

και την ποσότητα των υδρατμών κυρίως.

Η άμεση ακτινοβολία μετράται σε επιφάνειες κάθετες στην διάκεντρο Γης-Ηλίου αλλά πρέπει να αναχθεί σε οριζόντια επιφάνεια για να αντιστοιχεί σε μια ομοιόμορφη χρονικά και χωρικά κατάσταση μετρήσεων που να δίνουν την ακτινοβολία σε επίπεδο έδαφος. Έτσι αν I_0 η ένταση ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο, τότε αυτή θα αντιστοιχεί σε επιφάνεια $dA/\cos\theta_z$ (βλέπε Εικόνα 6 και Εικόνα 13) αν dA η επιφάνεια που τοποθετήθηκε κάθετα στις ακτίνες του Ήλιου. Οπότε θα ισχύει:

$$(1.20) \quad I_0 = I \cdot \cos\theta_z = I \cdot \sin\alpha$$

δεδομένου ότι οι γωνία του ύψους του Ηλίου α και η ζενιθιακή γωνία αυτού θ_z είναι συμπληρωματικές.

Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία

Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους μετά την ανάκλαση ή σκέδαση από τα συστατικά της ατμόσφαιρας, αλλά και μετά από ανάκλαση πάνω στην επιφάνεια της Γης. Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες:

Το ύψος του Ήλιου(α)

Το υψόμετρο του τόπου

Τη λευκαύγεια του εδάφους

Το ποσό και το είδος των νεφών, καθώς και από την παρουσία διαφόρων πυρήνων σκέδασης (αερολυμάτων, υδροσταγόνων κ.α.) που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα.

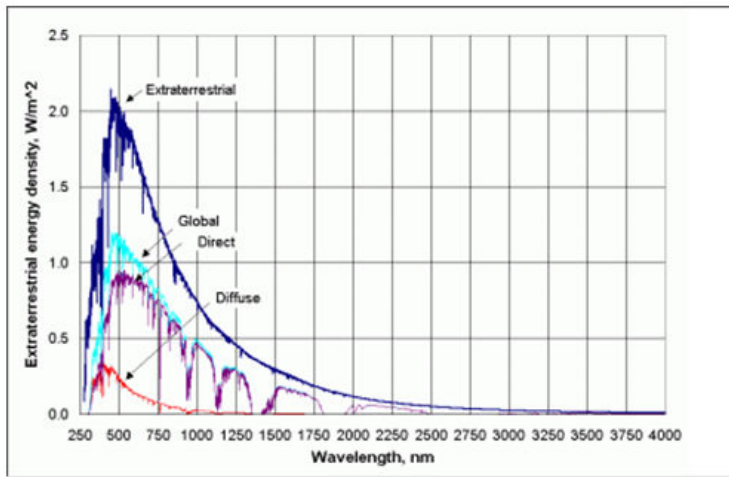
Τόσο η άμεση όσο και η διάχυτη ακτινοβολία μετρώνται επί οριζοντίου επιπέδου. Το ποσοστό της διάχυτης ακτινοβολίας I_D προς το σύνολο διάχυτης και ολικής αλλάζει ανάλογα με το ύψος του ήλιου και την κατάσταση της ατμόσφαιρας από πλευράς νεφών, υδρατμών και αιωρούμενων σωματιδίων και παίρνει την ελάχιστη τιμή του για ένα ύψος του ήλιου γύρω στις 35° με 40° . Η ελάχιστη αυτή τιμή κατά τη διάρκεια αίθριας ημέρας, με χαμηλή υγρασία και απουσία ρύπανσης μπορεί να φθάσει γύρω στο 0.1. Συνήθως κυμαίνεται γύρω στο 0.15, ενώ στην περίπτωση αυξημένης ρύπανσης μπορεί να φθάσει το 0.25. Προφανώς σε περίπτωση νεφοκάλυψης, όπως και κατά τη διάρκεια μιας ανέφελης ημέρας όταν ο ήλιος βρίσκεται κάτω από τον ορίζοντα λίγο πριν από την ανατολή ή αμέσως μετά τη δύση, ο λόγος αυτός ισούται με την μονάδα, γιατί όλη η ακτινοβολία οφείλεται στη διάχυτη ακτινοβολία του ουρανού.

Ολική ηλιακή ακτινοβολία

Το άθροισμα της άμεσης ακτινοβολίας επί οριζοντίου επιπέδου (I_0) και της διάχυτης ακτινοβολίας (I_D) ορίζει την λεγόμενη ολική ηλιακή ακτινοβολία (I_T), δηλαδή:

$$(1.21) \quad I_T = I_0 + I_D = I \cos\theta_z + I_D = I \sin\alpha + I_D$$

Η ολική ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται από τους ίδιους παράγοντες από τους οποίους εξαρτώνται η άμεση και η διάχυτη ακτινοβολία.



Εικόνα 14. Σχέση άμεσης, διάχυτης και ολικής ηλιακής ακτινοβολίας για μια τυπική ατμόσφαιρα.

Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση που διανύει η ηλιακή ακτινοβολία μέσα στην ατμόσφαιρα, τόσο μικρότερο είναι το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια της Γης. Για τον λόγο αυτό η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι πολύ μεγαλύτερη κατά την θερινή περίοδο σε σχέση με τη χειμερινή. Τέλος, όσο πιο κάθετα προσπίπτει η ηλιακή

ακτινοβολία πάνω σε μια επιφάνεια στην Γη τόσο μεγαλύτερη είναι η έντασή της. Γι' αυτό το λόγο οι ηλιακοί συλλέκτες προσανατολίζονται με κλίση προς τα νότια

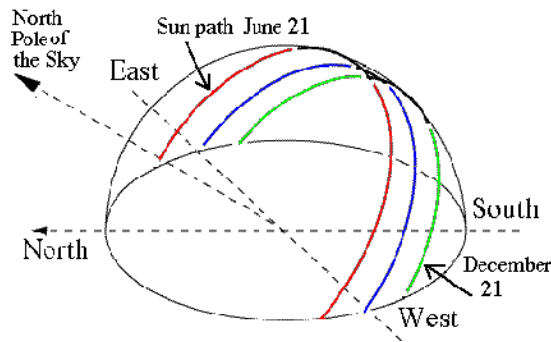
Ένα ποσοστό της άμεσης και της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας ανακλάται στο έδαφος και επιστρέφει στην ατμόσφαιρα. Αυτό το ποσοστό αποτελεί την ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία. Η συμβολή της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας στην επανεκπομπή προς το έδαφος είναι πάρα πολύ μικρή και δεν επηρεάζει την ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει τελικά στο έδαφος.

Η Ελλάδα παρουσιάζει ένα ιδιαίτερα υψηλό ηλιακό δυναμικό, περίπου 1.400-1.800 kWh/(m²·yr) ετησίως σε οριζόντιο επίπεδο, ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και το ανάγλυφο της περιοχής. Η ηλιακή ακτινοβολία είναι μια μορφή ενέργειας με σχεδόν σταθερή και προβλέψιμη ένταση στην διάρκεια του χρόνου και της ημέρας. Η ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει την μέγιστη ένταση της κατά την διάρκεια του μεσημεριού (μέγιστο ηλιακό ύψος), τόσο κατά τη θερινή όσο και κατά τη χειμερινή περίοδο και είναι μεγαλύτερη κατά τη θερινή περίοδο λόγω την θέσης του ήλιου, αλλά και λόγω της αύξησης των ωρών ηλιοφάνειας (μείωση των νεφώσεων). Η Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ) καταγράφει εδώ και πολλά χρόνια τις ώρες ηλιοφάνειας ανά ημέρα (hr/day), αλλά και σε κάποιες περιπτώσεις την ολική ηλιακή ακτινοβολία (kWh/m²) για διάφορες περιοχές της χώρας μας.

Ημερήσια πορεία άμεσης, διάχυτης και ολικής ηλιακής ακτινοβολίας.

Η φαινόμενη κίνηση του Ήλιου, που προκαλείται από την περιστροφή της Γης γύρω από τον άξονά της, μεταβάλλει τη γωνία με την οποία η άμεση συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας προσπίπτει στην επιφάνεια της Γης. Από έναν συγκεκριμένο τόπο πάνω στην επιφάνεια, ο Ήλιος φαίνεται να κινείται στον ουρανό. Η θέση του Ήλιου εξαρτάται από τον τόπο πάνω στην επιφάνεια της Γης, την ώρα της ημέρας και την εποχή του έτους. Η φαινόμενη κίνηση του Ήλιου φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί (Εικόνα 16).

Αυτή η φαινόμενη κίνηση του Ήλιου έχει πολύ σημαντική επίδραση στις τιμές της έντασης της ακτινοβολίας που καταγράφονται την επιφάνεια της Γης. Όταν οι ακτίνες του Ήλιου



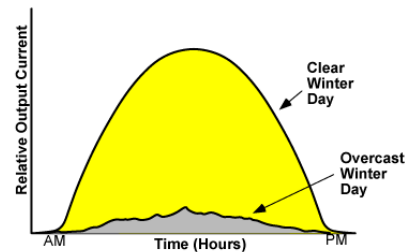
Εικόνα 15 Η φαινόμενη διαδρομή του Ήλιου στο βόρειο ημισφαίριο.

Η ίδια εικόνα φαίνεται επίσης η διαφορετική μορφή της καμπύλης της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας όταν ο ουρανός είναι ανέφελος και όταν καλύπτεται σχεδόν πλήρως από νέφωση.

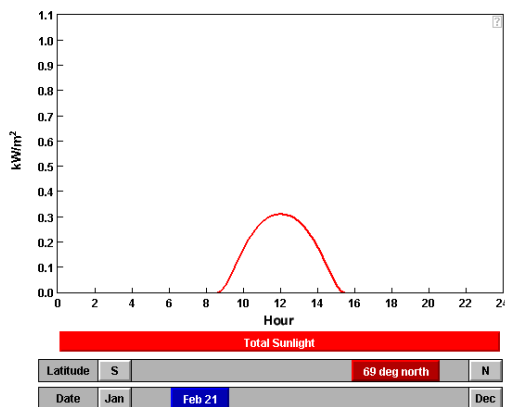
Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνεται η ημερήσια πορεία της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια μιας καλοκαιρινής, μιας χειμερινής και μιας ημέρας μεταβατικής περιόδου.

Οι τρεις διαφορετικές καμπύλες δείχνουν την επίδραση του γεωγραφικού πλάτους και της απόκλισης του Ήλιου, που δημιουργούν διαφορετική διάρκεια ημέρας κατά τις εποχές του

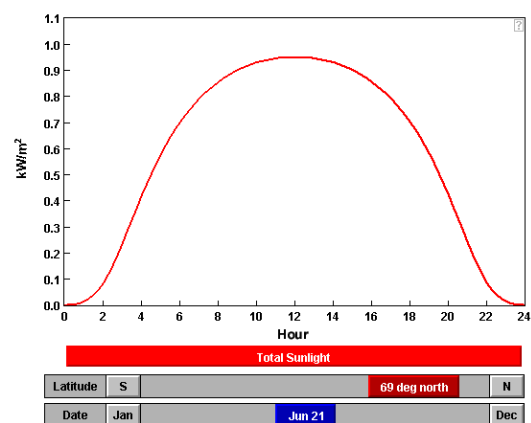
προσπίπτουν κάθετα σε μία επιφάνεια, τότε η ένταση της ακτινοβολίας είναι μέγιστη, ενώ όταν η γωνία είναι διάφορη των 90° ή ένταση ελαττώνεται. Κατά τη διάρκεια μιας αίθριας μέρας, η ημερήσια πορεία της άμεσης αλλά και της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε έναν τόπο μέσου γεωγραφικού πλάτους, παρουσιάζει μια περίπου ημιτονοειδή μορφή (Εικόνα 16). Το μέγιστο παρατηρείται την ώρα της αληθούς μεσημβρίας, δηλαδή της χρονικής στιγμής που ο Ήλιος διέρχεται από τον μεσημβρινό ενός τόπου (Local Solar Time, LST). Στην



Εικόνα 16. Η κατανομή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας για μια ανέφελη και μια νεφосκεπή μέρα του χειμώνα.

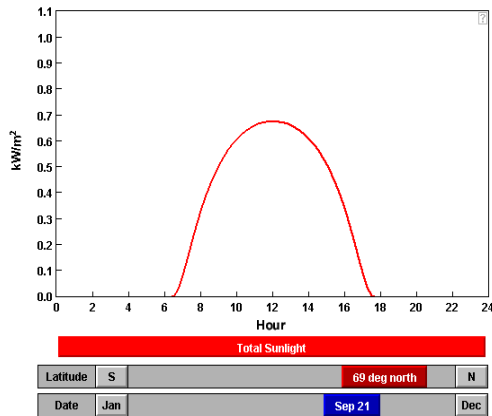


Εικόνα 18. Η ημερήσια πορεία της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια μιας χειμωνιάτικης ημέρας



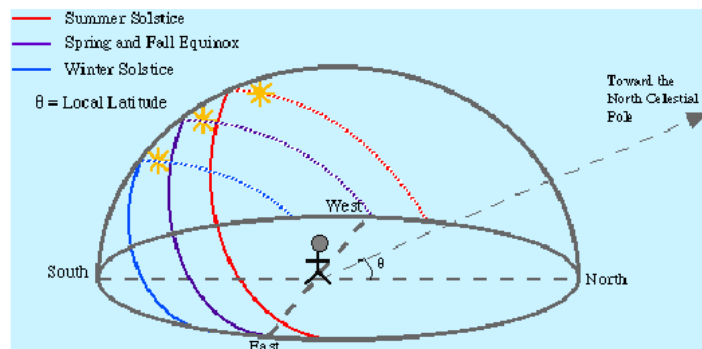
Εικόνα 17. Η ημερήσια πορεία της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια μιας καλοκαιρινής ημέρας.

έτους και διαφορετική διαδρομή του ουρανού μέσα στον ουράνιο θόλο. Στην Εικόνα 20 που ακολουθεί, φαίνεται η πορεία του Ήλιου στον ουράνιο θόλο κατά τη διάρκεια του χειμώνα, της άνοιξης και του καλοκαιριού του Βόρειου ημισφαιρίου.



Εικόνα 19. Η ημερήσια πορεία της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια μιας φθινοπωρινής ημέρας

θερινού ηλιοστασίου, οπότε έχουμε και τη μεγαλύτερη ημέρα, η διάρκεια της θεωρητικής ηλιοφάνειας κυμαίνεται μεταξύ 14h 51sec και 13h 56sec για βόρεια γεωγραφικά πλάτη μεταξύ 30° και 40°. Κατά τη διάρκεια του χειμερινού ηλιοστασίου (21 Δεκεμβρίου) που έχουμε τη μικρότερη ημέρα, ο χρόνος αυτός μειώνεται στις 10h 04sec έως 9h 09sec για τα ίδια γεωγραφικά πλάτη.



Εικόνα 20. Η ημερήσια πορεία του Ήλιου όπως αλλάζει με τις εποχές, στο βόρειο ημισφαίριο.

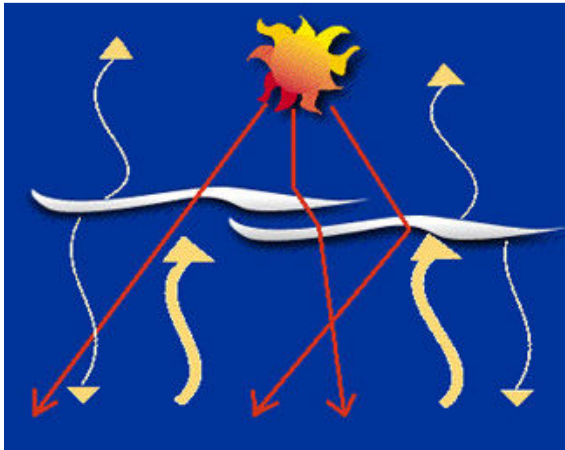
Κατά τη διάρκεια του θερινού ηλιοστασίου, την 21^η Ιουνίου, ο Ήλιος θα βρίσκεται στην πιο υψηλή τροχιά του στον ουράνιο θόλο. Καθώς προχωρούν οι μέρες, ο Ήλιος χαμηλώνει, έως την ισημερία της 21^{ης} Σεπτεμβρίου. Η τροχιά του Ήλιου με το πιο χαμηλό ύψος είναι αυτή του χειμερινού ηλιοστασίου (21 Δεκεμβρίου).

Η διαφορετική διάρκεια της ημέρας σε κάθε γεωγραφικό πλάτος (εκτός από την περιοχή των πόλων όπου έχουμε έξι μήνες συνεχή μέρα και έξι μήνες συνεχή νύχτα) ορίζει τη διάρκεια της θεωρητικής ηλιοφάνειας. Κατά τη διάρκεια του

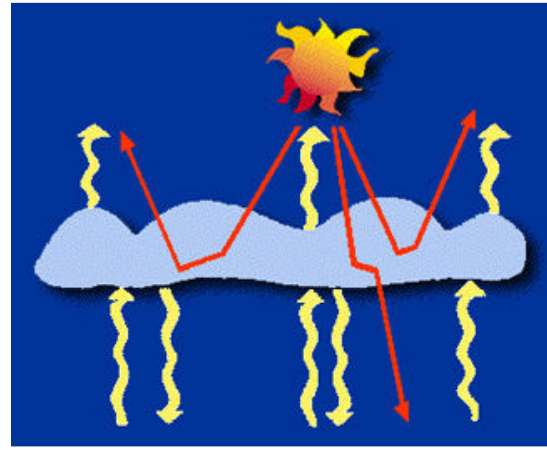
Για να ισούται σε μια ημέρα η διάρκεια της θεωρητικής ηλιοφάνειας με τη διάρκεια της πραγματικής ηλιοφάνειας θα πρέπει ο ορίζοντας του τόπου να είναι τελείως ελεύθερος προς τα ανατολικά και τα δυτικά και να μην παρεμβάλλονται σύννεφα στον ηλιακό δίσκο. Το κλάσμα της ηλιοφάνειας, που είναι ο λόγος της πραγματικής (n) προς τη θεωρητική (N) διάρκεια της ηλιοφάνειας, είναι μικρότερο ή ίσο με τη μονάδα ($n/N \leq 1$). Ο προσδιορισμός της πραγματικής ηλιοφάνειας σε ένα τόπο είναι σημαντικός, γιατί δια μέσου αυτής μπορεί να γίνει η εκτίμηση της πραγματικής ηλιακής ενέργειας που λαμβάνει ο τόπος αυτός. Για τη μέτρηση της διάρκειας της πραγματικής ηλιοφάνειας χρησιμοποιούνται οι ηλιογράφοι.

Νεφελώδεις και νεφοσκεπείς ημέρες

Ως *νεφελώδης* χαρακτηρίζεται η μέρα κατά την οποία ο ήλιος καλύπτεται κατά διαστήματα από σύννεφα. *Νεφοσκεπής* ημέρα είναι εκείνη κατά την οποία υπάρχει καθολική κάλυψη του ουρανού από σύννεφα. Στην περίπτωση όπου υπάρχουν σύννεφα στον ουρανό, η ένταση της ολικής ακτινοβολίας μεταβάλλεται ανώμαλα από λεπτό σε λεπτό και από ώρα σε ώρα. Η μελέτη των νεφών και των χαρακτηριστικών τους παίζει έναν πολύ σημαντικό ρόλο στη μελέτη και στην κατανόηση των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στην ατμόσφαιρα.

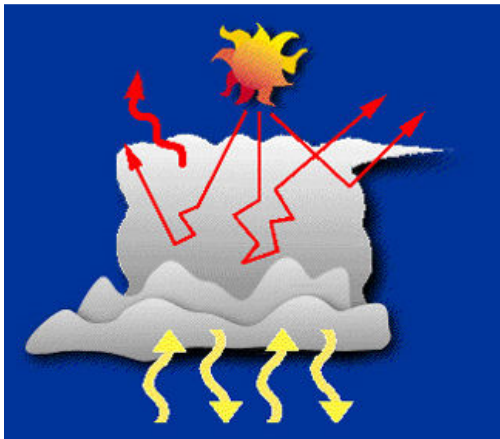


Εικόνα 21. Η αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος με τα ψηλά και λεπτά νέφη, που έχουν χαρακτηριστική ινώδη μορφή και λευκό χρώμα.



Εικόνα 22. Η αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος με τα χαμηλά και παχιά νέφη, που έχουν γκριζό χρώμα και ομοιόμορφη βάση.

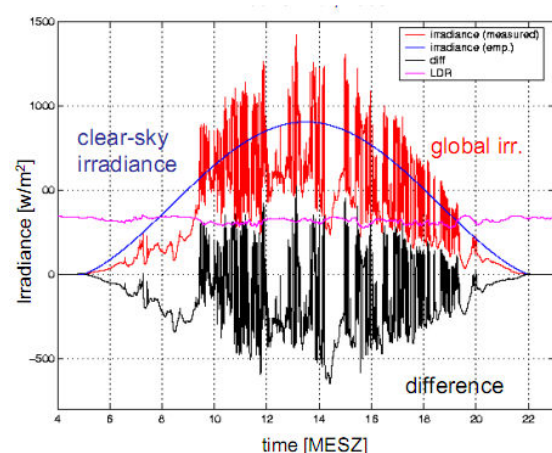
Τα χαμηλά και παχιά νέφη (τύπου stratus), με γκριζό χρώμα και ομοιόμορφη βάση, που δίνουν ψιχάλες ή λεπτούς κόκκους χιονιού, κυρίως ανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία σε ποσοστό που μπορεί να φτάσει και το 70% και ψύχουν την επιφάνεια της Γης. Τα ψηλά και λεπτά νέφη (τύπου cirrus), με ινώδη μορφή και άσπρο χρώμα, είναι γενικά διαφανή στην εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία (η ένταση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας στο έδαφος μπορεί να ξεπεράσει το 70% αυτής που θα είχαμε με αίθριο ουρανό), ενώ ταυτόχρονα δεσμεύουν μέρος της εξερχόμενης ακτινοβολίας και την επανεκπέμπουν προς την επιφάνεια της Γης, προκαλώντας τη θέρμανσή της.



Εικόνα 23. Η αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος με τα νέφη τύπου σωρείτη, που είναι πυκνά, με υπόλευκο χρώμα.

Όταν στον ουρανό υπάρχει ένα μικρό ποσοστό από κατατεμαχισμένα νέφη, υπάρχει πάντα αύξηση της διάχυτης ακτινοβολίας του ουρανού. Για παράδειγμα, αν στον ουρανό εμφανιστεί ένα νέφος τύπου cumulus (νέφος ανοδικών ρευμάτων, πυκνό, με χρώμα υπόλευκο ή γκρι, αποτελούμενο από υδροσταγονίδια, το οποίο συνήθως δίνει

Το αν η παρουσία της νέφωσης θα έχει σαν συνολικό αποτέλεσμα τη θέρμανση ή την ψύξη της επιφάνειας της Γης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του ύψους στο οποίο βρίσκεται, του μεγέθους του, και της σύνθεσής του.

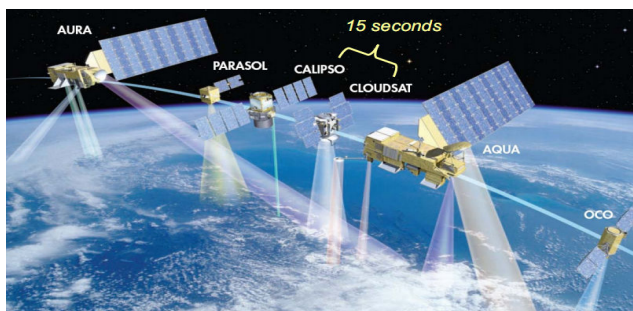


Εικόνα 24. Καταγραφή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας παρουσία κατατεμαχισμένης νέφωσης.

διαλείπουσα βροχή), τότε η ένταση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας αν εκείνη τη στιγμή ο ήλιος είναι ακάλυπτος από σύννεφα, μπορεί να ξεπεράσει κατά 10% αυτή με αίθριο ουρανό.

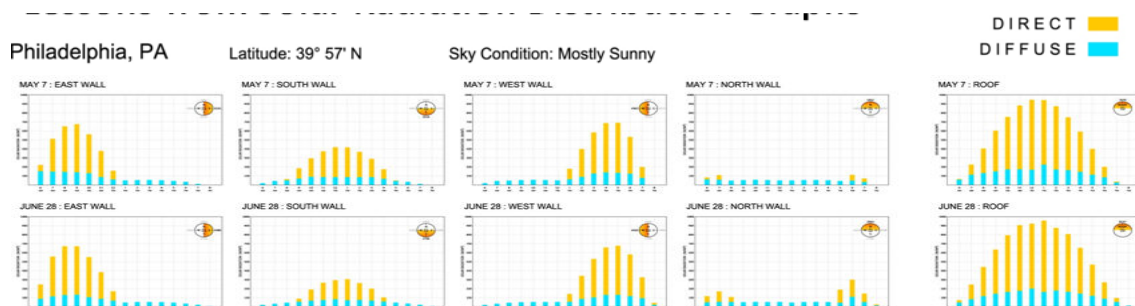
Όσο αυξάνει η νέφωση, τόσο αυξάνει και η διάχυτη ακτινοβολία του ουρανού, προς μια μέγιστη τιμή, και στη συνέχεια τείνει να ελαττωθεί, αν ο ουρανός γίνεται νεφосκεπής.

Η ολική ηλιακή ακτινοβολία είναι πολύ ασθενής όταν ο ήλιος είναι τελείως καλυμμένος από σύννεφα, ιδίως σκούρου χρώματος. Λίγα λεπτά πριν ή μετά την κάλυψη του Ήλιου από σύννεφα, η ένταση της ακτινοβολίας παρουσιάζει μεγάλες ανωμαλίες. Φτάνει περίπου τα 1046 W/m^2 στα μέσα γεωγραφικά πλάτη, ενώ στους τροπικούς μπορεί να ξεπεράσει ακόμα και την τιμή της ηλιακής σταθεράς. Το φαινόμενο αυτό είναι αποτέλεσμα της ισχυρής διάχυσης της ηλιακής ακτινοβολίας πάνω στα υδροσταγονίδια που βρίσκονται κοντά στα άκρα του σύννεφου.

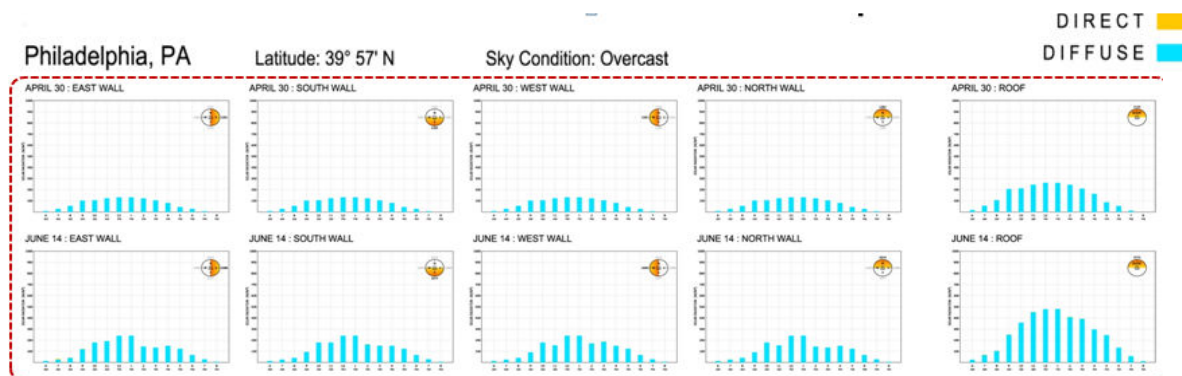


Εικόνα 25. Είναι πολλές οι δορυφορικές αποστολές που δίνουν δεδομένα σχετικά με την επίδραση της νέφωσης στα θέματα του ισοζυγίου ακτινοβολιών.

Η παρακολούθηση της επίδρασης της νέφωσης είναι μια δύσκολη εργασία. Σημαντικά δεδομένα σε αυτήν την προσπάθεια δίνει και η δορυφορική τηλεπισκόπηση με το δίκτυο των ανιχνευτών που παρέχουν δεδομένα γι' αυτή τη θεματική περιοχή.



Εικόνα 26. Η άμεση (με το κίτρινο χρώμα) και η διάχυτη (με το γαλάζιο χρώμα) ακτινοβολία, όπως καταγράφεται στις πλευρικές επιφάνειες κτιρίων κατά τη διάρκεια γενικά ηλιόλουστης ημέρας.



Εικόνα 27. Οι αντίστοιχες καταγραφές της ακτινοβολίας για νεφосκεπείς ημέρες.

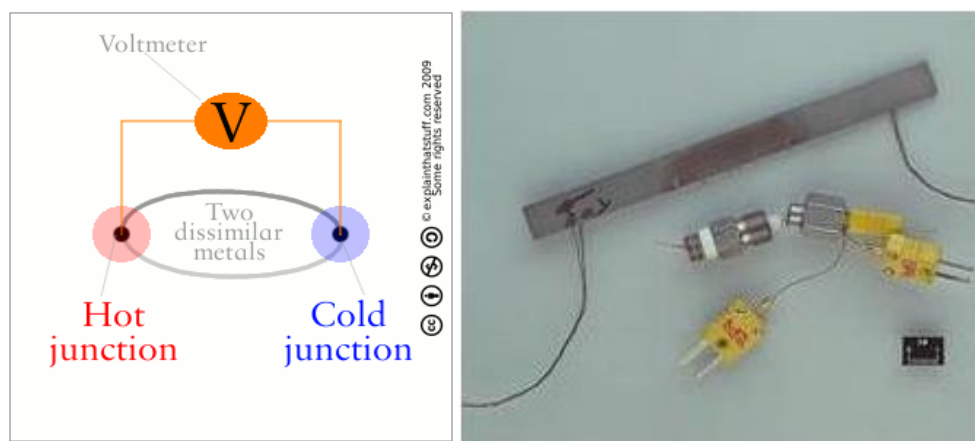
1.5. Μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας

Για τη μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας διαθέτουμε όργανα που είναι σε θέση να μετρήσουν όλες τις συνιστώσες της σε όλο το εύρος του φάσματος. Τα συνηθέστερα χρησιμοποιούμενα όργανα είναι, για την ολική, την διάχυτη ή την ολική μεταξύ συγκεκριμένων μηκών κύματος τα πυρανόμετρα, για την υπεριώδη τα ραδιόμετρα UV και την άμεση με πυρηλιόμετρα. Εντούτοις η αρχή λειτουργίας όλων των οργάνων είναι σχετικά κοινή. Οι πλέον κλασσικοί αισθητήρες βασίζονται στο θερμοηλεκτρικό φαινόμενο και χρησιμοποιούν θερμοζεύγη, ενώ οι νεώτεροι εκμεταλλεύονται το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και χρησιμοποιούν φωτοδιόδους (φωτοβολταϊκά).

Προτού προχωρήσουμε να παρουσιάσουμε τα όργανα μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας ας πούμε λίγα πράγματα για τους αισθητήρες τους

Τα θερμοζεύγη

Το θερμοζεύγος είναι ένα σύστημα δύο αγωγών διαφορετικού υλικού, συνήθως κραμάτων μετάλλων, τα οποία κλείνουν ένα κύκλωμα με επαφή στα δύο άκρα τους. Το σύστημα αυτό έχει την ιδιότητα να εμφανίζει μία τάση, άρα να προκύπτει ένα ασθενές ηλεκτρικό ρεύμα, αν οι δύο επαφές βρεθούν σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Η τάση, άρα και το ρεύμα, είναι ανάλογη της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ των επαφών. Θεωρούμε λοιπόν δύο διαφορετικά μέταλλα που βρίσκονται σε επαφή, όπως φαίνεται στην Εικόνα 28. Σε μία τέτοια περίπτωση στα άκρα του κυκλώματος εμφανίζεται μια διαφορά δυναμικού. Προφανώς πριν να χρησιμοποιηθεί το θερμοζεύγος πρέπει να βαθμονομηθεί, δηλαδή να προσδιορισθεί η καμπύλη που συνδέει την αναπτυσσόμενη διαφορά δυναμικού με την διαφορά θερμοκρασίας των επαφών. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται βαθμονόμηση και είναι πολύ απλή. Συνήθως γίνεται διατηρώντας την θερμοκρασία της μιας επαφής σταθερή και εκθέτοντας την άλλη επαφή σε θερμοκρασίες που είναι γνωστές με ακρίβεια, π.χ. υλικών σε πήξη ή τήξη (λουτρό πάγου, κασσίτερο που τήκεται κλπ) ή χρησιμοποιώντας "φούρνους



Εικόνα 28. Η βασική ιδέα ενός θερμοζεύγους: δύο ανόμοια μέταλλα συνεδεμένα στα άκρα τους. Αν το ένα άκρο του θερμοζεύγους τοποθετηθεί πάνω σε κάτι ζεστό (η θερμή επαφή) και το άλλο άκρο τοποθετηθεί πάνω σε κάτι κρύο (η ψυχρή επαφή), αναπτύσσεται μια διαφορά δυναμικού. Αυτή η τάση μπορεί να μετρηθεί αν στα άκρα των επαφών τοποθετηθεί ένα βολτόμετρο.

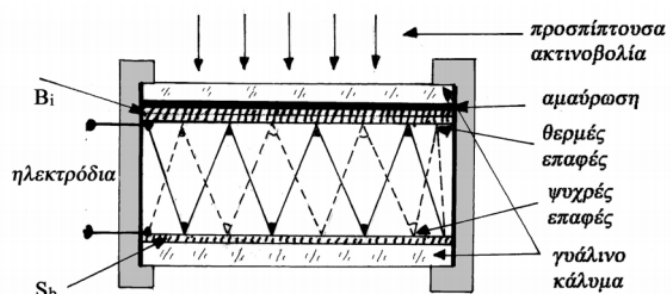
βαθμονόμησης" που ρυθμίζουν την θερμοκρασία με ακρίβεια σημαντική (π.χ. 0.01°C) όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, μπορεί να γίνει ο υπολογισμός της ζητούμενης θερμοκρασίας.

Αυτό το ζεύγος μετάλλων (αγωγών απο διαφορετικά μέταλλα ή κράμματα μετάλλων) που συνδέονται για να γίνει ο προσδιορισμός της θερμοκρασίας, ονομάζεται θερμοζεύγος. Τα μέταλλα ή κράμματα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ενός θερμοζεύγους πρέπει να είναι χημικά αδρανή, να έχουν σχετικά μεγάλο θερμικό συντελεστή αντίστασης, καλή μηχανική αντοχή και μεγάλη ειδική αντίσταση. Στον επόμενο πίνακα φαίνονται κάποια συνήθη θερμοζεύγη του εμπορίου με τον αντίστοιχο συντελεστή θερμοηλεκτρικής τάσης C (συντελεστής Seebeck), ο οποίος καθορίζεται από τη φύση των μετάλλων και τη θερμοκρασία.

Τυποποιημένα θερμοζεύγη που υπάρχουν στο εμπόριο (αλφαβητική σειρά)			
Τύπος	Αποτελείται από	Θερμοκρασία λειτουργίας	Συντελεστής Seebeck / θερμοκρασία
B	(94%Pt / 6%Rh)(+) / (70%Pt / 30%Rh)(-)	0 - 1820 °C	6.0 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ / 600 °C
C	(95%W / 5%Re)(+) / (74%W / 26%Re)(-)	0 - 2320 °C	19.5 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ / 600 °C
D	(97%W / 3%Re)(+) / (75%W / 25%Re)(-)	0 - 2320 °C	19.5 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ / 600 °C
E	Chromel(+) / Constantan(-)	270 - 1000 °C	58.5 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ / 0 °C
G	W(+)/ (74%W / 26%Re)(-)	0 - 2320 °C	19.5 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ / 600 °C
J	Fe(+)/ Consrantan(-)	210 - 760 °C	50.2 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ / 0 °C
K	Chromel(+)/ Alumel(-)	270 - 1370 °C	39.4 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ / 0 °C
R	(87%Pt / 13%Rh)(+) / Pt(-)	50 - 1768 °C	11.5 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ / 600 °C
S	(90%Pt / 10%Rh)(+) / Pt(-)	50 - 1768 °C	10.3 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ / 600 °C
T	Cu(+)/ Constantan(-)	270 - 400 °C	38.0 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ / 0 °C

Αν συνδέσουμε κατά σειρά ένα μεγάλο αριθμό θερμοστοιχείων δημιουργούμε μια διάταξη που ονομάζεται *θερμοστήλη* (*thermopile*). Συνήθως οι θερμοστοιχίες δεν λειτουργούν αποκλειστικά σαν μια σειρά θερμοστοιχείων στο χώρο αλλά σε συνδυασμό με άλλα οπτικά στοιχεία σε κυκλική διάταξη. Το πάνω μέρος, το οποίο πρόκειται να δεχθεί τη ροή της ακτινοβολίας (θερμές επαφές), επικαλύπτεται από ένα λεπτό στρώμα μαύρου υλικού μικρής φασματικής επιλεκτικότητας που προστατεύεται από ένα γυάλινο κάλυμμα μεγάλης φασματικής διαπερατότητας μέσα από το οποίο θα μπορούν να περάσουν οι συνιστώσες της προς μέτρηση ακτινοβολίας, όπως έχει ήδη αναφερθεί.

Ο χώρος μεταξύ των επαφών είναι απομονωμένος έτσι ώστε οι κάτω επαφές (ψυχρές επαφές) να διατηρούνται σε μια σχετικά σταθερή θερμοκρασία η οποία δεν επηρεάζεται από τις μεταβολές που προκαλεί η προσπίπτουσα ακτινοβολία στο πάνω μέρος της θερμοστήλης. Το όλο σύστημα προστατεύεται από ειδικό



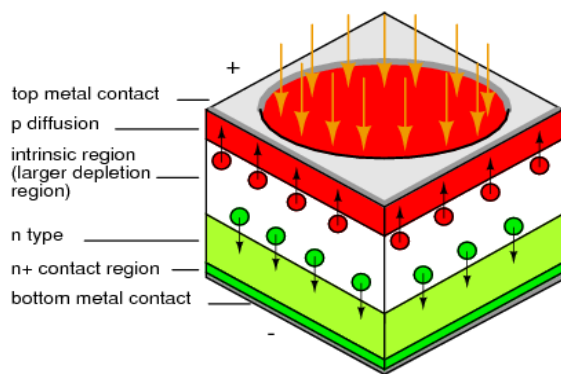
Εικόνα 29. Η σχηματική αναπαράσταση ενός αισθητήρα θερμοστήλης που προορίζεται για τη μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας.

αδιαφανές περίβλημα.

Όταν προσπίπτει στον αισθητήρα η ηλιακή ακτινοβολία, ο αισθητήρας της θερμοστήλης ανταποκρίνεται δίνοντας σήμα σε πολύ μικρό χρόνο, της τάξης του δευτερολέπτου. Όσο περισσότερη είναι η ηλιακή ακτινοβολία, τόσο περισσότερο θερμαίνεται ο αισθητήρας και τόσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του ηλεκτρικού σήματος που προκύπτει. Η θερμοστήλη είναι σχεδιασμένη ώστε να λειτουργεί με τρόπο γραμμικό, δηλαδή, ο διπλασιασμός της ροής της ηλιακής ακτινοβολίας συνεπάγεται και τον διπλασιασμό του ηλεκτρικού ρεύματος. Η ποσότητα της ακτινοβολίας που προσπίπτει στον αισθητήρα, άρα και η απόκρισή του, είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη διεύθυνση των ηλιακών ακτίνων, δηλαδή μέγιστες τιμές όταν ο Ήλιος βρίσκεται σε θέση κατακόρυφη (το μεσημέρι) και ελάχιστες όταν ο Ήλιος βρίσκεται κοντά στον ορίζοντα (το χάραμα και τη δύση). Αυτό ονομάζεται απόκριση συνημιτόνου, γιατί το ηλεκτρικό σήμα που προκύπτει από τον αισθητήρα μεταβάλλεται ανάλογα με το συνημίτονο της γωνίας που σχηματίζουν οι ακτίνες του Ήλιου με την κατακόρυφο.

Φωτοδίοδος

Οι φωτοδιόδοι είναι ημιαγωγοί όπως και οι κοινές διόδοι με την διαφορά ότι έχουν το χαρακτηριστικό να είναι φωτοευαίσθητες, όταν δηλαδή προσπέσει επ' αυτών ακτινοβολία τότε απελευθερώνεται ένα ηλεκτρόνιο το οποίο καθίσταται ελεύθερο ηλεκτρόνιο, ενώ



Εικόνα 30. Σχηματική παράσταση μιας φωτοδιόδου. Με πράσινο οι δημιουργούμενες οπές και με κόκκινο χρώμα τα ελεύθερα ηλεκτρόνια.

παράλληλα δημιουργείται και μια θετικά φορτισμένη "ηλεκτρονιακή οπή". Για να επιτευχθεί αυτό απαιτείται ενέργεια μεγαλύτερη ενός κατωφλίου που εξαρτάται από το υλικό της φωτοδιόδου. Είναι αισθητήρες γρήγορης απόκρισης. Το βασικό τους μειονέκτημα είναι ότι δεν ανταποκρίνονται με τρόπο γραμμικό σε ένα ευρύ φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας, αλλά μόνο σε ένα περιορισμένο εύρος μηκών κύματος. Στον επόμενο πίνακα φαίνονται διάφορα υλικά φωτοδιόδων και οι αντίστοιχες περιοχές του φάσματος στις οποίες αποκρίνονται.

Υλικό	Περιοχή φάσματος (nm)
Πυρίτιο	190–1100
Γερμάνιο	400–1700
Ίνδιο - Γάλλιο - Αρσενικό	800–2600
Θειούχος Μόλυβδος	<1000–3500

Πυρανόμετρο (Πυρανόμετρο του Erppley)

Το πυρανόμετρο, που πολύ συχνά αναφέρεται ως *πυρανόμετρο του Erppley* χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο καθώς και για την μέτρηση της διάχυτης ακτινοβολίας με κατάλληλη σκίαση. Ο αισθητήρας του πυρανομέτρου είναι ουσιαστικά είτε θερμοστήλης, δηλαδή ένα σύνολο από θερμοζεύγη (περίπου 50 με 100 στα καλύτερα όργανα), είτε φωτοδιόδου (φωτοβολταϊκών κυττάρων).

Τα πυρανόμετρα διαθέτουν ένα κάλυμμα, με τη μορφή θόλου, συχνά διπλού για καλύτερη θερμική μόνωση της θερμοστήλης, κατασκευασμένου συνήθως από οπτικό γυαλί, ώστε να προστατεύεται η θερμοστήλη από τον αέρα, τη βροχή και τη σκόνη, που θα μπορούσαν να



Εικόνα 32. Η εικόνα ενός πυρανομέτρου. Είναι εμφανής ο διπλός θόλος από γυαλί που προστατεύει τους αισθητήρες, καθώς και το αδιάβροχο καλώδιο από την πλευρά που μεταφέρονται τα ηλεκτρικά σήματα που αντιστοιχούν στην προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία. (Steve Wilcox courtesy of US Department of Energy/National Renewable Energy Laboratory (US DOE/NREL).

επηρεάσουν τις μετρήσεις. Ένα μικρό ανταλλακτικό τσιπάκι σιλικόνης μέσα στο θόλο



Εικόνα 31. Σύστημα πυρηλιομέτρου με πυρανόμετρο προστατευμένο από την άμεση ακτινοβολία ώστε να μετρά μόνο τη διάχυτη.

απορροφά την όποια υγρασία. Από τη στιγμή που το όργανο βρίσκεται διαρκώς εκτεθειμένο σε εξωτερικό χώρο, η θήκη του θα πρέπει να είναι κατασκευασμένη από κάποιο ανθεκτικό και αδιάβροχο υλικό, όπως είναι το αλουμίνιο.

Με κατάλληλο προστατευτικό δίσκο ή στεφάνη μετατρέπεται σε όργανο μέτρησης της διάχυτης ακτινοβολίας και συνοδεύει πολύ συχνά συστήματα πυρηλιομέτρων όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα. Το πυρανόμετρο του Erppley συγκεκριμένα χρησιμοποιεί θερμοστήλη του Moll κατασκευασμένη από χαλκό-κονσταντάνη ως φωτοευαίσθητο στοιχείο και είναι από τα πλέον παραδοσιακά και αξιόπιστα όργανα.

Τέλος επιλέγοντας αισθητήρες που μετρούν σε συγκεκριμένες περιοχές του φάσματος, μπορούμε να κατασκευάσουμε ακτινόμετρα UV με τα οποία μετρούμε την υπεριώδη ακτινοβολία (μέχρι τα

300nm) ή ακτινόμετρα (πυρανόμετρα) που μετρούν στο φάσμα της φωτοσυνθετικής ακτινοβολίας (400nm-700nm)

Πυρηλιόμετρο

Τα πυρηλιόμετρα είναι ακτινόμετρα με τα οποία μετράμε την άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Επειδή η άμεση ηλιακή ακτινοβολία μετριέται επί επιπέδου κάθετα εκτεθειμένου στις ηλιακές ακτίνες, συνήθως περιοριζόμαστε σε ορισμένες μετρήσεις σε τακτά διαστήματα μέσα στην ημέρα. Τα όργανα αυτά για να γίνουν αυτογραφικά, πρέπει να είναι προσαρμοσμένα πάνω σε *αστροστάτη* δηλαδή σύστημα το οποίο τους δίνει την δυνατότητα να παρακολουθούν την κίνηση του ήλιου καθ' ύψος και αζιμούθιο.

Σε αυτά ο αισθητήρας βρίσκεται στο βάθος ενός κυλινδρικού σωλήνα, τοποθετημένος κάθετα στον κύριο άξονά του.

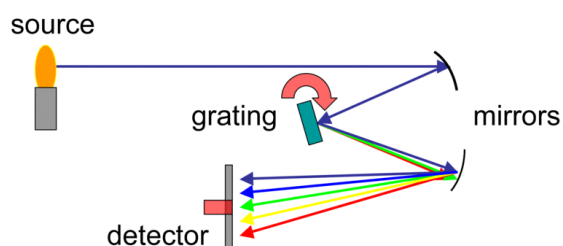
Για τη μέτρηση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας προσανατολίζουμε το όργανο καθ' ύψος και αζιμούθιο (με τη βοήθεια στόχαστρου που υπάρχει πάνω σε αυτό), ώστε οι ηλιακές ακτίνες να μπαίνουν παράλληλα προς τον διαμήκη άξονα του οργάνου και να πέφτουν κάθετα πάνω στον αισθητήρα.



Εικόνα 33. Τυπικό σύγχρονο πυρηλιόμετρο.

Φασματόμετρο (Σπεκτρόμετρο)

Το φασματόμετρο ή φασματοσκόπιο ή σπεκτρόμετρο είναι ένα όργανο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση ιδιοτήτων του φωτός σε συγκεκριμένες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η μεταβλητή που μετράται είναι η ένταση της ακτινοβολίας σε συνάρτηση με το μήκος κύματος του φωτός και με διάφορες διακριτικές ικανότητες ως προς την ανάλυση κατά μήκος κύματος. Τα όργανα αυτού του τύπου λειτουργούν σε ένα μεγάλο εύρος μηκών κύματος, από τις ακτίνες γάμμα και τις ακτίνες χ, μέχρι το υπέρυθρο. Χρησιμοποιούν διάφραγμα με λεπτές σχισμές ή πρίσμα για την ανάλυση του φωτός και αποτελούν ακριβή και εξειδικευμένα όργανα που χρησιμοποιούνται σε ειδικές περιπτώσεις.



Τα σπεκτρόμετρα που χρησιμοποιούνται πλέον είναι ηλεκτρονικά. Για την περίπτωση του ορατού φωτός συνήθως χρησιμοποιείται ένα κύτταρο CdS (μιας φωτοαντίστασης εκ θείουχου καδμίου), που είναι ένας τύπος ημιαγωγού ο οποίος έχει την ιδιότητα να μεταβάλλει την

Εικόνα 34. Σχηματική παρουσίαση της λειτουργίας ενός φασματομέτρου.

αντίστασή του ανάλογα με την ακτινοβολία που δέχεται, και ο οποίος χρησιμοποιείται ευρέως στα φωτόμετρα των φωτογραφικών μηχανών. Έτσι όταν προσπίπτει στην φωτοαντίσταση ακτινοβολία μειώνεται η αντίστασή της και η διέλευση ρεύματος διευκολύνεται. Ένας μικρός υπολογιστής μετράει την ελάττωση της αντίστασης και χρησιμοποιεί αυτή την πληροφορία για τον υπολογισμό της έντασης της ακτινοβολίας που προσπίπτει στον αισθητήρα.

Ηλιογράφος Cambell-Stokes

Για την καταγραφή των πραγματικών ωρών ηλιοφάνειας χρησιμοποιείται ένα απλούστατο όργανο, ο ηλιογράφος των Cambell-Stokes, ο οποίος κυκλοφορεί σε παραλλαγές ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος για το οποίο προορίζεται.

Αποτελείται από μια γυάλινη σφαίρα, η οποία στερεώνεται σε ένα ημικυκλικό περιστρεφόμενο τόξο σχήματος (Εικόνα 35). Πάνω σε αυτό το μεταλλικό τόξο είναι στερεωμένη μια μεταλλική θήκη, σχήματος ημιδακτυλίου ομόκεντρου με την σφαίρα σε τέτοια



Εικόνα 35. Ηλιογράφος Campbell-Stokes. Διακρίνεται η καμένη ταινία.

απόσταση, ώστε η κύρια εστία της γυάλινης σφαίρας να βρίσκεται στην εσωτερική επιφάνεια της θήκης για οποιοδήποτε κύριο άξονα της σφαίρας.

Στην εσωτερική όψη της θήκης υπάρχουν υποδοχές για την στερέωση χάρτινων ταινιών. Η σφαίρα πρέπει να είναι κατασκευασμένη από ομοιόμορφο σκληρό γυαλί, χωρίς επιφανειακές ραβδώσεις και να είναι άχρωμη ή υποκίτρινη. Σκοπός της σφαίρας είναι η χρησιμοποίησή της ως σφαιρικού φακού, ο οποίος εστιάζει την ηλιακή ακτινοβολία πάνω στην

ταινία που βρίσκεται μέσα στη θήκη. Όταν ο ήλιος δεν καλύπτεται από σύννεφα, η θερμική ακτινοβολία του η οποία συγκεντρώνεται από τη σφαίρα πάνω στην ταινία την καίει, σχηματίζοντας ένα ίχνος το οποίο και αντιστοιχεί στις ώρες της ηλιοφάνειας.

Ο ηλιογράφος Cambell-Stokes πρέπει να τοποθετείται έτσι ώστε: ο ήλιος να πέφτει πάνω στο όργανο από την ανατολή μέχρι τη δύση του όλο το χρόνο, η βάση στερέωσης του οργάνου να είναι οριζόντια, η θήκη να βρίσκεται προς βορρά της σφαίρας στο βόρειο ημισφαίριο, η σφαίρα και η θήκη να είναι ομόκεντρες, η γωνία κλίσης της σφαίρας να είναι κατάλληλη ώστε η εστίαση να γίνεται επί της ταινίας και τέλος το επίπεδο που ορίζεται από το κέντρο της σφαίρας και την κεντρική κατακόρυφη γραμμή πάνω στη θήκη που αντιστοιχεί στην αληθή μεσημβρία να συμπίπτει με το μεσημβρινό επίπεδο του τόπου.

Ολοκληρώνοντας σημειώνουμε ότι για τις διάφορες εποχές, ανάλογα με τη διάρκεια της ημέρας, υπάρχουν και οι αντίστοιχες ταινίες που τοποθετούνται στις κατάλληλες υποδοχές της θήκης κατά τρόπο ώστε η ένδειξη της 12:00μμ να συμπίπτει με τη γραμμή του μεσημβρινού της θήκης.