



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Ανανεώσιμες Μορφές Ενέργειας

Ενότητα 2: Ηλιακή Ενέργεια

Ελευθέριος Αμανατίδης

Πολυτεχνική Σχολή

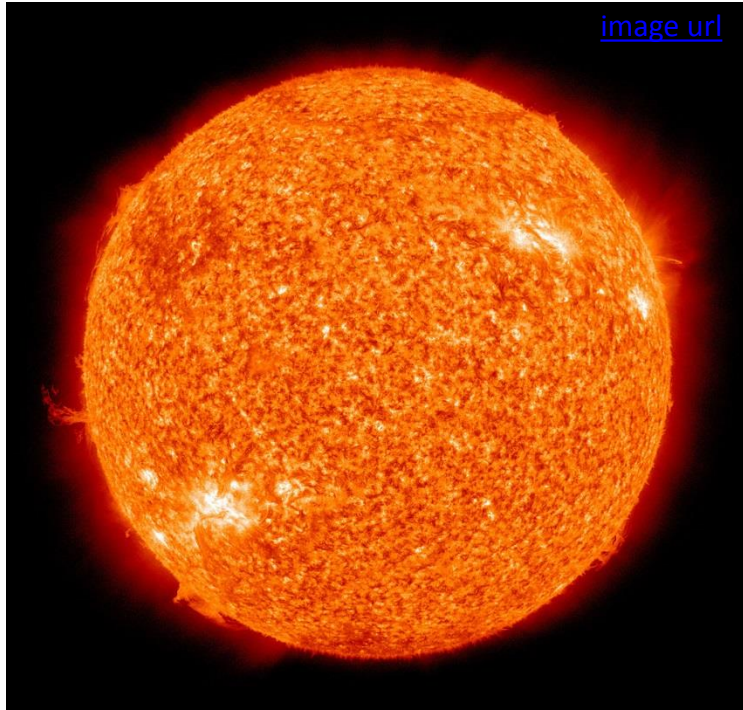
Τμήμα Χημικών Μηχανικών

Περιεχόμενα ενότητας

- **Ηλιακή Ενέργεια**
 - Ο Ήλιος ως πηγή ενέργειας
 - Κατανομή ενέργειας στη γη
 - Ηλιακό φάσμα και ηλιακή σταθερά
- **Κίνηση Γης - Ηλίου**
 - Βασικές έννοιες: Αληθής ηλιακός χρόνος, απόκλιση, ύψος ήλιου, ωριαία γωνία ήλιου, ζενίθια γωνία, αζιμούθια γωνία
- **Ηλιακή Ακτινοβολία**
 - Άμεση - διάχυτη ακτινοβολία
 - Υπολογισμός προσπίπτουσας ενέργειας και ισχύος σε οριζόντιο και κεκλιμένο επίπεδο



Ο Ήλιος ως πηγή ενέργειας



- Ο Ήλιος είναι ο αστέρας του ηλιακού μας συστήματος και το λαμπρότερο σώμα του ουρανού.
- Είναι σχεδόν τέλεια σφαίρα με διάμετρο 1,4 εκατομμύρια χιλιόμετρα (109 φορές περισσότερο από τη Γη), και η μάζα του (2×10^{30} κιλά) αποτελεί το 99.86% της μάζας του ηλιακού συστήματος.
- Μπορεί να θεωρηθεί ως αντιδραστήρας σύντηξης που μετατρέπει H_2 σε He ακτινοβολώντας ενέργεια με βάση την εξίσωση ενέργειας – μάζας $E=mc^2$
- Η ενέργεια της ακτινοβολίας του ήλιου που φτάνει στα όρια της ατμόσφαιρας του πλανήτη μας ισοδυναμεί κατά μέσο όρο με $1.5 \cdot 10^{18}$ kWh



Ηλιακή Ενέργεια

Από την ενέργεια η οποία φτάνει στα όρια της ατμόσφαιρας:

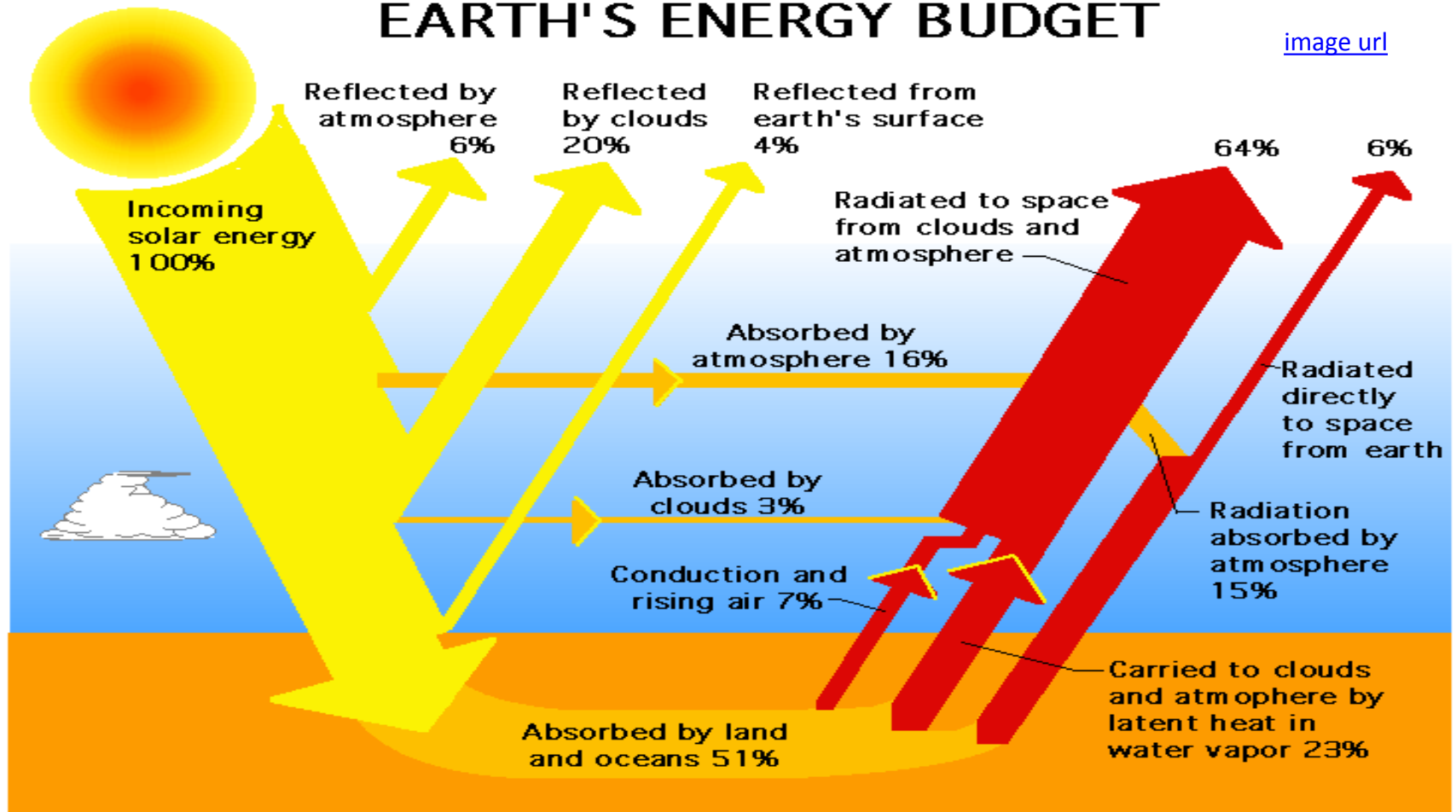
- Το **~31%** ανακλάται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας της γης
- Το **~47%** φθάνει μέχρι την επιφάνεια της γης
- Το **~23%** συμβάλει στην δημιουργία των ανέμων, των κυμάτων και γενικά ρυθμίζει το κλίμα
- Οι ωκεανοί απορροφούν το **33%** της ενέργειας που φθάνει στην επιφάνεια της γης
- Η ξηρά απορροφά το **14%** της ενέργειας που φθάνει στην επιφάνεια της γης
- Το **0.1%** της ηλιακής ενέργειας απορροφάται από τα φυτά



Ηλιακή Ενέργεια

EARTH'S ENERGY BUDGET

[image url](#)

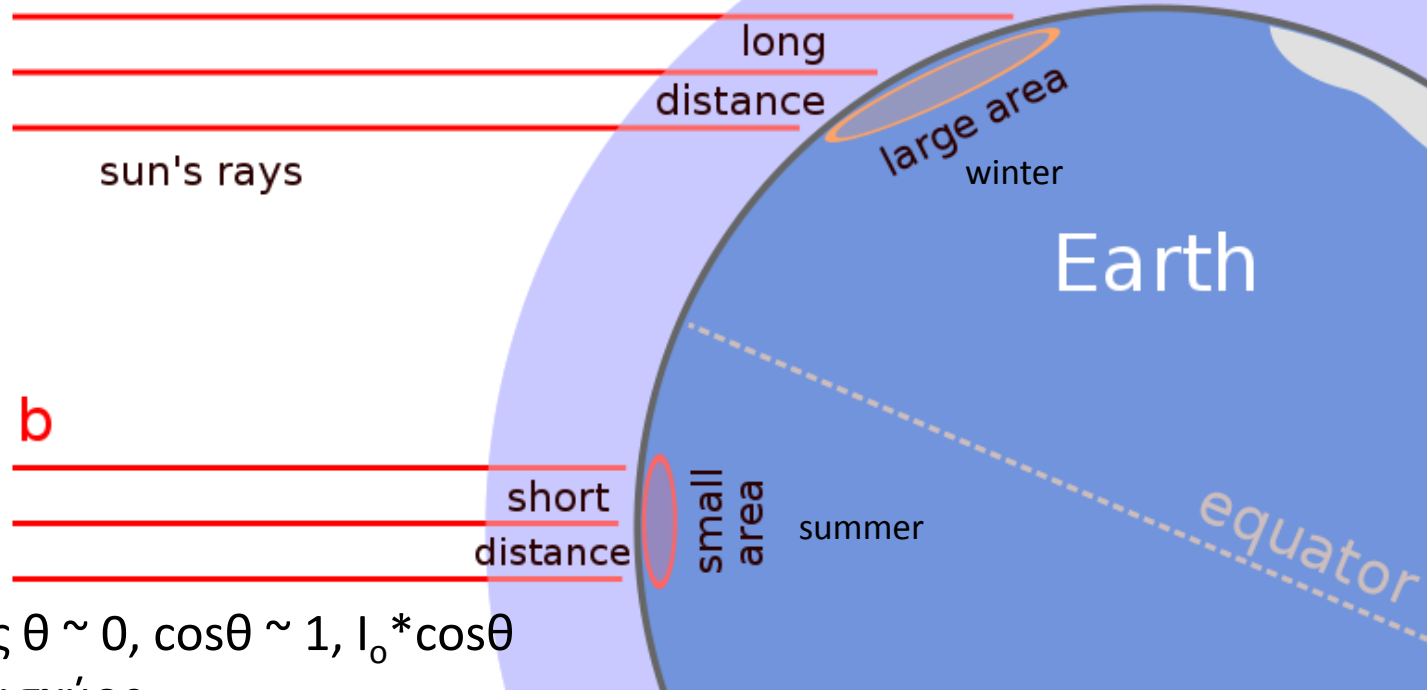


Summer vs Winter

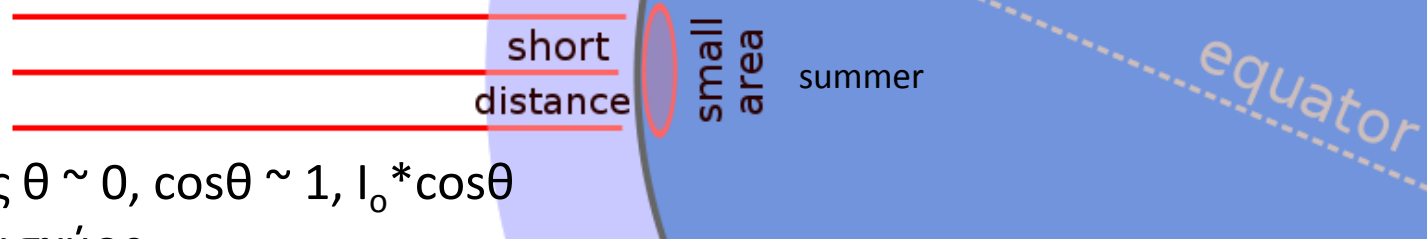
Προσανατολισμός της γης σε σχέση με τον ήλιο

Γωνία πρόσπτωσης $\theta > 0$, $\cos\theta < 1$, $I_0 \cdot \cos\theta$
μειώνεται, I_0 πυκνότητα ισχύος

a



b



Γωνία πρόσπτωσης $\theta \sim 0$, $\cos\theta \sim 1$, $I_0 \cdot \cos\theta$
max, I_0 πυκνότητα ισχύος

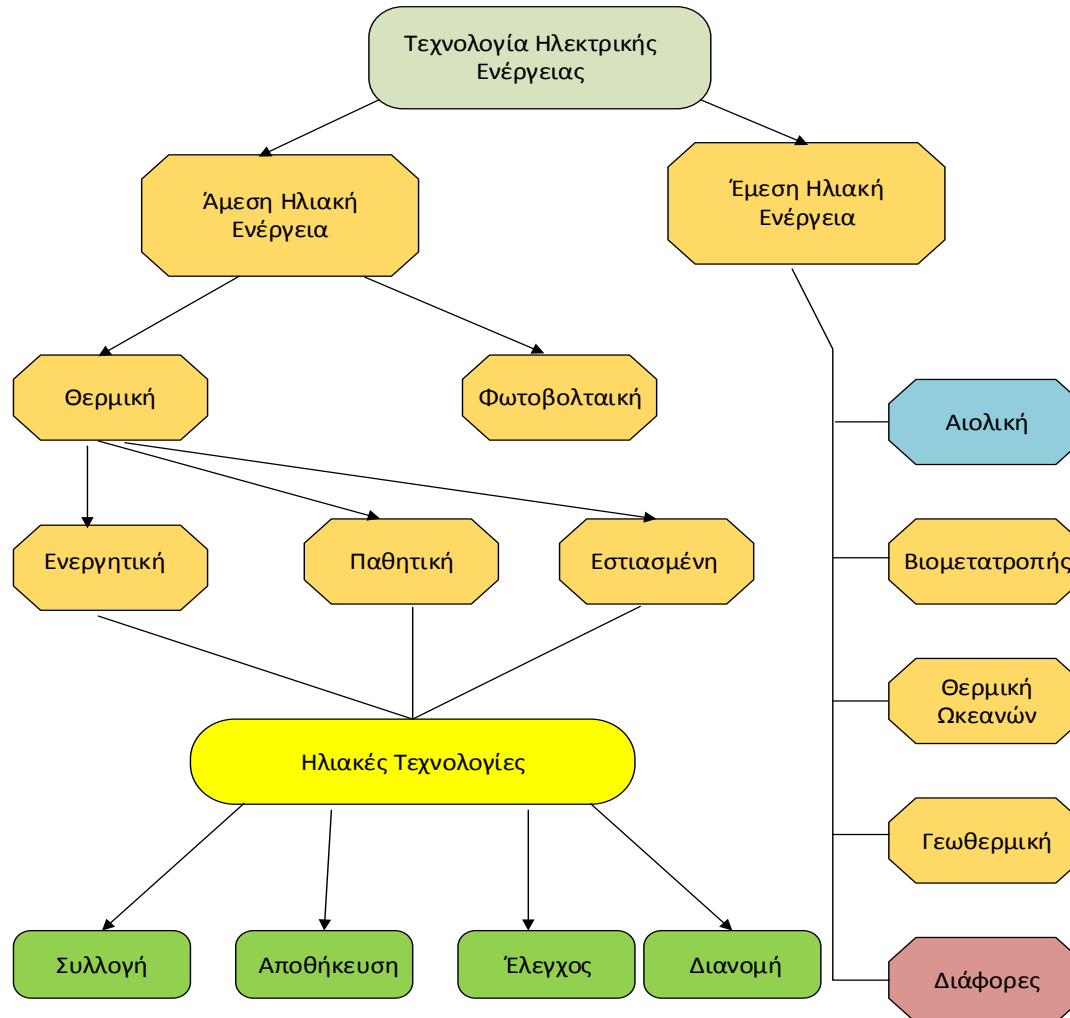


Ηλιακή Ενέργεια

- Οι περισσότερες ήπιες μορφές ενέργειας προέρχονται άμεσα ή έμμεσα από τον ήλιο:
 - Ήλιος
 - Ήλιος → Άνεμος
 - Ήλιος + Άνεμος → Εξάτμιση
 - Ήλιος + Νερό → Βλάστηση



Κατηγορίες τεχνολογιών ηλιακής ενέργειας



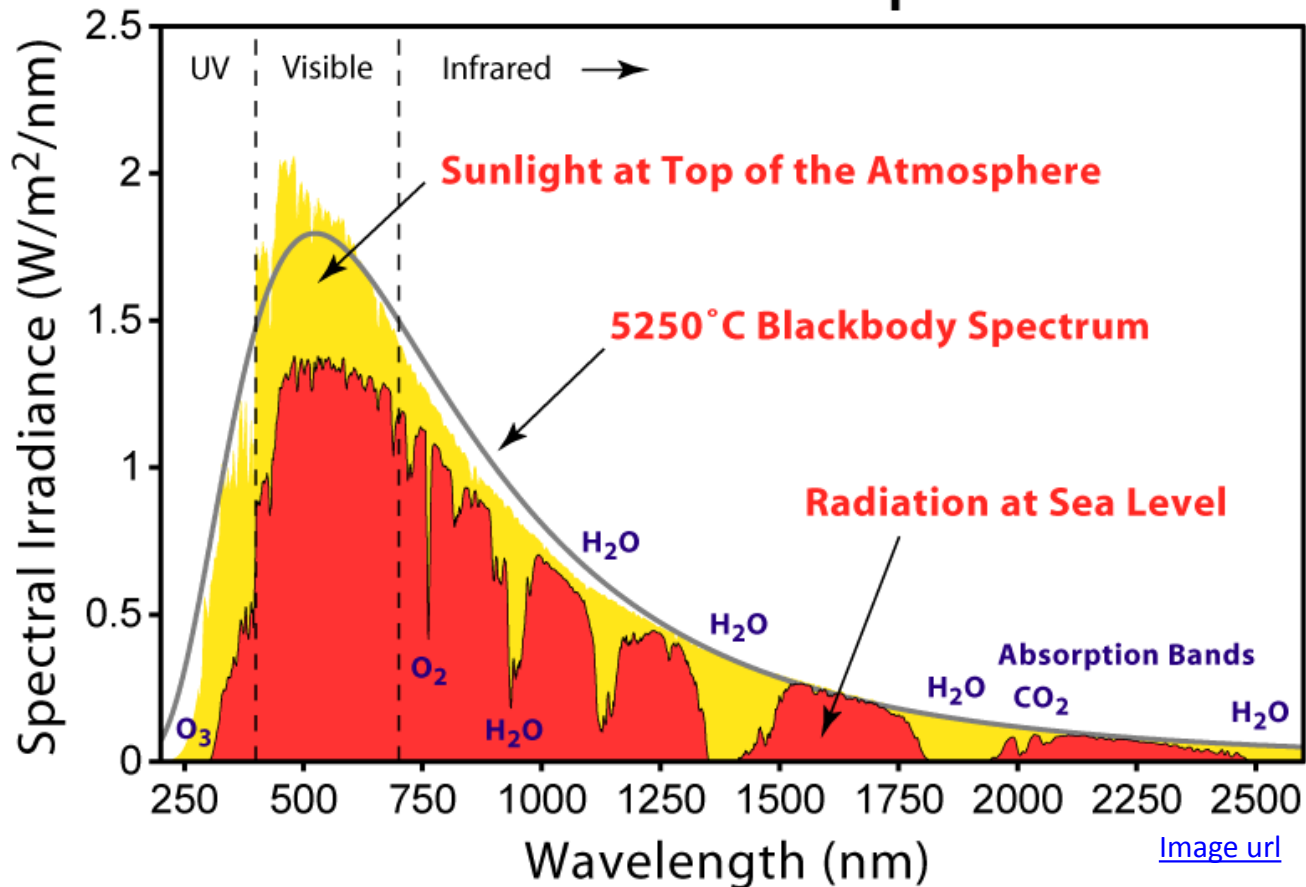
Ηλιακή Ενέργεια

- Η φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται από την θερμοκρασία του ήλιου που είναι περίπου 5900°K
- Το 99% της ηλιακής ενέργειας εμφανίζεται σε μήκος κύματος από 0.25 έως 4.0 μm
- Σύμφωνα με την κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας:
 - **Ορατό** [λ : 0.39-0.77 μm] περιέχει το **46.41%** της ενέργειας
 - **Υπεριώδες** [$\lambda < 0.4 \mu\text{m}$] περιέχει το **2.03%** της ενέργειας
 - **Υπόλοιπο** [$\lambda > 0.77 \mu\text{m}$] περιέχει το **~51 %** της ενέργειας



Ηλιακή Ενέργεια (Φάσμα)

Solar Radiation Spectrum



[Image url](#)



Ηλιακή Ενέργεια – Ηλιακή Σταθερά

- Ως ηλιακή σταθερά ορίζεται η ροή της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μία μοναδιαία επιφάνεια κάθετη στις ακτίνες του ήλιου στο όριο της ατμόσφαιρας:

$$I_{sc'} = 1367 \text{ W/m}^2$$

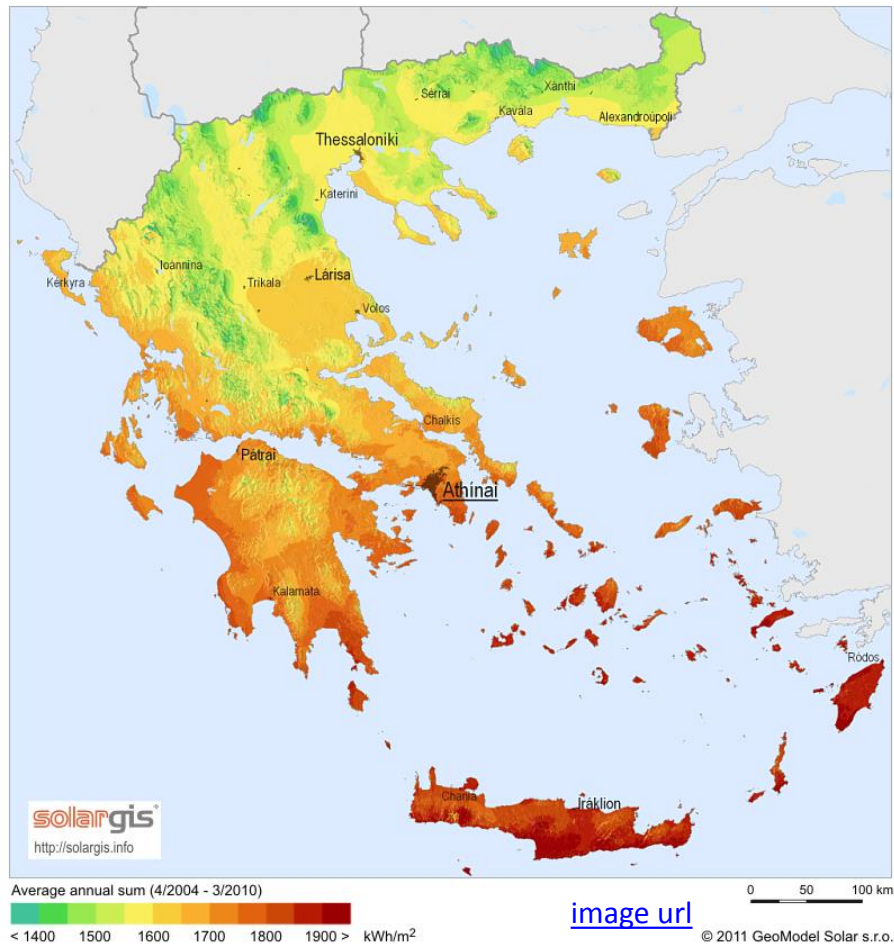
- Οι τιμές στην βιβλιογραφία κυμαίνονται από **1353** έως **1395** W/m²
- Λόγω της μεταβολής της απόστασης ήλιου-γης κατά την διάρκεια του έτους χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση για τον υπολογισμό της διαχρονικής μεταβολής της ηλιακής σταθεράς:

$$I_{sc} = I_{sc'} \cdot \left(1 + 0.033 \cdot \cos\left(\frac{360 \cdot dn}{365}\right) \right)$$



Ηλιακή Ενέργεια σε διάφορες περιοχές της Ελλάδος

Global horizontal irradiation Greece



- Άθροισμα ηλιακής ακτινοβολίας (άμεση και διάχυτη) στην Ελλάδα μεταβάλεται από ~1300 kWh/m² στο βορρά έως ~ 1900 kWh/m² στο νότο
- Κρήτη (Σητεία και Ιεράπετρα) μαζί με Ρόδο, οι περιοχές με τη μεγαλύτερη ηλιοφάνεια



Κίνηση Γης - Ήλιου

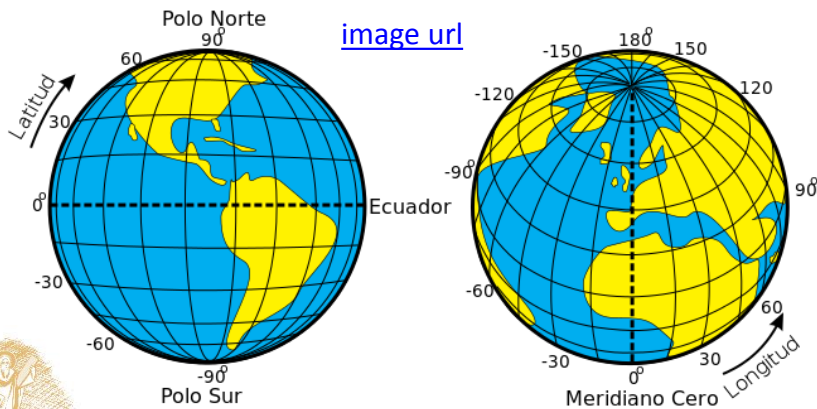
Βασικές Έννοιες

- Γεωγραφικό πλάτος και μήκος
- Απόκλιση Ηλίου
- Αληθής Ηλιακός Χρόνος
- Ύψος και αζιμούθιο Ηλίου
- Ωριαία γωνία Ηλίου

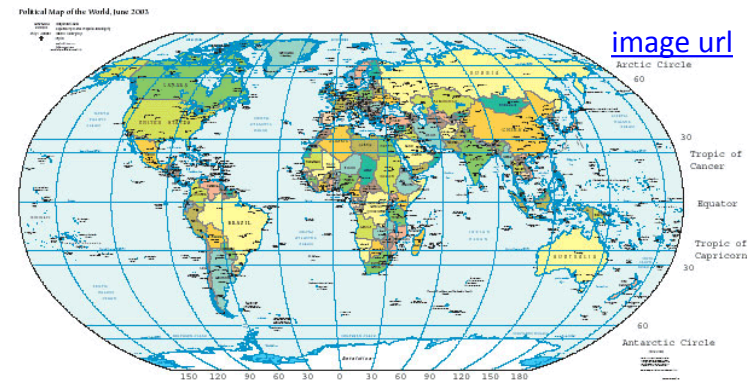


Κίνηση Γης - Ήλιου

- Το **γεωγραφικό πλάτος (latitude)** είναι ένα από τα δύο μεγέθη των γεωγραφικών συντεταγμένων με τα οποία προσδιορίζεται η θέση των διαφόρων τόπων στην επιφάνεια της γης. Συγκεκριμένα, προσδιορίζει την γωνιακή απόσταση των διάφορων τόπων από τον Ισημερινό, ο οποίος έχει γεωγραφικό πλάτος ίσο με 0.
- Το **γεωγραφικό μήκος (longitude)** έχει οριστεί κατά σύμβαση να μετράται από τον Μεσημβρινό που διέρχεται από το Αστεροσκοπείο του Γκρίνουιτς στην Μεγάλη Βρετανία καλούμενος **πρώτος μεσημβρινός** ή αριθμητικά **000° 00' 00"**. Το γεωγραφικό μήκος αποδίδεται σε μοίρες, πρώτα και δεύτερα της μοίρας ή και ως δεκαδικός αριθμός επί των προηγουμένων.



[image url](#)



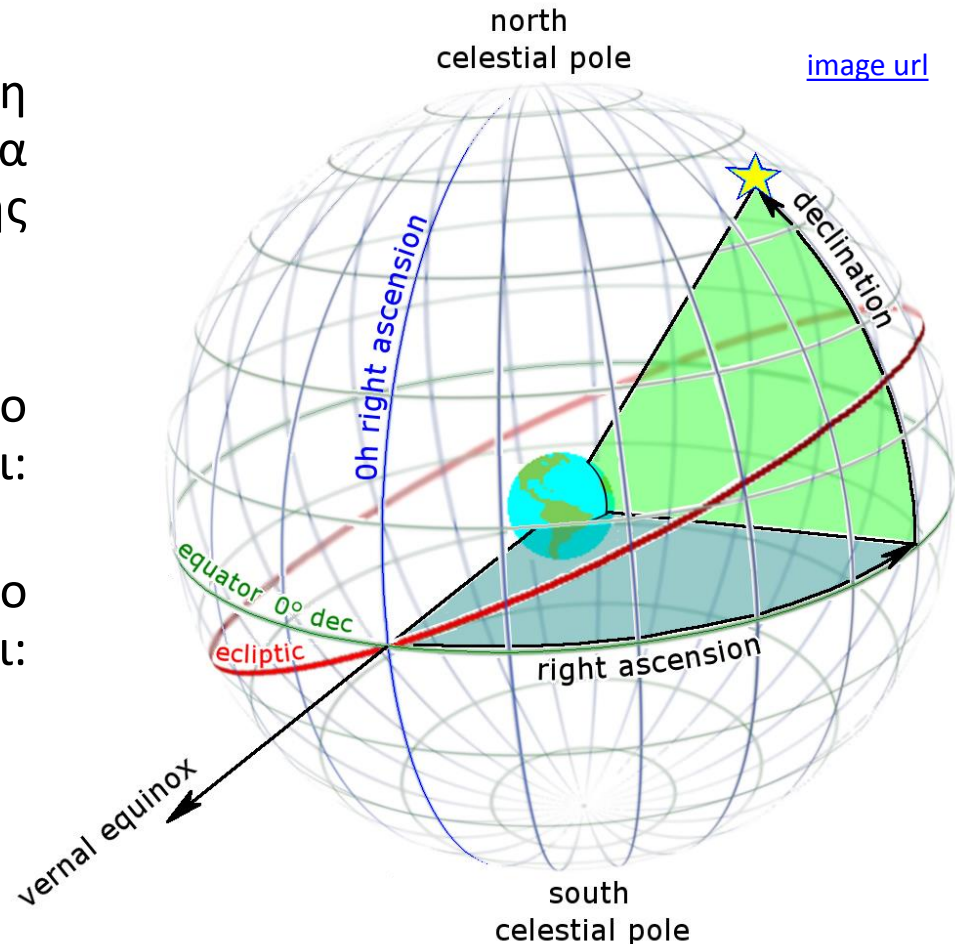
[image url](#)



Απόκλιση Ήλιου

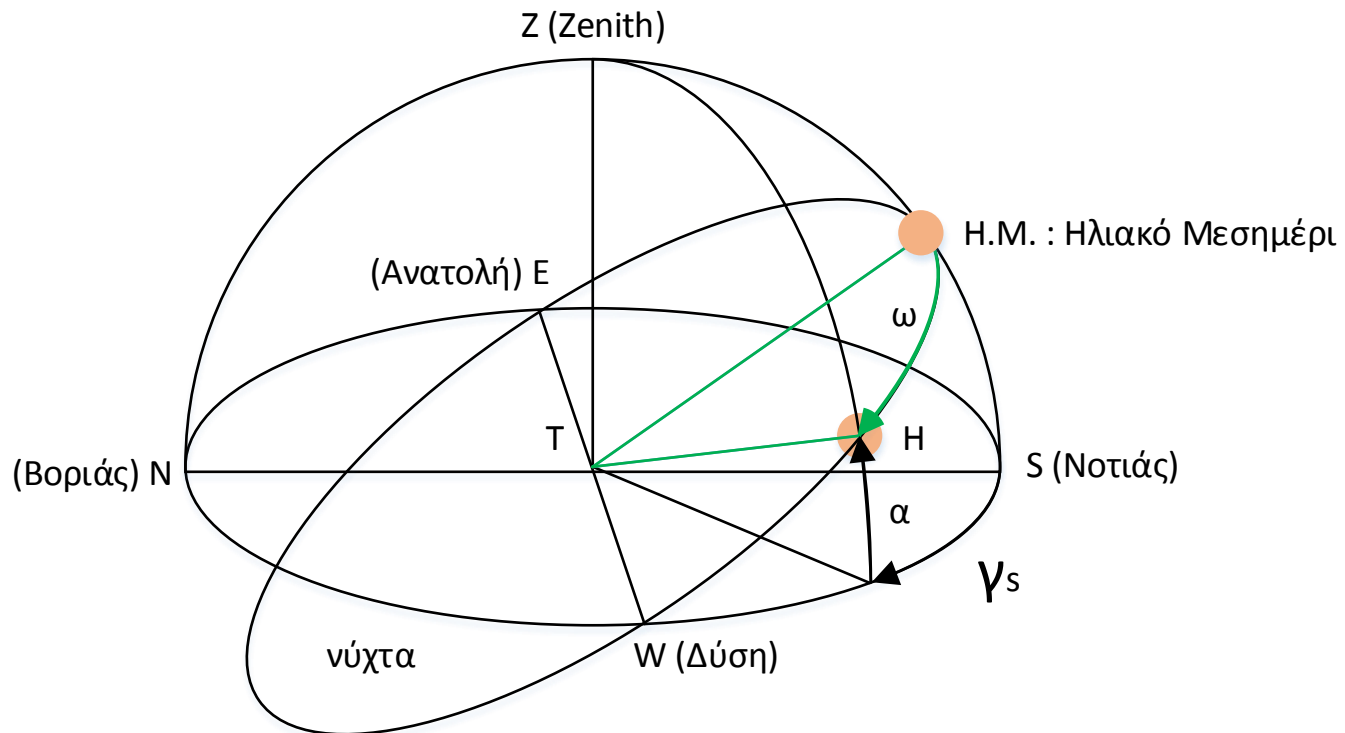
- Απόκλιση δ του ηλίου ορίζεται η γωνία ανάμεσα στην ευθεία ήλιου-γης και την προβολή της στο επίπεδο του ισημερινού
- Η μέγιστη τιμή της, κατά το θερινό ηλιοστάσιο, είναι: **23.45°**
- Η ελάχιστη τιμή της, κατά το χειμερινό ηλιοστάσιο, είναι: **-23.45°**

$$\delta = 23.45 \cdot \sin\left(\frac{365}{365 \cdot dn} + 248\right)$$



Αληθής Ηλιακός Χρόνος

Είναι ο χρόνος του οποίου η μέτρηση και ο προσδιορισμός βασίζεται στη γωνιακή μετακίνηση του ηλίου



Δε συμπίπτει με τον τοπικό ηλιακό χρόνο που είναι ίδιος σε μια χώρα



Αληθής Ηλιακός Χρόνος vs Τοπικός Χρόνος

Διόρθωση 1: Λόγω διαφοράς Γεωγραφικού Μήκους του μεσημβρινού του τόπου (L_e) με το κατά συνθήκη γεωγραφικό μήκος του μεσημβρινού της ατράκτου στην οποία βρίσκεται η χώρα (L_s)

Διόρθωση 2: Εξίσωση του χρόνου

Διόρθωση 1

- Πλήρης Περιστροφή 360° σε 24 h
- Γη χωρισμένη σε 24 ατράκτους (15° ανά άτρακτο)
- 15° ανά μία ώρα \leftrightarrow 4 min/μοίρα
- Διόρθωση ± 4 min/μοιρα * ($L_s - L_e$)



Αληθής Ηλιακός Χρόνος

- **Εξίσωση του χρόνου:** Το αίτιο της μεταβολής της χρονικής διάρκειας της ηλιακής ημέρας (ο χρόνος που απαιτείται ώστε ο ήλιος να συμπληρώσει ένα πλήρη κύκλο γύρω από ένα στάσιμο παρατηρητή στην γη) οφείλεται στους ακόλουθους παράγοντες:
 - Κάλυψη άνισων αποστάσεων κατά την περιστροφή της γης γύρω από το ήλιο
 - Κλίση του άξονα της γης ως προς το επίπεδο περιστροφής
- Ο ήλιος βρίσκεται στην ίδια θέση διαφορετικές ώρες κατά την διάρκεια του χρόνου. Αυτή η διαφορά της ώρας υπολογίζεται (σε λεπτά):

$$E_t = \left(\begin{array}{l} 0.000075 + 0.001868 \cdot \cos \Gamma - 0.032077 \cdot \sin \Gamma - \\ 0.0014615 \cdot \cos 2\Gamma - 0.04089 \cdot \sin 2\Gamma \end{array} \right) \cdot (229.18)$$



Αληθής Ηλιακός Χρόνος

- Όπου Γ είναι μία συνάρτηση που ορίζεται:

$$\Gamma = \frac{2 \cdot \pi \cdot (dn - 1)}{365}$$

- Τα δεδομένα της ηλιακής ακτινοβολίας καταγράφονται σε πραγματικό ηλιακό χρόνο. Ο πραγματικός ηλιακός χρόνος ΠΗΧ υπολογίζεται σαν συνάρτηση του τοπικού χρόνου και τον δύο διορθώσεων:

$$\text{ΠΗΧ} = \text{ΤΧ} \pm 4 \cdot (L_s - L_e) + E_t$$

- όπου (+) για το δυτικό ημισφαίριο και (-) για το ανατολικό



Ζενίθια γωνία – Ύψος Ηλίου – Ωριαία γωνία

- Για τον υπολογισμό της γωνίας πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας σε επιφάνεια τυχαίου προσανατολισμού και κλίσης, η οποία βρίσκεται στην επιφάνεια της γης ορίζονται οι ακόλουθοι παράμετροι:
 - **Αζιμουθιακή γωνία γ_s** : Γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του μεσημβρινού του τόπου και της προβολής στο οριζόντιο επίπεδο της ευθείας που συνδέει τον ήλιο με τον παρατηρητή
 - **Ζενίθια γωνία θ_z** : η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του τοπικού ζενίθ και την ευθεία παρατηρητή-ήλιου ($0 < \theta_z < 90$)

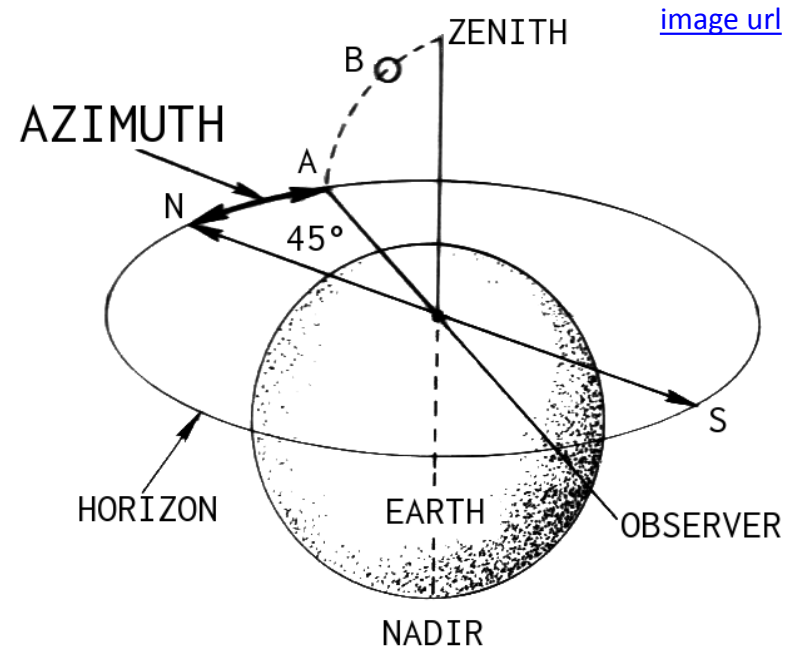
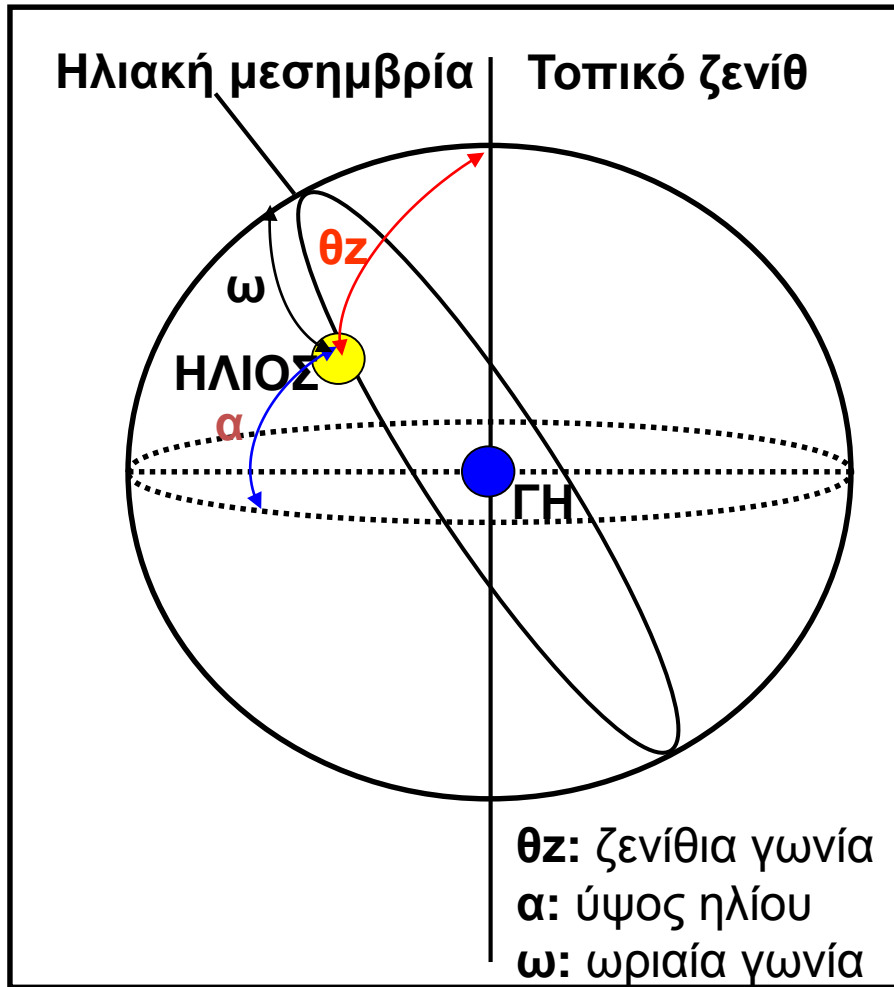


Ζενίθια γωνία – Ύψος Ηλίου – Ωριαία γωνία

- **Ύψος ηλίου α :** η γωνιακή απόσταση του ήλιου με τον ορίζοντα του τόπου (συμπληρωματική γωνία της θ_z)
- **Ωριαία γωνία ω :** η γωνιακή απόσταση του ηλίου από την ηλιακή μεσημβρία
 - Στην ηλιακή μεσημβρία $\omega=0^\circ$, ενώ κάθε ώρα η ω μεταβάλλεται κατά 15°
 - Τις πρωινές ώρες $\omega \rightarrow (+)$ και κατά τις απογευματινές $\omega \rightarrow (-)$



Ζενίθια γωνία – Ύψος Ηλίου – Ωριαία γωνία

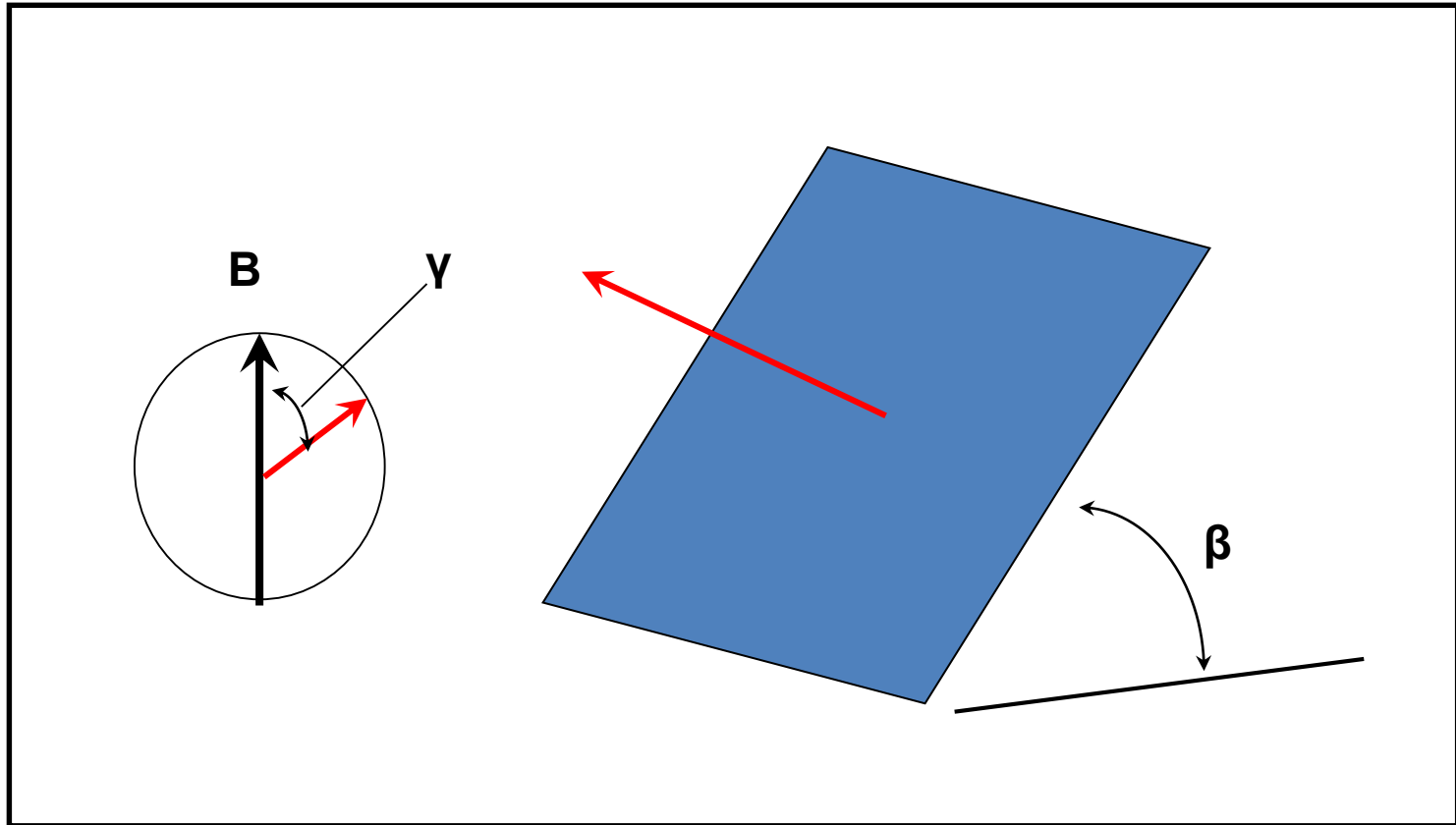


Κίνηση του ήλιου σε σχέση με κεκλιμένο επίπεδο

- Σε ότι αφορά στην θέση μίας επιφάνειας μελέτης ορίζουμε:
 - Κλίση β : την κλίση της επιφάνειας ως προς το οριζόντιο επίπεδο
 - Αζιμούθιο γ : η γωνία που σχηματίζει η προβολή του κάθετου διανύσματος της επιφάνειας στο οριζόντιο επίπεδο με τον άξονα Βορράς-Νότος
 - Για νότιο προσανατολισμό $\gamma=0$
 - Για γωνίες δυτικά $\gamma \rightarrow (+)$
 - Για γωνίες ανατολικά $\gamma \rightarrow (-)$



Κίνηση του ήλιου σε σχέση με κεκλιμένο επίπεδο



Λίγη τριγωνομετρία

- Για μια δεδομένη περιοχή γεωγραφικού πλάτους ϕ , η ζενίθια γωνία θ_z για οριζόντια επιφάνεια υπολογίζεται:

$$\cos \theta_z = \sin \delta \cdot \sin \phi + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \omega = \sin \alpha$$

- Η ωριαία γωνία δύσης ω_s είναι:

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \phi \cdot \tan \delta)$$

- Η διάρκεια της ημέρας (σε ώρες) είναι:

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



Λίγη τριγωνομετρία

- Για την περίπτωση επιφάνειας η οποία έχει κλίση β και αζιμούθιο μηδέν (νότιος προσανατολισμός) η γωνία πρόσπτωσης θ_o είναι:

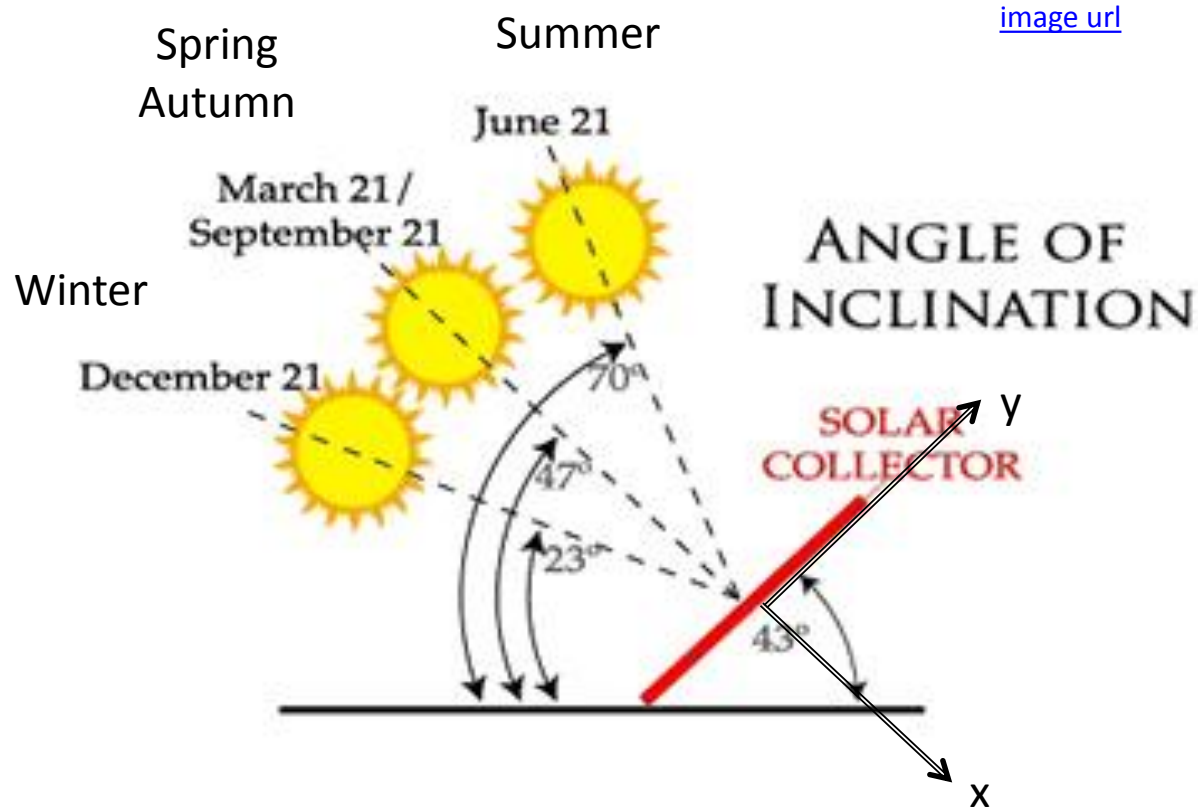
$$\cos \theta_o = \sin \delta \cdot \sin(\varphi - \beta) + \cos \delta \cdot \cos(\varphi - \beta) \cdot \cos \omega = \sin \alpha$$

- Η ωριαία γωνία δύσης ω_s είναι:

$$\omega_s' = \cos^{-1}(-\tan(\varphi - \beta) \cdot \tan \delta)$$



Λίγη τριγωνομετρία



[image url](#)

Ανάλογα με την εποχή, μπορούμε να τροποποιήσουμε το επίπεδο κλίσης για να αυξηθεί η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας!



Προσπίπτουσα Ηλιακή Ακτινοβολία

- **Άμεση ηλιακή ακτινοβολία:** είναι η ηλιακή ακτινοβολία που λαμβάνεται χωρίς να έχει υποστεί σκέδαση στην ατμόσφαιρα
- **Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία:** είναι η ηλιακή ακτινοβολία που έχει υποστεί σκέδαση στην ατμόσφαιρα
- **Ολική ηλιακή ακτινοβολία:** είναι το άθροισμα της άμεσης και της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνεται σε μία επιφάνεια

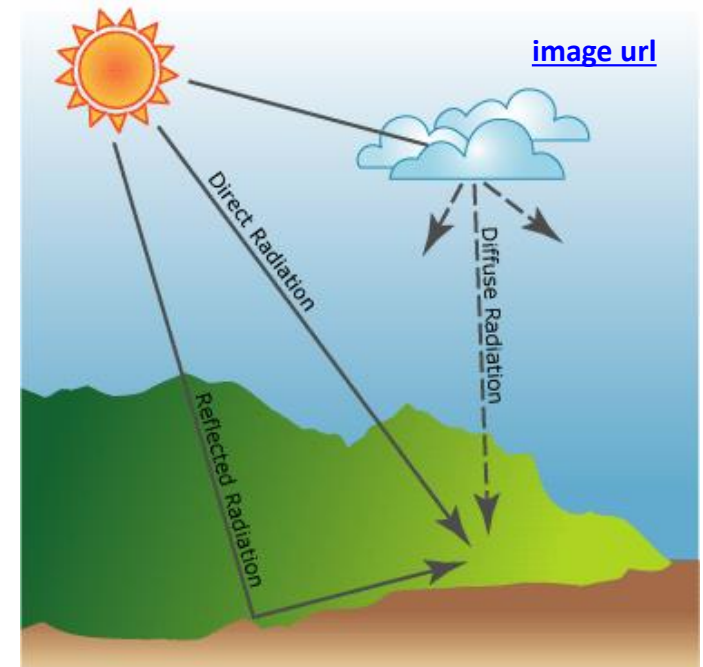
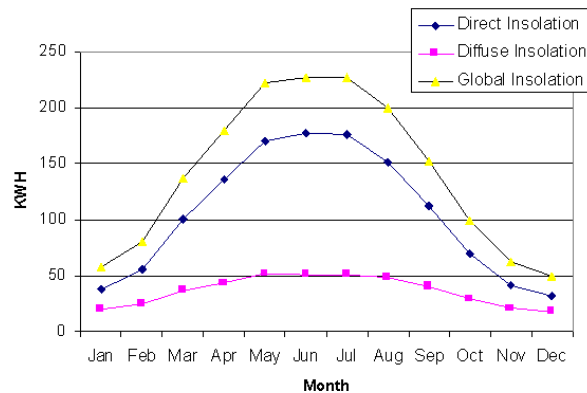
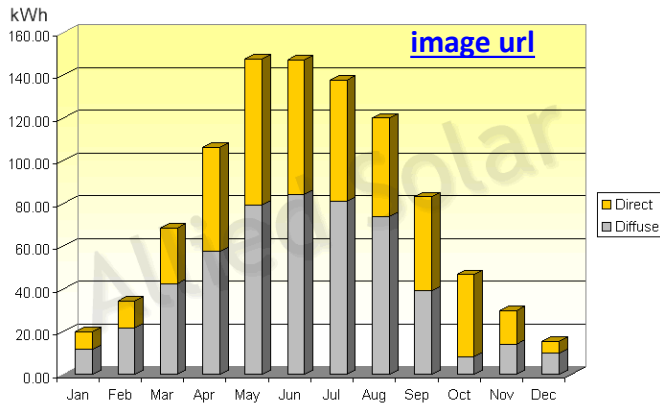


Προσπίπτουσα Ηλιακή Ακτινοβολία

- **Πυκνότητα ισχύος ακτινοβολίας I** (irradiance, W/m^2): είναι ο ρυθμός με τον οποίο η ενέργεια που ακτινοβολείται πέφτει σε μία επιφάνεια, ανά μονάδα επιφάνειας
- **Πυκνότητα ενέργειας ακτινοβολίας H** (irradiation, J/m^2): είναι η προσπίπτουσα σε μία επιφάνεια ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας και υπολογίζεται με την ολοκλήρωση της πυκνότητας ισχύος σε κάποιο χρονικό διάστημα (1 ώρα, 1 μέρα)



Προσπίπτουσα Ηλιακή Ακτινοβολία



Η σχετική συνεισφορά της άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας στη συνολική εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την περιοχή



Προσπίπτουσα Ηλιακή Ακτινοβολία

- Η γήινη ατμόσφαιρα αποτελείται από (κατ' όγκο):
 - 78% άζωτο
 - 20.9% οξυγόνο
 - 0.9% αργό
 - 0.33% διοξείδιο του άνθρακα
 - Υδρατμούς και σωματίια
- Η ηλιακή ακτινοβολία κατά την είσοδό της στην ατμόσφαιρα υπόκειται απορρόφηση και σκέδαση (κυριότεροι απορροφητές: νέφη, υδρατμοί, O_3 , SO_2)
- Η ακτινοβολία που σκεδάζεται είναι η **διάχυτη** και ένα μέρος της επιστρέφει στο διάστημα
- Η ακτινοβολία που φτάνει στο έδαφος χωρίς σκέδαση και μόνο με απορρόφηση είναι η **άμεση** ηλιακή ακτινοβολία



Άμεση Ηλιακή Ακτινοβολία

- Για τον υπολογισμό της φασματικής κατανομής της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας είναι απαραίτητο να είναι γνωστή η φασματική κατανομή της διαπερατότητας κάθε ατμοσφαιρικού συστατικού που συνεισφέρει στην μείωση της ακτινοβολίας



Άμεση Ηλιακή Ακτινοβολία

- Έτσι για την άμεση ηλιακή ακτινοβολία (υπό ανέφελο ουρανό) που προσπίπτει κάθετα σε ένα επίπεδο ισχύει:

$$I_{d\lambda} = I_{o\lambda} \cdot T_{r\lambda} \cdot T_{a\lambda} \cdot T_{w\lambda} \cdot T_{o\lambda} \cdot T_{u\lambda}$$

όπου: $I_{d\lambda}$ η ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια του εδάφους

$T_{r\lambda}$ η διαπερατότητα λόγω μοριακής σκέδασης

$T_{a\lambda}$ η διαπερατότητα λόγω αεροσόλ

$T_{w\lambda}$ η διαπερατότητα λόγω υδρατμών

$T_{o\lambda}$ η διαπερατότητα λόγω όζοντος

$T_{u\lambda}$ η διαπερατότητα λόγω των λοιπών ατμοσφαιρικών αερίων



Ηλιακή Ακτινοβολία

- Η φασματική κατανομή της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει επί οριζόντιας επιφάνειας στο έδαφος είναι αποτέλεσμα των σκεδάσεων και ανακλάσεων που λαμβάνουν χώρα στην ατμόσφαιρα, σε σχέση πάντα με το μήκος κύματος (διαφορετικοί συντελεστές για διαφορετικά μήκη κύματος)



Ηλιακή Ακτινοβολία

- Η φασματική κατανομή της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας (υπό ανέφελο ουρανό) υπολογίζεται ως συνάρτηση 3 όρων:

$$I_{df\lambda} = I_{dr\lambda} + I_{da\lambda} + I_{dm\lambda}$$

όπου: $I_{dr\lambda}$ η διάχυτη ακτινοβολία μήκους λ που προήλθε μετά από μοριακή σκέδαση χωρίς να λαμβάνονται υπ' όψιν φαινόμενα πολλαπλών ανακλάσεων

$I_{da\lambda}$ η διάχυτη ακτινοβολία μήκους λ λόγω σκέδασης σε αεροσόλ

$I_{dm\lambda}$ η διάχυτη ακτινοβολία μήκους λ λόγω πολλαπλών ανακλάσεων



Ηλιακή Ακτινοβολία

- Η φασματική κατανομή της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας στο έδαφος, σε οριζόντια επιφάνεια, υπό ανέφελο ουρανό, είναι δυνατόν να υπολογιστεί ως το άθροισμα της άμεσης και της διάχυτης ακτινοβολίας που φτάνει στο έδαφος:

$$I_{\lambda} = I_{d\lambda} \cdot \cos \theta_z + I_{df\lambda}$$

- Σημαντική είναι η χρήση μοντέλων για τον υπολογισμό της άμεσης και της διάχυτης ακτινοβολίας όταν δεν υπάρχουν μετρήσεις για ένα τόπο. Υπάρχουν δύο περιπτώσεις για την κατάσταση του ουρανού που απαιτούν δύο διαφορετικά μοντέλα:
 - Καθαρός ουρανός
 - Νεφοσκεπής ουρανός



Ηλιακή Ακτινοβολία

- **Κατανομή καθαρών και μη ημερών και ωρών.** Ο μέσος μηνιαίος δείκτης αιθριότητας $\langle K_T \rangle$ ορίζεται ως το πηλίκο της μέσης μηνιαίας ακτινοβολίας σε οριζόντια επιφάνεια προς την μέση μηνιαία ημερήσια ακτινοβολία στο όριο της ατμόσφαιρας:
 - $\langle K_T \rangle = \langle H \rangle / \langle H_0 \rangle$
- **Ο ημερήσιος δείκτης αιθριότητας** ορίζεται με βάση τις ημερήσιες ακτινοβολίες:
 - $K_T = H / H_0$
- **Τέλος ο ωριαίος δείκτης αιθριότητας** υπολογίζεται με βάση τις ωριαίες ακτινοβολίες:
 - $k_T = I / I_0$



Ηλιακή Ακτινοβολία

- Οι τιμές $\langle H \rangle$, H και I υπολογίζονται από τις μετρήσεις ενώ οι τιμές $\langle H_o \rangle$, H_o και I_o σε οριζόντια επιφάνεια υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$H_o = \frac{24 \cdot 3600 \cdot I_{sc}}{\pi} \left[1 + 0.33 \cdot \cos\left(\frac{360 \cdot n}{365}\right) \right] \cdot \left[\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s + \frac{2 \cdot \pi \cdot \omega_s}{360} \cdot \sin \varphi \cdot \sin \delta \right]$$

$$I_o = \frac{12 \cdot 3600 \cdot I_{sc}}{\pi} \left[1 + 0.33 \cdot \cos\left(\frac{360 \cdot n}{365}\right) \right] \cdot \left[\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \frac{2 \cdot \pi \cdot (\omega_2 - \omega_1)}{360} \cdot \sin \varphi \cdot \sin \delta \right]$$

όπου $I_{sc} = 1367 \text{ W/m}^2$, n η Ιουλιανή ημέρα, φ το γεωγραφικό πλάτος, δ η απόκλιση, ω_s η ωριαία γωνία δύσης του ηλίου, ω_1 και ω_2 οι ωριαίες γωνίες στην αρχή και στο τέλος της ώρας



Ηλιακή Ακτινοβολία

- Για τον υπολογισμό της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στο έδαφος και προσπίπτει σε επιφάνειες κλίσης β και αζιμουθίου γ :

$$I_{b\beta\gamma} = I_b \cdot r_b$$

όπου I_b είναι η άμεση ακτινοβολία που προσπίπτει σε οριζόντιο επίπεδο και r_b είναι ο διορθωτικός παράγοντας που δίνεται από την σχέση:

$$r_b = \frac{\cos \vartheta_o}{\cos \vartheta_z}$$

όπου θ_z είναι η ζενίθια γωνία και θ_o είναι η γωνία πρόσπτωσης στην κεκλιμένη επιφάνεια



Ηλιακή Ακτινοβολία

- Η γωνία πρόσπτωσης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας στην κεκλιμένη επιφάνεια υπολογίζεται από την σχέση:

$$\begin{aligned} \cos \vartheta_o &= (\sin \varphi \cdot \cos \beta - \cos \varphi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma) \cdot \sin \delta + \\ &+ (\cos \varphi \cdot \cos \beta + \sin \varphi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma) \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \\ &+ \cos \delta \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega \end{aligned}$$

- Για τον υπολογισμό του ημερήσιου αθροίσματος της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας $H_{b\beta\gamma}$ που προσπίπτει σε επιφάνεια κλίσης β και αζιμουθίου γ έχουμε:

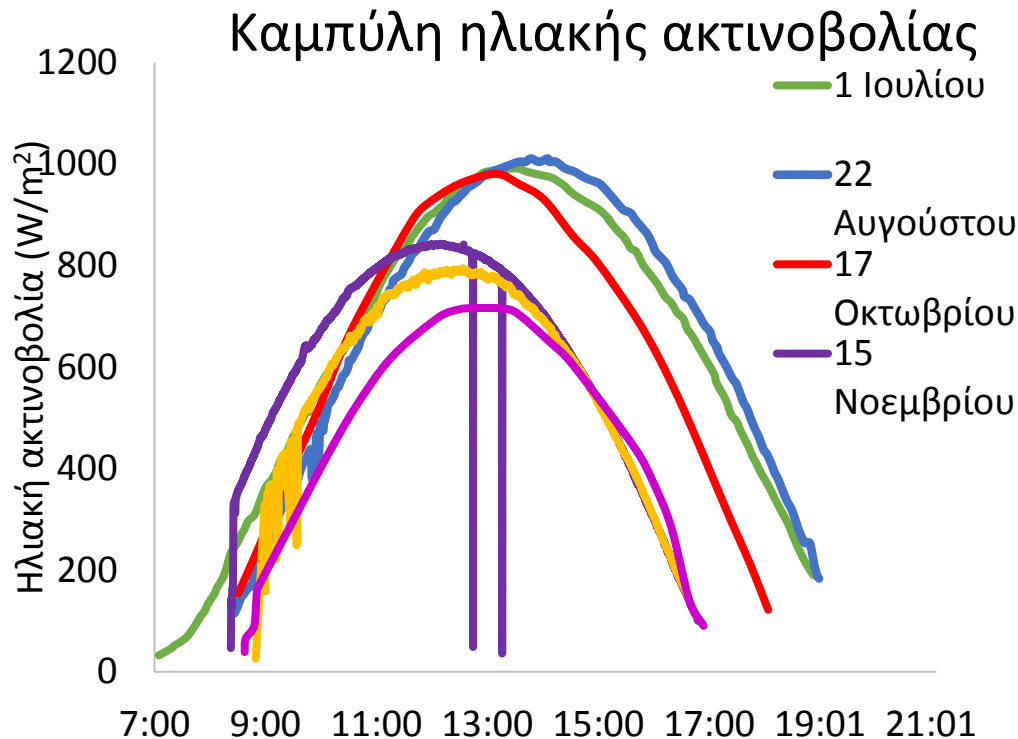
$$H_{b\beta\gamma} = H_b \cdot R_b$$

όπου H_b είναι το ημερήσιο άθροισμα της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο και R_b μία διορθωτική παράμετρος ($R_b = \dots$)



Παραδείγματα Προσπίπτουσας Ηλιακής Ακτινοβολίας

Κτίριο Χημικών Μηχανικών Πάτρα



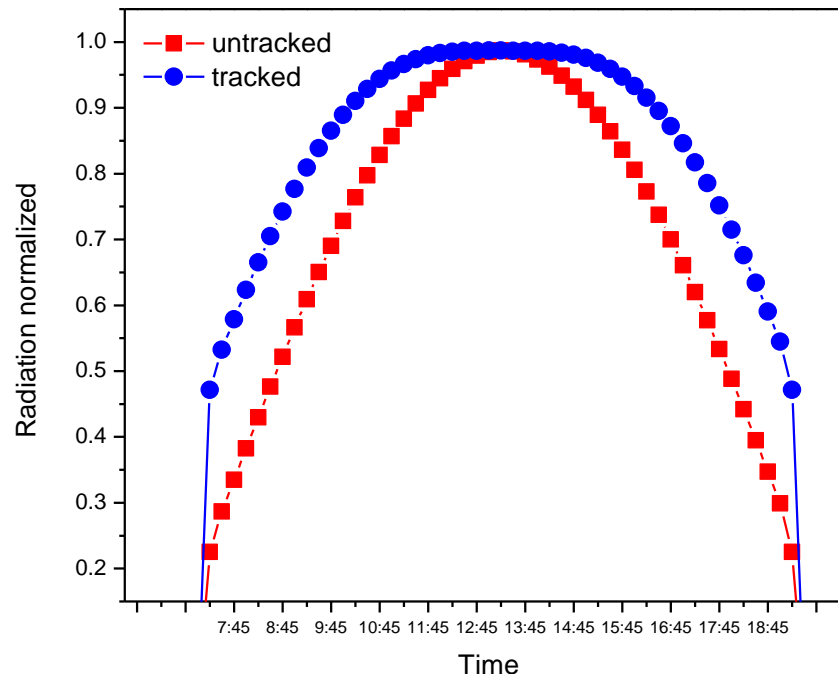
$\phi \sim 38.14^\circ$, $\lambda \sim 21.4^\circ$

Inclination = 28°



Παραδείγματα Προσπίπτουσας Ηλιακής Ακτινοβολίας

Κτίριο Χημικών Μηχανικών Πάτρα



Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε σταθερό κεκλιμένο επίπεδο 30° και σε επιφάνεια προσαρμοσμένη σε δισδιάστατους ηλιοπαρακολουθητές



Τέλος Ενότητας

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Όνομα μέλους ή μελών ΔΕΠ 2014:
Ελευθέριος Αμανατίδης. «Ανανεώσιμες Μορφές Ενέργειας». Έκδοση: 1.0.
Πάτρα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:
<https://eclass.upatras.gr/courses/CMNG2123/>.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την 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.



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. 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».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.