|  |  |
| --- | --- |
|  | **logo_LapUp2** |

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ**

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΣΙΚΗΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ**

**«Επίδραση της ατμόσφαιρας στην ηλιακή ακτινοβολία και μέθοδοι προσαρμογής στην τοποθεσία»**

**Διπλωματική Εργασία της Φοιτήτριας**

**ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΚΑΪΡΑΚΤΙΔΗ**

**Α.Μ. 1068622**

**Επιβλέπων**

**Ανδρέας Καζαντζίδης**

**Καθηγητής**

Στον φίλο μου Παναγιώτη Δημουλά

που έφυγε νωρίς

**ΠΡΟΛΟΓΟΣ**

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Φυσικής της Ατμόσφαιρας του τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Πατρών υπό την επίβλεψη του καθηγητή κ. Ανδρέα Καζαντζίδη. Θα ήθελα πραγματικά να τον ευχαριστήσω για την άψογη συνεργασία μας καθώς και για την καθοδήγηση του, όχι μόνον όσον αφορά ζητήματα της διπλωματικής, αλλά και για την συνολική ακαδημαϊκή μου πορεία. Είναι ένας άνθρωπος που εκτιμώ και θαυμάζω και που μέσα από αυτή την εργασία μου έδωσε την δυνατότητα να διευρύνω τις γνώσεις και ικανότητες μου ακόμα και σε θέματα που ξεπερνούν τον τομέα της Φυσικής της Ατμόσφαιρας. Η στάση του και ο χαρακτήρας του αποτέλεσαν για μένα κίνητρο και έμπνευση ώστε να συνεχίσω διαρκώς να βελτιώνομαι και να ξεπερνάω τον εαυτό μου. Για όλα αυτά του είμαι ευγνώμων και ευελπιστώ να συνεργαστούμε ξανά στο μέλλον.

Άλλο ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στον μεταδιδακτορικό ερευνητή Βασίλη Σαλαμαλίκη ο οποίος αποτέλεσε οδηγό σε ζητήματα και τομείς πρωτόγνωρους για εμένα. Η αρωγή του ήταν πολύτιμη και η διεκπεραίωση αυτής της εργασίας θα ήταν πολύ δύσκολη χωρίς την συμβολή του. Είμαι ευγνώμων για τον χρόνο και την βοήθειά του καθώς και για την διδασκαλία του.

Ευχαριστώ πολύ τον Άγγελο Αναγνωστόπουλο για την ψυχολογική υποστήριξη, τις αμέτρητες φορές που ήταν εκεί για εμένα και για την διαρκή συμπαράσταση και στήριξη που μου έχει δείξει όλα αυτά τα χρόνια. Τον ευχαριστώ που με τον τρόπο του με προκαλεί να βελτιώνομαι διαρκώς χωρίς όμως να λησμονώ να απολαμβάνω τις χαρές της ζωής.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον Νίκο Σταυράκη και την Φαίη ……… οι οποίοι ήταν εκεί καθ΄ όλη την διάρκεια των σπουδών μου και μου παρείχαν απλόχερα ότι βοήθεια χρειαζόμουν.

Τέλος, ευχαριστώ τους οικείους μου ανθρώπους, συγγενείς και φίλους, που πίστεψαν σε εμένα και με στήριξαν. Ευχαριστώ πολύ τον Θέμη Προδρομάκη για την διαρκή καθοδήγηση και το ενδιαφέρον του. Τον θεωρώ πρότυπο όχι μόνο επιστήμονα αλλά κυρίως ανθρώπου και δεν θα ήμουν στην θέση που είμαι σήμερα χωρίς εκείνον. Ευχαριστώ την οικογένειά μου και ιδιαιτέρως τις αδερφές μου Μαρία και Νεφέλη που είναι πάντα εκεί για εμένα και τις αγαπώ πολύ.

**ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

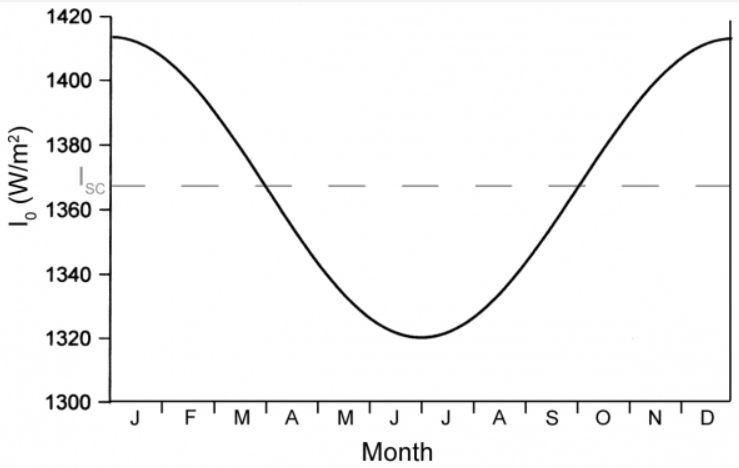
**ABSTRACT**

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Ηλιακή Ακτινοβολία**

* 1. **Εισαγωγή**

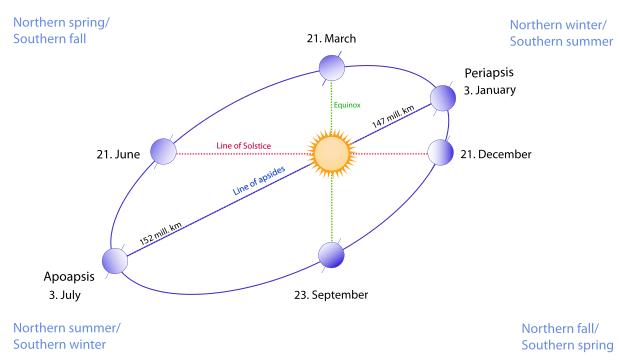
1.1.1 Κίνηση της Γης γύρω από τον Ήλιο

Η Γη ως γνωστόν, δεν παραμένει ακίνητη με το πέρας του χρόνου αλλά εκτελεί μία ελλειψοειδή τροχιά γύρω από τον Ήλιο. Η περίοδος περιστροφής της, ισούται με ένα ημερολογιακό έτος. Αποτέλεσμα αυτής της κίνησης είναι η μεταβολή της ποσότητας της ακτινοβολίας που δέχεται η Γη από τον Ήλιο (Εικόνα 1). Συγκεκριμένα, όταν στο Βόρειο Ημισφαίριο επικρατεί χειμώνας, η Γη βρίσκεται στο περιήλιο (3 Ιανουαρίου), όπου η απόσταση μεταξύ Ήλιου και Γης γίνεται ελάχιστη. Αυτό σημαίνει πως η ακτινοβολία που δέχεται η Γη είναι περισσότερη. Αντίστοιχα, όταν στο Βόρειο Ημισφαίριο επικρατεί καλοκαίρι, η Γη βρίσκεται στο αφήλιο (3 Ιουλίου) οπότε και η ακτινοβολία που δέχεται είναι λιγότερη. Η μέση ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην Γη ονομάζεται ηλιακή σταθερά και ισούται με 1380 Wm-2. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί πως η κίνηση της Γης γύρω από τον Ήλιο δεν εξηγεί την εμφάνιση των εποχών.



Εικόνα 1:Μεταβολή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας με τον χρόνο (<https://www.itacanet.org/the-sun-as-a-source-of-energy/part-2-solar-energy-reaching-the-earths-surface/>)

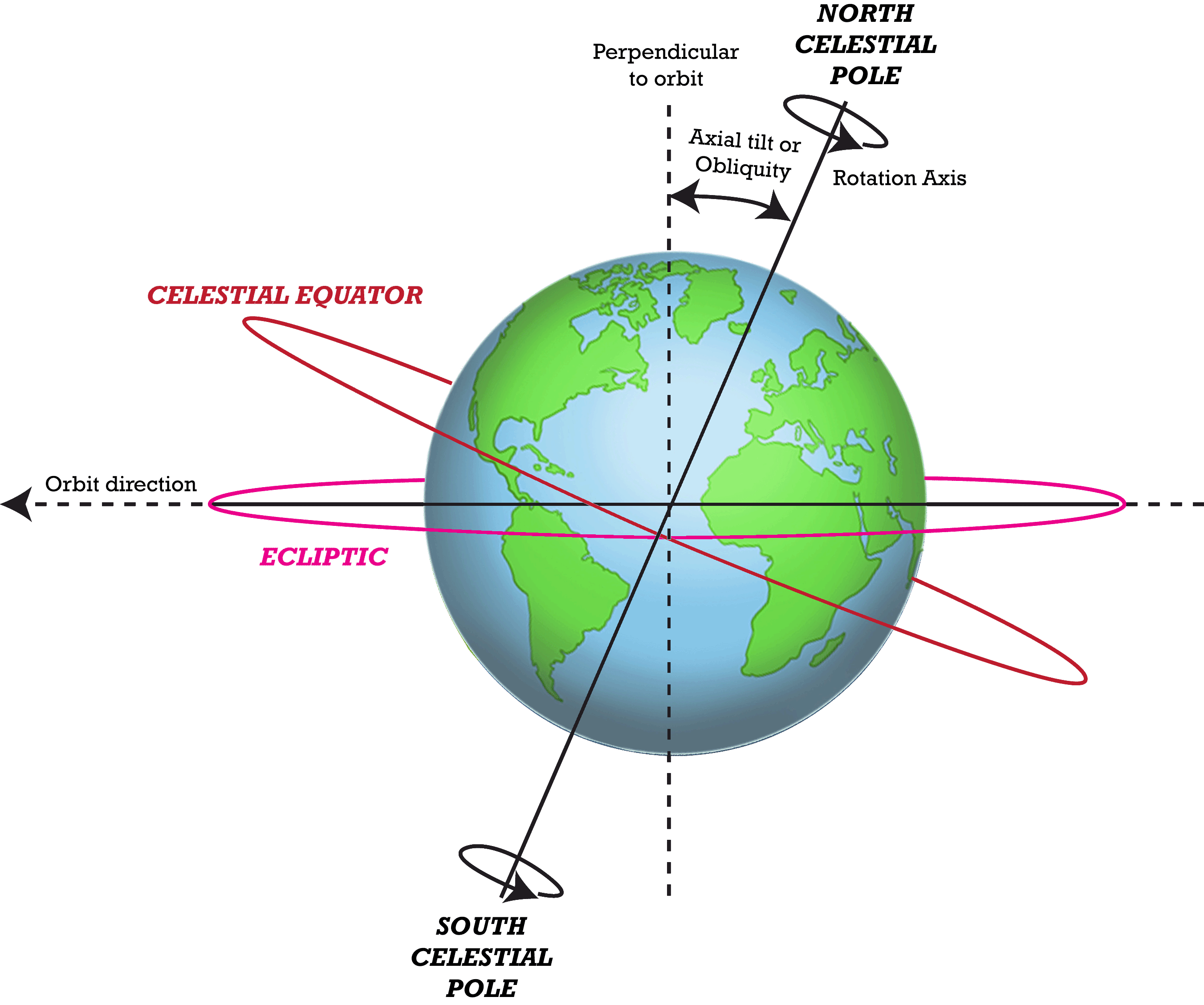
Η κίνηση της Γης δεν επηρεάζει μόνο την ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας αλλά και την διάρκεια για την οποία ένας τόπος δέχεται την ακτινοβολία αυτή. Για παράδειγμα στην εαρινή και την φθινοπωρινή Ισημερία (21 Μαρτίου και 23 Σεπτεμβρίου αντίστοιχα) η διάρκεια της ημέρας και της νύχτας είναι ίση και διαρκεί για 12 ώρες. Όμως στο χειμερινό και θερινό ηλιοστάσιο (21 Δεκεμβρίου και 21 Ιουνίου) παρατηρούμε μεγαλύτερη διάρκεια την νύχτα και την μέρα αντίστοιχα. Αυτό επηρεάζει πολλές εφαρμογές που σχετίζονται με την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας.



Εικόνα 2 : Κίνηση Γης γύρω από τον Ήλιο (<https://en.wikipedia.org/wiki/Earth%27s_orbit>)

1.1.2 Κίνηση της Γης γύρω από τον εαυτό της

Ταυτόχρονα, άλλος ένας παράγοντας που επηρεάζει την ποσότητα της ακτινοβολίας που φτάνει σε έναν τόπο είναι η περιστροφή της Γης γύρω από τον εαυτό της. Η περιστροφή αυτή έχει διάρκεια 24 ώρες. Ο άξονας περιστροφής της Γης σχηματίζει μία γωνία δ με το επίπεδο της εκλειπτικής την οποία ονομάζουμε απόκλιση. Η απόκλιση μεταβάλλεται από -23,45ο έως +23,45ο ανάλογα με τις μέρες του χρόνου και λαμβάνει αρνητικές τιμές τον χειμώνα, θετικές το καλοκαίρι και μηδενίζεται κατά την διάρκεια των Ισημεριών όπου οι ακτίνες του ήλιου πέφτουν κάθετα στην Γη. Με βάση την απόκλιση ερμηνεύονται και οι εποχές του έτους.

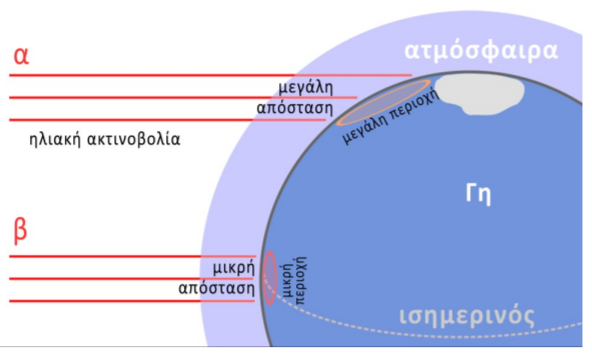


Εικόνα 3 : Περιστροφή Γης (<https://www.ck12.org/na/Earths-Motion-in-Space-Gr-4-5-1/lesson/Earths-Motion-in-Space-SCIGR5/>)

Η απόκλιση δείχνει το πόσο ψηλά βρίσκεται ο Ήλιος στον ουρανό. Το καλοκαίρι που παίρνει την μέγιστη τιμή της, ο Ήλιος βρίσκεται στο μέγιστο ύψος .Εφόσον ερμηνεύει την ύπαρξη των εποχών, είναι αναμενόμενο ότι εξαρτάται από την ημέρα του έτους. Συμβολίζοντας τις μέρες του έτους με το γράμμα n και θεωρώντας ότι την 1η Ιανουαρίου έχουμε n=1 τότε η απόκλιση δίνεται από την παρακάτω σχέση.

[1.1]

Με την περιστροφή της η Γη, επηρεάζει και τα ποσά ηλιακής ενέργειας που δέχεται ένας τόπος κατά την διάρκεια του έτους καθώς άλλοτε βρίσκεται με τον Βόρειο Πόλο στραμμένο προς τον Ήλιο και άλλοτε με τον Νότιο Πόλο. Στην εικόνα 4 παρουσιάζεται η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στην Γη για διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη. Παρατηρούμε ότι στον Ισημερινό όπου η ακτινοβολία προσπίπτει κάθετα, αποδίδεται περισσότερη ενέργεια σε σχέση με την ενέργεια που αποδίδεται σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη καθώς η ίδια τιμή ηλιακής έντασης κατανέμεται σε μικρότερη επιφάνεια. Επίσης στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, τα φωτόνια κάνουν μεγαλύτερες διαδρομές οπότε σκεδάζονται και απορροφώνται περισσότερο (περισσότερα στις υποενότητες 1.5, 1.6, 1.7) οπότε η ακτινοβολία εξασθενεί. Καθώς η Γη λοιπόν περιστρέφεται, σε διαφορετικές εποχές άλλοι τόποι δέχονται την ακτινοβολία κάθετα και άλλοι υπό γωνία.



Εικόνα 4: Πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας στην Γη

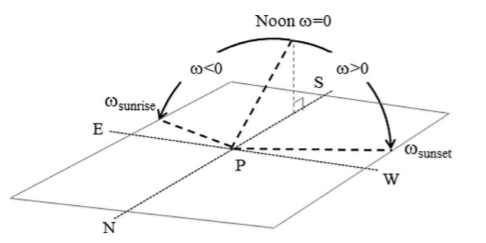
Ένα ακόμα αποτέλεσμα της περιστροφής της Γης γύρω από τον εαυτό της είναι η μεταβολή της διάρκειας της ηλιοφάνειας ενός τόπου. Το καλοκαίρι, όπου η απόκλιση δ είναι θετική, έχουμε περισσότερες ώρες ηλιοφάνειας σε σχέση με τον χειμώνα. Οπότε, παρά το γεγονός ότι το καλοκαίρι ο Ήλιος βρίσκεται ψηλότερα στον ουρανό, έχουμε μεγαλύτερα ποσά συνολικής ενέργειας το καλοκαίρι σε σχέση με τον χειμώνα.

* 1. **Βασικές αρχές ηλιακής γεωμετρίας** 
     1. Ηλιακή γεωμετρία

*Ωριαία γωνία*

Για έναν παρατηρητή στην Γη, η κατάσταση διαισθητικά διαφέρει από την πραγματικότητα. Ο παρατηρητής θεωρεί πως αυτός είναι ακίνητος και πως ο Ήλιος είναι αυτός που κινείται κατά την διάρκεια της ημέρας και του έτους πάνω στην εκλειπτική. Αυτό ονομάζεται φαινόμενη κίνηση του Ηλίου.

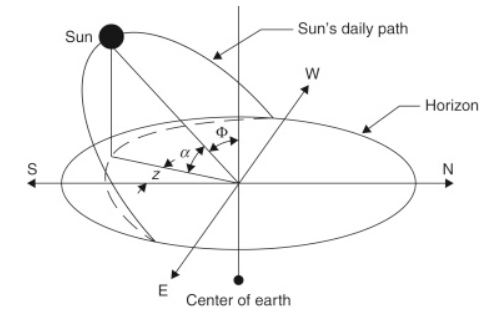
Για να προσδιορίσουμε την θέση του Ηλίου κατά την διάρκεια της ημέρας, χρησιμοποιούμε την ωριαία γωνία που συμβολίζεται με τα γράμματα h ή ω. Η ωριαία γωνία σε ένα σημείο Ρ στην επιφάνεια της Γης μετράει το γωνιακό τόξο μεταξύ του επιπέδου που σχηματίζεται από την κατακόρυφο, από το γεωγραφικό μήκος της θέσης του παρατηρητή και από την θέση του ήλιου για μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Ουσιαστικά δείχνει το πόσο δυτικά ή ανατολικά είναι μετατοπισμένος ο Ήλιος σε σχέση με τον μεσημβρινό του τόπου. Μεταβάλλεται κατά την διάρκεια της ημέρας και είναι αρνητική το πρωί, μηδενική κατά την ηλιακή μεσημβρία και θετική το βράδυ. Οι τιμές της κυμαίνονται από -180ο έως +180ο.



Εικόνα 5: Ωριαία γωνία (Fundamentals of solar radiation - Lucien Wald)

*Ηλιακή ζενίθια γωνία και ηλιακό ύψος*

Η ωριαία γωνία δείχνει την σχετική μετατόπιση του Ήλιου προς τα δυτικά ή τα ανατολικά. Αν θέλουμε να μελετήσουμε το πόσο ψηλά στον ουρανό βρίσκεται ο Ήλιος, τότε αναφερόμαστε στην ηλιακή ζενίθια γωνία και το ηλιακό ύψος. Η ηλιακή ζενίθια γωνία είναι η γωνία που σχηματίζουν οι ακτίνες του Ήλιου με τον κατακόρυφο άξονα και είναι ελάχιστη κατά την ηλιακή μεσημβρία όπου ο Ήλιος βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο στον ουρανό. Το ηλιακό ύψος είναι η γωνία που σχηματίζουν οι ακτίνες του ήλιου με το οριζόντιο επίπεδο και ελαχιστοποιείται κατά την ανατολή και δύση του Ηλίου. Από αυτούς τους ορισμούς καταλαβαίνουμε ότι οι δύο αυτές γωνίες είναι συμπληρωματικές μεταξύ τους, δηλαδή το άθροισμά τους ισούται με 90 μοίρες. Η ζενίθια γωνία συμβολίζεται με τα γράμματα θz ή Φ (στην διεθνή βιβλιογραφία την συναντάμε και ως sza = solar zenith angle) ενώ το ηλιακό ύψος συμβολίζεται με τα γράμματα α ή γs.



Εικόνα 6: Ηλιακή γεωμετρία

Η ζενίθια γωνία προσδιορίζεται με βάση την παρακάτω σχέση :

όπου Lat το γεωγραφικό μήκος του τόπου

*Ηλιακό αζιμούθιο*

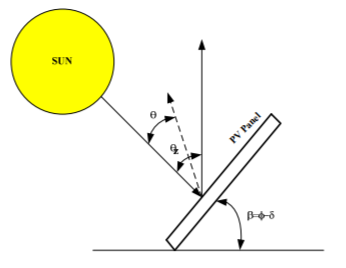
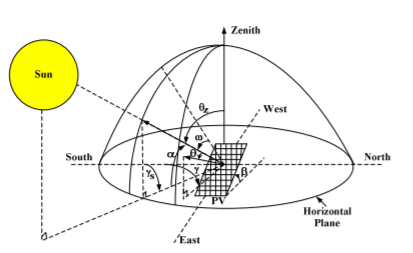
Μία ακόμα γωνία χρήσιμη για τον ακριβή προσδιορισμό της θέσης του Ηλίου είναι το ηλιακό αζιμούθιο. Το ηλιακό αζιμούθιο εκφράζει την γωνία που σχηματίζει η προβολή του Ήλιου με το οριζόντιο επίπεδο. Για την κατεύθυνση αύξησης της γωνίας, δεχόμαστε ως σημείο αναφοράς είτε τον Βορρά είτε τον Νότο. Τα όριά της κυμαίνονται από -180ο έως +180ο και ορισμένη με βάση τον Νότο παίρνει αρνητικές τιμές στα ανατολικά, θετικές στα δυτικά και 0ο στον Βορρά. Συμβολίζεται με τα γράμματα Az, z ή Ψs.

Προσδιορίζεται με βάση την σχέση :

[1.3]

* + 1. Ένταση ακτινοβολίας σε επικλινή επιφάνεια

Όταν ο Ήλιος δεν προσπίπτει σε οριζόντια επιφάνεια αλλά σε μία επιφάνεια υπό κλίση, τότε τα πράγματα περιπλέκονται ακόμα περισσότερο καθώς στους υπολογισμούς πρέπει να ληφθούν υπ’ όψη μερικές ακόμα γωνίες οι οποίες αφορούν την θέση της επιφάνειας.



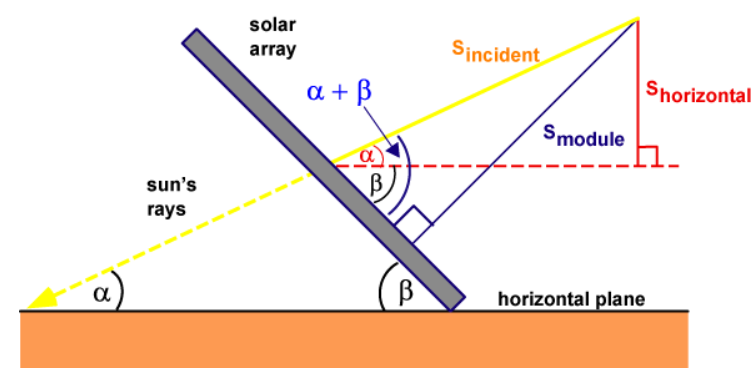
Εικόνα 7 : Γωνία πρόσπτωσης σε επικλινή επιφάνεια

Η κλίση της επιφάνειας σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο συμβολίζεται συνήθως με το γράμμα β. Κυμαίνεται μεταξύ 0ο και 180ο και η βελτιστοποίησή της εξαρτάται από τον γεωγραφικό τόπο στον οποίο βρισκόμαστε. Για β=90ο η επιφάνεια είναι τοποθετημένη κάθετα ως προς το έδαφος.

Σε μία μελέτη που αφορά μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας είναι πολύ σημαντικό να ληφθεί υπ’ όψη και η γωνία πρόσπτωσης θ. Η γωνία αυτή σχηματίζεται μεταξύ των ακτινών του Ήλιου και της καθέτου της υπό μελέτης επιφανείας. Αν η επιφάνεια είναι οριζόντια, τότε η γωνία πρόσπτωσης ισούται με την ηλιακή ζενίθια γωνία. Για θ = 0ο έχουμε κάθετη πρόσπτωση της ακτινοβολίας.

Η γωνία πρόσπτωσης είναι σημαντική καθώς επηρεάζει την ένταση της ακτινοβολίας και συγκεκριμένα με την αύξηση της γωνίας πρόσπτωσης, η ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας μειώνεται αναλόγως με έναν παράγοντα cosθ. Αν επιθυμούμε να έχουμε μέγιστη ακτινοβολία καθ’ όλη την διάρκεια της ημέρας τότε είναι αναγκαία η εγκατάσταση ενός συστήματος παρακολούθησης της θέσης του Ηλίου έτσι ώστε η γωνία πρόσπτωσης να παραμένει μηδενική κατά την διάρκεια των μετρήσεων ή κατά την διάρκεια λειτουργίας μίας εγκατάστασης που λειτουργεί με βάση την ηλιακή ενέργεια.

Η ηλιακή γεωμετρία βρίσκει εφαρμογές σε περιπτώσεις όπου δεν είναι δυνατή η εγκατάσταση ενός συστήματος παρακολούθησης του Ήλιου και βοηθά στον προσδιορισμό των βέλτιστων τιμών που πρέπει να έχουν οι παραπάνω γωνίες έτσι ώστε το σύστημά μας να έχει την μέγιστη δυνατή απόδοση.

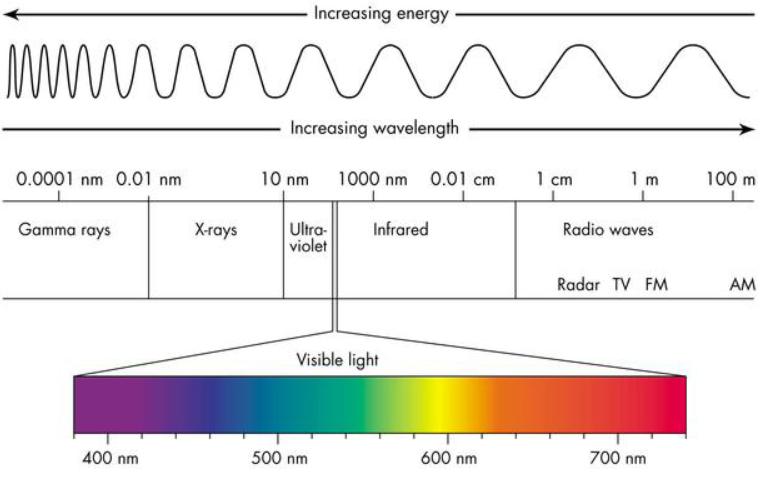


Εικόνα 8: Υπολογισμός προσπίπτουσας ακτινοβολίας (<https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/solar-radiation-on-a-tilted-surface>)

* 1. **Φυσική μέλανος σώματος**

Για την καλύτερη κατανόηση και μελέτη της ηλιακής ακτινοβολίας, είναι απαραίτητη η γνώση περί της φυσικής του μέλανος σώματος.

Όλα τα σώματα απορροφούν αλλά και εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η κατανομή της ακτινοβολίας με βάση την συχνότητα f ή το μήκος κύματος λ αποκαλείται φάσμα. Το φάσμα είναι συνεχές για τα στερεά σώματα και διακριτό για τα αέρια. Είναι επίσης δυνατός ο διαχωρισμός του φάσματος σε επιμέρους περιοχές. Ξεκινώντας από τα μεγαλύτερα μήκη κύματος προς τα μικρότερα διακρίνουμε στο φάσμα τις περιοχές των ραδιοκυμάτων, των μικροκυμάτων, της υπέρυθρης ακτινοβολίας, του ορατού φωτός, της υπεριώδους ακτινοβολίας, των ακτινών Χ, των ακτινών Γ και τέλος της κοσμικής ακτινοβολίας. Στις μελέτες για την ηλιακή ακτινοβολία μας αφορούν κυρίως το υπέρυθρο (IR, 1[m](https://en.wikipedia.org/wiki/Milli-)[m](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%AD%CF%84%CF%81%CE%BF) - 740[n](https://en.wikipedia.org/wiki/Nano-)[m](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%AD%CF%84%CF%81%CE%BF)), το ορατό (VIS, 740[n](https://en.wikipedia.org/wiki/Nano-)[m](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%AD%CF%84%CF%81%CE%BF) - 380[n](https://en.wikipedia.org/wiki/Nano-)[m](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%AD%CF%84%CF%81%CE%BF)) και το υπεριώδες (UV, 380[n](https://en.wikipedia.org/wiki/Nano-)[m](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%AD%CF%84%CF%81%CE%BF) - 10[n](https://en.wikipedia.org/wiki/Nano-)[m](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%AD%CF%84%CF%81%CE%BF)).



Εικόνα 9: Φάσμα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (https://sites.google.com/a/coe.edu/principles-of-structural-chemistry/relationship-between-light-and-matter/electromagnetic-spectrum)

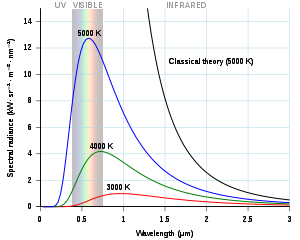
Ως μέλαν σώμα, ορίζουμε το σώμα εκείνο το οποίο απορροφά το 100% της προσπίπτουσας σε αυτό ακτινοβολία (οπότε ο φασματικός συντελεστής εκπομπής ε ισούται με την μονάδα) και εκπέμπει το μέγιστο δυνατό σε όλα τα μήκη κύματος. Η ακτινοβολία του μέλανος σώματος είναι ισότροπη δηλαδή είναι ανεξάρτητη από την διεύθυνση. Στην πραγματικότητα, τα σώματα δεν μπορούν να απορροφούν όλη την προσπίπτουσα σε αυτά ακτινοβολία διότι ανακλούν ένα μέρος της. Τα πραγματικά αυτά σώματα τα αποκαλούμε και φαιά σώματα καθώς ο φασματικός συντελεστής εκπομπής τους κυμαίνεται από 0 < ε < 1.

Νόμος του Planck

O νόμος του Planck για το μέλαν σώμα εκφράζει την κατανομή της έντασης της ακτινοβολίας στο φάσμα εκπομπής του μέλανος σώματος και συνδέει τον φασματικό συντελεστή εκπομπής του σώματος με την θερμοκρασία του. Αυτό συνεπάγεται ότι η ακτινοβολία που εκπέμπει ένα μέλαν σώμα δεν εξαρτάται από την σύνθεση του σώματος αλλά μόνο από την θερμοκρασία του. Ο νόμος του Planck εκφράζεται με βάση την παρακάτω σχέση:

όπου c1 = 3.7415 \* 10-16 Wm2 , c2 = 1.4388 \* 10-2 m oK

Ο δείκτης μ υποδηλώνει ότι αναφερόμαστε σε μέλαν και όχι πραγματικό σώμα.



Εικόνα 10: Νόμος Planck (https://simple.wikipedia.org/wiki/Planck%27s\_law)

Η εικόνα 10 παρουσιάζει ένα διάγραμμα που συσχετίζει την ισχύ της εκπεμπόμενης ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο και ανά νανόμετρο με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας για διαφορετικές τιμές θερμοκρασίας. Για την περαιτέρω ανάλυση του γραφήματος χρειάζεται να ορίσουμε δύο ακόμα νόμους, τον νόμο των Stefan – Boltzmann και τον νόμο μετατοπίσεως του Wien.

Νόμος Stefan – Boltzmann

O νόμος των Stefan και Boltzmann προκύπτει από την ολοκλήρωση ως προς όλα τα μήκη κύματος του φασματικού συντελεστή εκπομπής που προσδιορίζεται από τον νόμο του Planck (σχέση 1.4). Μετά την ολοκλήρωση καταλήγουμε στην σχέση που προσδιορίζει τον ολοφασματικό συντελεστή εκπομπής του μέλανος σώματος ο οποίος εκφράζεται στην σχέση 1.4.

όπου σ η σταθερά των Stefan-Boltzmann που ισούται με 5.67037 \* 10-8 W m-2 K-4.

Άμεση συνέπεια του νόμου αυτού είναι ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας του μέλανος σώματος το εμβαδόν της καμπύλης της εικόνας 9 αυξάνεται.

Νόμος μετατοπίσεως Wien

Τέλος, ο νόμος του Wien συνδέει το μέγιστο μήκος κύματος λ της κατανομής του φασματικού συντελεστή εκπομπής με την θερμοκρασία του σώματος. Προκύπτει μετά από την παραγώγιση του νόμου του Planck και εκφράζεται ως εξής:

Συνδυάζοντας όλα τα παραπάνω προκύπτει ότι αυξανόμενης της θερμοκρασίας η καμπύλη του φασματικού συντελεστή εκπομπής μετατοπίζεται προς τα μικρότερα μήκη κύματος (μετατόπιση ως προς τον άξονα x) και αυξάνεται το ύψος της. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι ψυχρότερα σώματα εκπέμπουν κυρίως στο κόκκινο, λίγο θερμότερα σώματα εκπέμπουν κυρίως στο κίτρινο και πράσινο και τα πιο θερμά σώματα εκπέμπουν στο μπλε και το ιώδες.

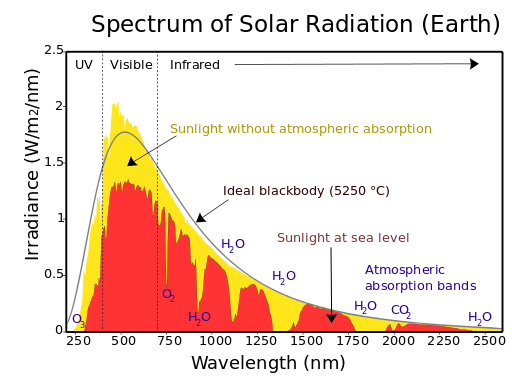
Νόμος του Kirchhoff

Τέλος, ο νόμος του Kirchhoff συνδέει τον φασματικό συντελεστή εκπομπής του μέλανος σώματος με τον αντίστοιχο συντελεστή για ένα φαιό/πραγματικό σώμα. Συγκεκριμένα, για ένα φαιό σώμα που βρίσκεται σε θερμοδυναμική ισορροπία με το περιβάλλον του, ο λόγος του φασματικού συντελεστή εκπομπής και του φασματικού συντελεστή απορρόφησης ενός φαιού σώματος ισούται με τον φασματικό συντελεστή εκπομπής του μέλανος σώματος. Αυτό σημαίνει ότι ο λόγος αυτός δεν εξαρτάται από την φύση του υλικού που απορροφά και εκπέμπει αλλά εξαρτάται από το μήκος κύματος και την θερμοκρασία του σώματος.

[1.7]

Είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι οι σχέσεις αυτές δεν ισχύουν για την γήινη ατμόσφαιρα καθώς απουσιάζει η θερμοδυναμική ισορροπία. Αυτό είναι φανερό αν αναλογιστούμε ότι στην ατμόσφαιρα, η θερμοκρασία δεν διατηρείται σταθερή με το ύψος αλλά παρατηρείται μία θερμοβαθμίδα της θερμοκρασίας, κάτι που υποδηλώνει ότι η ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας εξαρτάται από την διεύθυνση. Αν επικρατούσε θερμοδυναμική ισορροπία, τότε θα έπρεπε η ακτινοβολία να ήταν ισοτροπική και η θερμοκρασία σταθερή προς όλες τις διευθύνσεις.

**1.4 Εξασθένιση της ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα**



Εικόνα 11: Φάσμα ηλιακής ακτινοβολίας στο ανώτερο και κατώτερο όριο της ατμόσφαιρας (<https://www.e-education.psu.edu/meteo300/node/683>)

Ο Ήλιος μοντελοποιείται ως ένα μέλαν σώμα θερμοκρασίας 5780οΚ όπως φαίνεται στην εικόνα 11. Με βάση τους νόμους για το μέλαν σώμα που αναφέρθηκαν παραπάνω, το μέγιστο μήκος κύματος εκπομπής του ισούται με 470 nm και αντιστοιχεί στην ορατή περιοχή του φάσματος. Επιπρόσθετα, αν αναλύσουμε την κατανομή της ενέργειας του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας προκύπτει ότι το 7% ανήκει στο UV, το 46% στο VIS και το 47% στο IR.

Όμως, το ποσό της εκπεμπόμενης ηλιακής ακτινοβολίας δεν ισούται με το ποσό που φτάνει στην Γη. Αυτό οφείλεται στην ύπαρξη της ατμόσφαιρας η οποία σκεδάζει και απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία. Στην εικόνα 11, με το κίτρινο χρώμα παρουσιάζεται το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας στο πάνω όριο της ατμόσφαιρας, όπου η ακτινοβολία δεν έχει υποστεί απορρόφηση, ενώ με το κόκκινο χρώμα παρουσιάζεται το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας στο έδαφος. Είναι εμφανές ότι με την απορρόφηση κάποια μήκη κύματος αποκόπτονται και δεν φτάνουν στο έδαφος ενώ άλλα μήκη κύματος ναι μεν προσπίπτουν στο έδαφος όμως με μειωμένη ένταση ακτινοβολίας. Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια της Γης εξαρτάται από την γωνία πρόσπτωσης θ, την ώρα της ημέρας, την καθαρότητα του ουρανού και από την ηλιοφάνεια.

Η εξασθένιση της ηλιακής ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς μπορεί να οδηγήσει σε μεταβολές του μικροκλίματος μίας περιοχής. Η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας οφείλεται κυρίως σε μόρια της ατμόσφαιρας (φωτοδιάσπαση του μορίου) και σε αιωρούμενα σωματίδια και η σκέδαση οφείλεται και αυτή είτε σε αιωρούμενα σωματίδια (σκέδαση Mie) είτε σε μόρια της ατμόσφαιρας (σκέδαση Rayleigh).

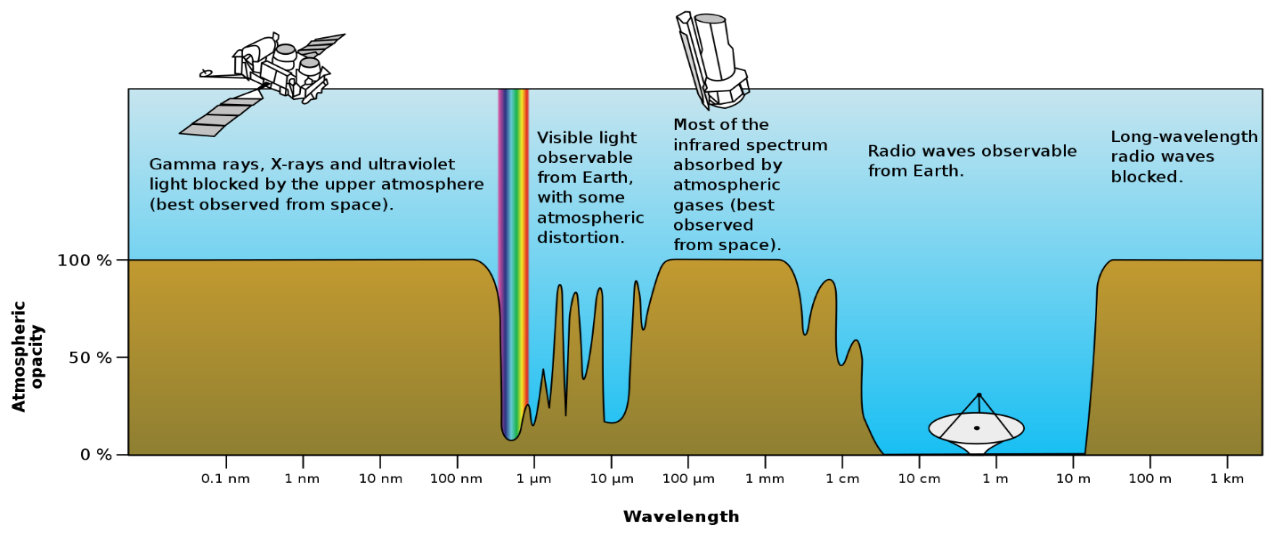
Απορρόφηση της ακτινοβολίας

Η απορρόφηση οφείλεται για το 17% της εξασθένησης της ηλιακής ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα. Η βασική παράμετρος που λαμβάνουμε υπόψιν για τον υπολογισμό της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η αέρια μάζα. Η αέρια μάζα είναι ο λόγος της οπτικής διαδρομής της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα προς την οπτική διαδρομή που αυτή θα εκτελούσε αν ο Ήλιος βρισκόταν στο ζενίθ. Ουσιαστικά η αέρια μάζα αποτελεί έναν τρόπο έκφρασης της μεταβολής του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας.

[1.8]

όπου θz η ηλιακή ζενίθια γωνία.

Η απορρόφηση εξαρτάται από το μήκος κύματος λ της ακτινοβολίας καθώς η ατμόσφαιρα δεν επιδρά το ίδιο σε ολόκληρο το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Στο ορατό μέρος του φάσματος η ατμόσφαιρα είναι αδιαφανής. Η απορρόφηση είναι σημαντική κυρίως στο υπεριώδες (UV) αλλά και σε μικρότερα μήκη κύματος. Συγκεκριμένα, τα μήκη κύματος όπου λ < 290nm απορροφώνται τελείως και δεν φτάνουν ποτέ στο έδαφος. Τέλος, στο υπέρυθρο απορροφάται



Εικόνα 12: Απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας για διαφορετικά μήκη κύματος

πολύ μικρό ποσοστό, σχεδόν αμελητέο.

Το βάθος στο οποίο γίνεται η μέγιστη απορρόφηση είναι το βάθος στο οποίο έχει απορροφηθεί το 63% της ηλιακής ακτινοβολίας. Στην βιβλιογραφία αυτό ονομάζεται βάθος διεισδύσεως.

Τα συστατικά της ατμόσφαιρας που ευθύνονται για την απορρόφηση του υπεριώδους είναι τα N, N2, O, O2 και το στρατοσφαιρικό Ο3. Συγκεκριμένα, το μοριακό οξυγόνο απορροφά μήκη κύματος μικρότερα των 260 nm, το μοριακό άζωτο απορροφά σε μήκη κύματος < 145 nm, το ατομικό οξυγόνο και ατομικό άζωτο απορροφούν μήκη κύματος μικρότερα των 200 nm και τέλος το όζον απορροφά στα 300-360 nm αλλά και στα 200-300 nm.

Η UV ακτινοβολία είναι πολύ επιβλαβής τόσο για τον άνθρωπο όσο και για άλλους οργανισμούς του περιβάλλοντός του. Ανάλογα την βιολογική δράση της ακτινοβολίας αυτής, την διακρίνουμε σε 3 κατηγορίες. Η UVA ακτινοβολία (314-400nm) είναι επικίνδυνη μόνο όταν ο οργανισμός εκτεθεί σε μεγάλες δόσεις της. Απορροφάται πολύ κοντά στην επιφάνεια του δέρματος και προκαλεί σημάδια γήρανσης. Η UVB (280-315nm) είναι λίγο πιο επικίνδυνη και προκαλεί μαύρισμα της επιδερμίδας, καρκίνο του δέρματος και καταρράκτη αλλά όμως είναι υπεύθυνη και για την παραγωγή της βιταμίνης D. Τέλος, η UVC (<280nm) είναι η πιο επιβλαβής ακτινοβολία όμως απορροφάται στο 100% και δεν αγγίζει την επιφάνεια του εδάφους.

Αντίθετα με την UV, το ορατό μέρος του φάσματος δεν απορροφάται τόσο πολύ. Η απορρόφηση που λαμβάνει χώρα οφείλεται και πάλι στο όζον αλλά και στους υδρατμούς που απορροφάνε μήκη κύματος μεταξύ των 572nm και 703nm. Έχει παρατηρηθεί ότι η εξασθένιση του VIS είναι περίπου διπλάσια το καλοκαίρι σε σχέση με τον χειμώνα.

Όσον αφορά την υπέρυθρη ακτινοβολία, η απορρόφηση είναι ακόμα λιγότερη και οφείλεται κυρίως στους υδρατμούς που απορροφάνε στα 700-4000nm και στο διοξείδιο του άνθρακα που απορροφά στα 1600-4000nm. Επιπλέον, οι σταγόνες του νερού και οι παγοκρύσταλλοι που περιέχονται στα νέφη απορροφούν και αυτά την IR ακτινοβολία στα 1000-2000nm. To IR, δεν απορροφάται τόσο, όσο παγιδεύεται από τα λεγόμενα αέρια του θερμοκηπίου (CO2, O3, CFS, CH4, NO, H2O) κάτι που οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη.