφικό πλάτος

Λόγω της σφαιρικότητας (καμπυλότητας) της Γης το ύψος ηλίου και επομένως και η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας μειώνονται με το γεωγραφικό πλάτος

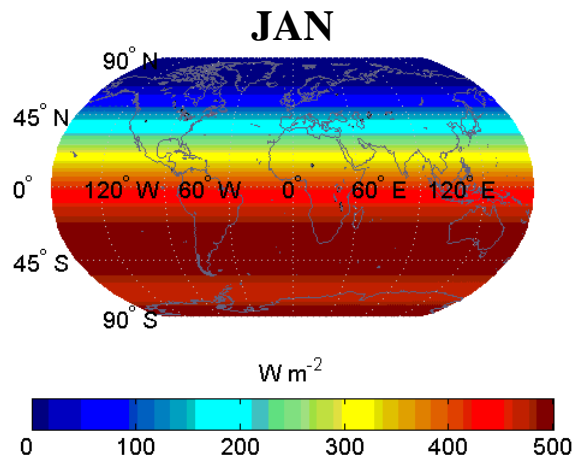


Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Effect_of_sun_angle_on_climate

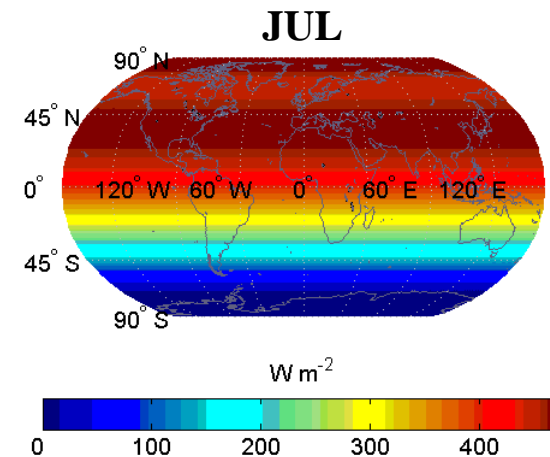
Ηλιακή Ακτινοβολία στην κορυφή της ατμόσφαιρας

- Γεωγραφική κατανομή της Ηλιακής Ακτινοβολίας που φτάνει στην κορυφή της ατμόσφαιρας
- Ζωνική κατανομή με μέγιστο στον πόλο του ημισφαιρίου με τοπικό καλοκαίρι και σταδιακή ελάττωση καθώς μεταβαίνουμε στο άλλο ημισφαίριο

$$S_0 = 1370 \pm 1\% \text{ W/m}^2$$



$$S_0 = 1435 \text{ W/m}^2$$



$$S_0 = 1335 \text{ W/m}^2$$

Ημερήσια Ηλιακή Ακτινοβολία

Το ολικό Ποσό Ηλιακής Ακτινοβολίας ($Q_{ολ}$) που φτάνει στην κορυφή της Ατμόσφαιρας σε μια επίπεδη επιφάνεια σ' έναν τόπο γεωγραφικού πλάτους φ , από την ανατολή του ηλίου μέχρι τη δύση μια συγκεκριμένη ημερομηνία είναι

δύση Ηλίου

$$Q_{ολ} = \int_{t_a}^{t_\delta} I_k \sigma \nu Z \cdot dt$$

ανατολή Ηλίου

$$Q_{ολ} = I_k \int_{t_a}^{t_\delta} (\eta \mu \varphi \cdot \eta \mu \delta + \sigma \nu \varphi \cdot \sigma \nu \delta \cdot \sigma \nu H) \cdot dt$$

H: η ωριαία γωνία

Γωνιακή ταχύτητα της Γης: $\Omega = \frac{dH}{dt} = \frac{2\pi}{T}$

$$Q_{ολ} = \frac{T \cdot I_k}{2\pi} \int_{H_a}^{H_\delta} (\eta \mu \varphi \cdot \eta \mu \delta + \sigma \nu \varphi \cdot \sigma \nu \delta \cdot \sigma \nu H) \cdot dH$$

ισχύει $\left[\frac{I}{I_0} = \left(\frac{R_0}{R} \right)^2 \right]$

Ημερήσια Ηλιακή Ακτινοβολία

$$Q_{ολ} = \frac{T \cdot I_0}{\pi} \left(\frac{R_0}{R} \right)^2 \left[H_\delta \cdot \eta_{μφ} \cdot \eta_{μδ} + \sigma_{νφ} \cdot \sigma_{νδ} \cdot \eta_{μH_\delta} \right]$$

H_δ η ωριαία γωνία δύσης

διάρκεια ημέρας σε λεπτά (24 ώρες x 60 λεπτά)



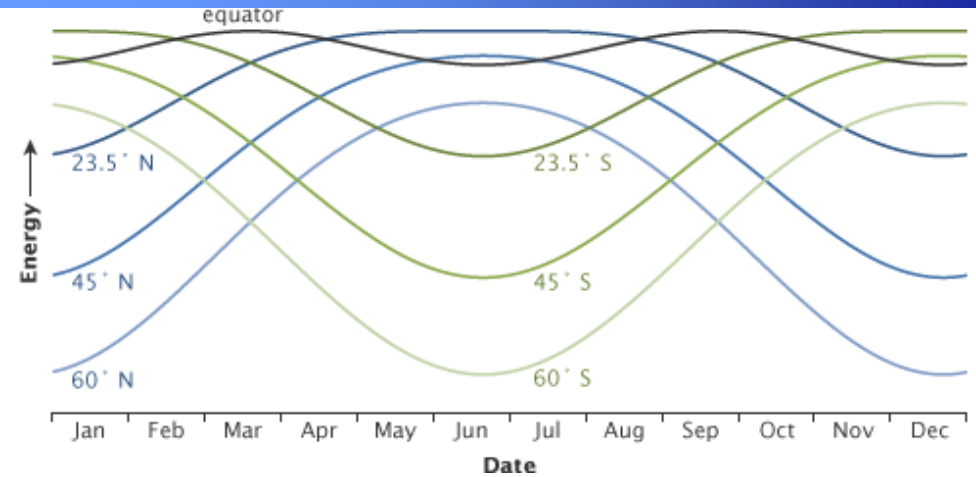
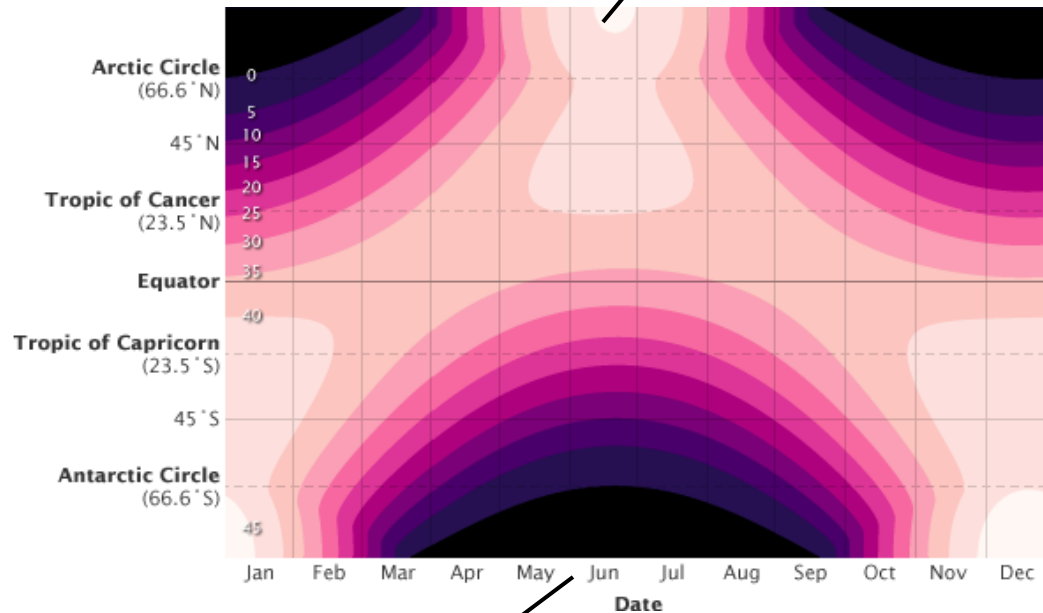
$$Q_{ολ} = \frac{1440 \cdot I_0}{\pi} \left(\frac{R_0}{R} \right)^2 (H_\delta \cdot \eta_{μφ} \cdot \eta_{μδ} + \sigma_{νφ} \cdot \sigma_{νδ} \cdot \eta_{μH_\delta}) \text{ ly/day}$$

ηλιακή σταθερά εκπεφρασμένη σε ly/min

$$1 \text{ ly/day} = 0.48 \text{ Wm}^{-2}$$

Μεταβολή της Ηλιακής Ακτινοβολίας με το γεωγραφικό πλάτος

Πολική μέρα



Πηγή: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/EnergyBalance/page3.php>

Πηγή: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/EnergyBalance/page3.php>

Πολική νύχτα

Μεγάλα γεωγραφικά (πολικά) πλάτη: Πολύ μεγάλες μεταβολές (αυξομειώσεις) της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια του έτους αλλά, μικρές μεταβολές του κλίματος

Μέσα γεωγραφικά (εύκρατα) πλάτη: Μεγάλες μεταβολές (αυξομειώσεις) της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια του έτους και σημαντικές τροποποιήσεις του κλίματος μέσα στο έτος

Μικρά γεωγραφικά (τροπικά) πλάτη: Μικρές μεταβολές (αυξομειώσεις) της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια του έτους αλλά μικρές μεταβολές του κλίματος μέσα στο έτος

Η συγκεκριμένη εικόνα δεν ισχύει για την επιφάνεια της Γης καθώς η ακτινοβολία κατά τη διέλευση της μέσα από τη γήινη ατμόσφαιρα εν μέρει ανακλάται, απορροφάται και σκεδάζει

Ηλιακή Ακτινοβολία στην επιφάνεια της γης

□ Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της Γης σ' έναν τόπο, μια ορισμένη χρονική στιγμή εξαρτάται:

✓ Από την ηλιακή δραστηριότητα, η οποία επηρεάζει την τιμή της ηλιακής σταθεράς

✓ Από την απόσταση Γης – Ηλίου

✓ Το ύψος του Ηλίου πάνω από τον ορίζοντα του τόπου

✓ Από το γεωγραφικό πλάτος

✓ Από την εποχή του έτους

✓ Από την ώρα της ημέρας

✓ **Από την διαδρομή της ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα**

Ηλιακή Ακτινοβολία μέσα στην ατμόσφαιρα

- Η ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διέλευση της μέσα από τη γήινη ατμόσφαιρα **εξασθενεί** λόγω τριών διαδικασιών:
 - 1) της **ανάκλασης** από τα νέφη και τα αιωρούμενα σωματίδια
 - 2) της **‘σκέδασης – διάχυσης’** από τα μόρια των αερίων της Ατμόσφαιρας & των αιωρούμενων σωματιδίων
 - 3) της **απορρόφησης** από διάφορα αέρια της ατμόσφαιρας & αιωρούμενα σωματίδια
- Η εξασθένιση της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα περιγράφεται από τον **νόμο Beer Lambert**:

$$I_{\lambda} = I_{o\lambda} e^{-\tau_{\lambda} m}$$

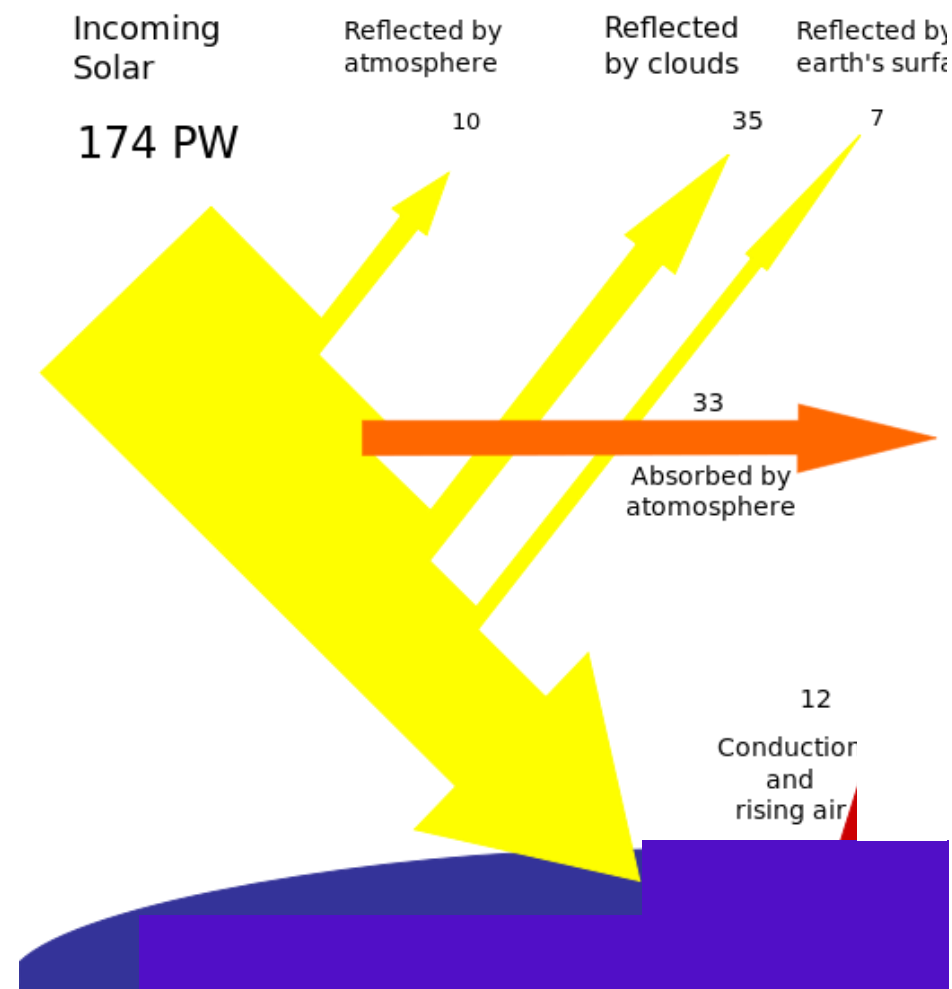
Όπου:

I_{λ} = η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας μετά την εξασθένιση της μέσα στην ατμόσφαιρα

$I_{o\lambda}$ = η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας πριν εισέλθει στην ατμόσφαιρα

τ_{λ} = το οπτικό βάθος

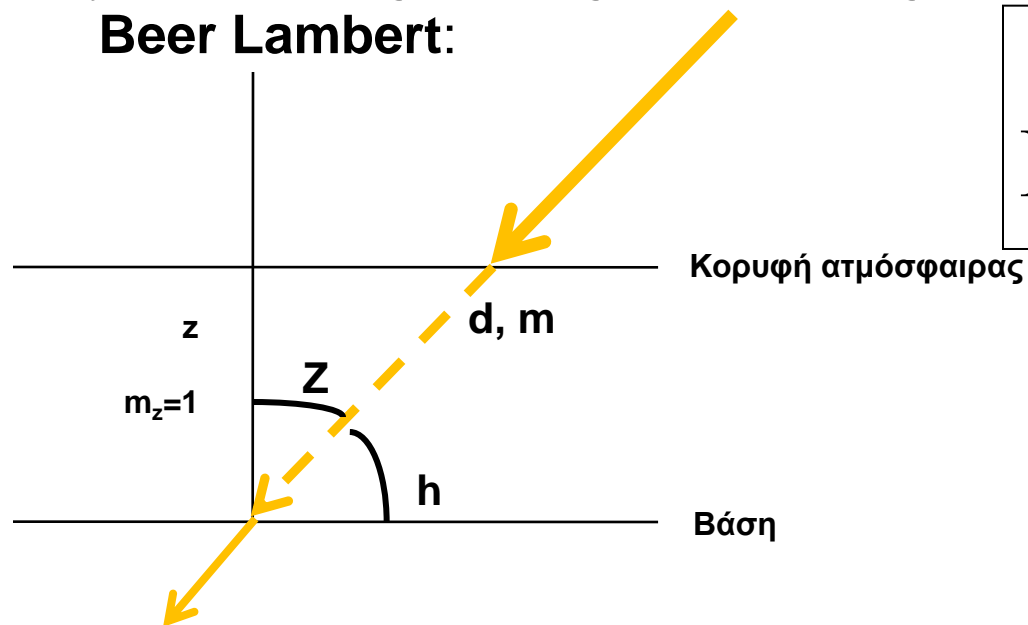
m = σχετική μάζα του αέρα και δείχνει πόσες φορές η μάζα του αέρα που διατρέχει η ακτινοβολία με πλάγια πρόσπτωση είναι μεγαλύτερη από εκείνη με κάθετη πρόσπτωση



Ηλιακή Ακτινοβολία μέσα στην ατμόσφαιρα

Η εξασθένιση της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα περιγράφεται από τον **νόμο**

Beer Lambert:



$$I = I_0 e^{-b_{ext}d} = I_0 e^{-\frac{\tau}{\cos Z}} = I_0 e^{-\frac{\tau}{\eta \mu h}}$$

Όπου:

d = η απόσταση που διανύει η ηλιακή ακτινοβολία μέσα στην ατμόσφαιρα

z = κατακόρυφη απόσταση (ζενίθ)

Z = η ζενιθία γωνία

h = το ύψος ηλίου

b_{ext} = ο συνολικός συντελεστής εξασθένισης

τ = το οπτικό βάθος ή πάχος

Το οπτικό βάθος τ εξαρτάται:

- Από τις ιδιότητες εξασθένισης του ατμοσφαιρικού στρώματος
- Το γεωμετρικό πάχος του στρώματος

$$\tau = \tau_{scat} + \tau_{abs}$$

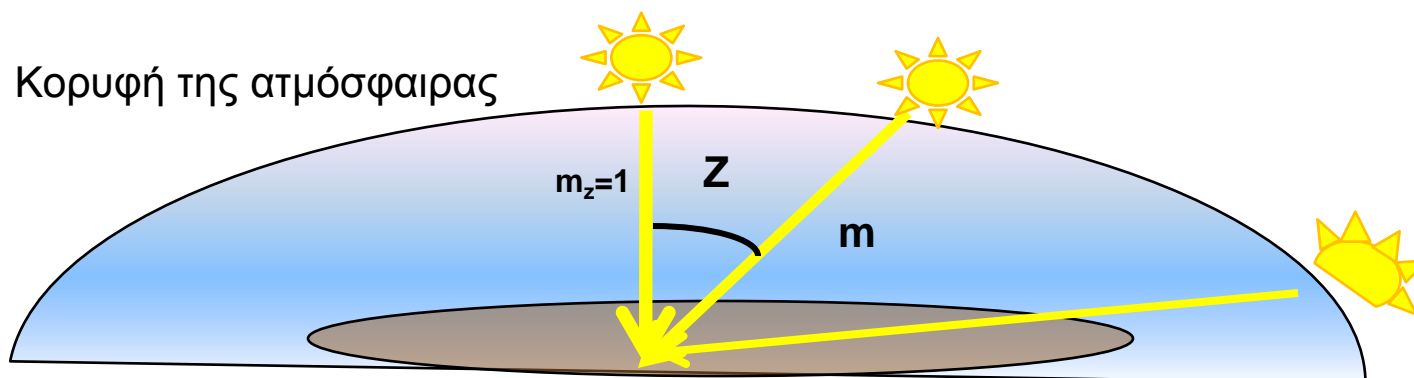
Συνολικό οπτικό βάθος σκέδασης

Συνολικό οπτικό βάθος απορρόφησης

$$\tau = \tau_{\nu\epsilon\phi\omicron\upsilon\varsigma} + \tau_{H_2O} + \tau_{CO_2} + \tau_{O_3} + \tau_{aerosols} + \dots$$

Για κάθε συστατικό θεωρούμε το οπτικό βάθος σκέδασης και απορρόφησης

Ηλιακή Ακτινοβολία μέσα στην ατμόσφαιρα



Η εξασθένιση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διέλευση της μέσα στην ατμόσφαιρα εκτός από τις ιδιότητες εξασθένισης του στρώματος εξαρτάται από το γεωμετρικό πάχος του ατμοσφαιρικού στρώματος που αυτή διασχίζει

Εισήχθη έτσι ο όρος της αέριας μάζας m

$m = 1$ κατά την κατακόρυφο (ζενίθ) $\Rightarrow m_z = 1$

Για οποιαδήποτε άλλη διεύθυνση πρόσπτωσης η αέρια μάζα που διασχίζει η ακτινοβολία συμβολίζεται με m και συνδέεται με τη m_z

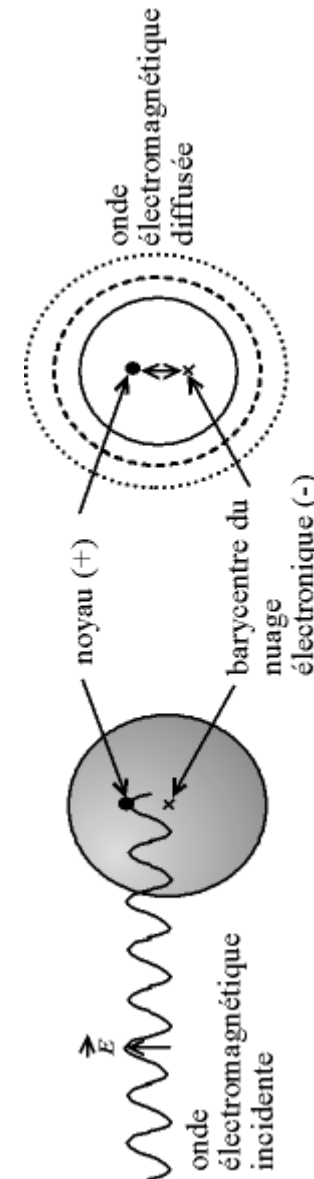
$$\left. \begin{array}{l} m = m_z / \sigma \nu Z \\ m_z = 1 \end{array} \right\} m = \frac{1}{\sigma \nu Z} = \frac{1}{\eta \mu h}$$

Z = ζενιθία γωνία
 h = ύψος ηλίου

Γωνία πρόσπτωσης (°)	Αέρια μάζα
90	1
60	1.15
30	2
10	5.7
5	10.8

Ηλιακή Ακτινοβολία μέσα στην ατμόσφαιρα - Σκέδαση

- **Σκέδαση** είναι ένα φυσικό φαινόμενο κατά το οποίο η ηλιακή ακτινοβολία όταν προσπέσει σε μόρια της ατμόσφαιρας αλλάζει διεύθυνση διάδοσης. Μάλιστα,
 - κατανέμεται ομοιόμορφα ή ανομοιόμορφα γύρω από αυτά προς όλες ή επιλεγμένες διευθύνσεις
 - Η ακτινοβολία που προκύπτει μετά τη σκέδαση λέγεται **διάχυτη ακτινοβολία**
 - Εξαρτάται κυρίως από το **μέγεθος** των μορίων της ατμόσφαιρας και το **μήκος κύματος λ** της ακτινοβολίας
- Για μικρού μεγέθους κέντρα σκέδασης (άτομα, μόρια & ιόντα) σκεδάζει κυρίως η μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία (π.χ. μπλε) και καλείται **σκέδαση Rayleigh**
 - Για μεγάλου μεγέθους κέντρα σκέδασης (υδροσταγόνες, παγοκρύσταλλοι & αερολύματα) δε σκεδάζει έντονα κάποιο συγκεκριμένο μήκος κύματος (μη επιλεκτική σκέδαση) και καλείται **σκέδαση Mie**
 - Για ακόμη μεγαλύτερου μεγέθους σωματίδια η σκέδαση υπόκειται στους νόμους της γεωμετρική οπτικής



Πηγή: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diffusion_rayleigh.png

Ηλιακή Ακτινοβολία μέσα στην ατμόσφαιρα - Σκέδαση

- **Σκέδαση Rayleigh** ο βαθμός σκέδασης είναι αντιστρόφως ανάλογος της τέταρτης δύναμης του μήκους κύματος λ της ακτινοβολίας

Διάμετρος κέντρου σκέδασης

$$\sigma_s = \frac{2\pi^5 d^6}{3 \lambda^4} \left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \right)^2 \Rightarrow$$

Μήκος κύματος ακτινοβολίας

$$\frac{I_{\lambda=450nm}}{I_{\lambda=700nm}} \approx 6$$

Ενεργός διατομή σκέδασης
Scattering cross-section

Σκεδαζόμενη ακτινοβολία:

$$I(\lambda) \sim 1 / \lambda^4$$



Επιλεκτική Σκέδαση



Η μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία θα υποστεί μεγαλύτερη σκέδαση

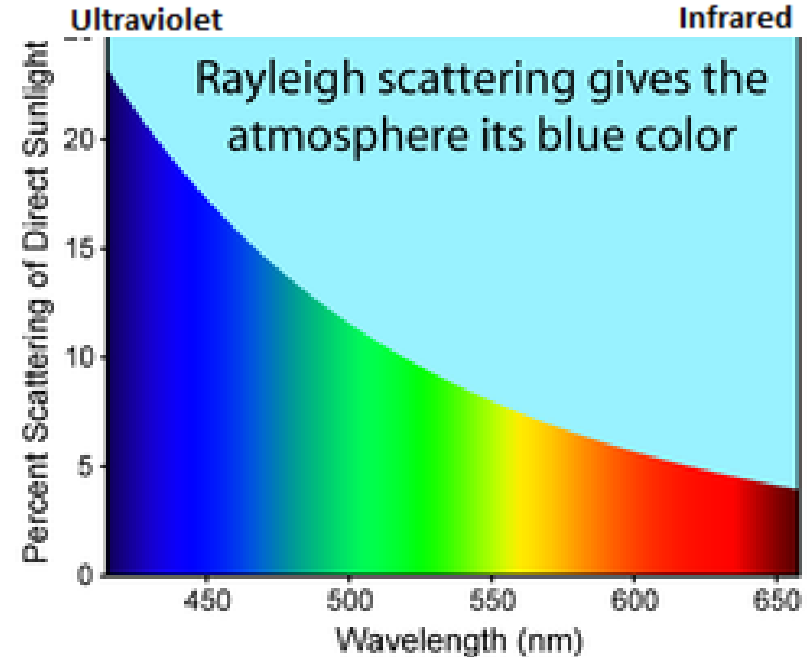
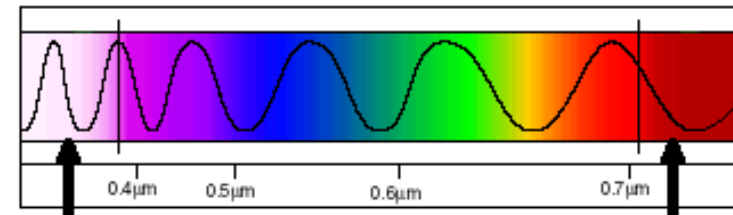


Τα **μπλε** μήκη κύματος σκεδάζουν εντονότερα



Το **μπλε** χρώμα του ουρανού

Visible Light Region
of the Electromagnetic Spectrum



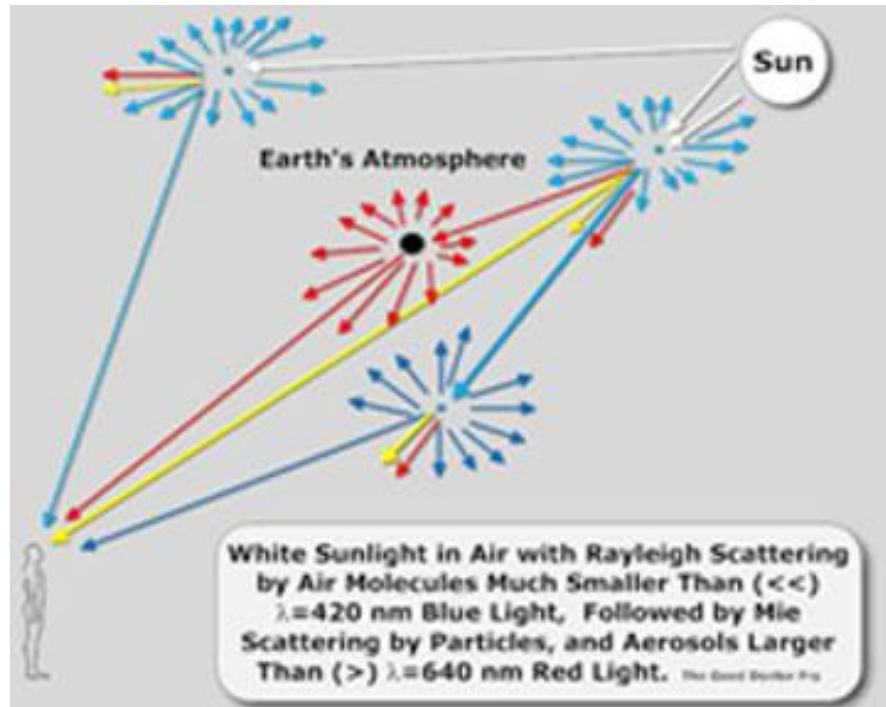
Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Rayleigh_scattering

Ηλιακή Ακτινοβολία μέσα στην ατμόσφαιρα - Σκέδαση

- Κατά τη δύση του ηλίου ο ουρανός είναι **κόκκινος** εξ' αιτίας της **Σκέδαση Rayleigh**

Πηγή:

<http://physics.stackexchange.com/questions/128731/in-scattering-how-does-a-particle-know-which-direction-it-is-being-illuminate>



Ηλιακή Ακτινοβολία μέσα στην ατμόσφαιρα - Σκέδαση

- **Σκέδαση Mie** ο βαθμός σκέδασης παρουσιάζει μικρή εξάρτηση από το μήκος κύματος λ της προσπίπτουσας ακτινοβολίας

Συντελεστή σκέδασης Mie $\varepsilon_{M(\lambda)} = \varepsilon_{M0} \cdot \lambda^{-\alpha}$

α = παράγοντας Angstrom
 $0.5 < \alpha < 2.5$
Τυπική τιμή $\alpha = 1.3$



Σκεδαζόμενη ακτινοβολία:

$$I_{(\lambda)} \sim 1 / \lambda^{1.3}$$

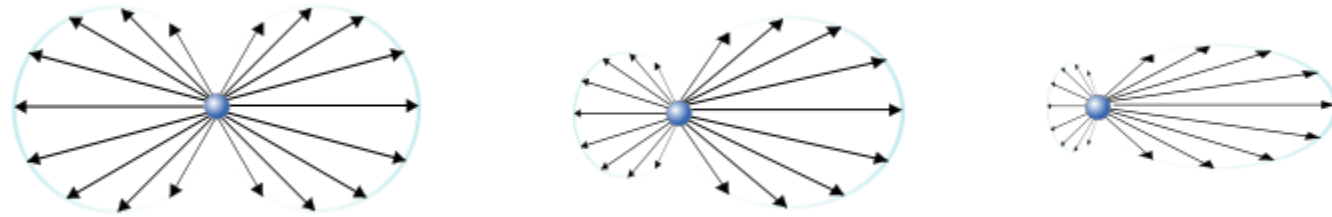


Μη επιλεκτική Σκέδαση

Σκεδάζουν όλα τα μήκη κύματος (χρώματα) χωρίς κάποιο από αυτά να σκεδάζει εντονότερα



Το λευκό χρώμα των νεφών και της ρυπασμένης ατμόσφαιρας

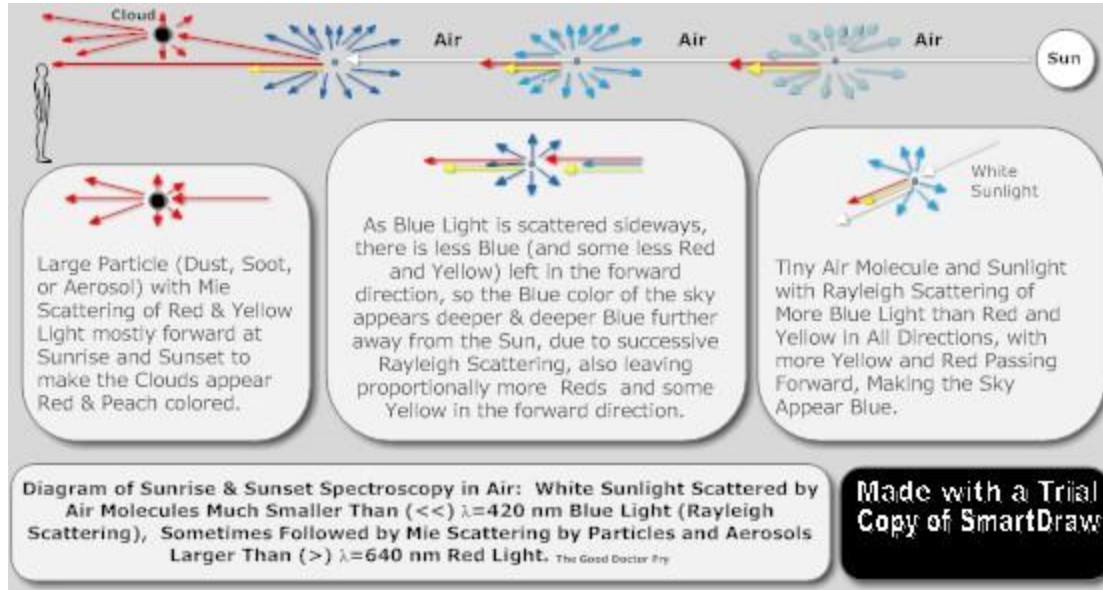


Πηγή: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mie_scattering.svg

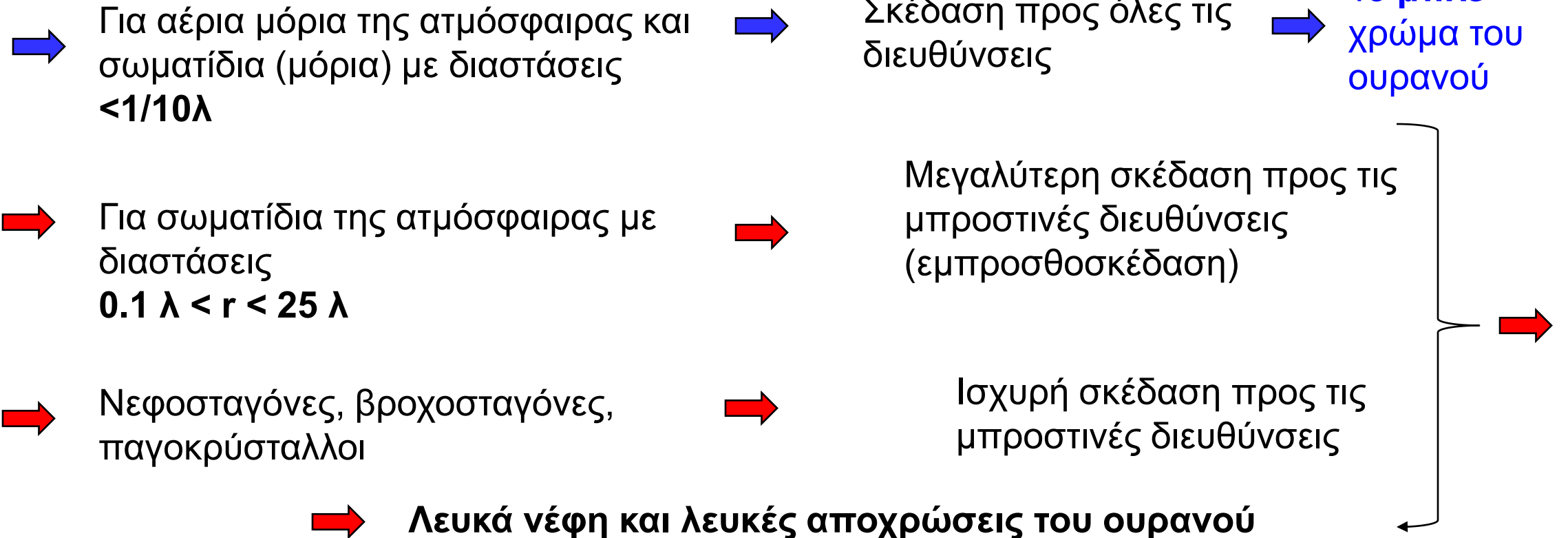
Η ένταση της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας στη σκέδαση Mie είναι συνάρτηση:

- της σχέσης μεγέθους σωματιδίου και μήκους κύματος (είναι μέγιστη όταν $\lambda \approx$ μέγεθος σωματιδίων)
- του δείκτη διάθλασης
- συγκέντρωσης σωματιδίων
- της γωνίας μεταξύ των διευθύνσεων προσπίπτουσας και σκεδαζόμενης ακτινοβολίας (είναι μέγιστη προς τη διεύθυνση διάδοσης)

Ηλιακή Ακτινοβολία μέσα στην ατμόσφαιρα - Σκέδαση



Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Rayleigh_mie_fry2.jpg

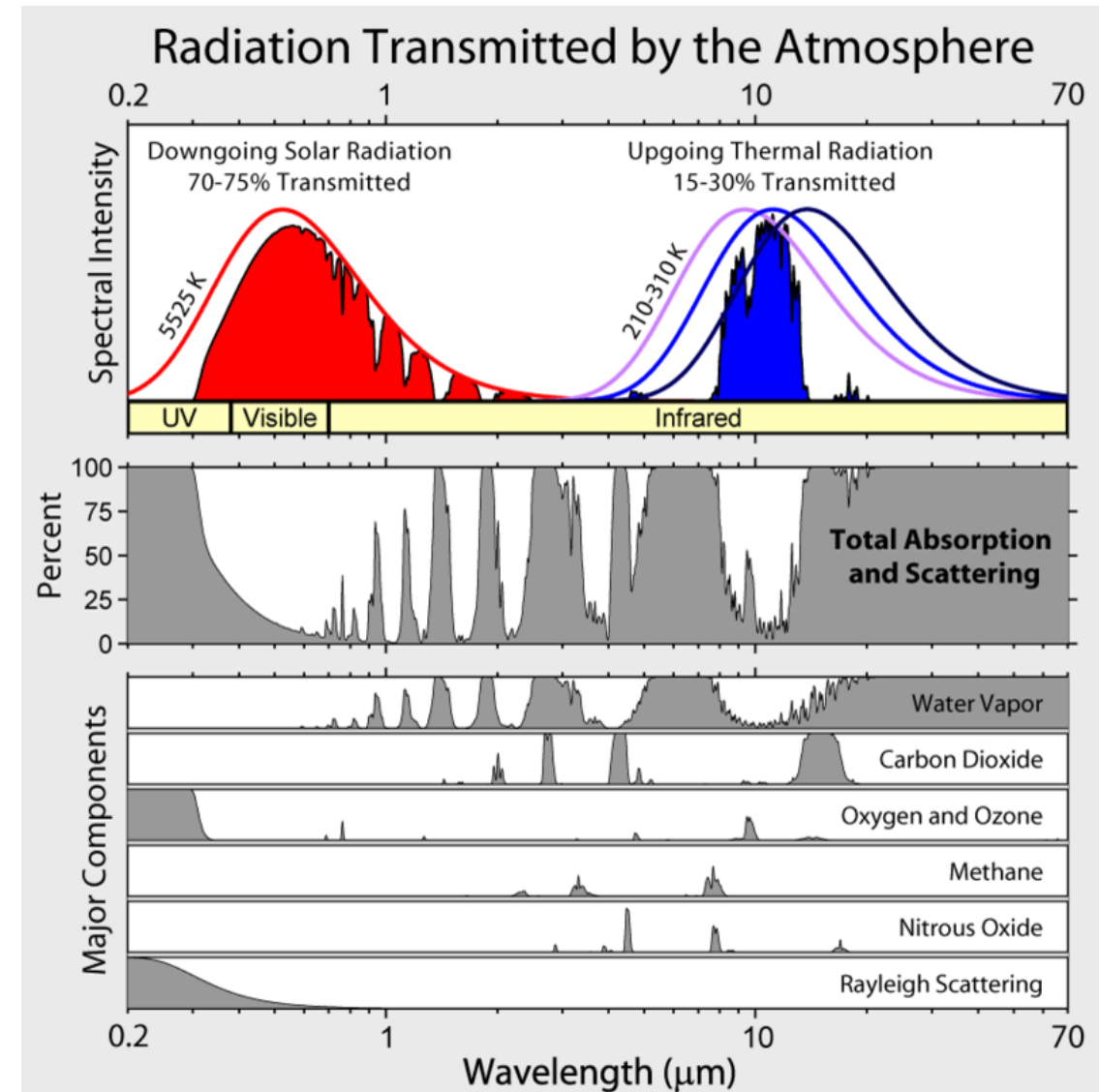


Ηλιακή Ακτινοβολία μέσα στην ατμόσφαιρα - Απορρόφηση

- Το φάσμα απορρόφησης της ακτινοβολίας εκτείνεται σε μια μεγάλη περιοχή
- Η απορρόφηση της ακτινοβολίας οφείλεται κυρίως στα:
 - 1) Οξυγόνο (O_2), 2) Όζον (O_3), 3) Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), 4) Υδρατμούς (H_2O) και 5) **Αερολύματα**

- 1) **Οξυγόνο (O_2):** απορροφά ακτινοβολία στο υπεριώδες και στο ορατό τμήμα του φάσματος
 - Η απορρόφηση στο ορατό είναι περιορισμένη και μικρότερη από εκείνη στο υπεριώδες
 - Το οξυγόνο απορροφά ακτινοβολία και διασπάται με αποτέλεσμα το σχηματισμό του όζοντος (O_3)

- 2) **Όζον (O_3):** μεγάλη απορροφητική ικανότητα στο υπεριώδες στα 0.1 και 0.3 μm
 - σημαντικής σημασίας η απορρόφηση του όζοντος για την ύπαρξη της ζωής στη γη

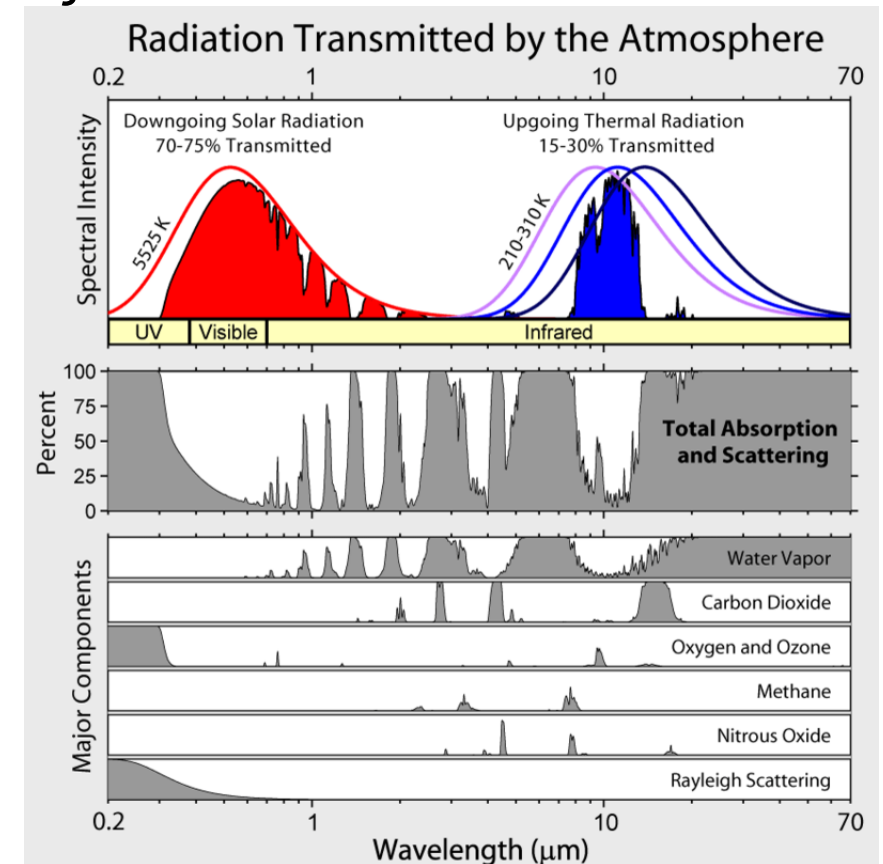


Ηλιακή Ακτινοβολία μέσα στην ατμόσφαιρα - Απορρόφηση

3) Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2): σημαντικές ταινίες απορρόφησης στο υπέρυθρο με ισχυρότερη αυτή στα 4.3 μm . Μεγαλύτερης σημασίας είναι η απορρόφηση στην περιοχή των 12.9 – 17.1 μm με μέγιστο στα 15 μm

4) Υδρατμοί (H_2O): παρουσιάζουν κάποιες ταινίες απορρόφησης στο ορατό αλλά τη μεγαλύτερη απορρόφηση (ολική) την εμφανίζουν στο υπέρυθρο
- Η απορρόφηση των υδρατμών παρουσιάζει πολύ μεγάλο ενδιαφέρον εξαιτίας της μεγάλης ποσότητας τους στην ατμόσφαιρα. Η απορρόφηση εξαρτάται από την περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς και αυξάνει με την αύξηση τους

5) Αερολύματα: ασκούν σημαντική επίδραση στην εξασθένιση της ηλιακής ακτινοβολίας, ιδιαίτερα πάνω από πόλεις, βιομηχανικές και ερημικές περιοχές



Πηγή:

https://en.wikipedia.org/wiki/Absorption_band#/media/File:Atmospheric_Transmission.png

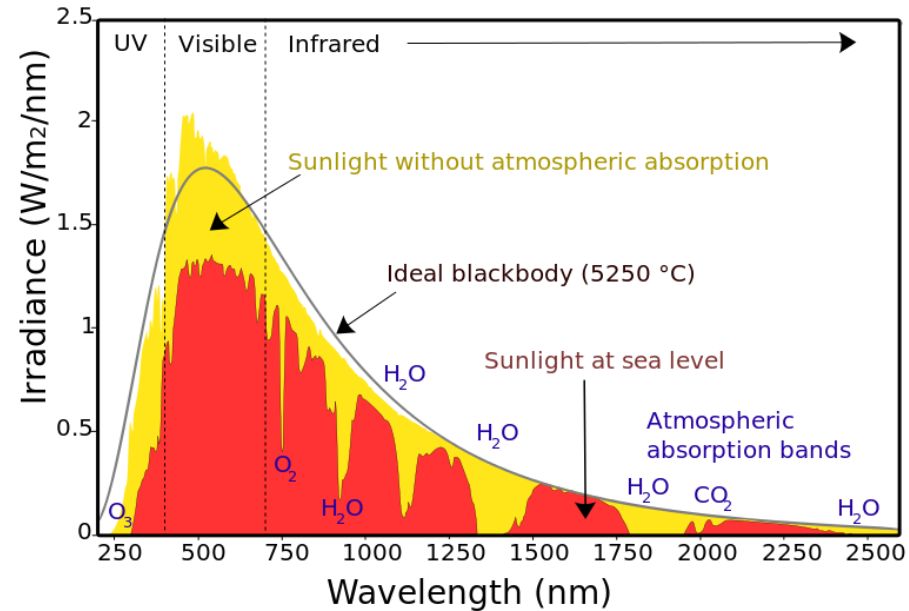
Ηλιακή Ακτινοβολία μέσα στην ατμόσφαιρα - Απορρόφηση

- $\lambda < 0.3 \mu\text{m}$, η ηλιακή ενέργεια που φτάνει στη γη είναι αμελητέα λόγω της ισχυρής (ολική) απορρόφησης από το όζον κυρίως και δευτερευόντως από το οξυγόνο στην ανώτερη ατμόσφαιρα
- $0.3 \mu\text{m} < \lambda < 0.7 \mu\text{m}$ η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας οφείλεται κυρίως στο όζον κυρίως και το οξυγόνο αλλά είναι μικρή επιτρέποντας σε μεγάλα ποσά ενέργειας από αυτή την περιοχή να φτάσουν στην επιφάνεια
- $0.7 \mu\text{m} < \lambda < 4 \mu\text{m}$ η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας οφείλεται στο οξυγόνο και στους υδρατμούς και είναι αρκετά μεταβλητή
- $4 \mu\text{m} < \lambda < 15 \mu\text{m}$ η απορρόφηση που οφείλεται στους υδρατμούς και στο διοξείδιο του άνθρακα είναι πολύ έντονη σε ορισμένες περιοχές

Ηλιακή Ακτινοβολία μέσα στην ατμόσφαιρα - Εξασθένιση

Απορρόφηση Ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα

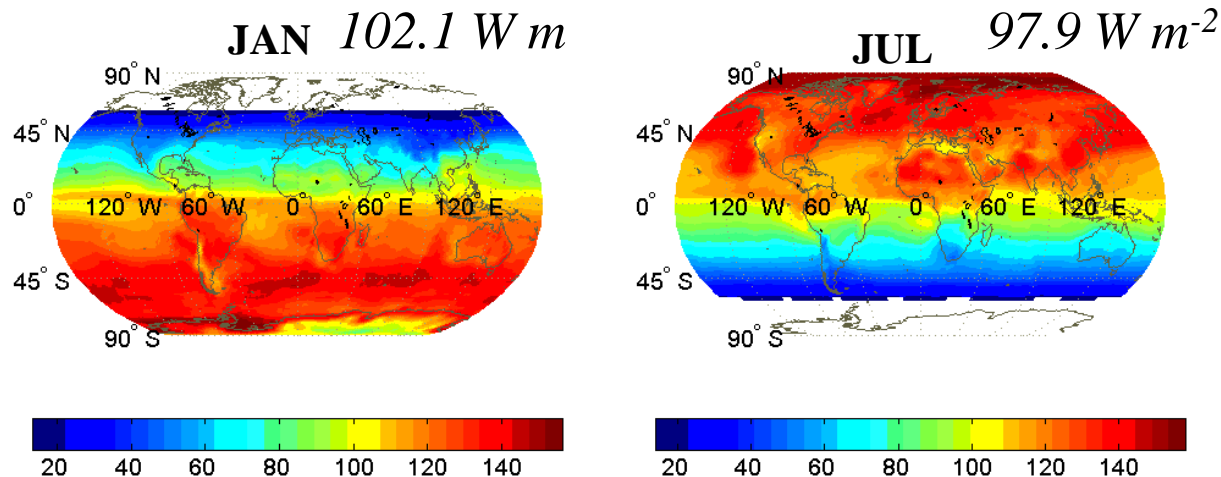
Spectrum of Solar Radiation (Earth)



Πηγή: <https://en.wikipedia.org/wiki/Sunlight>

- Η ατμόσφαιρα απορροφά ένα μικρό σχετικά ποσοστό (~20%) της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας στο σύστημα Ατμόσφαιρα - Γη

- Η απορρόφηση είναι μεγαλύτερη στις τροπικές περιοχές λόγω υψηλών συγκεντρώσεων H₂O



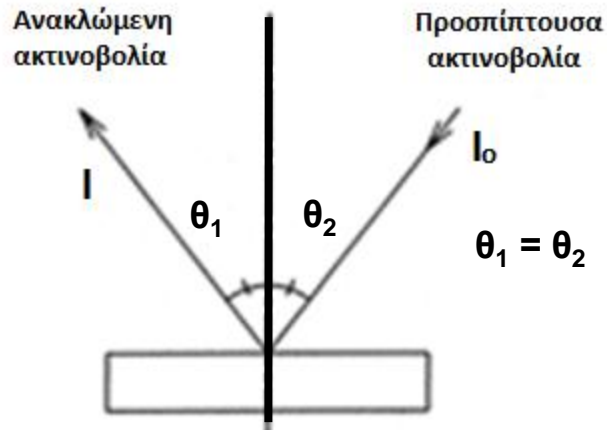
Πηγή: with the courtesy of Dr N. Hatzianastassiou, personal communication

- Η ατμόσφαιρα απορροφά μεγαλύτερα ποσοστά ηλιακής ακτινοβολίας κάτω από συνθήκες καθαρού (ανέφελου) ουρανού => τα νέφη απορροφούν λιγότερο από τα αέρια μόρια και τα σωματίδια

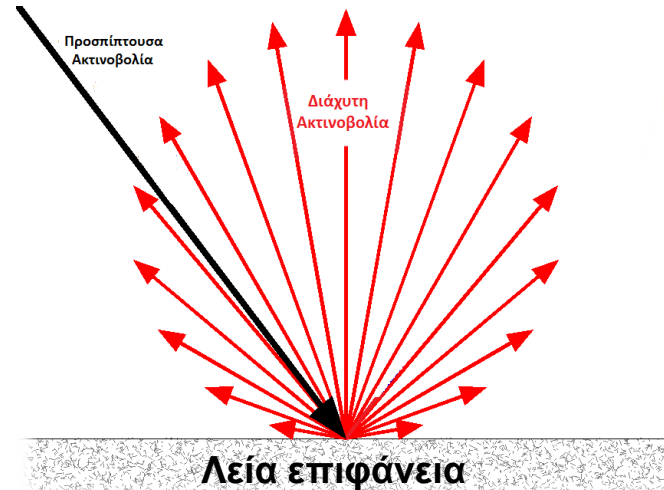
Ηλιακή Ακτινοβολία μέσα στην ατμόσφαιρα - Ανάκλαση

- Ένα μέρος της Ηλιακής Ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα ανακλάται πίσω στο διάστημα. Η ακτινοβολία αυτή ονομάζεται **Ανακλώμενη Ακτινοβολία (Reflected Radiation)**

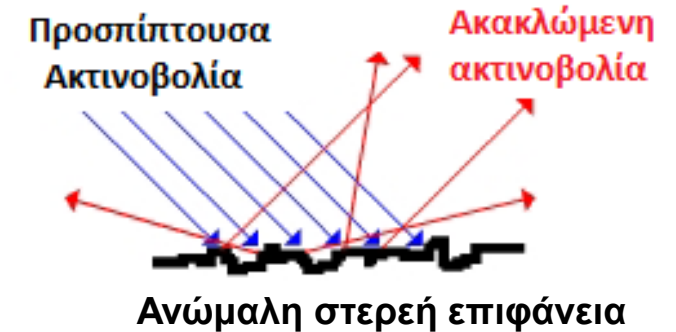
Κατοπτρική ανάκλαση



Διάχυτη ανάκλαση



Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Diffuse_reflection

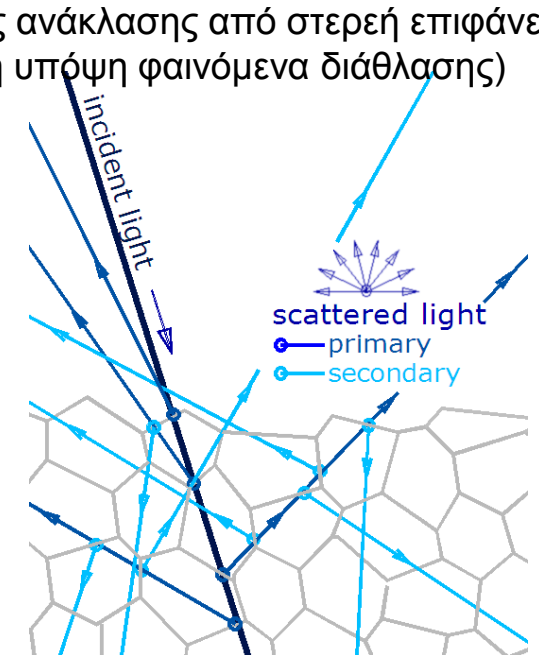


Μηχανισμός διάχυτης ανάκλασης από στερεή επιφάνεια (δεν έχουν ληφθεί υπόψη φαινόμενα διάθλασης)

- Ορίζεται η **λευκαύγεια ή albedo (R_p)** του πλανήτη

$$\text{Λευκαύγεια} = \frac{\text{Ένταση ανακλώμενης ακτινοβολίας}}{\text{Ένταση προσπίπτουσας ακτινοβολίας}} = \frac{I}{I_0}$$

$$\Rightarrow I = R_p \cdot I_0$$



Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Diffuse_reflection

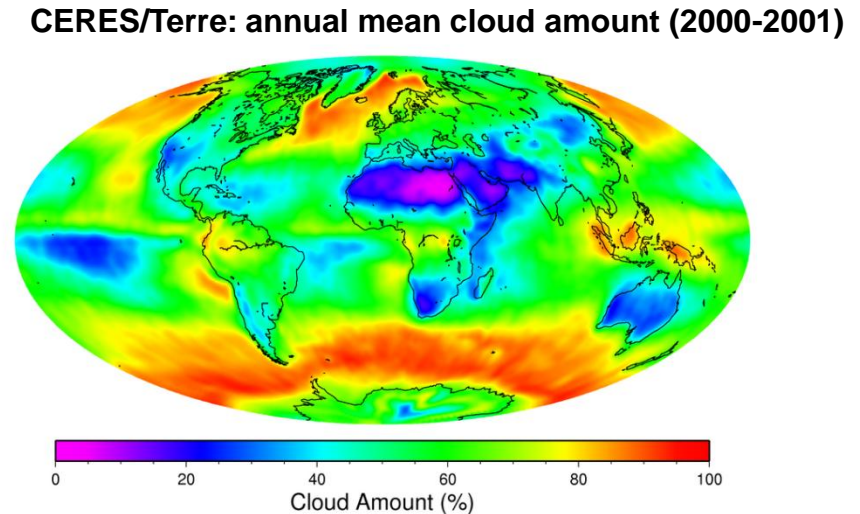
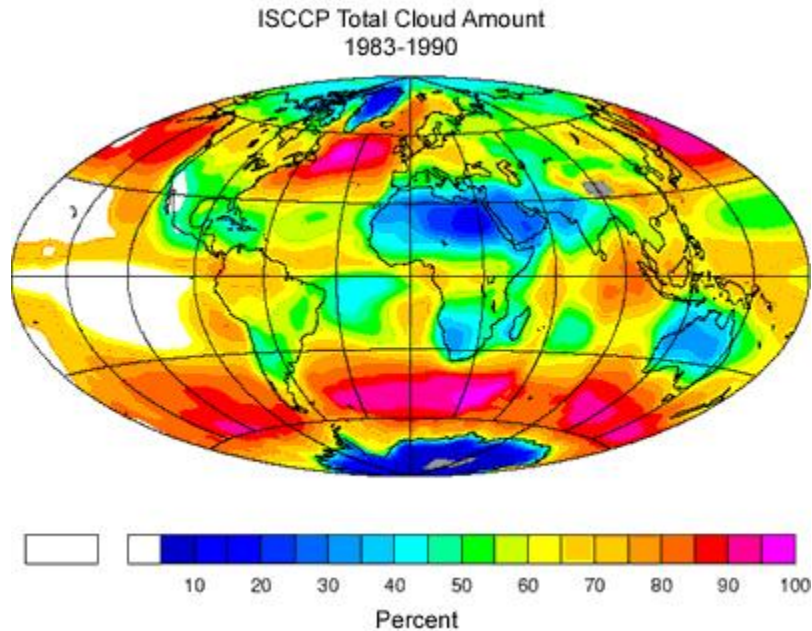
Είναι αδιάστατο μέγεθος με τιμές που κυμαίνονται μεταξύ **0** και **1**

Ηλιακή Ακτινοβολία μέσα στην ατμόσφαιρα - Ανάκλαση

- **Λευκαύγεια ή albedo (R_p)** του πλανήτη
- Η ανάκλαση της Ηλιακής Ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα προέρχεται από:
 - ✓ τα νέφη
 - ✓ την οπισθοσκέδαση από τα μόρια του αέρα
 - ✓ την οπισθοσκέδαση από τα αερολύματα
- Επίσης, μέρος της Ηλιακής Ακτινοβολίας ανακλάται από την **επιφάνεια της Γης**

Ηλιακή Ακτινοβολία μέσα στην ατμόσφαιρα - Ανάκλαση

Πλανητική κατανομή της νέφωσης (%)



Πηγή: http://www.nasa.gov/images/content/266652main_isccp-lrg.jpg

Πηγή: http://ceres.larc.nasa.gov/documents/press_releases/images/cldamt_small.png

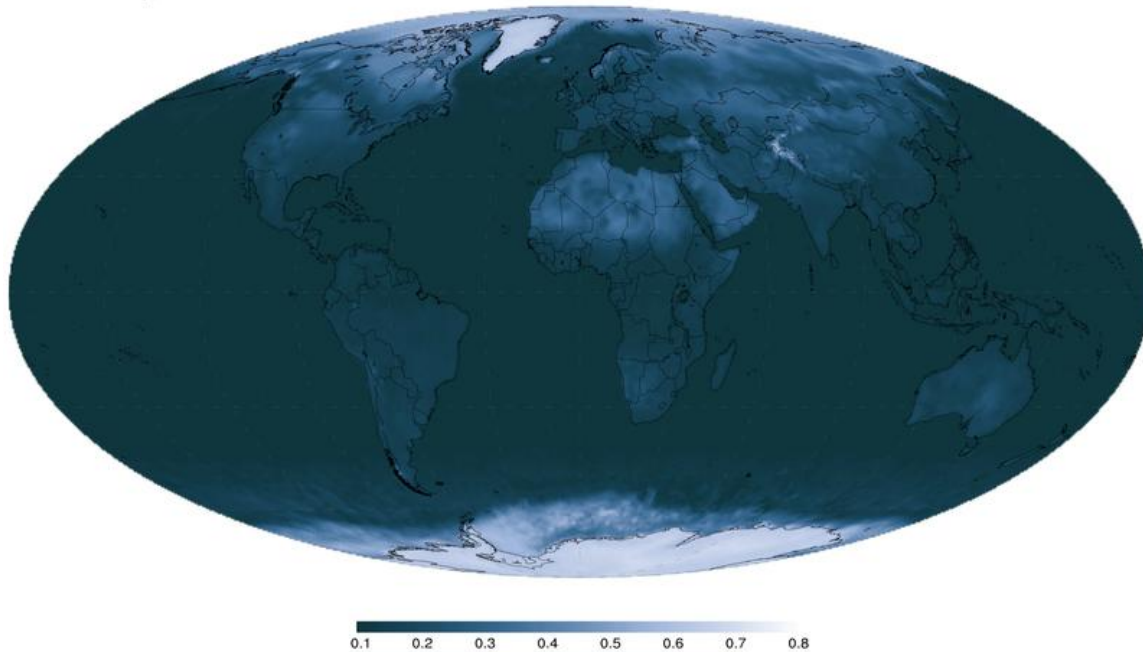
- Το μεγαλύτερο μέρος της Ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα ανακλάται από τα νέφη τα οποία έχουν υψηλό albedo, της τάξης του **0.5** και για ορισμένα νέφη μπορεί να φτάσει το **0.9**
- Η μέση νεφοκάλυψη του πλανήτη είναι ~ **66.7 %** (κυμαινόμενη 1 – 3 %) γύρω από αυτή τη τιμή
- Οποιαδήποτε χρονική στιγμή ~ 52 % της Γης τελεί υπό συνθήκες νεφοκάλυψης

Αλληλεπίδραση Ακτινοβολίας με Ύλη

Γεωγραφική κατανομή της λευκαύγεια (R_p) του πλανήτη ...

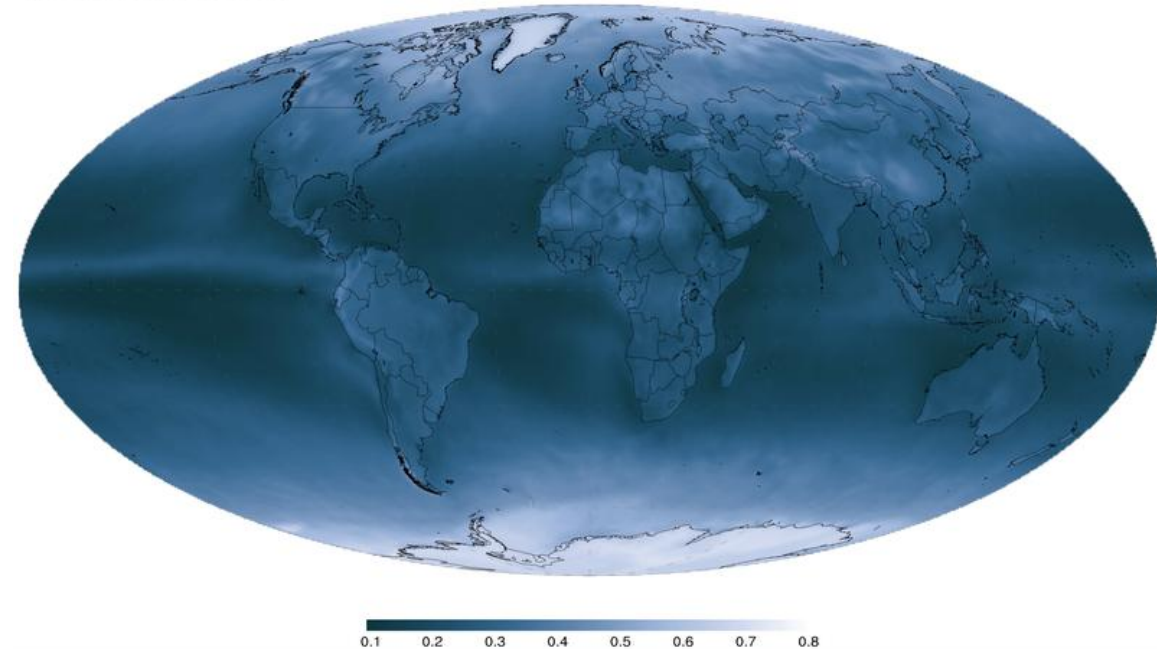
.... κάτω από συνθήκες καθαρού (ανέφελου) ουρανού

Clear Sky Albedo



.... κάτω από συνθήκες πραγματικού (με νέφη) ουρανού

Total Sky Albedo



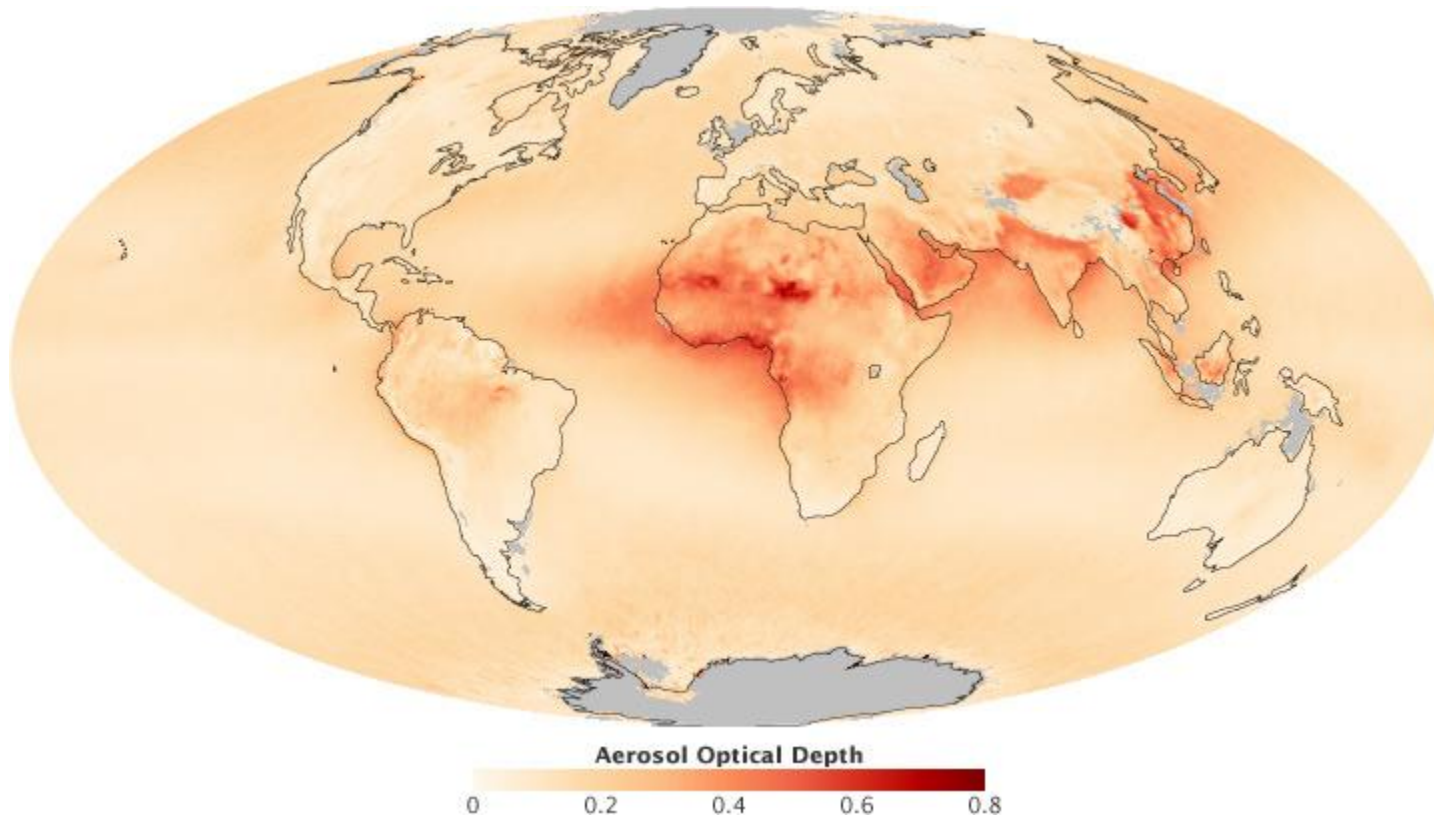
Πηγή: <https://en.wikipedia.org/wiki/Albedo>

Οι τιμές προέρχονται από μετρήσεις του δορυφόρου MODIS-Aqua (CERES data products) για την περίοδο 2003-2004

- Η παρουσία των νεφών αυξάνει τη λευκαύγεια του Πλανήτη
- Τα νέφη ψύχουν τον Πλανήτη ανακλώντας περίπου το 20% της ηλιακής ακτινοβολίας

Ηλιακή Ακτινοβολία μέσα στην ατμόσφαιρα - Ανάκλαση

Πλανητική κατανομή του οπτικού βάθους των αερολυμάτων (%)



MISR data 2000-2010

Πηγή: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/Aerosols/page5.php>

- Τα αερολύματα είναι ένα από τα συστατικά της ατμόσφαιρας που συμβάλουν μέσω σκέδασης (οπισθοσκέδασης) στο να 'διώχνουν' ηλιακή ακτινοβολία πίσω στο διάστημα

Ηλιακή Ακτινοβολία μέσα στην ατμόσφαιρα - Ανάκλαση

- Γεωγραφική κατανομή της λευκαύγεια (R_p) του πλανήτη ...

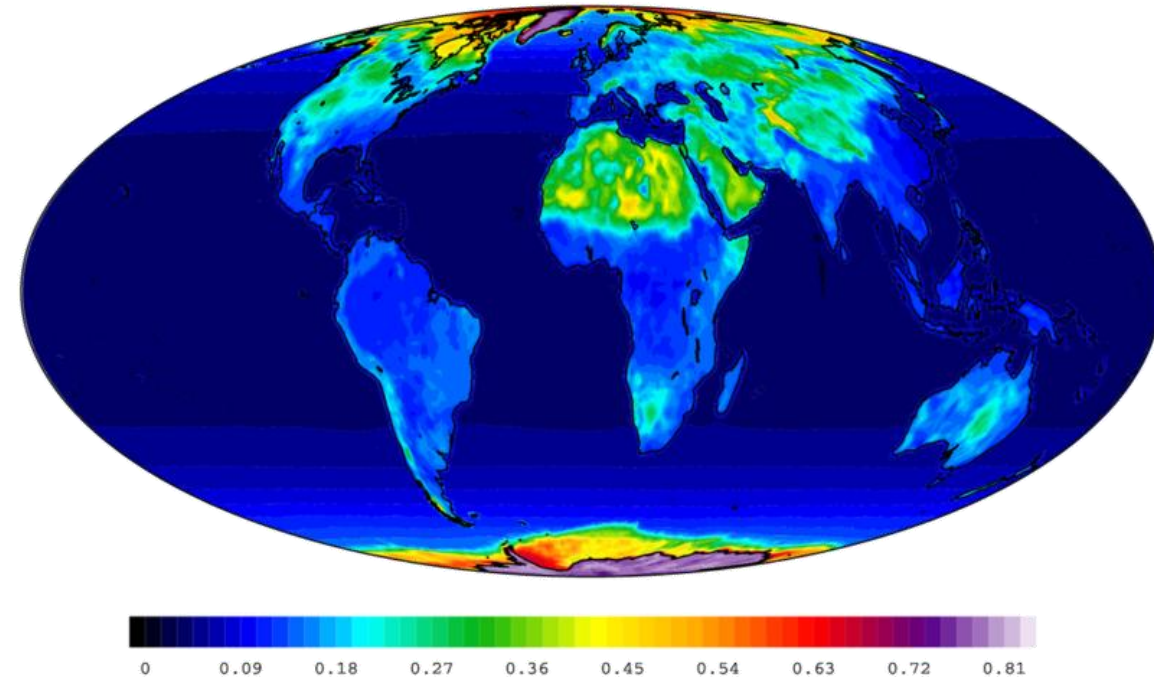
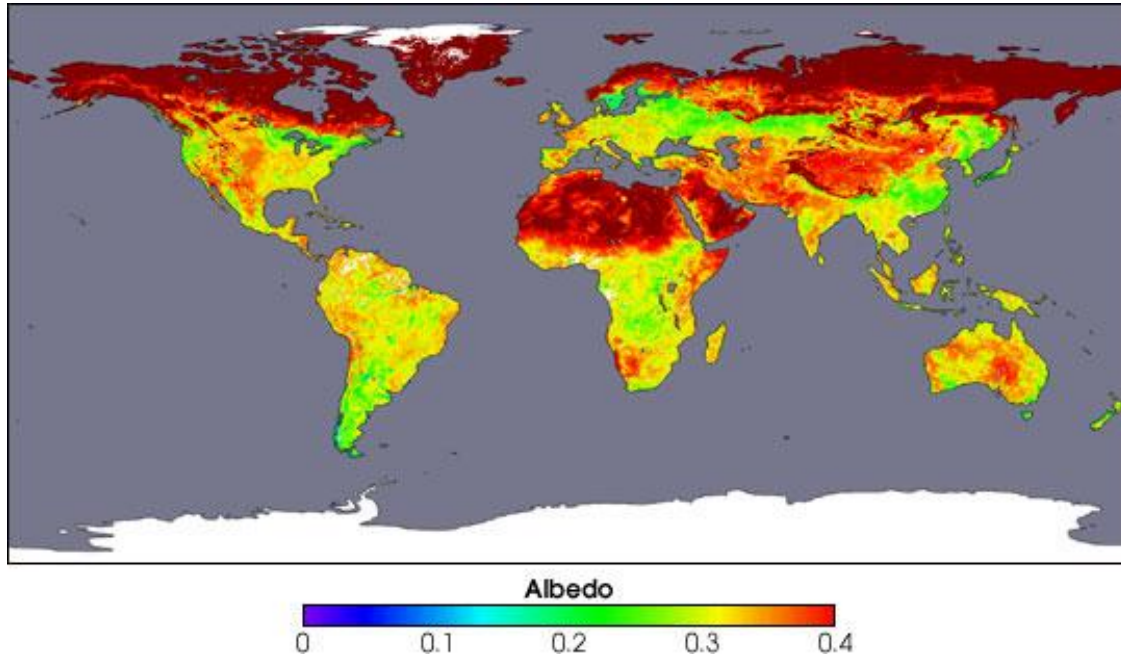
Πηγή:

<http://www.eoearth.org/view/article/149954/>

- Μέση λευκαύγεια της Γης χωρίς νέφη = 15%
- Μέση λευκαύγεια της Γης με νεφοσκεπή ουρανό 50%
- **Μέση λευκαύγεια της Γης= 32.5%**

Ηλιακή Ακτινοβολία στην επιφάνεια - Ανάκλαση

Γεωγραφική κατανομή της λευκαύγεια (R_s) της επιφάνειας του πλανήτη



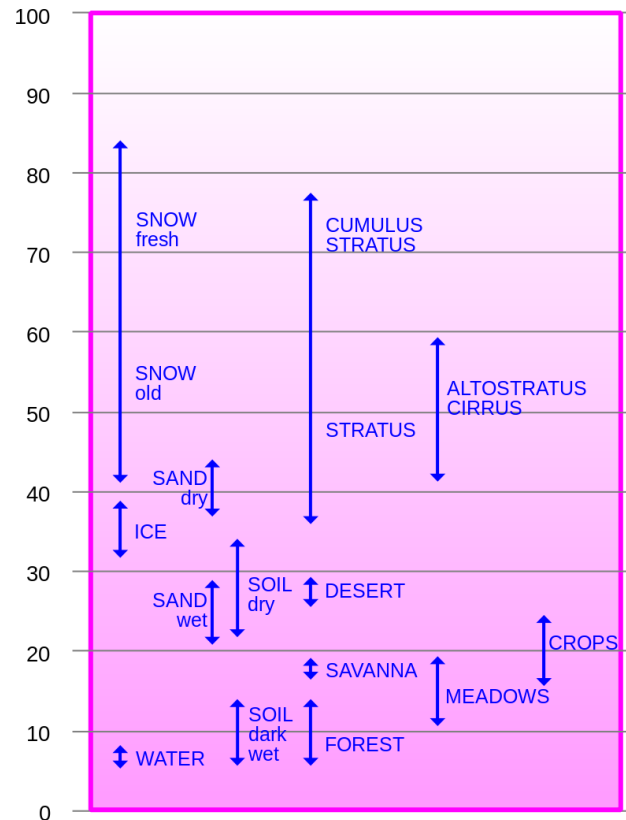
Πηγή: <http://visibleearth.nasa.gov/view.php?id=60636>

Πηγή: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ceres_2004_clear_sky_albedo.png

- Κατ' αντιστοιχία με την ανακλαστικότητα του Πλανήτη ορίζεται η **ανακλαστικότητα** ή **λευκαύγεια** ή **albedo** της επιφάνειας του πλανήτη (R_s)
- Ορίζεται ως το πηλίκο της ανακλώμενης από την επιφάνεια ηλιακής ακτινοβολίας προς την προσπίπτουσα και παίρνει τιμές μεταξύ **0** και **1**
- Εξαρτάται από
 - τον τύπο της επιφάνειας
 - το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας
 - και τη γωνία πρόσπτωσης

Ηλιακή Ακτινοβολία στην επιφάνεια - Ανάκλαση

Ανακλαστικότητα ή λευκαύγεια (R_s , albedo) διαφόρων επιφανειών



Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Albedo#/media/File:Albedo-e_hg.svg

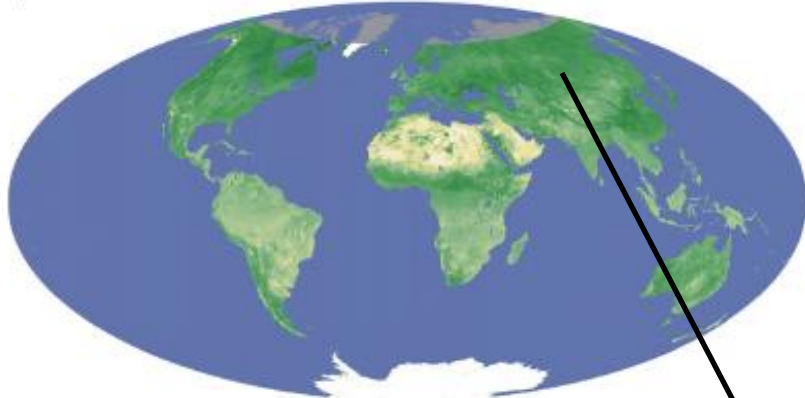
Τύπος Επιφάνειας	Τυπική τιμή albedo
Φρέσκια άσφαλτος	0.04
Παλιά άσφαλτος	0.12
Κωνοφόρα Δάση (Θέρος)	0.08, 0.09 - 0.15
Φυλλοβόλα Δάση	0.15 - 0.18
Υγρό έδαφος	0.10
Γυμνό έδαφος	0.17
Πράσινη χλόη	0.25
Άμμος ερήμου	0.40
Νέο σκυρόδεμα	0.55
Θαλάσσιος πάγος	0.5-0.7
Φρέσκο χιόνι	0.80-0.90
Παλιό χιόνι	0.55
Νέφη	0.50 - 0.65

- Το χιόνι και ο πάγος έχουν τη μεγαλύτερη ανακλαστικότητα
- Η έρημος επίσης έχει μεγάλη ανακλαστικότητα
- Σε κάθε περίπτωση οι διάφοροι τύποι επιφάνειας ξηράς έχουν μεγαλύτερη ανακλαστικότητα από τις θαλάσσιες και ωκεάνιες επιφάνειες **< 0.1**
- Το νερό δεν περιλαμβάνεται στη λίστα διότι αποτελεί διαφορετική περίπτωση ανάκλασης η οποία περιγράφεται από τις εξισώσεις Fresnel που περιγράφουν τη διάδοση του φωτός όταν αυτό διέρχεται από δύο μέσα με διαφορετικούς συντελεστές διάχυσης

Ηλιακή Ακτινοβολία στην επιφάνεια - Ανάκλαση

■ Ανακλαστικότητα ή λευκαύγεια διαφόρων τύπων ξηράς στα 0.86 μm

a) Snow-free Albedo



Λευκαύγεια με χιονοκάλυψη

b) Snow-covered Albedo



Λευκαύγεια χωρίς χιονοκάλυψη



Πηγή: Moody et al., 2007, Northern Hemisphere five-year average (2000-2004) spectral albedos of surfaces in the presence of snow: Statistics computed from Terra MODIS land products, Remote Sensing of Environment, 11, 337-345.

• Οι διαφορές οφείλονται στην παρουσία-απουσία του χιονιού που έχει μεγάλη ανακλαστικότητα της τάξης του 80 – 90%

• Φρέσκο χιόνι => μεγάλη ανακλαστικότητα => λιώνει αργά

• Παλιό χιόνι με προσμίξεις => μικρή ανακλαστικότητα => λιώνει γρηγορότερα

Ηλιακή Ακτινοβολία στην επιφάνεια - Ανάκλαση

Εξάρτηση της λευκαύγειας από το μήκος κύματος λ και τη γωνία πρόσπτωσης

Πίνακας 1.2.2

Η ανακλαστικότητα (%) διαφόρων τύπων εδάφους σε συνάρτηση του μήκους κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (Physical Climatology by W.D. Sellers)

Είδη εδάφους	Κώδεις	Πράσινο	Πορτοκαλί	Ερυθρό	Υπέριθρο
Ξηρή άμμος	20	23	29	30	30
Υγρή άμμος	10	12	15	16	19
Πάγος καθαρός	44	54	56	48	32
Πάγος με προσμίξεις	24	33	36	31	19
Καθαρός ξηρός αέρας	29	13	6	3	2

Η Ανακλαστικότητα αυξάνει με την αύξηση του μήκους κύματος

Η εξάρτηση δεν είναι σημαντική

Σκέδαση Rayleigh η οποία έχει αντίστροφη εξάρτηση από το μήκος κύματος

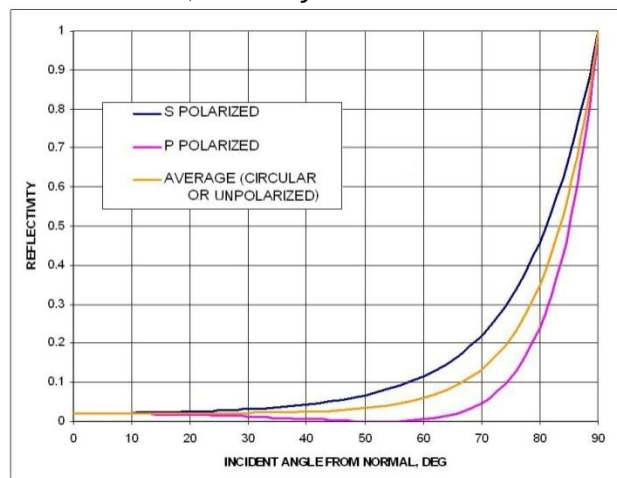
Πίνακας 1.2.3

Η ανακλαστικότητα (%) διαφόρων τύπων εδάφους σε συνάρτηση της γωνίας προσπτώσεως της ηλιακής ακτινοβολίας (Physical Climatology by W.D. Sellers)

Επιφάνεια	40°	50°	60°	70°	80°
Ξηρή άμμος	35	41	51	63	81
Υγρή άμμος	26	28	33	43	60
Κινούμενο νερό	7	10	16	26	47

Η Ανακλαστικότητα αυξάνει με την αύξηση της ζενιθείας γωνίας του ηλίου Z

Πηγή: Χ.Σ. Σαχσαμάνογλου, Α.Α. Μπλούτσος, Φυσική Κλιματολογία, 1998, ΙΣΒΝ 960-431-495-5, Εκδόσεις ΖΗΤΗ



Ανακλαστικότητα από επίπεδη επιφάνεια νερού συναρτήσει της γωνίας πρόσπτωσης στους 20°C και για δείκτη διάθλασης ίσο με 1.333

Πηγή: <https://en.wikipedia.org/wiki/Albedo>

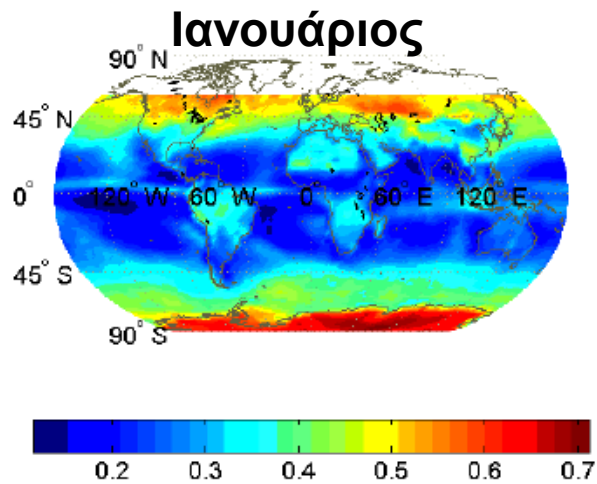
Ηλιακή Ακτινοβολία στην επιφάνεια - Ανάκλαση

Πηγή:

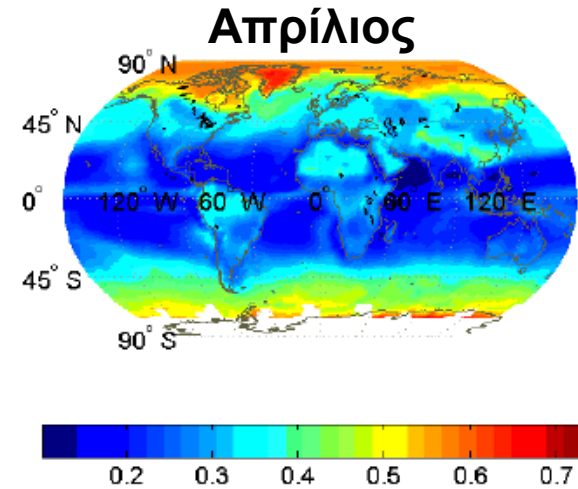
<http://www.eoearth.org/view/article/149954/>

Ηλιακή Ακτινοβολία - Ανακλαστικότητα του Πλανήτη

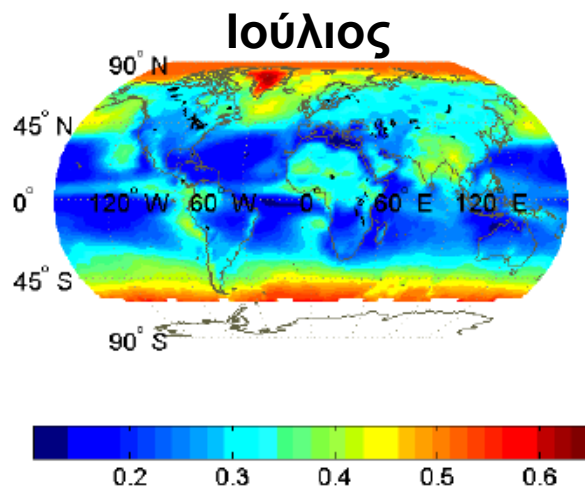
- Γεωγραφική κατανομή της λευκαύγειας (R_p) του πλανήτη (επιφάνεια + ατμόσφαιρα) – Planetary albedo



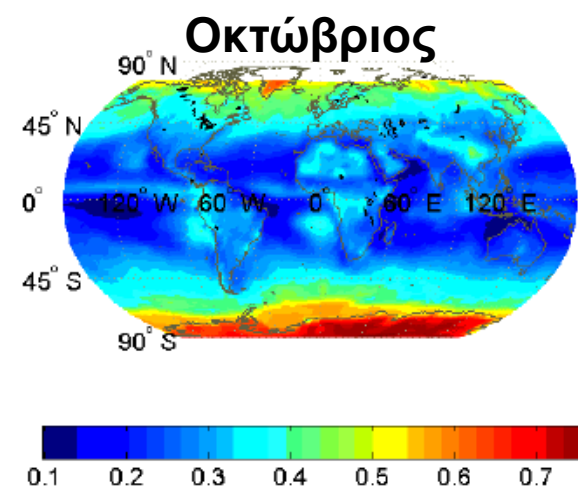
(a)



(b)



(c)



(d)

Πηγή: Hatzianastassiou, N. et al., (2004): Long-term global distribution of Earth's shortwave radiation budget at the top of atmosphere, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 4, 1217-1235

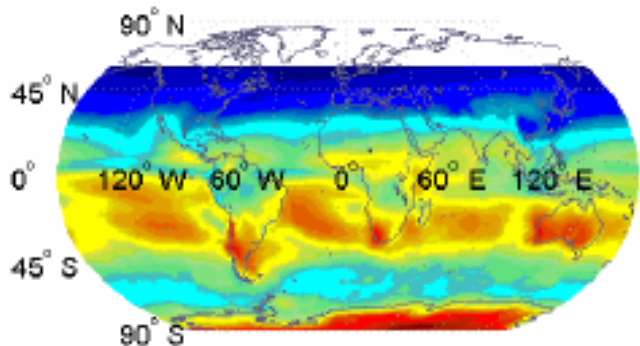
- Οι διαφορές σε σχέση με τη λευκαύγεια της επιφάνειας του πλανήτη οφείλονται κυρίως στην παρουσία των νεφών. Ακολουθώς σημαντικό ρόλο παίζουν τα αιωρούμενα σωματίδια

Ηλιακή Ακτινοβολία στην επιφάνεια της Γης

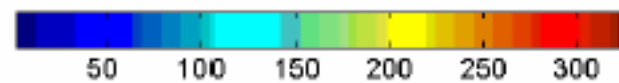
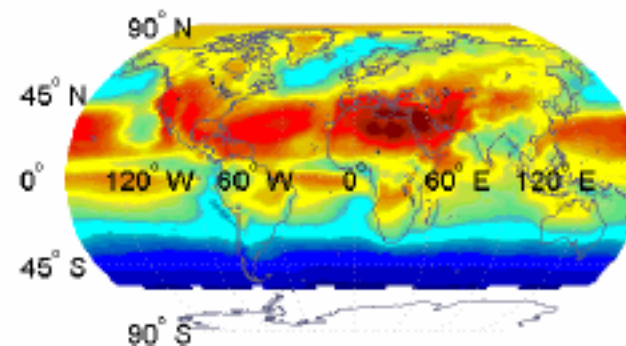
- Η ηλιακή ακτινοβολία φτάνει στην επιφάνεια ως:
 - **Άμεση Ηλιακή Ακτινοβολία** δηλ. το μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει απ' ευθείας στην επιφάνεια της Γης με τις ηλιακές ακτίνες χωρίς να υποστεί καμία εκτροπή από την ευθύγραμμη διάδοση
 - **Διάχυτη Ακτινοβολία** δηλ. την ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της Γης και η οποία προέρχεται από τη Σκέδαση της ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα

ΟΛΙΚΗ ΠΡΟΣΠΙΠΤΟΥΣΑ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ = ΑΜΕΣΗ + ΔΙΑΧΥΤΗ

JAN 174.3 W m^{-2}



JUL 165.2 W m^{-2}



Ηλιακή Ακτινοβολία στην επιφάνεια της Γης

Ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία (άμεση+διάχυτη) – Ανακλώμενη ακτινοβολία = Καθαρή Ακτινοβολία

↓
 F

↓
 F_{dir}

↓
 F_{diff}

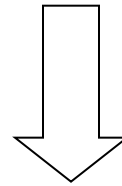
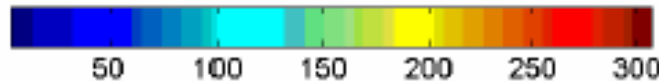
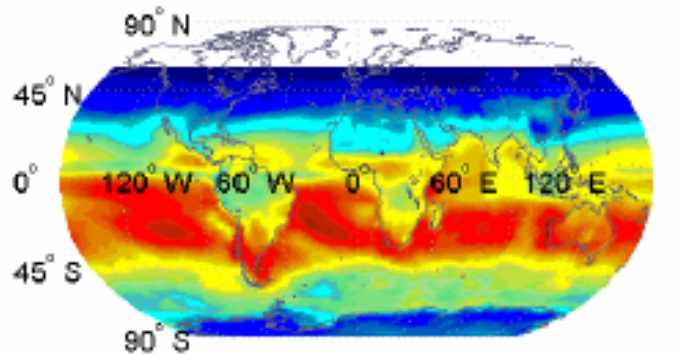
↓
 $(1-R_s)F$

↓
 F_{SWNet}

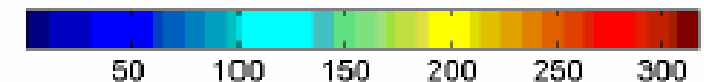
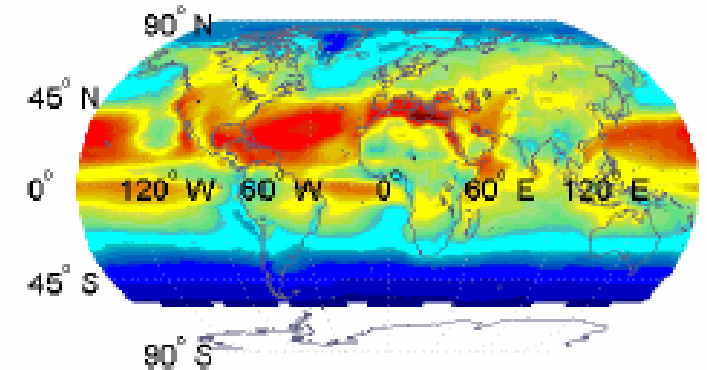
$$F_{\text{SWNet}} = (1 - R_s) F$$

Καθαρή (Απορροφώμενη) Ηλιακή Ακτινοβολία

JAN 151.6 W m^{-2}

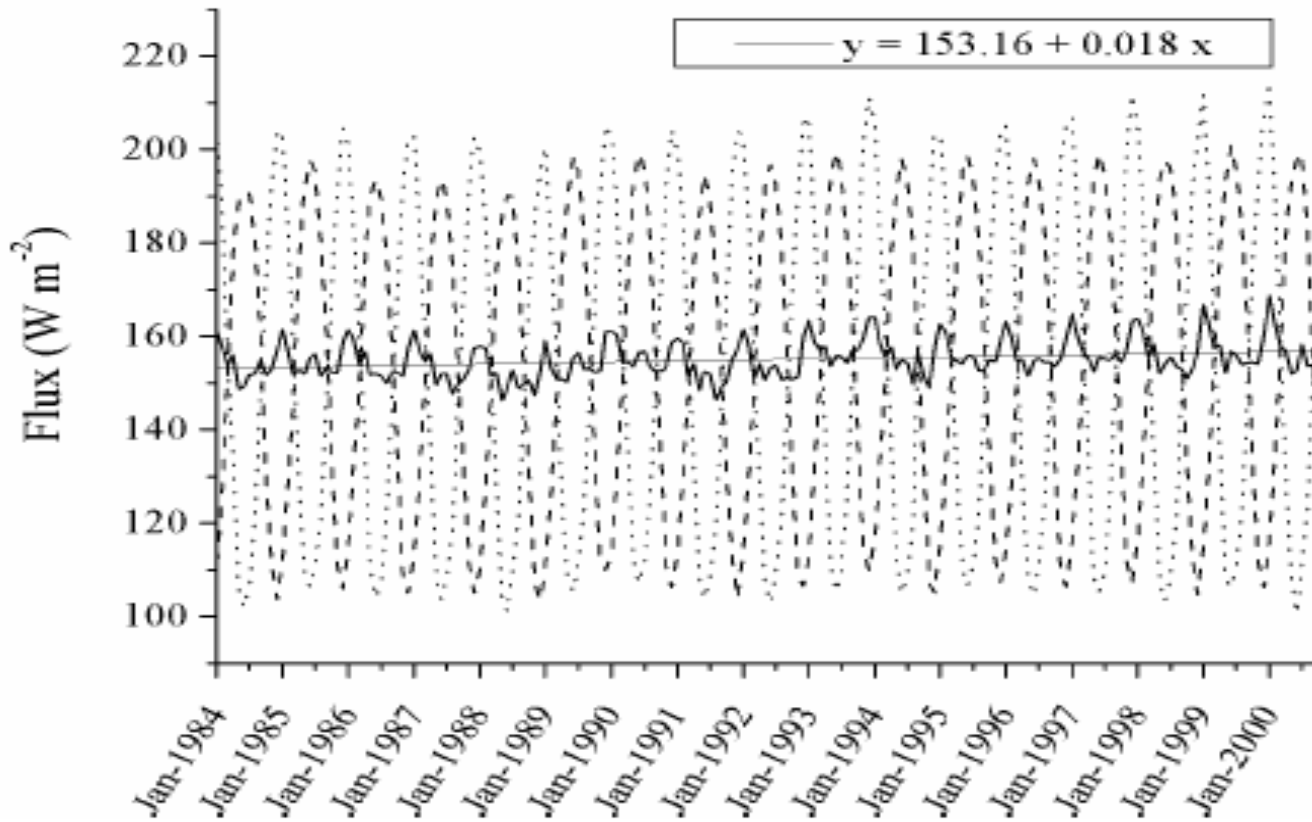


JUL 144.2 W m^{-2}



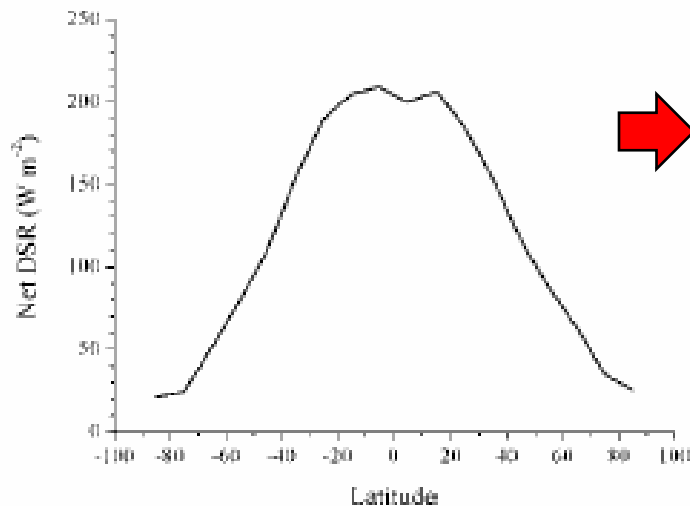
Είναι η ενέργεια που έχει στη διάθεση του ο πλανήτης να απορροφήσει

Ηλιακή Ακτινοβολία στην επιφάνεια της Γης

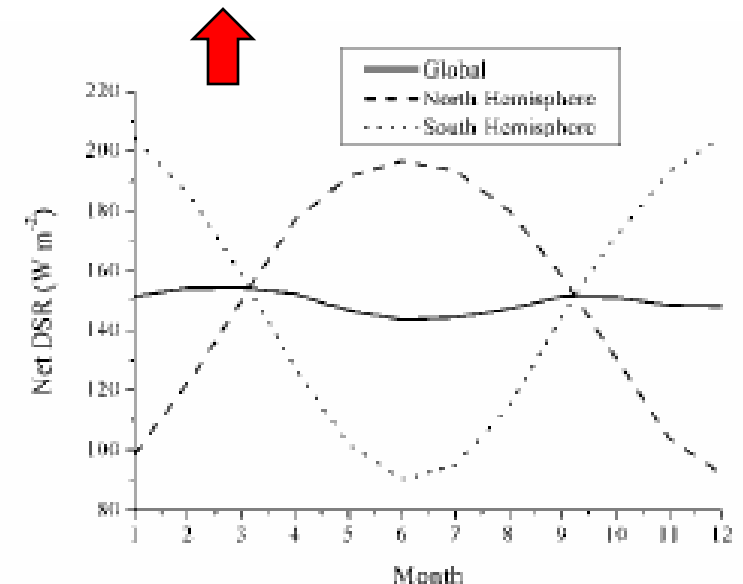


Διαχρονική μεταβολή της Καθαρής προσπίπτουσας (απορροφώμενης) στην επιφάνεια Ηλιακής ακτινοβολίας για κάθε ημισφαίριο και για το σύνολο του πλανήτη για την περίοδο 1984 - 2000

Ενδοετήσια μεταβολή της Καθαρής προσπίπτουσας (απορροφώμενης) στην επιφάνεια Ηλιακής ακτινοβολίας για κάθε ημισφαίριο και για το σύνολο του πλανήτη

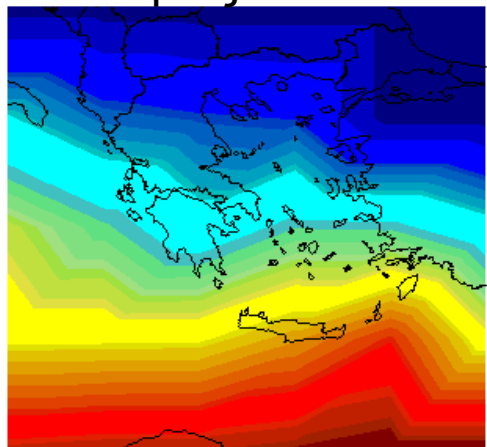


Κατανομή της Καθαρής προσπίπτουσας (απορροφώμενης) στην επιφάνεια Ηλιακής ακτινοβολίας με το γεωγραφικό πλάτος

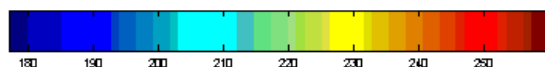
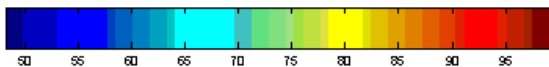
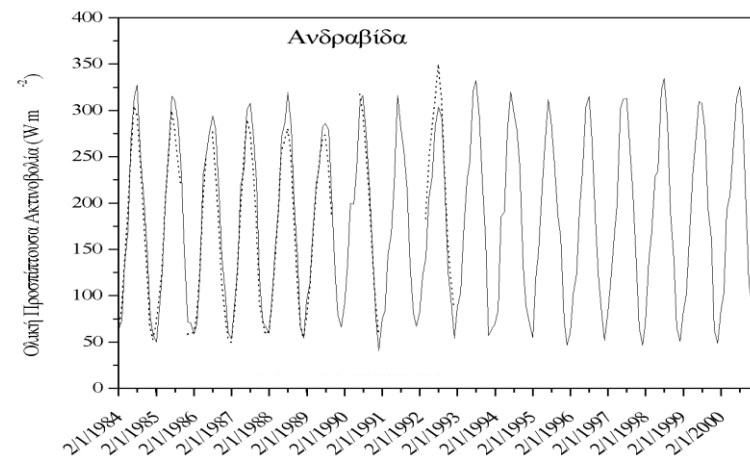
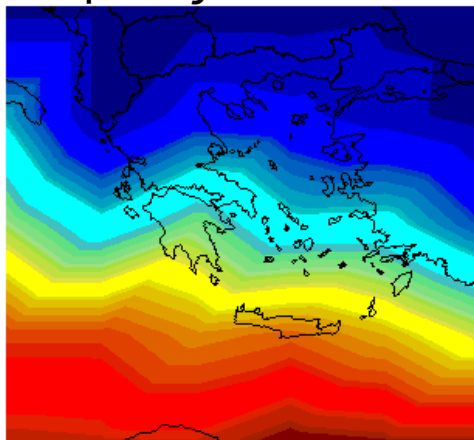


Ηλιακή Ακτινοβολία στην επιφάνεια του ευρύτερου Ελλαδικού χώρου

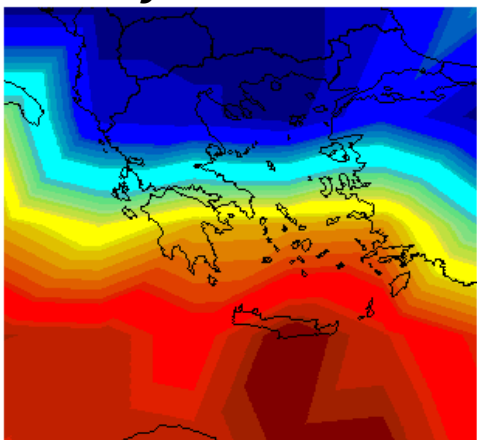
Ιανουάριος: 71.1 Wm^{-2}



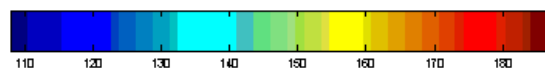
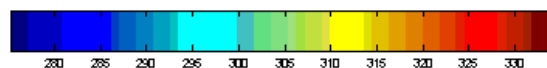
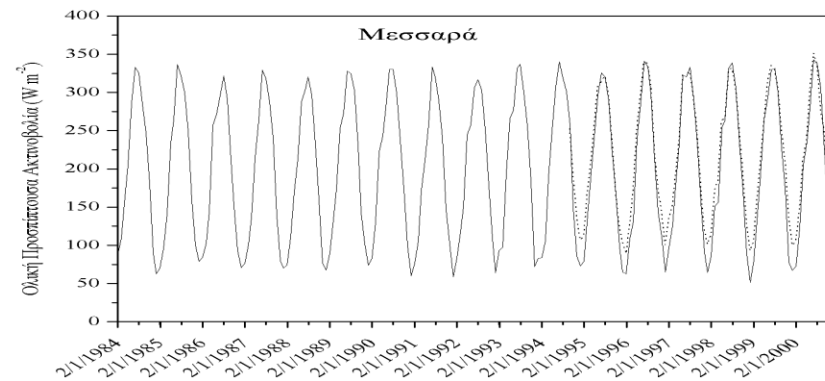
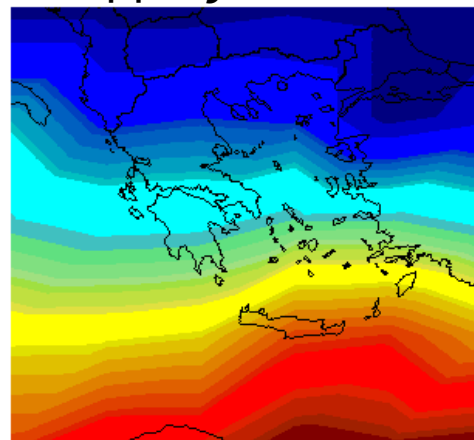
Απρίλιος: 213 Wm^{-2}



Ιούλιος: 304.2 Wm^{-2}



Οκτώβριος: 142.7 Wm^{-2}

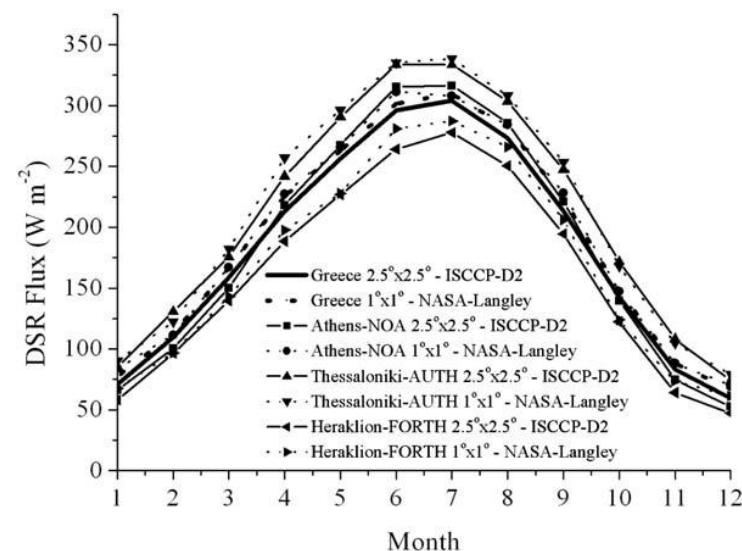


Μέση τιμή της Ολικής προσπίπτουσας ακτινοβολίας (1984-2000):

$181.9 \pm 14.4 \text{ W m}^{-2}$

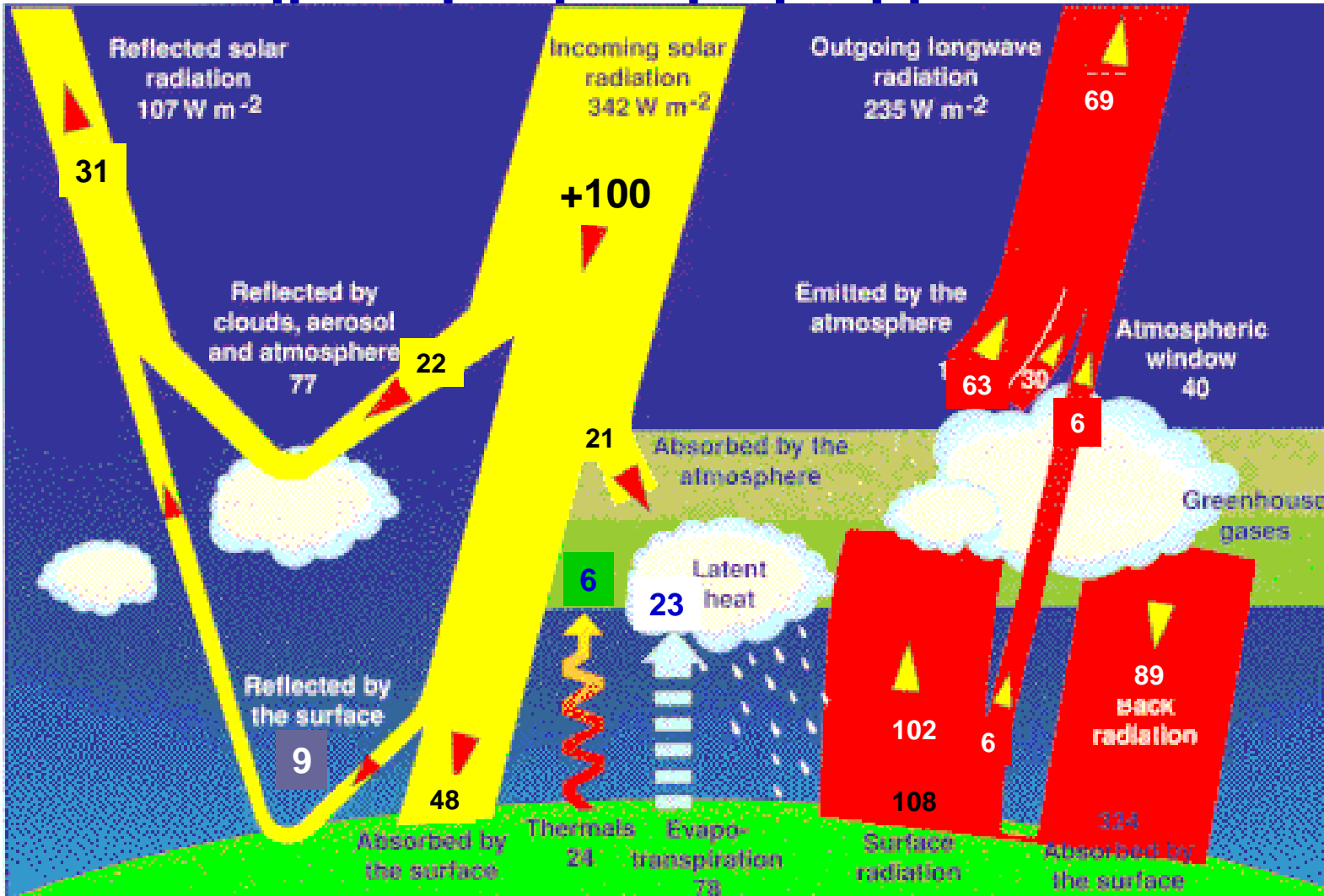
Μέση τιμή της καθαρής ακτινοβολίας (1984-2000):

$164.7 \pm 40.4 \text{ W m}^{-2}$



Ενεργειακό Ισοζύγιο του Πλανήτη

Το Σύστημα Γη-Ατμόσφαιρα βρίσκεται σε Ενεργειακή Ισορροπία:



Πηγή: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/CloudsInBalance/>

Καθαρή Εισερχόμενη
Ηλιακή Ακτινοβολία

=

Εξερχόμενη
Γήινη Ακτινοβολία

● Ισχύει μόνο σε:

✓ Πλανητική κλίμακα

✓ Μέση Ετήσια Βάση

• Παρότι η μέση τιμή της T σε διάφορες περιοχές της Γης μπορεί να μεταβάλλεται, ίσως και σημαντικά, από χρόνο σε χρόνο, το μέσο θερμικό ισοζύγιο ολόκληρου του πλανήτη μεταβάλλεται ανεπαίσθητα σε ετήσια βάση => το Σύστημα Γη-Ατμόσφαιρα αποβάλλει στο διάστημα την ίδια ποσότητα ενέργειας που λαμβάνει από τον Ήλιο

• Το ίδιο ισχύει και στην επιφάνεια της Γης. Σε ετήσια βάση η γήινη επιφάνεια θα πρέπει να επιστρέφει στην ατμόσφαιρα το ίδιο ποσό ενέργειας με αυτό που απορροφά

Αναφορές

- Hatzianastassiou, N., A. Fotiadi, C. Matsoukas, E. Drakakis, K. Pavlakis, D. Hatzidimitriou, and I. Vardavas, (2004): Long-term global distribution of Earth's shortwave radiation budget at the top of atmosphere, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 4, 1217-1235.
- Hatzianastassiou, N., C. Matsoukas, A. Fotiadi, K. Pavlakis, E. Drakakis, D. Hatzidimitriou, and I. Vardavas, (2005): Global distribution of Earth's surface shortwave radiation budget. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 5, 2847-2867.
- Fotiadi, A., N. Hatzianastassiou, P.W. Stackhouse, C. Matsoukas, E. Drakakis, K.G. Pavlakis, D. Hatzidimitriou, and I. Vardavas, (2006): Spatial and Temporal Distribution of Long-Term Solar Surface Radiation Budget over Greece. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, 132, 2693-2718.

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την **1^η** έκδοση.

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Αγγελική Φωτιάδη, 2015.

Αγγελική Φωτιάδη. «ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ - ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ». Έκδοση: 1.0. Αγρίνιο 2015.

Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

https://eclass.upatras.gr/modules/document/document.php?course=ENV_127

Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά Δημιουργού, Απαγόρευση Εμπορικής Χρήσης και Όχι Παράγωγα Έργα. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».

« Το υλικό της παρουσίασης προέρχεται από τις πανεπιστημιακές παραδόσεις της καθηγήτριας Α. Φωτιάδη».



Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Διαφάνεια 6: <https://en.wikipedia.org/?title=Sun>

Διαφάνεια 7: https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_radiation

Διαφάνεια 8: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e2/VisibleEmrWavelengths.svg>

Διαφάνεια 9: https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_radiation

Διαφάνεια 10: https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_spectrum

Διαφάνεια 13 - 14: N Matsapey, J Faucheu, M Flury and D Delafosse 2013, Design of a gonio-spectrophotometer for optical characterization of gonio-apparent materials, *Meas. Sci. Technol.* 24 065901

Διαφάνεια 16: with courtesy E. Kodouli

Διαφάνεια 22: <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=2599>, εικόνα από τον δορυφόρο MODIS Terra

Διαφάνεια 23: Hatzianastassiou, N. et al., (2004): Long-term global distribution of Earth's shortwave radiation budget at the top of atmosphere, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 4, 1217-1235

Διαφάνεια 26: https://en.wikipedia.org/wiki/Planck%27s_law#/media/File:Black_body.svg

Διαφάνεια 27-30: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f6/Planck_law_log_log_scale.png

Διαφάνεια 31: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Solar_Spectrum.png

Διαφάνεια 32: <https://en.wikipedia.org/wiki/Light>

Διαφάνεια 34: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f6/Planck_law_log_log_scale.png

Διαφάνεια 35: with the courtesy of E. Kodouli

Διαφάνεια 36: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/28/Inverse_square_law.svg/ -

[Inverse_square_law.svg.png](#)



Διαφάνεια 39: https://en.wikipedia.org/wiki/File:The_Sun_in_extreme_ultraviolet.jpg

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Διαφάνεια 40: https://en.wikipedia.org/wiki/Sunspot#/media/File:Sunspot_Numbers.png

https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cycle

Διαφάνεια 41: https://en.wikipedia.org/wiki/Earth%27s_orbit

https://en.wikipedia.org/wiki/Earth%27s_rotation

Διαφάνεια 42: https://en.wikipedia.org/wiki/Effect_of_sun_angle_on_climate

https://en.wikipedia.org/wiki/Sun_path

Διαφάνεια 43: <https://en.wikipedia.org/wiki/Equinox>

Διαφάνεια 46-47: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Oblique_rays.svg

Διαφάνεια 50: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Oblique_rays.svg

<https://en.wikipedia.org/wiki/Daytime>

Διαφάνεια 52: https://en.wikipedia.org/wiki/Effect_of_sun_angle_on_climate

http://solarwiki.ucdavis.edu/The_Science_of_Solar/Solar_Basics/B._Basic_of_the_Sun/VI._The_Sun%27s_Motion

https://en.wikipedia.org/wiki/Sun_path

Διαφάνεια 53-54:

http://solarwiki.ucdavis.edu/The_Science_of_Solar/Solar_Basics/Basics_of_the_Sun/VI._The_Sun%27s_Motion

Διαφάνεια 55: https://en.wikipedia.org/wiki/Sun_path

Διαφάνεια 56: https://en.wikipedia.org/wiki/Effect_of_sun_angle_on_climate



Διαφάνεια 57: Hatzianastassiou, N. et al., (2004): Long-term global distribution of Earth's shortwave radiation budget at the top of atmosphere, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 4, 1217-1235

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Διαφάνεια 60: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/EnergyBalance/page3.php>

<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/EnergyBalance/page3.php>

Διαφάνεια 61: https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_energy

Διαφάνεια 62: https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_energy

Διαφάνεια 65: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diffusion_rayleigh.png

Διαφάνεια 66: https://en.wikipedia.org/wiki/Rayleigh_scattering

Διαφάνεια 67: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b5/Rayleigh_mie_fry3.jpg

Διαφάνεια 68: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mie_scattering.svg

Διαφάνεια 69: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Rayleigh_mie_fry2.jpg

Διαφάνεια 70-71: https://en.wikipedia.org/wiki/Absorption_band#/media/File:Atmospheric_Transmission.png

Διαφάνεια 73: <https://en.wikipedia.org/wiki/Sunlight>

Διαφάνεια 74: https://en.wikipedia.org/wiki/Diffuse_reflection

https://en.wikipedia.org/wiki/Diffuse_reflection

Διαφάνεια 76: https://en.wikipedia.org/wiki/Diffuse_reflection

http://ceres.larc.nasa.gov/documents/press_releases/images/cldamt_small.png

Διαφάνεια 77: <https://en.wikipedia.org/wiki/Albedo>

Διαφάνεια 78: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/Aerosols/page5.php>

Διαφάνεια 80: <http://visibleearth.nasa.gov/view.php?id=60636>

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ceres_2004_clear_sky_albedo.png



Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Διαφάνεια 81: https://en.wikipedia.org/wiki/Albedo#/media/File:Albedo-e_hg.svg

Διαφάνεια 82: Moody et al., 2007, Northern Hemisphere five-year average (2000-2004) spectral albedos of surfaces in the presence of snow: Statistics computed from Terra MODIS land products, *Remote Sensing of Environment*, 11, 337-345.

Διαφάνεια 83: Χ.Σ. Σαχσαμάνογλου, Α.Α. Μπλούτσος, Φυσική Κλιματολογία, 1998, ΙΣΒΝ 960-431-495-5, Εκδόσεις ΖΗΤΗ

<https://en.wikipedia.org/wiki/Albedo>

Διαφάνεια 85: Hatzianastassiou, N. et al., (2004): Long-term global distribution of Earth's shortwave radiation budget at the top of atmosphere, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 4, 1217-1235

Διαφάνεια 86-87: Hatzianastassiou, N., C. Matsoukas, A. Fotiadi, K. Pavlakis, E. Drakakis, D. Hatzidimitriou, and I. Vardavas, (2005): Global distribution of Earth's surface shortwave radiation budget. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 5, 2847-2867

Διαφάνεια 89: Fotiadi, A., N. Hatzianastassiou, P.W. Stackhouse, C. Matsoukas, E. Drakakis, K.G. Pavlakis, D. Hatzidimitriou, and I. Vardavas, (2006): Spatial and Temporal Distribution of Long-Term Solar Surface Radiation Budget over Greece. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, 132, 2693-2718

Διαφάνεια 90: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/CloudsInBalance/>

