



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ**  
**ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ**  
**ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ**

**ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΙΑΚΟΥ ΙΧΝΗΛΑΤΗ ΓΙΑ ΤΗ**  
**ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ (ΑΖΙΜΟΥΘΙΟ – ΥΨΟΣ)**  
**ΚΑΙ**  
**ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ**  
**ΑΜΕΣΗΣ – ΔΙΑΧΥΤΗΣ - ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

του

**Ιωάννη Ν. Μπούρδαλη**

**Επιβλέπων : Κωνσταντίνος Δέρβος**





**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ**  
**ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ**  
**ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ**

**ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΙΑΚΟΥ ΙΧΝΗΛΑΤΗ ΓΙΑ ΤΗ**  
**ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ (ΑΖΙΜΟΥΘΙΟ – ΥΨΟΣ)**  
**ΚΑΙ**  
**ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ**  
**ΑΜΕΣΗΣ – ΔΙΑΧΥΤΗΣ - ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

του

**Ιωάννη Ν. Μπούρδαλη**

**Επιβλέπων : Κωνσταντίνος Δέρβος**





**Σε όλους εσάς που με κάνετε υπερήφανο που είμαι και εγώ  
ανεξάρτητος αριστερός φοιτητής ηλεκτρολόγος...**



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ**  
**ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΛΟΣΗΣ**  
**ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ**

**ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΙΑΚΟΥ ΙΧΝΗΛΑΤΗ ΓΙΑ ΤΗ**  
**ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ (ΑΖΙΜΟΥΘΙΟ – ΥΨΟΣ)**  
**ΚΑΙ**  
**ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ**  
**ΑΜΕΣΗΣ – ΔΙΑΧΥΤΗΣ - ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

του

**Ιωάννη Ν. Μπούρδαλη**

**Επιβλέπων : Κωνσταντίνος Δέρβος**

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 12<sup>Η</sup> Νοεμβρίου 2012

Κωνσταντίνος Δέρβος

Παναγιώτα Βασιλείου

Ηλίας Αβραμόπουλος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Καθηγητής Ε.Μ.Π.





**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ**  
**ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΛΟΣΗΣ**  
**ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ**

**ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΙΑΚΟΥ ΙΧΝΗΛΑΤΗ ΓΙΑ ΤΗ**  
**ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ (ΑΖΙΜΟΥΘΙΟ – ΥΨΟΣ)**  
**ΚΑΙ**  
**ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ**  
**ΑΜΕΣΗΣ – ΔΙΑΧΥΤΗΣ - ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

του

**Ιωάννη Ν. Μπούρδαλη**

**Επιβλέπων : Κωνσταντίνος Δέρβος**

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 12<sup>Η</sup> Νοεμβρίου 2012

Κωνσταντίνος Δέρβος

Παναγιώτα Βασιλείου

Ηλίας Αβραμόπουλος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Μπούρδαλης Ιωάννης

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών

Copyright © Μπούρδαλης Ιωάννης, 2012

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## **Ευχαριστίες**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Κωνσταντίνο Δέρβο , Καθηγητή Ε.Μ.Π, που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα και με καθοδήγησε κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας. Επίσης, η καθοδήγηση και οι υποδείξεις που δέχτηκα από το διπλωματούχο Ναυπηγό Μηχανικό, Θοδωρή Αργυρόπουλο, ήταν πολύτιμες.

---

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

---

Στη παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται ένα μοντέλο κατασκευής συστήματος ηλιακού ιχνηλάτη που καταγράφει και μετράει την ηλιακή ακτινοβολία (άμεση – διάχυτη – συνολική).

Με βάση τη θέση του Ηλίου αλλά και τη σχετική του κίνηση ως προς τη Γη υπολογίζονται, με χρήση των ηλιακών εξισώσεων, οι ηλιακές συντεταγμένες (αζιμούθιο και ύψος Ηλίου) μεγέθη πολύ χρήσιμα σε πολλές επιστήμες όπως η αστρονομία, η μετεωρολογία αλλά και στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας.

Υπάρχουν πολλοί αλγόριθμοι για τον προσδιορισμό της θέσης του ηλίου. Στην εργασία παρουσιάζονται δύο από αυτούς. Με βάση αυτούς τους αλγορίθμους γίνεται και η οδήγηση του ιχνηλάτη.

Ως προς την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον Ήλιο, οι ηλιακές συντεταγμένες έχουν βαρύνουσα σημασία, αφού ανάλογα με την κίνηση του Ήλιου και τη γεωγραφική θέση κάθε περιοχής μπορεί η στήριξη των φωτοβολταϊκών στοιχείων να αυξήσει ή να μειώσει κατά πολύ την ενεργειακή τους απόδοση.

Για τον υπολογισμό των συντεταγμένων του Ηλίου κρίνεται απαραίτητη και αρκετά σημαντική η χρήση κατάλληλου προγραμματιστικού περιβάλλοντος για την επεξεργασία των δεδομένων. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε περιβάλλον Labview και δημιουργήθηκε ένας εύχρηστος και φιλικός προς το χρήστη κώδικας που υπολογίζει σε ετήσια βάση τη θέση του Ηλίου ανά κάποιο βήμα το οποίο επιλέγεται από το χρήστη. Με βάση αυτό το περιβάλλον έγιναν διαγράμματα της πορείας του ηλίου για διάφορες ημερομηνίες και διάφορες γεωγραφικές συντεταγμένες.

Στη συνέχεια της εργασίας, αναλύθηκε η ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον Ήλιο. Εξετάστηκε η διαδρομή που ακολουθεί αλλά και τα εμπόδια που συναντά στο ταξίδι της μέχρι τη Γη. Ορίστηκαν όλες οι μετρήσιμες μορφές της ηλιακής ακτινοβολίας και τρόποι υπολογισμού της. Επιπλέον παρουσιάστηκε το ανισοτροπικό μοντέλο για τον

υπολογισμό της πυκνότητας ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο, από τις μετρήσεις της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο.

Αφού περιγράφηκε το θεωρητικό πλαίσιο, στη συνέχεια παρουσιάζεται το μηχανικό μέρος του συστήματος ηλιακού ιχνηλάτη όπως κατασκευάστηκε και χρησιμοποιήθηκε. Ως ανιχνευτές των γωνιών χρησιμοποιούνται οι στρεφόμενες συσκευές “zaber T-RS60A”. Οι συσκευές αυτές έχουν μεγάλη ακρίβεια μετρήσεων θέσεως ( $0,01^\circ$ ).

Οι συσκευές αυτές προγραμματίζονται σε περιβάλλον Labview έτσι ώστε να κατασκευάζεται σύστημα ιχνηλάτη της θέσης και πορείας του ηλίου για κάθε μέρα του χρόνου. Η οδήγηση του ιχνηλάτη γίνεται με βάση τους 2 αλγορίθμους προσδιορισμού της ηλιακής θέσης. Ο χρήστης μπορεί να ορίζει είτε πραγματική παρακολούθηση της ηλιακής τροχιάς με κάποιο βήμα είτε προσομοίωση της ηλιακής τροχιάς στο εργαστήριο.

Τέλος στον ιχνηλάτη προσαρμόστηκαν αισθητήρες μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας και λήφθηκαν πιλοτικές μετρήσεις στην ταράτσα του κτηρίου Ηλεκτρολόγων στο ΕΜΠ. Μετρήθηκε η άμεση, η διάχυτη και η συνολική ηλιακή ακτινοβολία.





---

## ABSTRACT

---

In this paper, a construction model of a solar tracker is presented. This tracker also records and measures the solar radiation (direct – diffuse and total).

Based on the position of the sun and its relative motion to the Earth, the solar coordinates can be calculated through using the solar equations (azimuth and height of the Sun) . This procedure is believed to be very useful in many disciplines such as astronomy, meteorology and in the field of the production of electrical energy by using photovoltaic technology.

There are many algorithms of determining the position of the sun. We represent two of them in this paper. The solar tracker is based on these two.

As for the production of electricity from the sun, solar coordinates have relevance, since depending of the movement of the Sun and the geographic location of each region, we can support the photovoltaic cells in order to increase or greatly decrease their efficiency.

In order to calculate the coordinates of the Sun, a suitable programming environment was created and used. In this study Labview environment was used and as a result a convenient and user-friendly code was created. This program calculates the position of the Sun on an annual basis at any time step chosen by the user. Based on this environment, we created solar position and path charts on different dates and different geographic coordinates.

Furthermore, in this paper the radiation emitted by the sun is analyzed. The followed path is examined and the obstacles it encounters on its journey to earth. All measurable forms of solar radiation and calculation methods are represented. Also the anisotropic model of calculating the energy density of the solar radiation is presented.

Having described the theoretical framework, then the mechanical part of the solar tracker is presented. As probes of the angles we used the rotary devices “zaber T-

RS60A” . These devices offer measurements of high accuracy.

These devices programmed in Labview enviroment so we construct the solar tracking system. The driving of this system is based on the 2 algorithms for determining the solar position. The user may specify either actual monitoring of solar orbit with a step or simulation of solar orbit in the laboratory.

Finally we adjust sensors for solar radiation measurements. The measurements were taken in an N.T.U.A building's roof. We measured directly diffused and total solar radiation.



---

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ : ΗΛΙΑΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ

---

## 1. Εισαγωγή

Το πρώτο κεφάλαιο μελετά τα βασικά χαρακτηριστικά του Ήλιου και της Γης όπως επίσης και των κινήσεων τους. Για αυτόν το σκοπό θα περιγραφούν τα συστήματα συντεταγμένων και θα διατυπωθούν δύο θεωρητικά μοντέλα που περιγράφουν τη σχετική τους κίνηση και θα διατυπωθούν οι εξισώσεις που περιγράφουν την κίνηση του ήλιου ως προς τη γη σύμφωνα και με τα δυο μοντέλα.

### 1.1. Ηλιακή ενέργεια

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη διατήρηση της ζωής στο ηλιακό μας σύστημα. Το ποσοστό της ηλιακής ενέργειας που φθάνει στη γη είναι μόλις το 1 προς 1 δισεκατομμύριο της συνολικής ενέργειας που παράγει ο ήλιος και ισούται κατά προσέγγιση με 420 τρισεκατομμύρια κιλοβατώρες. Είναι γεγονός ότι ο ήλιος είναι η πιο πλούσια και ανεξάντλητη -ανανεώσιμη- πηγή ενέργειας, το πλειοψηφικό ποσοστό της οποίας παραμένει ανεκμετάλλευτο. Με απτά αριθμητικά δεδομένα εκτιμάται ότι :

- Το ποσό της ηλιακής ενέργειας που φθάνει στην επιφάνεια της γης σε μια μέρα είναι 10.000 με 15.000 φορές περισσότερο από την συνολική παγκόσμια ημερήσια κατανάλωση.
- Μέσα σε μια ώρα η γη λαμβάνει αρκετή ηλιακή ενέργεια ώστε να καλύψει συνολικά τις ενεργειακές της ανάγκες για ένα περίπου έτος.
- Η ηλιακή ενέργεια που πέφτει πάνω σε ένα τετραγωνικό μέτρο κάθε χρόνο ισοδυναμεί ενεργειακά με ένα βαρέλι πετρέλαιο, που εν αντιθέσει με τον ήλιο αποτελεί ρυπογόνα και συμβατική πηγή ενέργεια με αποθέματα που διαρκώς και ταχύτατα μειώνονται.

Η ηλιακή ενέργεια έχει θερμικές και φωτοβολταϊκές εφαρμογές. Η πρώτη

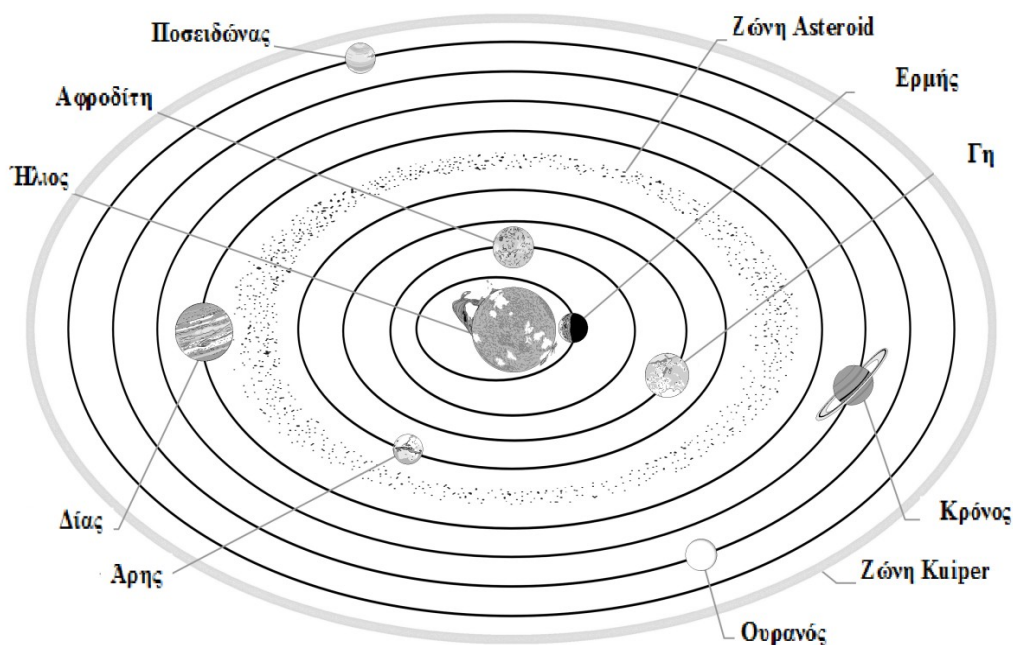
είναι η συλλογή της ηλιακής ενέργειας για να παραχθεί θερμότητα, κυρίως για τη θέρμανση του νερού και τη μετατροπή του σε ατμό για την κίνηση τουρμπίνων. Στη δεύτερη εφαρμογή τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν απευθείας το φως του ηλίου σε ηλεκτρισμό με τη χρήση φωτοβολταϊκών κυψελών ή συστοιχιών. Όπως προκύπτει και από τα παραπάνω αριθμητικά δεδομένα, τα διαθέσιμα ενεργειακά αποθέματα του ηλίου είναι τόσο μεγάλα που δημιουργούν αξιόλογες δυνατότητες και προοπτικές αξιοποίησης για την παραγωγή “καθαρής” ηλεκτρικής ενέργειας με φθηνότερο κόστος συντήρησης και λειτουργίας και περιβαλλοντικά συμβατές διαδικασίες παραγωγής, που θα επιχειρήσουν να θέσουν κάποια αναχώματα στην αλόγιστη καταστροφή του περιβάλλοντος και την κατασπατάληση των υπαρχόντων αποθεμάτων ενέργειας.

Ο ήλιος είναι ένα αστέρι με μάζα  $2 \times 10^{30} \text{ Kg}$ , ακτίνα  $700.000 \text{ Km}$ , ηλικία  $5 \times 10^9$  χρόνια και προοπτική ζωής άλλων 5 περίπου δισεκατομμυρίων χρόνων. Η επιφανειακή του θερμοκρασία είναι περίπου  $5.800 \text{ K}$  και η εσωτερική  $\sim 150.000.000 \text{ K}$ . Ο ήλιος συνιστάται σε ένα μίγμα αερίων με κύριο συστατικό το Υδρογόνο ( ${}^1_1\text{H}$ ). Μέσα από μια πλειάδα αυτοσυντηρούμενων θερμοπυρηνικών αντιδράσεων μετατροπής του υδρογόνου σε ήλιο (He) στο εσωτερικό του ουράνιου αυτού σώματος, η μάζα μετατρέπεται σε ενέργεια και εκπέμπεται στο σύμπαν κυρίως μέσω ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας αλλά και δευτερευόντως με σωματιδιακή μορφή. Το συγκεκριμένο ουράνιο σώμα μπορεί να θεωρηθεί ως ένας αντιδραστήρας σύντηξης του οποίου τα τοιχώματα αποτελούνται από θερμά αέρια που συγκρατώνται από βαρυτικές δυνάμεις. Υπολογίζεται ότι για κάθε γραμμάριο υδρογόνου που μετατρέπεται σε ήλιο εκλύεται ενέργεια ίση με  $1.67 \times 10^5 \text{ Kwh}$ .

## **1.2. Ήλιος και Γη**

Ο Ήλιος είναι ένας αστέρας της κύριας ακολουθίας με φασματικό τύπο G2 V, έχει δηλαδή μεγαλύτερη μάζα και θερμοκρασία από ότι ένα μέσο αστέρι αλλά σημαντικά μικρότερη από έναν μπλε γίγαντα. Ακολουθεί μία τροχιά μέσα

στον Γαλαξία σε μία απόσταση 25.000 με 28.000 έτη φωτός από το κέντρο του, ολοκληρώνοντας μία περιφορά σε περίπου 226 εκατομμύρια έτη. Γύρω από τον Ήλιο έχουν τις τροχιές του οι οκτώ πλανήτες, μεταξύ τους και η Γη.



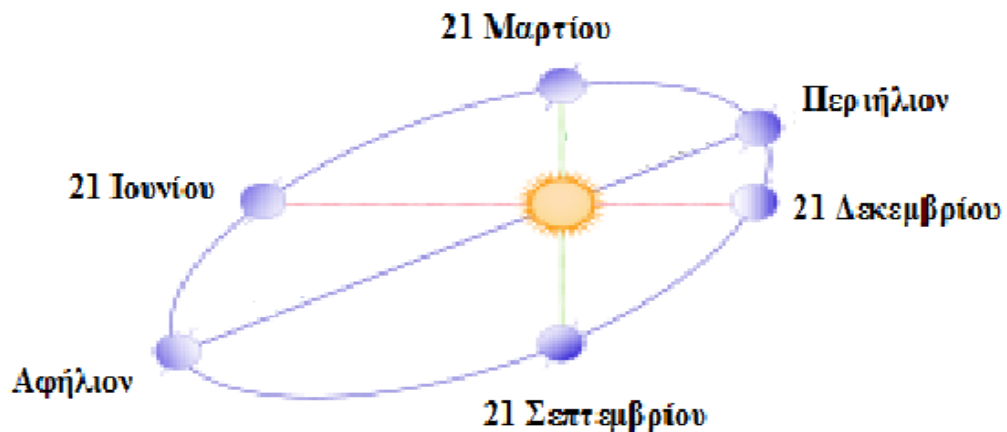
Σχ.1.1 : Το Ηλιακό σύστημα

Η διάμετρος του ηλίου ισούται περίπου με  $1.5 \times 10^8 \text{ km}$ . Ο ήλιος εκτελεί μια πλήρη περιστροφή γύρω από τον άξονά του μια φορά κάθε τέσσερις εβδομάδες, όπως προκύπτει από γήινη παρατήρηση. Εξαιτίας μάλιστα της μη ομοιόμορφης πυκνότητας του Ηλίου, ο ισημερινός του περιστρέφεται πλήρως μέσα σε 27 ημέρες ενώ οι πολικές του περιοχές μέσα σε 30 μέρες. Ο πυρήνας του ήλιου βρίσκεται στο εσωτερικό του σε μια σφαίρα ακτίνας  $0.23 R$ , όπου  $R$  η ακτίνα του. Εκεί εντοπίζεται το 40% της μάζας του και δημιουργείται το 90% της ενέργειάς του.

Στην αντίληψη του μεγέθους τού Ήλιου συχνά γίνεται λόγος του όρου "φαινόμενη διάμετρος του Ηλίου". Φαινόμενη διάμετρος του Ηλίου η οποία είναι η γωνία  $AGB$  με την οποία παρατηρείται ο Ήλιος από τη Γη όταν  $A$  και  $B$  είναι αντιδιαμετρικά σημεία της περιφέρειας του δίσκου του Ηλίου και  $\Gamma$  το σημείο της Γης (του παρατηρητή). Η διχοτόμος  $AGB$  εκφράζει την απόσταση

Γης-Ηλίου. Η φαινόμενη διάμετρος του Ήλιου μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του έτους: Στις 3 Ιανουαρίου λαμβάνει τη μεγαλύτερη τιμή, ίση προς  $32' 36''$ ,2 ενώ στις 4 Ιουλίου περιορίζεται στην ελάχιστη τιμή των  $31' 32''$ .

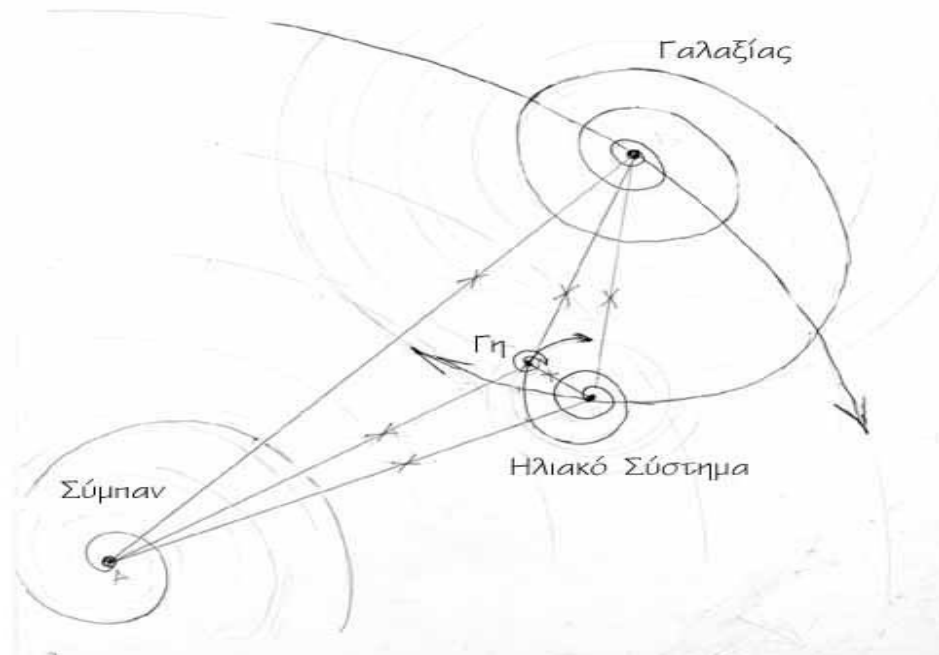
Αυτή η μεταβολή της φαινόμενης διαμέτρου αποδεικνύει ότι η τροχιά της γης γύρω από τον ήλιο είναι ελλειπτική με μήκος μεγάλου άξονα  $a=149,6 \times 10^6 \text{ km}$  και εκκεντρότητα  $e \approx 0,01673$ . Η απόσταση μεταξύ γης και ήλιου μεταβάλλεται περιοδικά κατά τη διάρκεια του έτους. σε τρόπο ώστε την 4η Ιανουαρίου η απόσταση Γης-Ηλίου να λαμβάνει την ελάχιστη τιμή που ονομάζεται περιήλιο και είναι  $147,1 \times 10^6 \text{ km}$   $147.098.074 \text{ km}$  και στις 4 Ιουλίου τη μέγιστη τιμή που ονομάζεται αφήλιο και είναι  $152.100.000 \text{ km}$ . Έτσι η μέση τιμή της απόστασης είναι  $152.097.701 \text{ km}$ . Για να διανύσει τη συγκεκριμένη απόσταση το φως με ταχύτητα περίπου  $300.000 \text{ km/s}$  απαιτούνται 8.5 min.



Σχ.1.2 : Περιφορά της Γης γύρω από τον Ήλιο

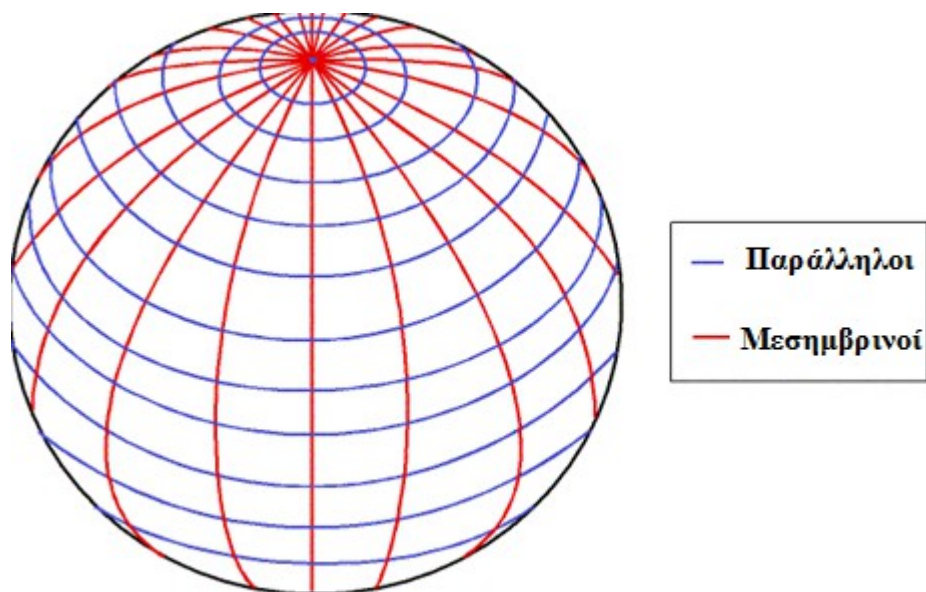
Η Γη όμως δεν περιφέρεται μόνο γύρω από τον Ήλιο. Στην πραγματικότητα πραγματοποιεί τέσσερις κινήσεις: την περιστροφή γύρω από τον άξονά της, την περιφορά γύρω από τον Ήλιο, την ηλιακή μεταβατική περιφορά που πραγματοποιεί ακολουθώντας την περιστροφή του Ηλιακού συστήματος και την Γαλαξιακή μεταβατική περιφορά που πραγματοποιεί ακολουθώντας την περιστροφή του Γαλαξία.





Σχ.1.3 : Κινήσεις της Γης

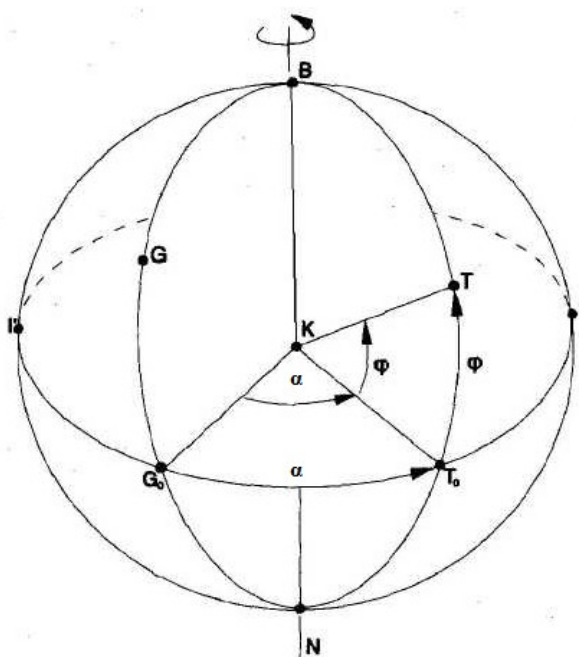
Οι πιο σημαντικές κινήσεις οι οποίες και θα μελετηθούν είναι οι δύο πρώτες. Για τη μελέτη αυτή είναι απαραίτητο να αναφερθούν κάποια στοιχεία όσον αφορά τον προσδιορισμό της θέσης ενός παρατηρητή στο γήινο έδαφος. Όπως είναι γνωστό, η οποιαδήποτε θέση πάνω στη Γη προσδιορίζεται με τη βοήθεια κάθετων ημικυκλίων που ονομάζονται μεσημβρινοί και οριζόντιων παράλληλων κύκλων που ονομάζονται παράλληλοι.



Σχ.1.4 : Μεσημβρινοί και Παράλληλοι κύκλοι

Αρχή σε αυτό το σύστημα αποτελούν ο μεσημβρινός του Γκρίνουιτς (Greenwich) και ο Ισημερινός και γι' αυτό το σημείο τομής τους αποτελεί το σημείο αναφοράς στην επιφάνεια της Γης.

Η Γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του Ισημερινού και μία νοητή γραμμή που ενώνει το κέντρο της Γης με την τοποθεσία που πρόκειται να προσδιοριστεί ονομάζεται γεωγραφικό πλάτος  $\varphi$  (Geographic Latitude) και παίρνει θετικές τιμές στο Βόρειο ημισφαίριο. Αντίστοιχα, η γωνία από τον πρώτο μεσημβρινό ονομάζεται γεωγραφικό μήκος  $\alpha$  ή αλλιώς  $L_{\text{local}}$  (Geographic Longitude) και το πρόσημο της είναι διαφορετικό δυτικά και ανατολικά του μεσημβρινού του Greenwich. Το ζεύγος  $(\alpha, \varphi)$  αποτελούν τις συντεταγμένες του τόπου. Για παράδειγμα σε όλη την εργασία οι συντεταγμένες για την Αθήνα έχουν ληφθεί ως  $\varphi = 37,96^\circ$  και  $\alpha = \pm 23,72^\circ$  (αναλόγως το θεωρητικό μοντέλο που χρησιμοποιούμε).

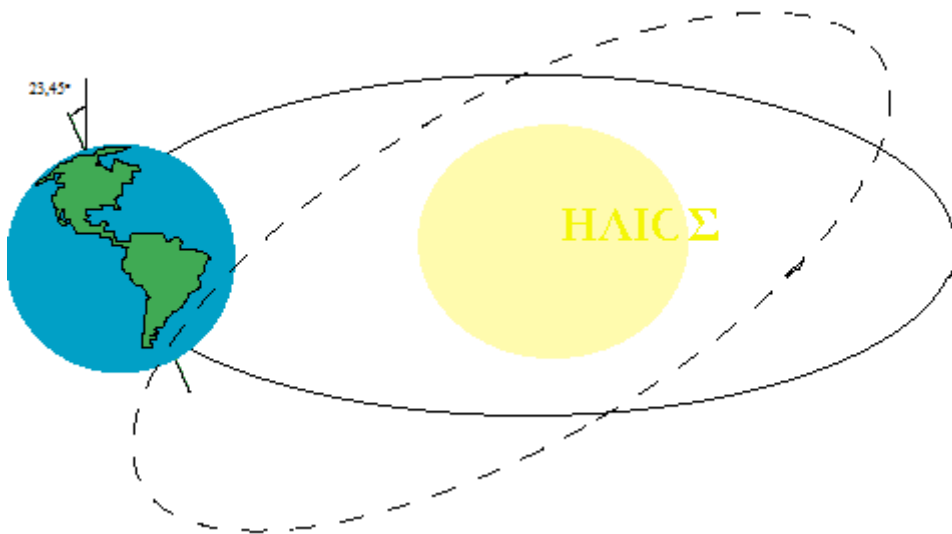


Σχ. 1.5 : Προσδιορισμός Γεωγραφικών Συντεταγμένων

### 1.3. Σχετική κίνηση Ήλιου- Γης

Όπως αναφέρθηκε η Γη βρίσκεται σε μία διαρκή κίνηση τόσο γύρω από τον εαυτό της όσο και γύρω από τον ήλιο. Η περιστροφή της γύρω από τον Ήλιο

ολοκληρώνεται σε 365,25 ημέρες, ενώ η περιστροφή γύρω από τον πολικό της άξονα ολοκληρώνεται σε 23 ώρες και 56 λεπτά. Η τροχιά της σχηματίζει μία έλλειψη, η οποία ορίζει το εκλειπτικό επίπεδο. Όσον αφορά τον πολικό άξονα της Γης, όπως πλέον γνωρίζουμε, δεν είναι κατακόρυφος αλλά σχηματίζει γωνία  $\delta = 23,45^\circ$  με την κάθετη στο εκλειπτικό επίπεδο. Η γωνία αυτή ονομάζεται γωνιακή απόκλιση.



Σχ.1.6: Ελλειπτική τροχιά Γης- γωνιακή απόκλιση

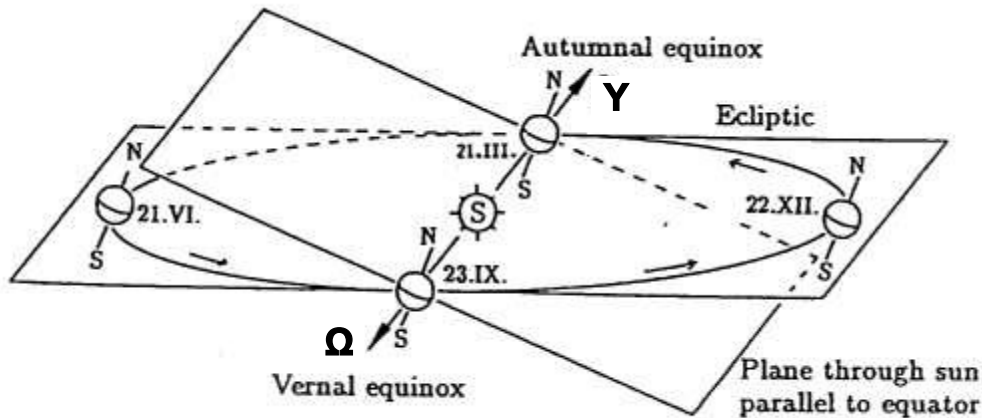
Μια από τις πιο δύσκολες πτυχές, όταν περιγράφει κανείς ή προσπαθεί να κατανοήσει την κίνηση του ήλιου είναι να καταλάβει τα ποικίλα συστήματα συντεταγμένων, μέσα στα οποία καθορίζεται η ηλιακή θέση.

Πριν παρουσιαστούν τα δυο θεωρητικά μοντέλα (αλγόριθμοι υπολογισμού της ηλιακής θέσης) θα περιγραφούν τα συστήματα συντεταγμένων, που με διαφορετικό τρόπο χρησιμοποιούνται και στα δυο μοντέλα.

### 1.3.1. Γεωμετρία Γης – Ηλίου

Η προβολή του ισημερινού επιπέδου της γης (στο άπειρο) περιγράφεται ως ουράνιος ισημερινός. Η γραμμή της τομής του επιπέδου αυτού με την εκλειπτική τροχιά καθορίζει τις ισημερίες. Η θέση της γης στην εαρινή και φθινοπωρινή ισημερία (Vernal and autumnal equinoxes) φαίνεται στο σχήμα 1.7. Ο ουράνιος ισημερινός παραμένει ουσιαστικά καθορισμένος στη θέση, αν

και για πολύ ακριβείς εργασίες οι μεταβολές στην τροχιά της Γης και στη βαρύτητα, ως αποτέλεσμα των άλλων ουράνιων σωμάτων, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Η γωνία μεταξύ της εκλειπτικής και των επιπέδων του ισημερινού ονομάζεται “λόξωση της εκλειπτικής” (Obliquity of the ecliptic)



Σχήμα 1.7 Προσανατολισμός της εκλειπτικής και του ισημερινού

Η εαρινή ισημερία σηματοδοτεί το σημείο εκείνο, μετά από το οποίο θα είναι καλοκαίρι και η φθινοπωρινή ισημερία δείχνει ότι ο χειμώνας θα φθάσει σύντομα. Οι ισημερίες συμβαίνουν περίπου στις 21 Σεπτέμβρη (φθινοπωρινή) και 21 Μάρτη (εαρινή) κάθε χρόνο, αν και ο ακριβής χρόνος θα διαφέρει ελαφρώς από χρόνο σε χρόνο. Αυτές οι διακυμάνσεις προκαλούνται από διαταραχές στην τροχιά της Γης και τη βαρυτική επίδραση της σελήνης και άλλων πλανητών. Συνηθίζεται στις ακριβείς εφαρμογές να ορίζεται συγκεκριμένο έτος για της ισημερίες.

Ενώ η γη περιστρέφεται γύρω από τον ήλιο, είναι βολικό να θεωρείται η Γη σταθερή στο χώρο, και όλα τα ουράνια σώματα να περιστρέφονται γύρω από τη Γη. Το κέντρο της (φανταστικά) ακίνητης Γης, καθορίζει το κέντρο της ουράνιας σφαίρας. Ο προσανατολισμός της σφαίρας ορίζεται από τον άξονα Βορρά – Νότου της Γης (Βλ. Σχήμα 2.8). Η ουράνια σφαίρα έχει μια άπειρη ακτίνα και οι θέσεις στη σφαίρα υπολογίζονται, χρησιμοποιώντας μόνο 2 γωνίες. Η τομή του άξονα Βορρά – Νότου της Γης με την ουράνια σφαίρα καθορίζει το Βόρειο και Νότιο Ουράνιο Πόλο. Στο βόρειο ημισφαίριο, είναι η (κατά προσέγγιση) θέση στον ουρανό του αποκαλούμενου Πολικού (ή

Βόρειου) Αστέρα. Στο νότιο ημισφαίριο, ένα εξασθενημένο αστέρι ονομάζεται Sigma. Octanitis και είναι πολύ κοντά στο Νότιο Ουράνιο Πόλο.

### ***1.3.2. Συστήματα συντεταγμένων που χρησιμοποιούνται στην ηλιακή πρόβλεψη***

Χρησιμοποιούνται τρία βασικά συστήματα συντεταγμένων : 1. Ορθή αναφορά / Απόκλιση (Right ascension / Declination) για τις θέσεις των ουράνιων σωμάτων, 2. Γεωγραφικό μήκος/ Γεωγραφικό πλάτος για τις θέσεις στη γη και 3. ο χρόνος.

#### ***1.3.2.1. Γεωγραφικό μήκος / Γεωγραφικό πλάτος***

Αναφέρθηκαν στην παράγραφο 2.3 οι γνωστές συντεταγμένες που χρησιμοποιούνται στη Γη. Είναι ένα σύστημα πολικών συντεταγμένων όπως φαίνονται στο σχήμα 2.5. Το γεωγραφικό μήκος μετριέται από το Μεσημβρινό του Greenwich και το γεωγραφικό πλάτος από τον ισημερινό.

Έτσι οποιαδήποτε θέση στην επιφάνεια της γης μπορεί να ορίζεται μονοσήμαντα από γεωγραφικό μήκος και πλάτος. Για βασικές εφαρμογές αρκεί να εξεταστεί η Γη ως τέλεια σφαίρα. Ωστόσο για ακριβείς εφαρμογές η Γη μοντελοποιείται ως ελλειψοειδής.

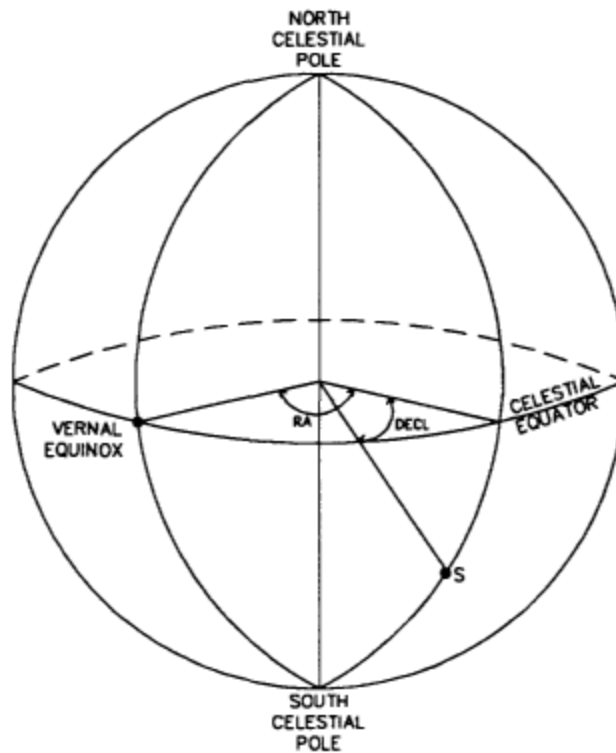
Οι κύκλοι του γεωγραφικού μήκους (μεσημβρινοί) είναι πάντα μεγάλοι κύκλοι. Επειδή οι κύκλοι του γεωγραφικού πλάτους δεν περνούν από το κέντρο της Γης (εκτός από τον Ισημερινό) δεν είναι πάντα μεγάλοι κύκλοι. Ο ισημερινός είναι πολύ μεγάλος κύκλος.

#### ***1.3.2.2. Οι συντεταγμένες Ορθή αναφορά / Απόκλιση***

Αυτό το σύστημα συντεταγμένων χρησιμοποιείται για να υπολογίσει τη θέση των ουράνιων αντικειμένων και είναι παρόμοιο σε σύλληψη με το σύστημα Γεωγραφικό μήκος / Γεωγραφικό πλάτος. Η ορθή αναφορά είναι υπολογίσιμη δεξιόστροφα από την εαρινή ισημερία και η απόκλιση είναι υπολογίσιμη ως η

γωνία που σχηματίζεται από τον ουράνιο ισημερινό με το ουράνιο αντικείμενο (θετικό πρόσημο η βόρεια) που τέμνεται στο κέντρο της ουράνιας σφαίρας. Οι δυο αυτές συντεταγμένες φαίνονται στο σχήμα 2.8.

Επειδή η Γη κινείται στο χώρο πραγματικά η ορθή αναφορά θα ποικίλει ανάλογα με την τροχιακή θέση της Γης. Ωστόσο, για τα αστέρια, η απόσταση από αυτά είναι τόσο μεγάλη σε σύγκριση με την απόσταση της Γης από τον ήλιο, έτσι ώστε εισάγεται πολύ μικρό (αμελητέο) σφάλμα για όλες εκτός από τις πάρα πολύ ακριβείς εφαρμογές. Αυτή δεν είναι η περίπτωση για τον ήλιο, αφού η απόσταση είναι μικρή (πεπερασμένη) σε σχέση με τα αστέρια. Έτσι η Ορθή αναφορά / απόκλιση θα ποικίλει σε καθημερινή βάση.



Σχήμα 1.8 Ορθή Αναφορά / απόκλιση (RA / DECL)

### 1.3.2.3. Ο χρόνος

Ο χρόνος είναι το τρίτο μεγάλο σύστημα συντεταγμένων πρωταρχικής σημασίας για την αστρονομία. Σε έναν παρατηρητή στη Γη, η γραμμή μέσω του ζενίθ του παρατηρητή προς το βόρειο πόλο ονομάζεται μεσημβρινός του παρατηρητή. Αυτός είναι ένας μεγάλος κύκλος που ακολουθεί έναν κύκλο γεωγραφικού μήκους.

Δυο συστήματα χρόνου χρησιμοποιούνται συνήθως η ηλιακή ώρα και η τοπική (ή πολιτική) ώρα. Μεσημέρι ως προς την ηλιακή ώρα είναι η στιγμή που ο ήλιος βρίσκεται στο μεσημβρινό του παρατηρητή. Προφανώς κάθε γραμμή του γεωγραφικού μήκους θα έχει τη δική της μοναδική ηλιακή ώρα. Λόγω της ανάγκης για τυποποίηση του χρόνου για πολιτικούς σκοπούς, εισήχθησαν οι ζώνες ώρας (τοπική – πολιτική ώρα). Στην Ελλάδα έχουμε π.χ ζώνη ώρας 2 ώρες ανατολικά του μεσημβρινού του Greenwich.

Η τροχιά της γης γύρω από τον ήλιο είναι ελαφρώς ελλειπτική, έτσι ώστε η διάρκεια μιας ηλιακής μέρας (δηλαδή ο χρόνος μεταξύ των διαδοχικών διασταυρώσεων του ήλιου στο μεσημβρινό του παρατηρητή) δεν είναι σταθερή στη διάρκεια του έτους. Λόγω των πολιτικών απαιτήσεων που αναφέρθηκαν και παραπάνω, έχει εφευρεθεί ο πλασματικός ή μέσος ήλιος. Η διάρκεια της μέσης μέρας έχει σχεδιαστεί για να είναι ο μέσος όρος όλων των ημερών του έτους. Η διαφορά μεταξύ του αληθινού ήλιου και του πλασματικού ήλιου ονομάζεται Εξίσωση του χρόνου. Κυμαίνεται μεταξύ -16 και 16 λεπτά (του χρόνου) σε όλη τη χρονιά.

Παγκόσμια ώρα (UT) είναι μια διεθνώς συμφωνημένη μέθοδος όπου ο χρόνος υπολογίζεται από τον πλασματικό μέσο ήλιο και έχει αναφορά στο μεσημβρινό του Greenwich.

Ο χρόνος εκφράζεται συνήθως με ένα ρολόι 24 ωρών. Για τριγωνομετρικούς υπολογισμούς, ο χρόνος πρέπει να εκφράζεται ως γωνία. Επειδή 24 ώρες είναι μια πλήρης περιστροφή της γης και αυτή ισούται με 360 μοίρες τόξου, τότε η σχέση γίνεται :

$$\Omega\text{ρα}(\text{τόξο}) = \Omega\text{ρα}(\text{hours}) \times 15$$

Έτσι για θέσεις ανατολικά του μεσημβρινού αναφοράς ο ήλιος θα είναι στο ηλιακό μεσημέρι πριν τα ρολόγια μας δείξουν 12 ώρες και το αντίστροφο θα ισχύει για θέσεις δυτικά του μεσημβρινού. Κατά τη διάρκεια των περιόδων που έχουμε θερινή ώρα προστίθεται μια ώρα στη ζώνη ώρας για να πάρουμε την παγκόσμια ώρα.

#### 1.4. Υπολογισμός ακριβούς θέσης του ηλίου

Η ηλιακή βιβλιογραφία περιέχει ένα ευρύ φάσμα μελετών που αφορούν τον υπολογισμό της ηλιακής θέσης. Οι υπολογισμοί αυτοί μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο ομάδες. Η πρώτη είναι μια ομάδα από σχετικά απλές φόρμουλες, που με δεδομένη τη μέρα του χρόνου υπολογίζουν τις βασικές παραμέτρους της ηλιακής θέσης, όπως της ηλιακής απόκλισης και της εξίσωσης του χρόνου (Cooper, 1969; Lamm, 1981; Spencer, 1971; Swift, 1976). Η δεύτερη αποτελείται από πιο πολύπλοκους αλγόριθμους (Michalsky, 1988; Pitman and Vant-Hull, 1978; Walraven, 1978) που δεδομένης της ακριβής τοποθεσίας και τη στιγμή της παρατήρησης υπολογίζουν τη θέση του ηλίου σε εκλειπτικές (εκλειπτικό μήκος - λοξότητα) ουράνιες (ορθή αναφορά – απόκλιση) και τοπικές οριζόντιες συντεταγμένες (ηλιακό ύψος – ηλιακό αζιμούθιο).

Συνήθως σε ένα ηλιακό σύστημα παρακολούθησης ενδιαφερόμαστε για τις τοπικές οριζόντιες συντεταγμένες του Ηλίου στην τοποθεσία του συστήματος (που καθορίζεται από το γεωγραφικό του μήκος και πλάτος) σε κάθε δεδομένη χρονική στιγμή.

Σε πολλές εφαρμογές η τροχιά του ηλίου πρέπει να παρακολουθείται με μεγάλη ακρίβεια. Ο βαθμός ακρίβειας εξαρτάται από τα ειδικά χαρακτηριστικά του συστήματος που αναλύεται. Οι αλγόριθμοι που υπολογίζουν τις ουράνιες συντεταγμένες παρέχουν μεγαλύτερη ακρίβεια.

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας θα παρουσιαστούν και θα χρησιμοποιηθούν δυο αλγόριθμοι υπολογισμού της ηλιακής θέσης. Ο πρώτος είναι αυτός που υπάρχει στο βιβλίο “*Εισαγωγή στα ημιαγώγιμα υλικά και φωτοβολταϊκές διατάξεις*” και ο δεύτερος είναι ο “**The astronomical almanac's algorithm for approximate solar positinon (1950-2050)**” του JOSEPH J. MICHALSKY.



### 1.5. Πρώτο μοντέλο μελέτης της κίνησης του ηλίου

Επειδή παρατηρούμε τον ήλιο από τη Γη, το να μελετήσουμε τη γεωμετρία του γίνεται πολύ δύσκολο, δεδομένου του ότι ο παρατηρητής κινείται. Τέτοιου είδους περίπλοκες θεωρήσεις και υπολογισμοί μπορούν να απλοποιηθούν θεωρώντας τη Γη σαν κέντρο ελλειπτικής τροχιάς στην οποία κινείται αυτή τη φορά, ο ήλιος. Στο απλοποιημένο αυτό μοντέλο ο άξονας της γης γίνεται κατακόρυφος ενώ το επίπεδο στο οποίο ορίζεται η ελλειπτική τροχιά του ήλιου σχηματίζει γωνία με το επίπεδο που ορίζεται από τον ισημερινό της Γης (ουράνιος ισημερινός) ίση με την ηλιακή απόκλιση.

Στην πραγματικότητα το μοντέλο αυτό αντιστοιχίζεται πλήρως στην πραγματική κίνηση των ουράνιων σωμάτων τοποθετώντας τον παρατηρητή πάνω στη Γη και όχι έξω από το σύστημα.



Σχ. 1.9: Μοντέλο σχετικής κίνησης Ήλιου-Γης

Το μοντέλο αυτό που περιγράφει πλέον την κίνηση «του Ήλιου ως προς τη Γη» επιτρέπει σε παρατηρητή ο οποίος βρίσκεται στο κέντρο της Γης να εντοπίζει τον ήλιο σε γωνία  $\delta$  από τον ουράνιο ισημερινό. Όμως ούτε αυτή η θέση ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα, εφόσον δεν είναι πιθανή θέση για παρατηρητή! Γι' αυτό το λόγο πρέπει να συνυπολογιστεί η πραγματική θέση του παρατηρητή πάνω στη γήινη σφαίρα. Αυτό προϋποθέτει τη μεταφορά του συστήματος συντεταγμένων στο εκάστοτε ζητούμενο σημείο συνυπολογίζοντας τις συντεταγμένες του τόπου.

Μετά τη μεταφορά των συντεταγμένων όλοι οι υπολογισμοί γίνονται στο «φυσικό» σύστημα συντεταγμένων για κάθε παρατηρητή που βρίσκεται επάνω στην επιφάνεια της Γης. Το σύστημα αυτό αναφέρεται σε επίπεδο εφαπτόμενο σε συγκεκριμένη θέση και τέμνει την ουράνια σφαίρα στον ορίζοντα. Αυτή η θεώρηση είναι εξαιρετικά λειτουργική αφού ο ήλιος θεωρούμε ότι κινείται πάνω στην ουράνια σφαίρα. Σημαντικό για το μοντέλο και συχνά αναφερόμενο είναι το σημείο ζενίθ που αποτελεί σημείο τομής της κάθετης στο οριζόντιο επίπεδο και της ουράνιας σφαίρας

Για τον ακριβή προσδιορισμό της θέσης του ήλιου στην ουράνια σφαίρα μας χρειάζονται δύο γωνίες που αποτελούν και τις συντεταγμένες του. Η **γωνία  $\beta$**  που σχηματίζεται μεταξύ του οριζόντιου επιπέδου και της νοητής γραμμής που ενώνει τον παρατηρητή και τον ήλιο ονομάζεται **ύψος ηλίου** και αποτελεί την πρώτη συντεταγμένη. Η **γωνία  $Z$**  σχηματίζεται μεταξύ μιας ορισμένης κατεύθυνσης που θα αναφέρεται στο νότο και της προβολής του ήλιου στο οριζόντιο επίπεδο ονομάζεται **αζιμούθιο** και αποτελεί τη δεύτερη συντεταγμένη. Η γωνία  $\beta$  μπορεί να πάρει τιμές από  $0^\circ$  έως  $90^\circ$ . Η τιμή  $0^\circ$  αναφέρεται στη δύση ή την ανατολή ενώ οι  $90^\circ$  αποτελούν το ανώτερο ύψος ηλίου που μπορεί να προσεγγιστεί μόνο για συγκεκριμένα γεωγραφικά πλάτη και για συγκεκριμένες ημέρες του χρόνου. Το αζιμούθιο  $Z$  μπορεί να πάρει τιμές από  $-180^\circ$  έως  $180^\circ$ . Η τιμή  $0^\circ$  αντιστοιχεί στο νότο ενώ έχουμε θετικές τιμές όσο κινούμαστε προς τη δύση. Το ζεύγος ( $\beta, Z$ ) αρκεί για τον πλήρη προσδιορισμό της θέσης του ηλίου στην ουράνια σφαίρα. Βοηθητικά χρησιμοποιείται η γωνία  $\varphi_Z$  η οποία σχηματίζεται μεταξύ του ζενίθ και της νοητής ευθείας που ενώνει τον παρατηρητή με τον ήλιο και είναι συμπληρωματική της  $\beta$ .



mean time). Με αυτό τον τρόπο υπολογίζουμε τις μοίρες του μεσημβρινού αναφοράς  $L_{st}$  με τη βοήθεια του παρακάτω τύπου:

$$L_{st} = 15^\circ / h \times \Delta TGMT$$

Για παράδειγμα αν θέλαμε να υπολογίσουμε το μεσημβρινό αναφοράς της Ελλάδας από τον τύπο θα παίρναμε ότι  $L_{st} = 150 / h * (-2)$   $h = -30^\circ$  αφού η ζώνη ώρας για την Ελλάδα είναι -2 h.

#### 1.5.1.2. Μήκος τόπου

Αφού βρήκαμε τον μεσημβρινό αναφοράς είναι απαραίτητο να διορθώσουμε την ώρα για το συγκεκριμένο γεωγραφικό μήκος του τόπου. Δεδομένου του ότι η Γη στρέφεται κατά  $1^\circ$  ανά 4min η διόρθωση αντιστοιχεί στον παρακάτω τύπο:

$$4\text{min}/^\circ * (L_{st} - L_{local})$$

#### 1.5.1.3. Εξίσωση χρόνου

Το πρόβλημα που προκύπτει από χρονικές παρεκκλίσεις λόγω τις συγκεκριμένης ημέρας του έτους που μελετάμε επιλύεται μέσα από τη χρήση μίας εμπειρικής εξίσωσης χρόνου  $E$  η οποία συνυπολογίζει την χρονική διάρκεια που χρειάζεται ο ήλιος για να ολοκληρώσει την τροχιά του στην ουράνια σφαίρα. Οι αποκλίσεις στη διάρκεια αυτή οφείλονται τόσο στην κάλυψη άνισων αποστάσεων κατά την περιστροφή της Γης γύρω από τον ήλιο, όσο και στην κλίση του άξονα της Γης ως προς το επίπεδο περιστροφής.

Δύο από τις πιο γνωστές μεθόδους υπολογισμού της εξίσωσης χρόνου  $E$  είναι οι εξής:

$$A) E = 229,2 * (0,000075 + 0,001868 * \cos B - 0,032077 * \sin B - 0,014615 * \cos(2 * B) - 0,04089 * \sin(2 * B))$$

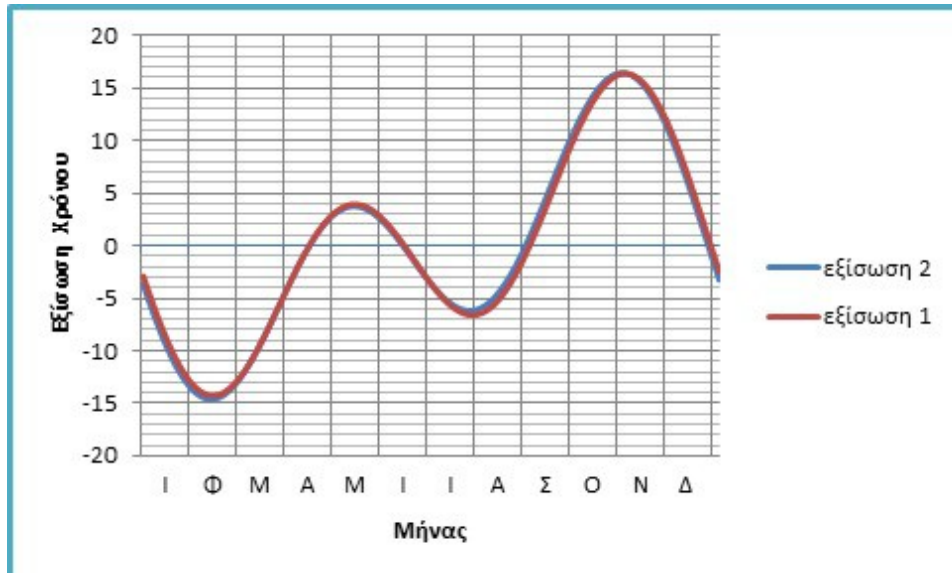
Όπου  $B = (DoY - 1) * 360^\circ / 365$ , η γωνία ημέρας που εξαρτάται από την ημέρα του έτους Day of Year και σχετίζεται με την πρώτη μέρα του έτους.

$$B) E = 9,87 * \sin(2 * B) - 7,53 * \cos B - 1,5 * \sin B$$

Όπου  $B = (DoY - 81) * 360^\circ / 365$ , η γωνία ημέρας που εξαρτάται από την ημέρα του έτους Day of Year και σχετίζεται με την εαρινή ισημερία στην 21<sup>η</sup> Μαρτίου.

Όπως είναι φανερό η δεύτερη εξίσωση είναι πολύ πιο εύχρηστη από την

πρώτη αφού είναι αρκετά πιο απλή. Για να τη χρησιμοποιήσουμε βέβαια θα πρέπει να αποδειχθεί ότι δίνει τα ίδια αποτελέσματα με την πρώτη. Γι' αυτό το λόγω κατασκευάστηκε το παρακάτω συγκριτικό διάγραμμα των εξισώσεων για όλες τις μέρες του χρόνου:



Σχ.1.11 : Γραφική Παράσταση Εξίσωσης Χρόνου

Παρατηρούμε ότι οι δύο γραφικές παραστάσεις συμπίπτουν, κάτι που μας επιτρέπει να χρησιμοποιούμε τη δεύτερη για τους υπολογισμούς μας.

Χρησιμοποιώντας όλες τις παραμέτρους που προαναφέρθηκαν καταλήγουμε στον παρακάτω συνοπτικό τύπο για τον υπολογισμό της  $T_{solar}$  για δεδομένη  $T_{local}$ .

$$T_{solar} = T_{local} + E + 4 \text{min}/^{\circ} * (L_{st} - L_{local})$$

Αξίζει να σημειωθεί ότι για την  $T_{local}$  λαμβάνεται υπόψη μόνο η χειμερινή ώρα και όχι η θερινή αφού θεωρείται σύμβαση.

### 1.5.2. Ηλιακή απόκλιση $\delta$

Άλλος ένας σημαντικός παράγοντας για τον προσδιορισμό της θέσης του ηλίου στην ουράνια σφαίρα είναι η ηλιακή **απόκλιση  $\delta$**  δηλαδή η γωνία μεταξύ του επιπέδου του ουράνιου ισημερινού και της νοητής ευθείας μεταξύ Γης και ήλιου. Όπως ειπώθηκε και παραπάνω η γωνία  $\delta$  θα είναι  $23,45^{\circ}$  στο θερινό ηλιοστάσιο,  $-23,45^{\circ}$  στο χειμερινό ηλιοστάσιο ενώ θα μηδενίζεται στις δύο ισημερίες. Υπάρχουν δύο τύποι που συνυπολογίζουν την επίδραση της

ημέρας του έτους στη γωνία δ. Αυτοί είναι:

$$\delta (^{\circ})=23,45^{\circ} * \sin[(360^{\circ} /365)*(DoY+284)]$$

και

$$\delta (^{\circ})=23,45^{\circ} * \sin[(360^{\circ} /365)*(DoY-81)]$$

Και οι δύο τύποι βασίζονται στο γεγονός ότι κατά την εαρινή ισημερία (DoY=81) η γωνία δ μεγιστοποιείται και γι' αυτό το λόγω ο πρώτος χρησιμοποιεί τον όρο 284 δηλαδή όσες μέρες έχουν περάσει από την εαρινή ισημερία μέχρι την πρώτη Γενάρη ενώ ο δεύτερος χρησιμοποιεί τον όρο 81 δηλαδή όσες μέρες έχουν περάσει από την πρώτη Γενάρη μέχρι την εαρινή ισημερία. Στην πραγματικότητα δεν υπάρχει καμία διαφορά μεταξύ των τύπων και στη συνέχεια θα χρησιμοποιείται ο πρώτος.

### **1.5.3. Γωνία ώρας ω**

Η τελευταία σημαντική γωνία την οποία θα χρησιμοποιήσουμε ώστε να προσδιορίσουμε πλήρως την τροχιά του ηλίου στην ουράνια σφαίρα είναι η **ηλιακή γωνία ώρας ω** . Η ω ορίζεται ως η γωνία εκείνη ανάμεσα στη νοητή γραμμή που ενώνει την εκάστοτε θέση του ηλίου στην ουράνια σφαίρα με τον παρατηρητή και τη νοητή γραμμή που ενώνει τον παρατηρητή με το ζενίθ του ηλίου για τον κάθε τόπο.

Η ηλιακή γωνία ώρας θεωρείται μηδενική στην περίπτωση που ο ήλιος βρίσκεται στο ζενίθ της τροχιάς του (ηλιακό μεσημέρι). Οι γωνίες ω που δημιουργούνται ανατολικότερα του ηλιακού μεσημεριού θεωρούνται αρνητικές, ενώ εκείνες που δημιουργούνται δυτικά του ζενίθ μετά το ηλιακό μεσημέρι θεωρούνται θετικές.

Επειδή, όπως έχει αναφερθεί, η Γη κινείται με 15°/h, υπολογίζουμε την εκάστοτε γωνία ω μετρώντας το χρόνο που χρειάζεται μέχρι το ηλιακό μεσημέρι ή που έχει περάσει από το ηλιακό μεσημέρι με τη βοήθεια της ηλιακής ώρας και καταλήγουμε στον παρακάτω απλό τύπο:

$$\omega = 15^{\circ}/h*(T_{\text{solar}} - 12)$$

Με βάση αυτή τη θεώρηση το ηλιακό μεσημέρι αποτελεί τον “άξονα συμμετρίας” της τροχιάς που διαγράφει ο Ήλιος στον ουράνιο θόλο. Δηλαδή η ελλειπτική τροχιά του στην ουράνια σφαίρα από την ανατολή μέχρι το ηλιακό μεσημέρι όπου  $\omega = 0^\circ$ , επαναλαμβάνεται συμμετρικά ως τη δύση, με άξονα συμμετρίας μία κάθετη στο επίπεδο νοητή ευθεία που ξεκινά από το ζενίθ. Αυτό σημαίνει ότι για παράδειγμα το ύψος ηλίου  $\beta$  θα είναι το ίδιο μία ώρα πριν και μετά το ηλιακό μεσημέρι.

#### 1.5.4. Συντεταγμένες Ηλίου

Με βάση όλα όσα προαναφέρθηκαν μπορούμε πλέον να καταλήξουμε στις εξισώσεις που θα προσδιορίζουν τις συντεταγμένες  $(\beta, Z)$  της θέσης του Ήλιου:

$$\sin\beta = \sin\delta \cdot \sin\varphi + \cos\delta \cdot \cos\varphi \cdot \cos\omega$$

και για το αζιμούθιο  $Z$  ισχύει:

$$\cos Z = (\sin\beta \cdot \sin\varphi - \sin\delta) / (\cos\beta \cdot \cos\varphi)$$

#### 1.5.5. Ανατολή, δύση και ηλιοφάνεια

Απαραίτητες για τον υπολογισμό των συντεταγμένων  $(\beta, Z)$  θεωρούνται και οι ώρες ανατολής, δύσης και ηλιοφάνειας για τον κάθε τόπο. Οι ώρες αυτές διαφέρουν τόσο ανάλογα με τις γεωγραφικές συντεταγμένες όσο και με την συγκεκριμένη ημέρα του χρόνου για την οποία έγινε η μελέτη. Η χρησιμότητά τους σε ένα διάγραμμα  $\beta$ - $Z$  είναι αυτονόητη αφού προσδιορίζουν την έναρξη και τη λήξη των υπολογισμών μας όπως επίσης και το πλήθος τους.

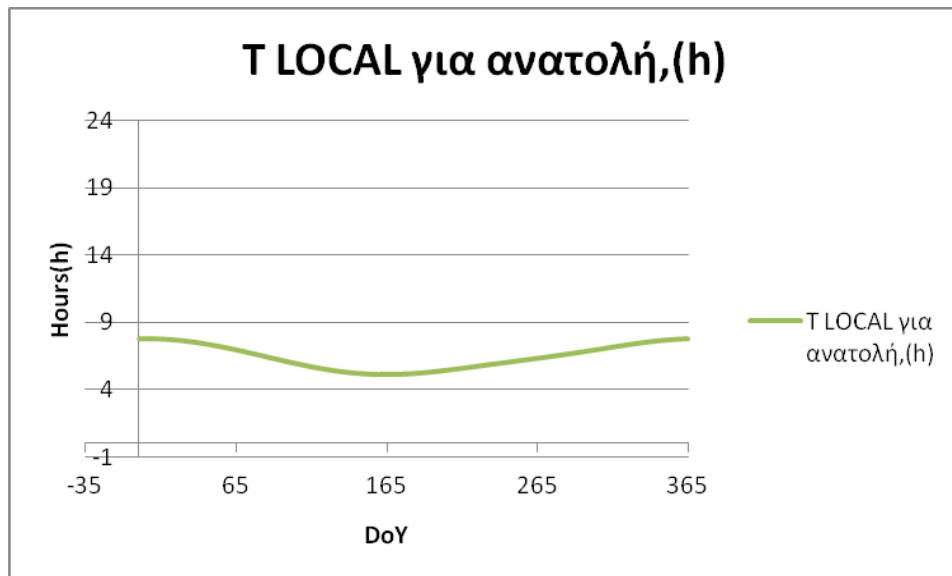
##### 1.5.5.1. Εφαρμογή για τις συντεταγμένες της Αθήνας

Για την εύρεσή τους έγινε η εξής θεώρηση: γνωρίζουμε ότι τη στιγμή της ανατολής και τη στιγμή της δύσης το ύψος Ηλίου  $\beta$  μηδενίζεται. Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας τις προαναφερθείσες εξισώσεις βρίσκεται η τοπική ώρα  $T_{\text{local}}$  η οποία αναφέρεται στις μηδενικές τιμές του  $\beta$  και έτσι προκύπτουν οι ώρες ανατολής και δύσης. Τέλος, αφαιρώντας τις στιγμές έναρξης και λήξης

της ηλιακής τροχιάς μπορούμε να βρούμε τη διάρκεια ηλιοφάνειας για κάθε ημέρα.

Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα που παριστάνουν τις ώρες ανατολής, δύσης και ηλιοφάνειας για τις 365 ημέρες του χρόνου για τις συντεταγμένες της Αθήνας ( $\varphi=37,96^\circ$ ,  $\alpha=-23,72^\circ$ ).

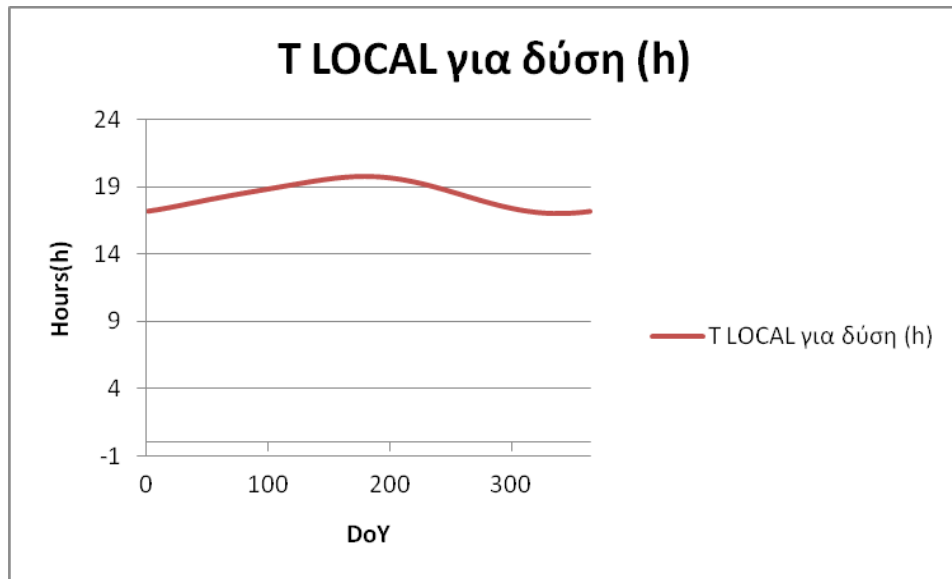
Για την ανατολή:



Σχ.1.12 : Γραφική Παράσταση Τοπικών Ωρών Ανατολής για την Αθήνα

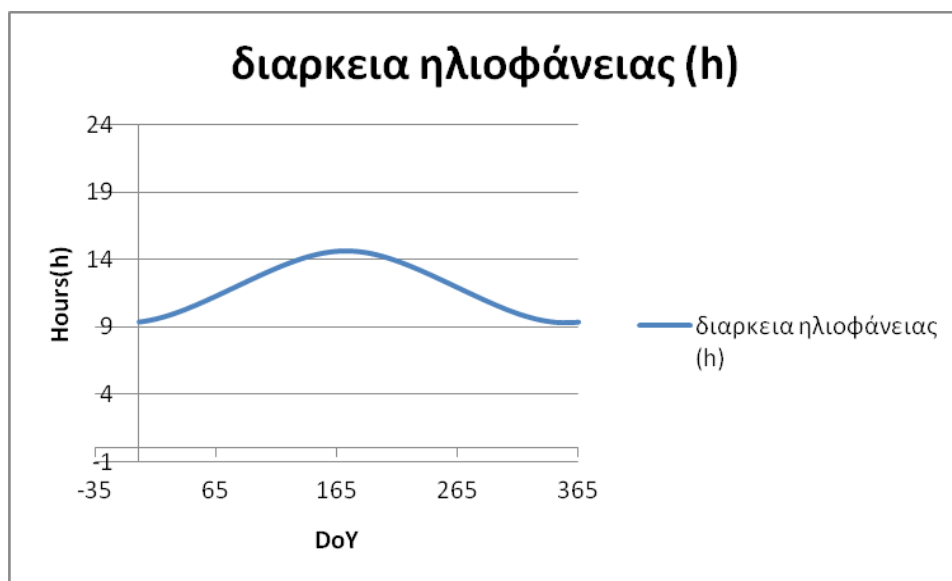


Για τη δύση:



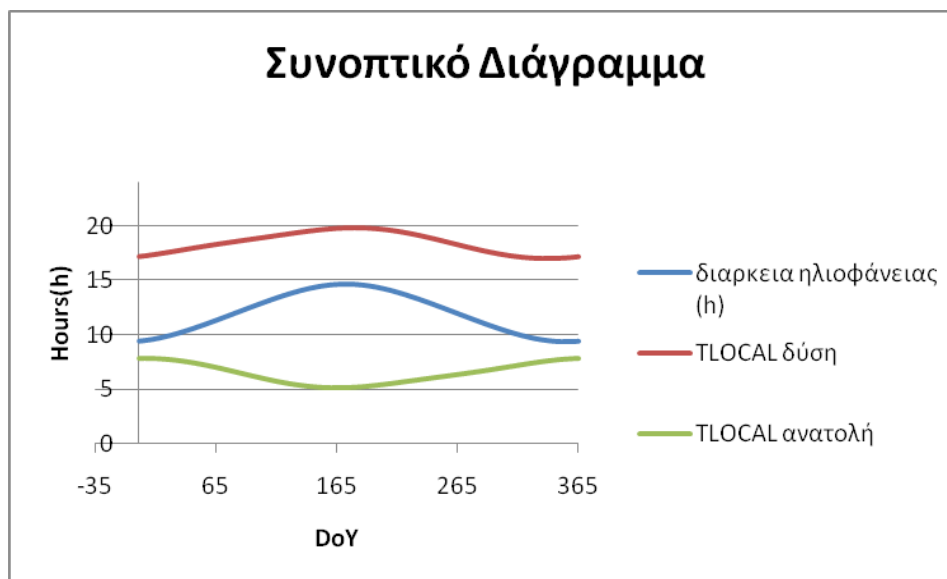
Σχ.1.13 : Γραφική Παράσταση Τοπικών Ωρών Δύσης για την Αθήνα

Για την ηλιοφάνεια:



Σχ.1.14 : Γραφική Παράσταση Ωρών Ηλιοφάνειας για την Αθήνα

Τέλος δίνεται ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα με όλα τα αποτελέσματα:



Σχ.1.15 : Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Τοπικών Ωρών Ανατολής, Δύσης και ηλιοφάνειας για την Αθήνα

## 1.6. Δεύτερο μοντέλο της κίνησης του ηλίου

Ο αλγόριθμος αυτός υπολογισμού της ηλιακής θέσης έχει μια ακρίβεια τάξης 0.01 μοίρες έως το έτος 2050. Ο αλγόριθμος αυτός έχει ληφθεί από το Αστρονομικό ημερολόγιο και βασίζεται σε προηγούμενη μελέτη του Walraven. Πρόκειται για αλγόριθμο που υπολογίζει ουράνιες συντεταγμένες και στην συνέχεια τις τοπικές οριζόντιες συντεταγμένες.

### 1.6.1. Χρόνος

Σε αυτόν τον αλγόριθμο, το όρισμα του χρόνου είναι η διαφορά σε μέρες μεταξύ της τωρινής Ιουλιανής ημερομηνίας,  $jd$  και  $JD\ 2451545.0$  που είναι το μεσημέρι 1ης Γενάρη του 2000 σε παγκόσμια ώρα (UT). Η τρέχουσα Ιουλιανή ημερομηνία μπορεί να καθορίζεται άμεσα ή να υπολογίζεται από πιο οικείες εκφράσεις του χρόνου χρησιμοποιώντας :

$$jd = 2432916.5 + \delta \times 365 + \alpha \mu \alpha + \eta \mu \epsilon \rho \alpha + \omega \rho \alpha / 24,$$

όπου  $\delta \epsilon \lambda \tau \alpha = \chi \rho \acute{o} \nu \omicron \varsigma - 1949,$

και  $\delta\lambda\mu\alpha = \text{ακέραιο μέρος του } (\delta\acute{\epsilon}\lambda\tau\alpha / 4)$ .

Ημέρα είναι η ημέρα του έτους (π.χ. Φεβ 1 = 32), και ώρα είναι η παγκόσμια ώρα σε ώρες συμπεριλαμβανομένων και των κλασμάτων αυτών. Ο πρώτος αριθμός στον τύπο για το jd είναι η Ιουλιανή ημερομηνία για τα μεσάνυχτα 0 Γενάρη 1949. Η επιλογή του 1949 είναι αυθαίρετη, αλλά επιτρέπει σε κάποιον να εργαστεί με θετικούς αριθμούς στον υπολογισμό του jd για αυτόν τον αιώνα.

### 1.6.2. Εκλειπτικές συντεταγμένες

Οι εκλειπτικές συντεταγμένες υπολογίζονται από το όρισμα του χρόνου με τα ακόλουθα βήματα.

$$n = jd - 2451545.0$$

$$L(\text{μέσο μήκος}) = 280.460 + 0.9856474 \times n \quad 0 \leq L < 360^\circ$$

$$g(\text{μέση ανωμαλία}) = 357.528 + 0.9856003 \times n \quad 0 \leq g < 360^\circ$$

$$l(\text{εκλειπτικό μήκος}) = L + 1.915 \times \sin(g) + 0.020 \times \sin(2 \times g)$$

$$ep(\text{λόξωση του εκλειπτικού}) = 23.439 - 0.0000004 \times n (\text{μοίρες})$$

Η συνθήκη  $0 \leq L < 360^\circ$  δείχνει ότι στην ποσότητα L θα προστίθενται η θα αφαιρούνται πολλαπλάσια του  $360^\circ$  ούτως ώστε το L να βρίσκεται εντός των ορίων αυτών.

### 1.6.3. Ουράνιες συντεταγμένες

Για να υπολογίσουμε την ορθή αναφορά (ο.α) και την απόκλιση ( $\delta$ ) χρησιμοποιούμε τους ακόλουθους τύπους :

$$\tan(o.a) = \cos(ep) \times \sin(l) / \cos(l)$$

$$\sin(\delta) = \sin(ep) \times \sin(l)$$

Ο τύπος για την ορθή αναφορά είναι γραμμένος σε αυτή τη μορφή (σημειώστε ότι  $\sin(l) / \cos(l) = \tan(l)$ ) γιατί θέλουμε να τοποθετήσουμε

την ορθή αναφορά σε μια γωνία ανάμεσα σε 0 και 360°. Έχοντας τα πρόσημα αριθμητή και παρανομαστή μπορούμε να το πετύχουμε.

#### 1.6.4. Τοπικές συντεταγμένες

Για να υπολογίσουμε το ηλιακό ύψος και αζιμούθιο πρέπει να βρούμε την απόκλιση και τη γωνιαία ώρα. Για να υπολογιστεί η ωριαία γωνία πρέπει να υπολογιστεί η τοπική μέση αστρική ώρα (lmst) και η ορθή αναφορά. Η lmst μπορεί να οριστεί ως η ορθή αναφορά σε ένα σημείο του μεσημβρινού στον ουράνιο ισημερινό. Με αυτόν τον ορισμό η ωριαία γωνία υπολογίζεται αν αφαιρεθεί η ορθή αναφορά από το lmst. Το αστρονομικό ημερολόγιο καταχωρεί τον αστρικό χρόνο Greenwich (gmst) τα μεσάνυχτα και ο τύπος για την προσέγγιση του gmst σε αυθαίρετο χρόνο δίνεται από :

$$gmst = 6.697375 + 0.0657098242 \times n + \text{ώρες}(UT) \quad 0 \leq gmst < 24 h$$

Η μεταβλητή "ώρες" δεν πολλαπλασιάζεται με ένα παράγοντα για να μετατραπεί σε αστρικές ώρες επειδή το n περιλαμβάνει ήδη την κλασματική ημέρα και η διόρθωση γίνεται εκεί. Το ανατολικό γεωγραφικό μήκος της εν λόγω τοποθεσίας προστίθεται στο gmst για να καθοριστεί το lmst. Δεδομένου ότι το γεωγραφικό μήκος συνήθως εκφράζεται σε μοίρες, το γεωγραφικό μήκος θα πρέπει να διαιρείται με 15 για να μετατραπεί σε ώρες. Το ανατολικό γεωγραφικό μήκος θεωρείται θετικό. Επομένως :

$$lmst = gmst + (\text{ανατολικό μήκος})/15 \quad 0 \leq lmst < 24 h$$

και η ωριαία γωνία δίνεται από τον τύπο :

$$\Omega = lmst - o.a \quad -12 < \Omega \leq 12 h$$

Πριν ο ήλιος φτάσει στο μεσημβρινό, η ωριαία γωνία του είναι αρνητική, και η ωριαία γωνία είναι θετική όταν περάσει το μεσημβρινό ημισφαίριο.

Για τον υπολογισμό του ύψους ( $\beta$ ) και του αζιμούθιο ( $Z$ ) χρησιμοποιούμε τους ακόλουθους μετασχηματισμούς :

$$\begin{aligned}\sin(\beta) &= \sin(\delta) \times \sin(\varphi) \times \cos(\delta) \times \cos(\varphi) \times \cos(\Omega) \text{ (μοίρες)} \\ \sin(Z) &= -\cos(\delta) \times \sin(\Omega) / \cos(\beta) \quad 0 \leq Z < 360^\circ\end{aligned}$$

Το αζιμούθιο μετριέται ως προς το Βορρά, όπου εκεί είναι  $0^\circ$  και με φορά ανατολικά φτάνει τις  $360^\circ$ . Για την αντιστοίχιση στο σωστό τεταρτημόριο θέλει λίγη παραπάνω προσοχή. Οι μελέτες του Walraven έδειξαν ότι μια αζιμουθιακή γωνία των  $90^\circ$  είναι :

$$\sin(\beta) = \sin(\delta) / \sin(\varphi)$$

Ας ονομαστεί η τιμή αυτή του αζιμούθιο  $\beta_{κρ}$  από το  $\beta$  κρίσιμο. Για να αντιστοιχίσουμε το αζιμούθιο σωστά, χρησιμοποιούμε τον εξής αλγόριθμο :

$$\text{Αν } \beta \geq \beta_{κρ} \text{ τότε } Z = 180^\circ - Z$$

και

$$\text{Αν } \beta \leq \beta_{κρ} \text{ και } \Omega > 0$$

$$\text{τότε } Z = 360^\circ + Z$$

### 1.6.5. Διόρθωση Διάθλασης

Οι παραπάνω υπολογισμοί αφορούν ατμόσφαιρα χωρίς διαθλάσεις. Όταν παρατηρείς κοντά στον ορίζοντα, η διάθλαση είναι πολύ σημαντική και όταν υπολογίζεις την ώρα ανατολής και ώρα δύσης του ηλίου, η γωνιακή έκταση του ηλίου λαμβάνεται υπόψιν μιας και το άνω άκρο του ηλιακού δίσκου χρησιμοποιείται ως σημείο αναφοράς.

Ο τύπος για τη διόρθωση της διάθλασης σύμφωνα με το Αστρονομικό

Ημερολόγιο είναι ο ακόλουθος :

$$r = 3.51561 \times (0.1594 + 0.0196 \times \beta + 0.00002 \times \beta^2) / (1 + 0.505 \times \beta + 0.0845 \times \beta^2)$$

όπου  $3.51561 = 1013.2 \text{ mb} / 288.2 \text{ K}$  είναι η ατμοσφαιρική πίεση και η θερμοκρασία σε συνθήκες τυπικής ατμόσφαιρας ( U.S standard atmosphere).

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ : ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ

---

### 2. *Εισαγωγή*

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται διάφορες εφαρμογές των δύο αλγορίθμων που δίνουν τη δυνατότητα σύγκρισης των αποτελεσμάτων. Αρχικά παρουσιάζονται τα οι ώρες ανατολής και δύσης που υπολογίζουν και οι δυο αλγόριθμοι και συγκρίνονται με τις ώρες επίσημου διεθνούς ιστότοπου. Στη συνέχεια παρουσιάζονται διαγράμματα της πορείας του ηλίου για διάφορες ημέρες του έτους για την περιοχή του πολυτεχνείου αλλά και για συγκεκριμένη μέρα για διάφορα μέρη του κόσμου. Ως προς το δεύτερο θεωρητικό μοντέλο οι γωνίες αζιμουθίου μετατοπίζονται κατά  $180^\circ$  (σημείο αναφοράς δηλαδή ο Νότος) για να έχουμε συγκρίσιμα διαγράμματα. Τα διαγράμματα που παρουσιάζονται έγιναν από ειδική εφαρμογή του Labview η οποία δημιουργήθηκε στα πλαίσια αυτής της εργασίας και η οποία μαζί με άλλες θα παρουσιαστούν στο έκτο κεφάλαιο της εργασίας.

#### 2.1. *Ώρες Ανατολής - Δύσης ηλίου για το μήνα Οκτώβριο του 2012*

Σε ένα πίνακα θα παρουσιαστούν οι ώρες Ανατολής και Δύσης του Ηλίου που υπολογίζονται για την Αθήνα ( $\varphi=37,96^\circ$ ,  $\alpha=\pm 23,72^\circ$  (αναλόγως το θεωρητικό μοντέλο που χρησιμοποιούμε). Οι ώρες αυτές θα συγκριθούν με τα αποτελέσματα που δίνουν οι ιστότοποι [www.uk.weather.com](http://www.uk.weather.com) και [www.timeanddate.com](http://www.timeanddate.com).

Οκτώβριος	1ο Θεωρητικό μοντέλο		2ο Θεωρητικό μοντέλο		<a href="http://www.uk.weather.com">www.uk.weather.com</a>		<a href="http://www.timeanddate.com">www.timeanddate.com</a>	
	Ανατολή	Δύση	Ανατολή	Δύση	Ανατολή	Δύση	Ανατολή	Δύση
1	07:28	18:59	07:19	19:06	07:21	19:08	07:21	19:08
2	07:29	18:57	07:23	19:04	07:22	19:06	07:22	19:06
3	07:30	18:56	07:23	19:03	07:23	19:05	07:23	19:05
4	07:31	18:54	07:23	19:01	07:24	19:03	07:24	19:03
5	07:31	18:53	07:25	19:00	07:25	19:02	07:24	19:02
6	07:32	18:51	07:25	18:58	07:26	19:00	07:25	19:00
7	07:33	18:50	07:27	18:57	07:27	18:59	07:26	18:59
8	07:34	18:48	07:27	18:55	07:28	18:57	07:27	18:57
9	07:35	18:47	07:29	18:54	07:28	18:56	07:28	18:56
10	07:36	18:45	07:29	18:52	07:29	18:54	07:29	18:54
11	07:37	18:44	07:31	18:51	07:30	18:53	07:30	18:53
12	07:38	18:42	07:31	18:50	07:31	18:51	07:31	18:51
13	07:39	18:41	07:33	18:48	07:32	18:50	07:32	18:50
14	07:40	18:39	07:33	18:47	07:33	18:48	07:33	18:49
15	07:41	18:38	07:35	18:45	07:34	18:47	07:34	18:47
16	07:42	18:37	07:35	18:44	07:35	18:46	07:35	18:46
17	07:43	18:36	07:37	18:43	07:36	18:44	07:36	18:44
18	07:44	18:34	07:37	18:41	07:37	18:43	07:37	18:43
19	07:45	18:33	07:37	18:40	07:38	18:42	07:38	18:42
20	07:46	18:32	07:39	18:39	07:39	18:40	07:39	18:40
21	07:47	18:30	07:39	18:37	07:40	18:39	07:40	18:39
22	07:48	18:29	07:41	18:36	07:41	18:38	07:41	18:38
23	07:49	18:28	07:41	18:35	07:42	18:36	07:42	18:37
24	07:50	18:27	07:43	18:34	07:43	18:35	07:43	18:35
25	07:51	18:26	07:45	18:32	07:44	18:34	07:44	18:34
26	07:53	18:24	07:45	18:31	07:45	18:33	07:45	18:33
27	07:53	18:23	07:47	18:30	07:46	18:31	07:46	18:32
28	06:55	17:22	06:48	17:29	06:47	17:31	06:47	17:30
29	06:56	17:21	06:49	17:28	06:48	17:29	06:48	17:29
30	06:57	17:20	06:50	17:27	06:49	17:28	06:49	17:28
31	06:58	17:19	06:51	17:25	06:50	17:27	06:50	17:27



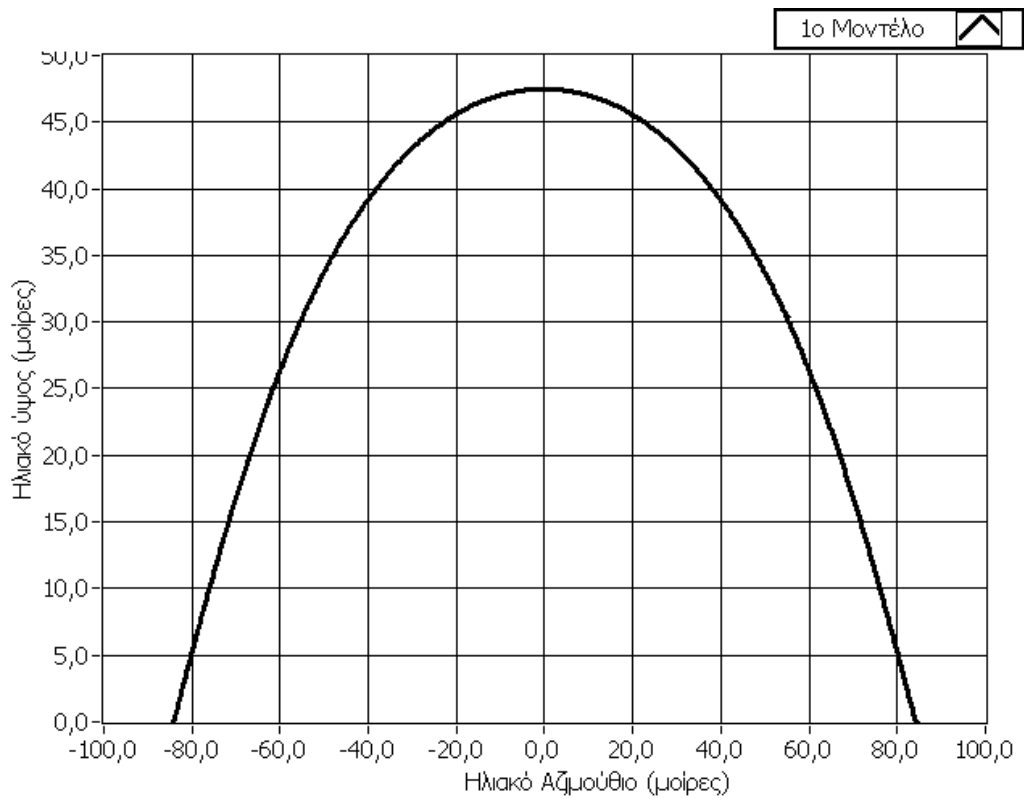
Από τον πίνακα φαίνεται πως οι ώρες ανατολής και δύσης που υπολογίζονται από το δεύτερο θεωρητικό μοντέλο είναι πολύ πιο κοντά στις ώρες που δείχνουν αξιόπιστα sites. Η διαφορά τους είναι περίπου 2 λεπτά στη διάρκεια της μέρας.

Το πρώτο θεωρητικό μοντέλο ήταν αναμενόμενο να έχει απόκλιση σε αυτές τις ώρες καθώς δε λαμβάνει υπόψιν του τους παράγοντες διάθλασης της ατμόσφαιρας που παίζουν σημαντικό ρόλο σε εκείνες τις ώρες της ημέρας καθώς ο ήλιος βρίσκεται κοντά στη γραμμή του ορίζοντα. Οι διαφορές είναι περίπου 7 λεπτά αργότερα η Ανατολή και 9 λεπτά νωρίτερα η δύση. Στη διάρκεια της ημέρας αναμένουμε το θεωρητικό αυτό μοντέλο να προσεγγίζει καλύτερα την πραγματική κίνηση του ηλίου.

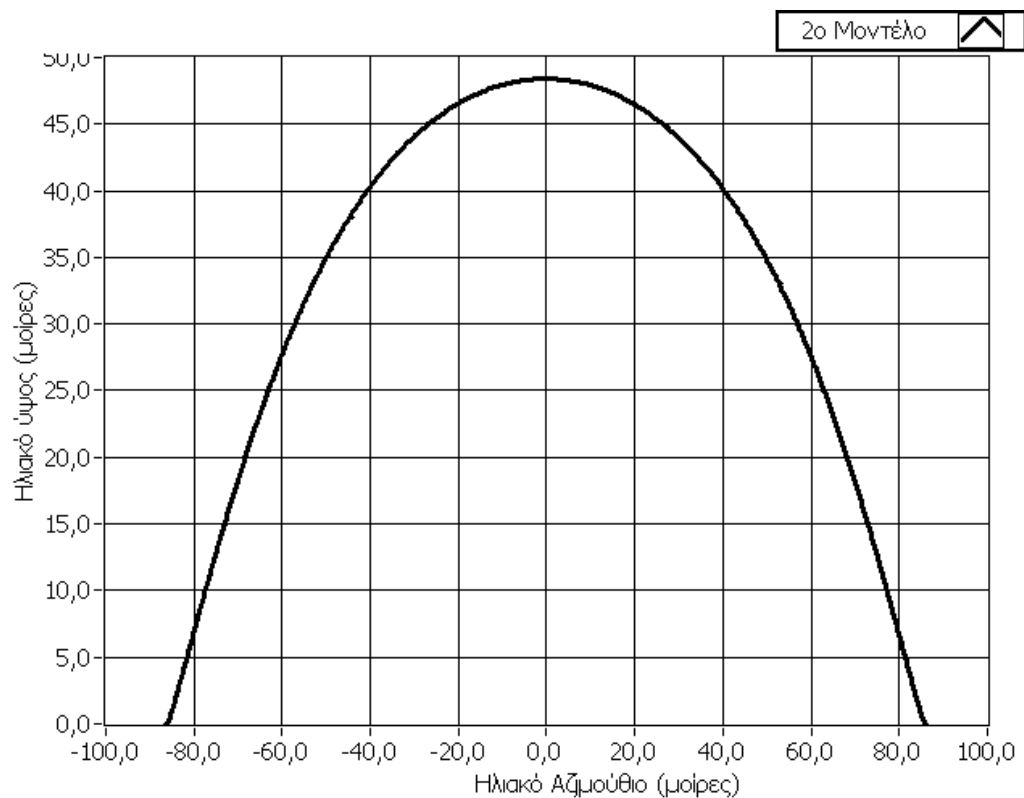
Επισημαίνεται ότι το 2012 είναι δίσεκτο έτος και αυτό έχει συμπεριληφθεί στους υπολογισμούς όπως θα παρουσιαστεί στη συνέχεια της εργασίας. Επίσης από τις 28 Οκτωβρίου επανέρχεται η χειμερινή ώρα, κάτι που είναι και εμφανές στα αποτελέσματα του πίνακα.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν διαγράμματα της πορείας του ηλίου και με τους δυο αλγορίθμους για τις ημερομηνίες 1, 14 και 28 Οκτωβρίου 2012.

# 1 Οκτώβρη

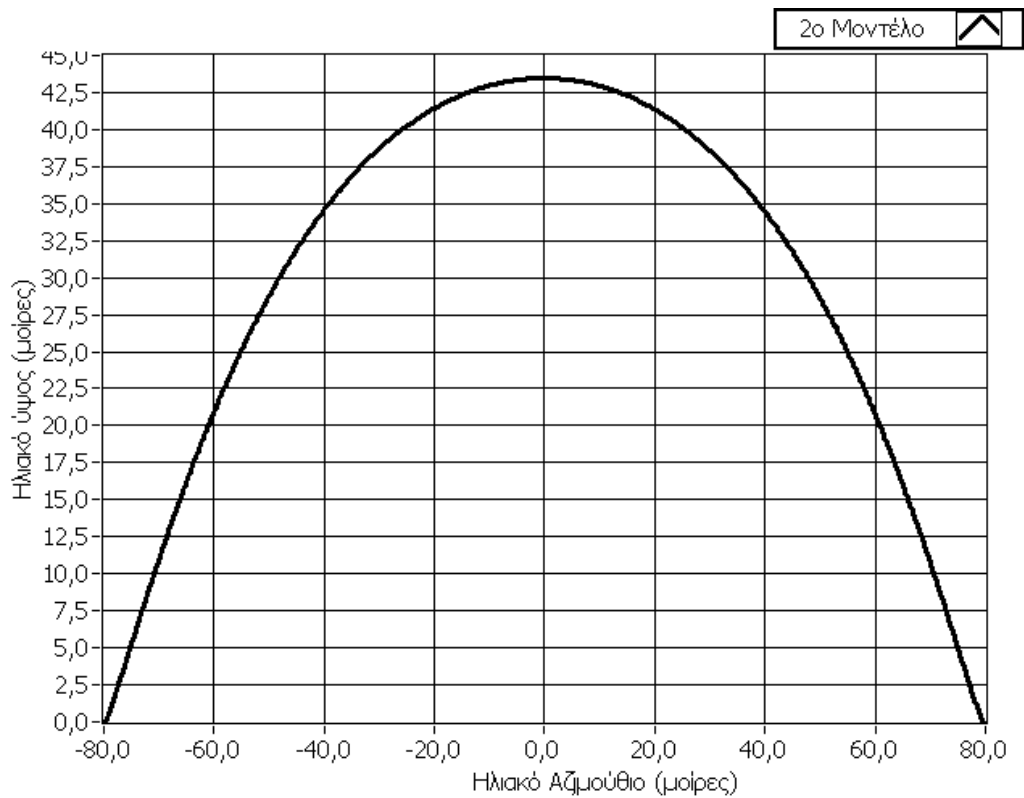
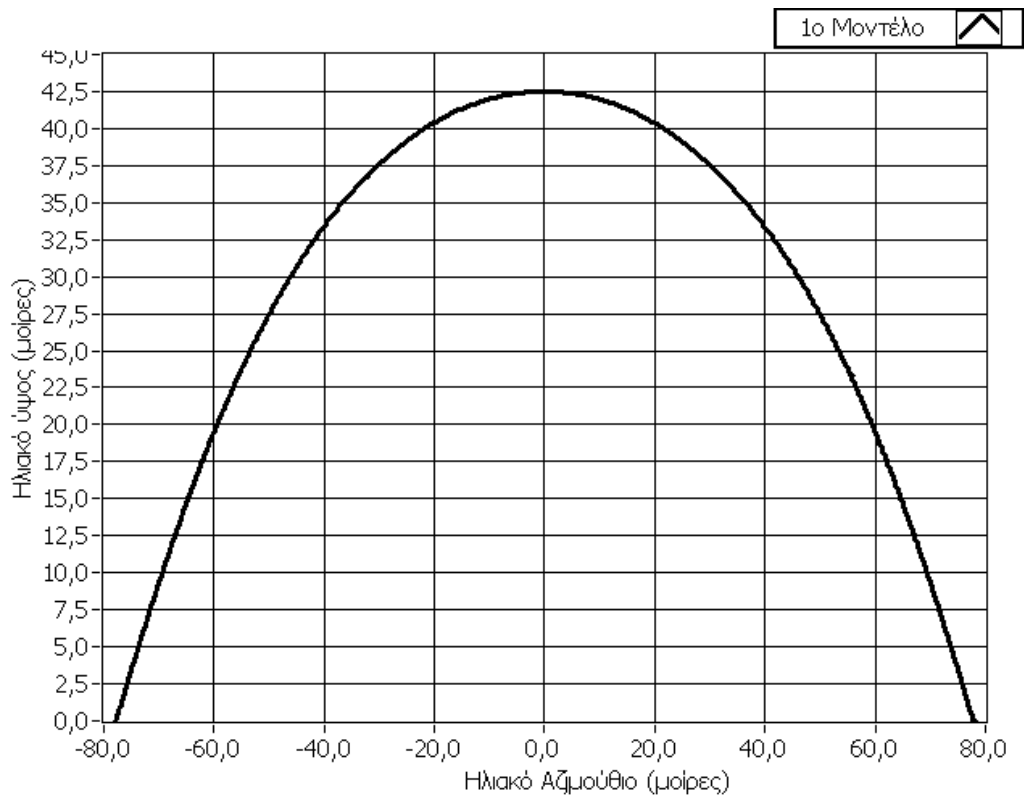


1<sup>ο</sup> Μοντέλο στο βιβλίο “Εισαγωγή στα ηλιακόγραμμα ολικά και φωτοβολταϊκές διατάξεις”

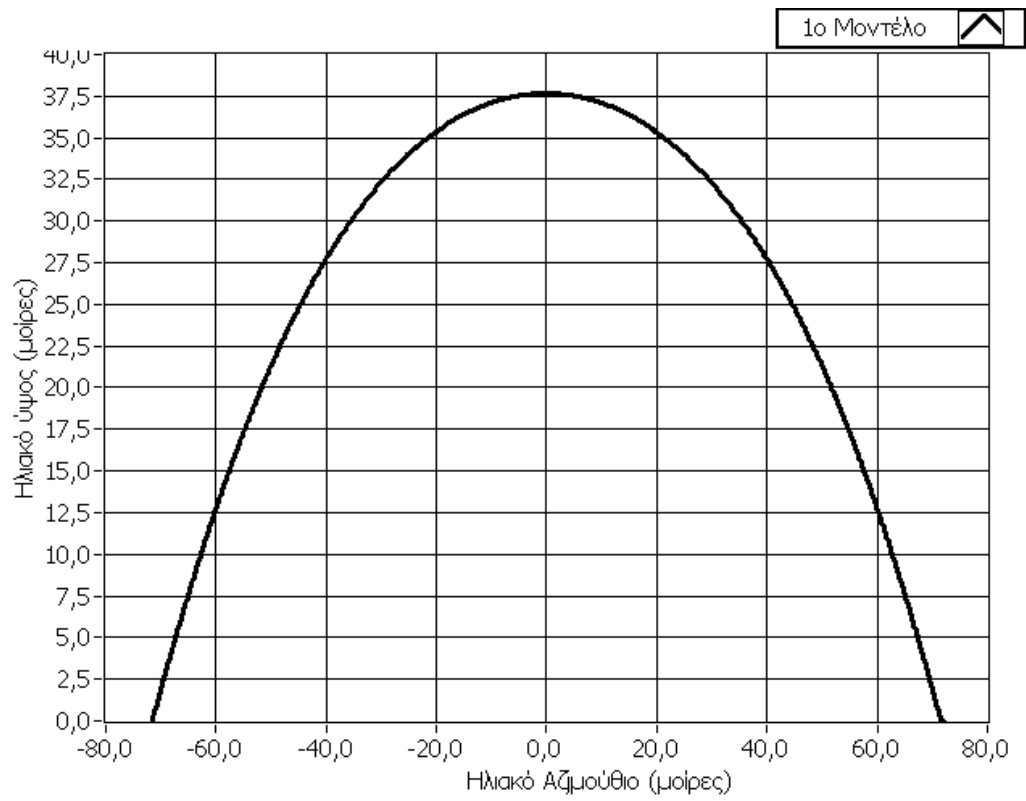


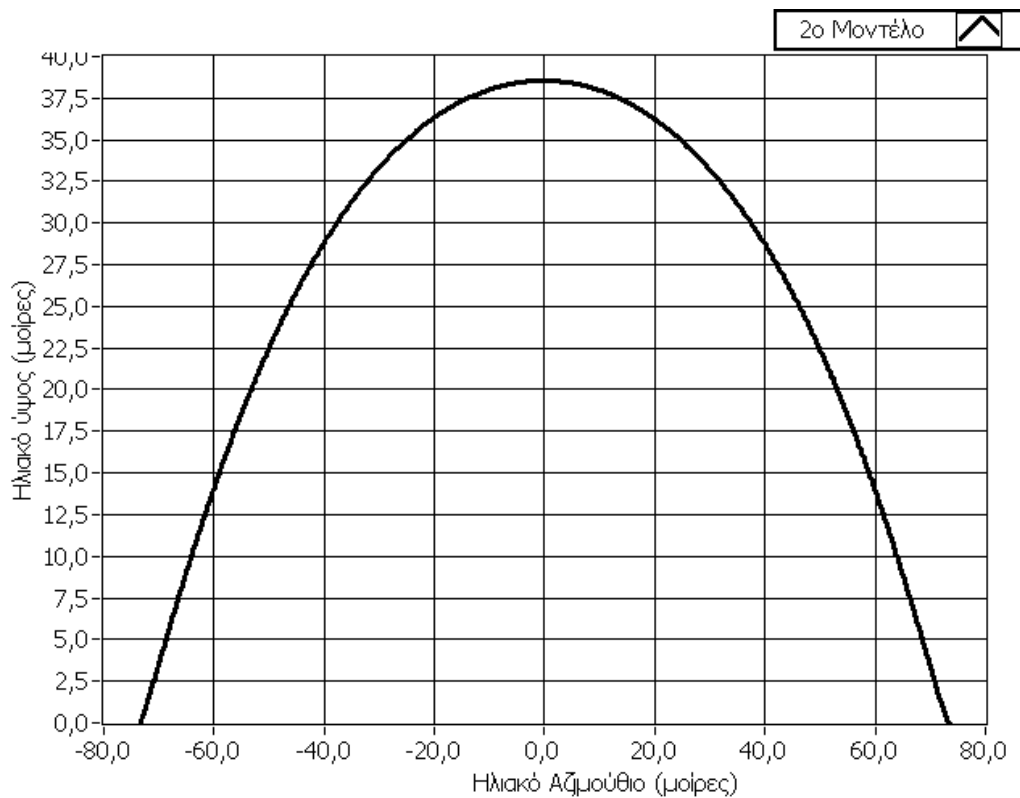
2<sup>ο</sup> Μοντέλο βασισμένο στο αστρονομικό Ημερολόγιο

# 14 Οκτώβρη



## 28 Οκτώβρη





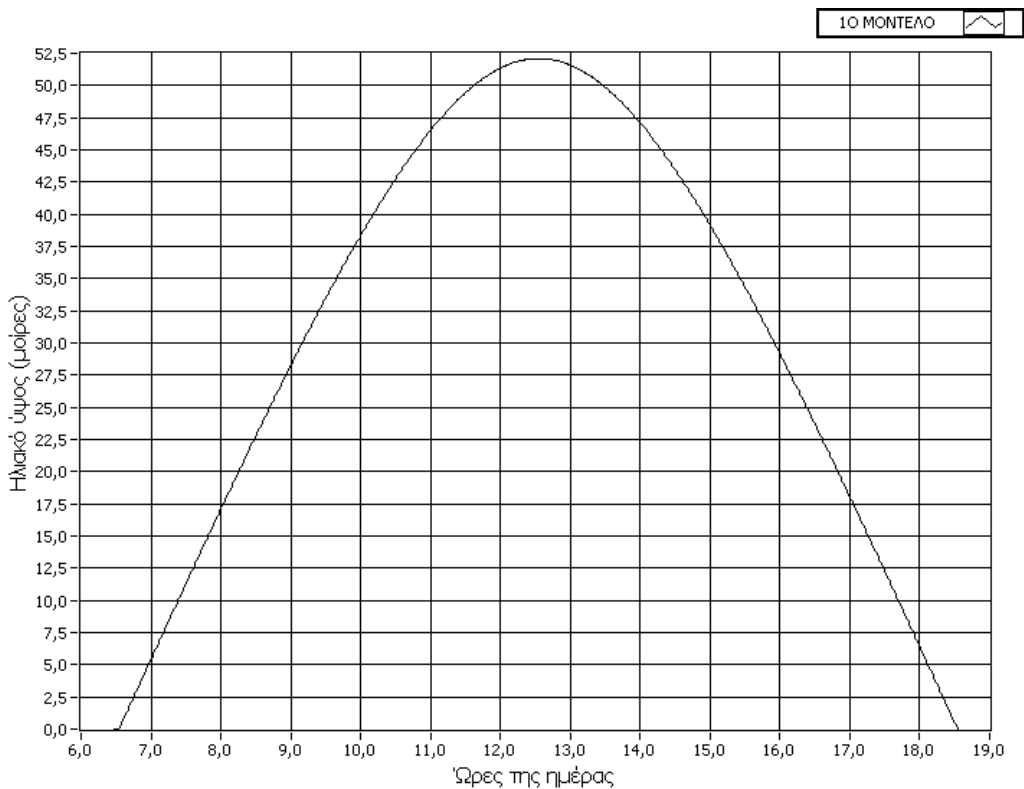
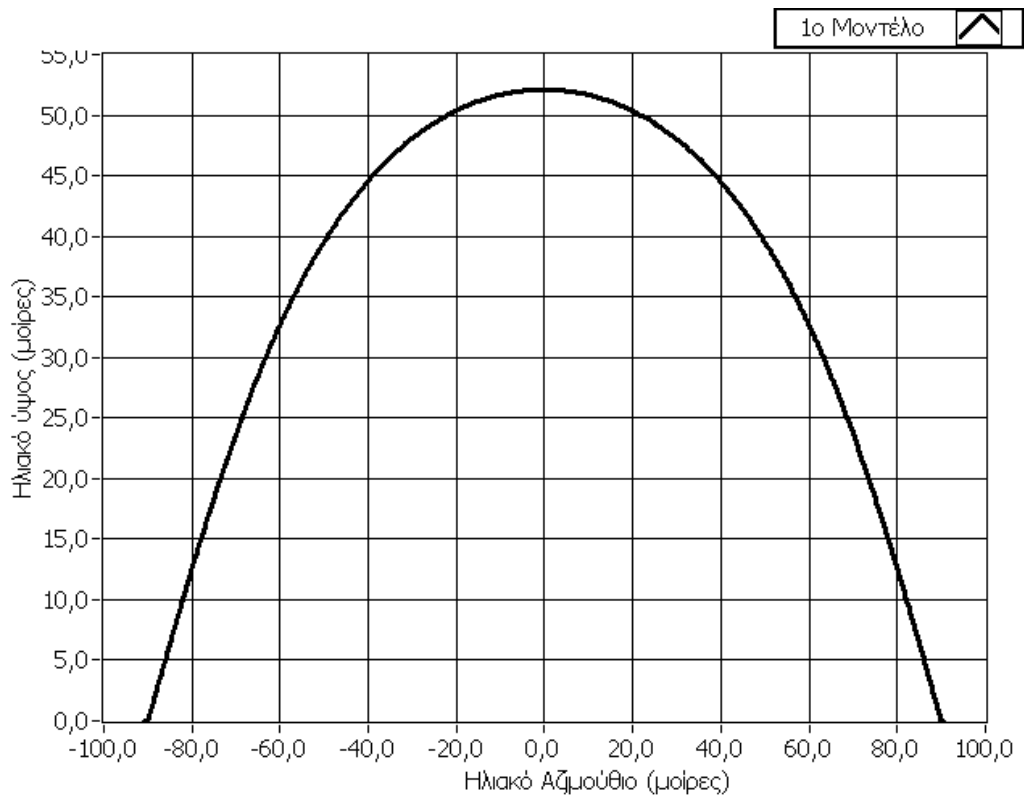
Σε όλες τις γραφικές παραστάσεις το ύψος ηλίου  $\beta$  ξεκινά από μηδενικές τιμές, φτάνει στο ζενίθ το ηλιακό μεσημέρι και στη συνέχεια μειώνεται με συμμετρικό τρόπο. Ταυτόχρονα το αζιμούθιο  $Z$  ξεκινά από ακραίες αρνητικές τιμές την ανατολή, προσεγγίζοντας το μηδέν το ηλιακό μεσημέρι και τέλος συνεχίζει συμμετρικά παίρνοντας θετικές τιμές. Υπάρχουν αποκλίσεις στα δυο μοντέλα αλλά οι διαφορές και ως προς το αζιμούθιο και ως προς το ύψος του ηλίου είναι μεγέθους 1ας μοίρας.

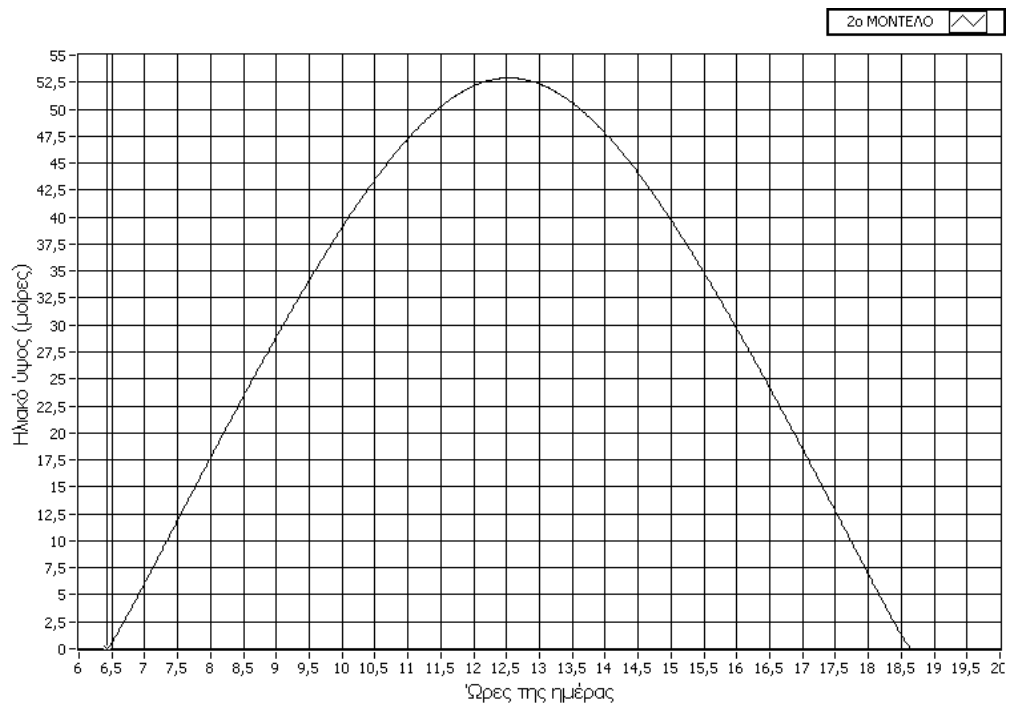
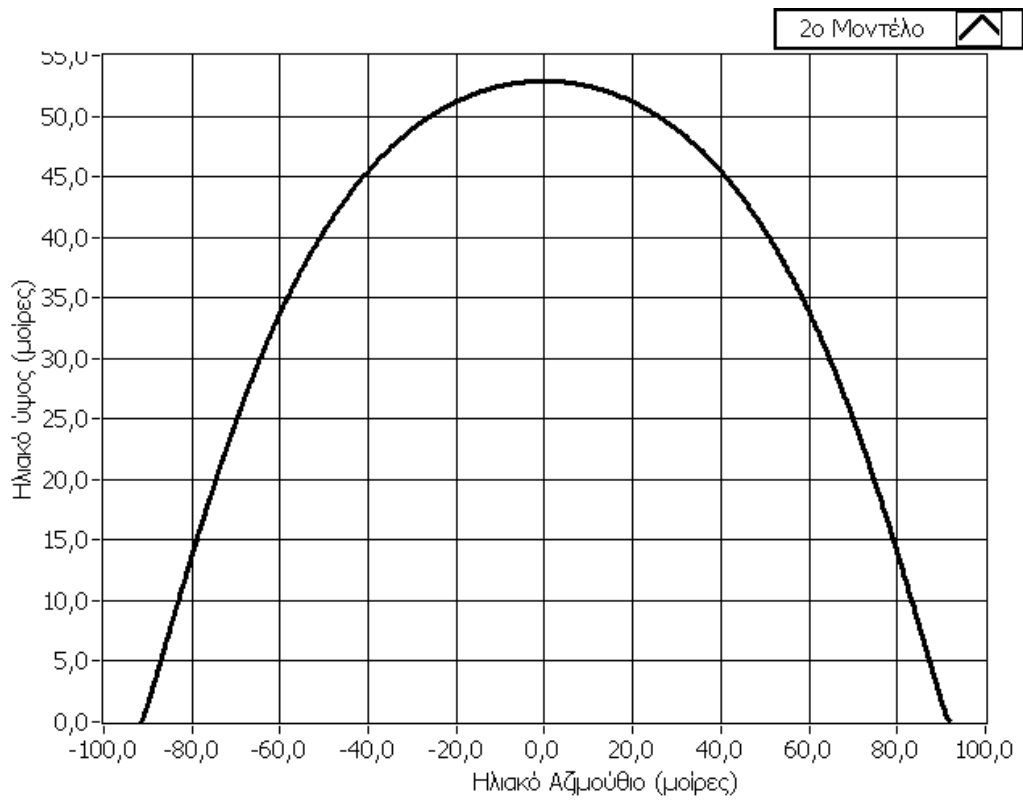
## 2.2. Διαγράμματα καταγραφής της ηλιακής τροχιάς για διάφορες μέρες του 2012 στην Αθήνα

Θα παρουσιαστούν και με τα δυο μοντέλα τα διαγράμματα της ηλιακής τροχιάς για διάφορες ημερομηνίες του 2012 στην Αθήνα. Οι ημερομηνίες αυτές είναι 21 Μαρτίου (εαρινή ισημερία), 21 Ιουνίου (θερινό ηλιοστάσιο), 21 Σεπτεμβρίου (φθινοπωρινή ισημερία) και 21 Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο). Κάτω από κάθε διάγραμμα της ηλιακής τροχιάς θα υπάρχει και διάγραμμα ηλιακού ύψους συναρτήσει της ώρας της ημέρας.



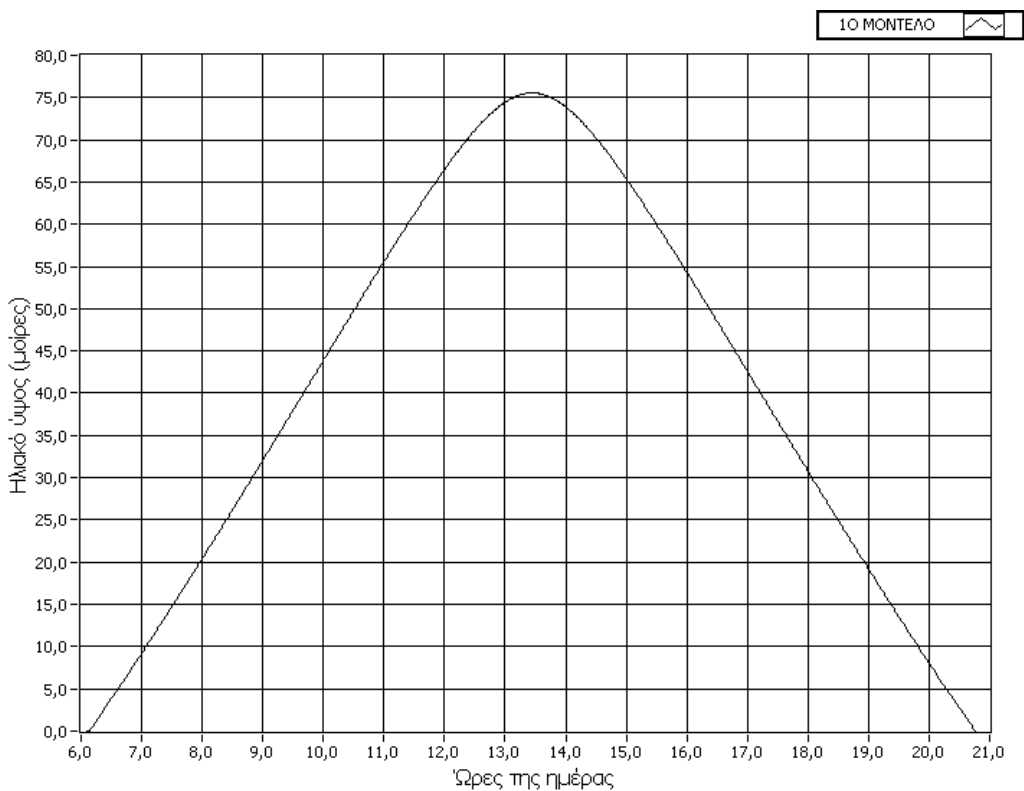
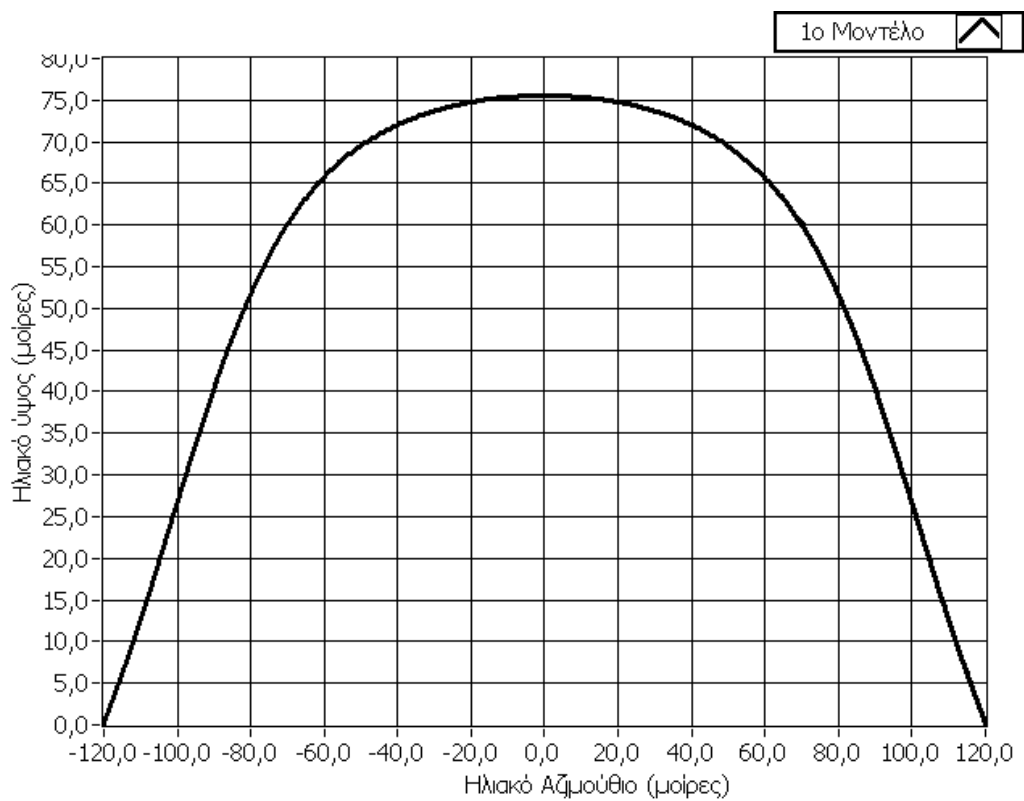
## 21 Μαρτίου

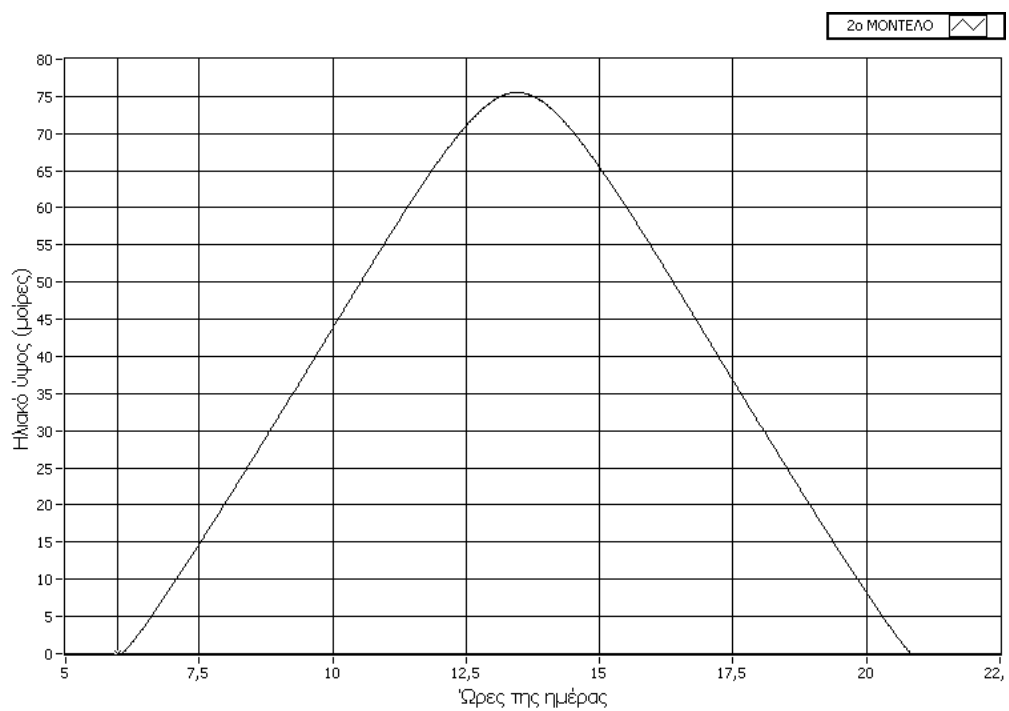
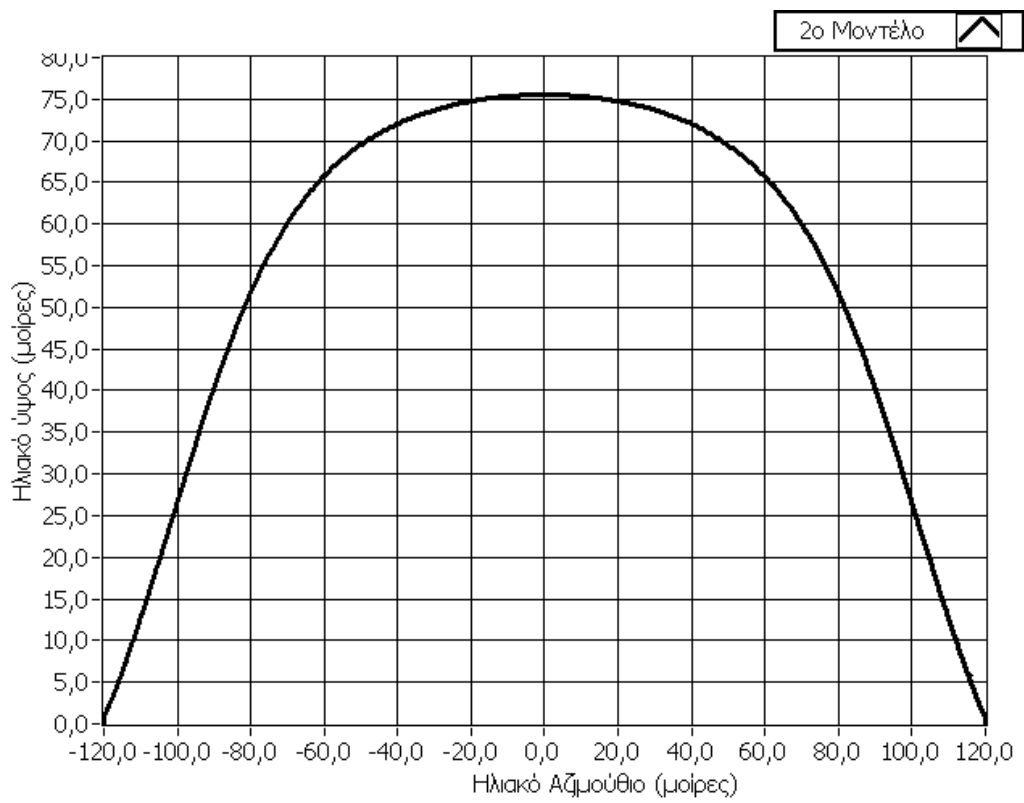




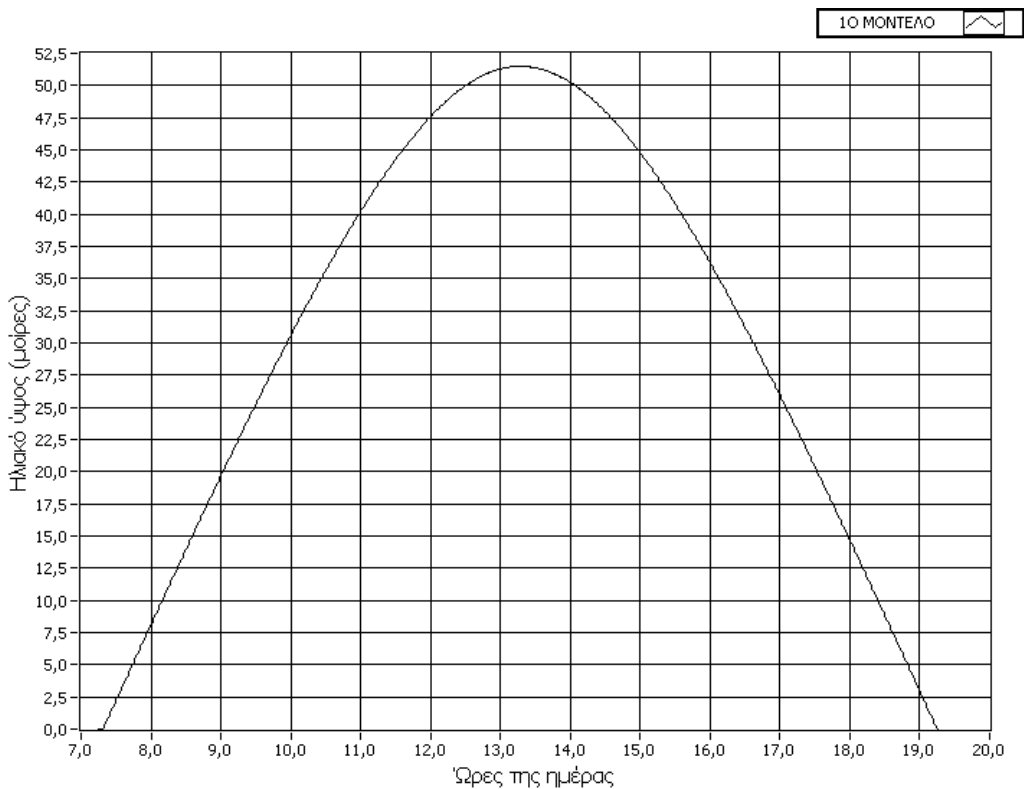
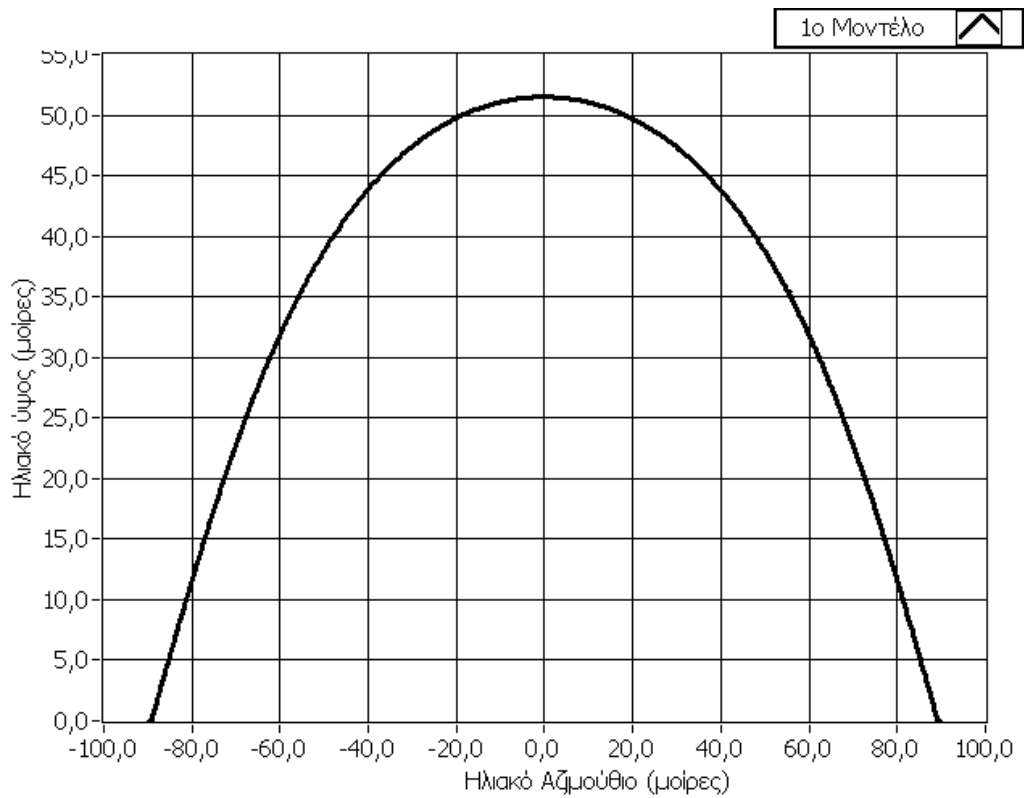


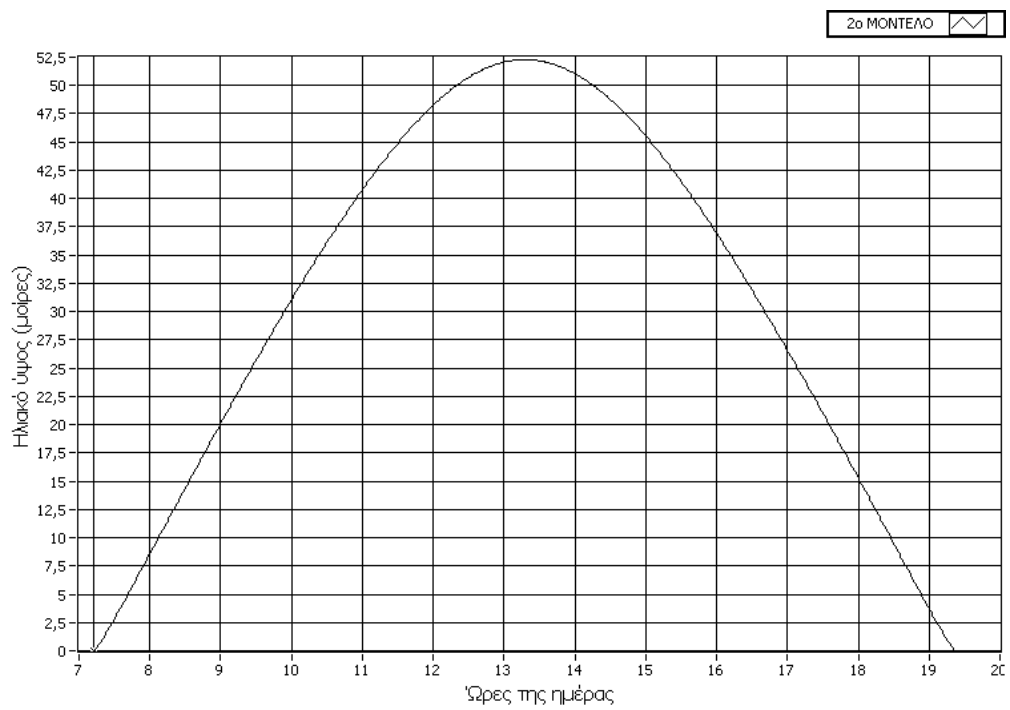
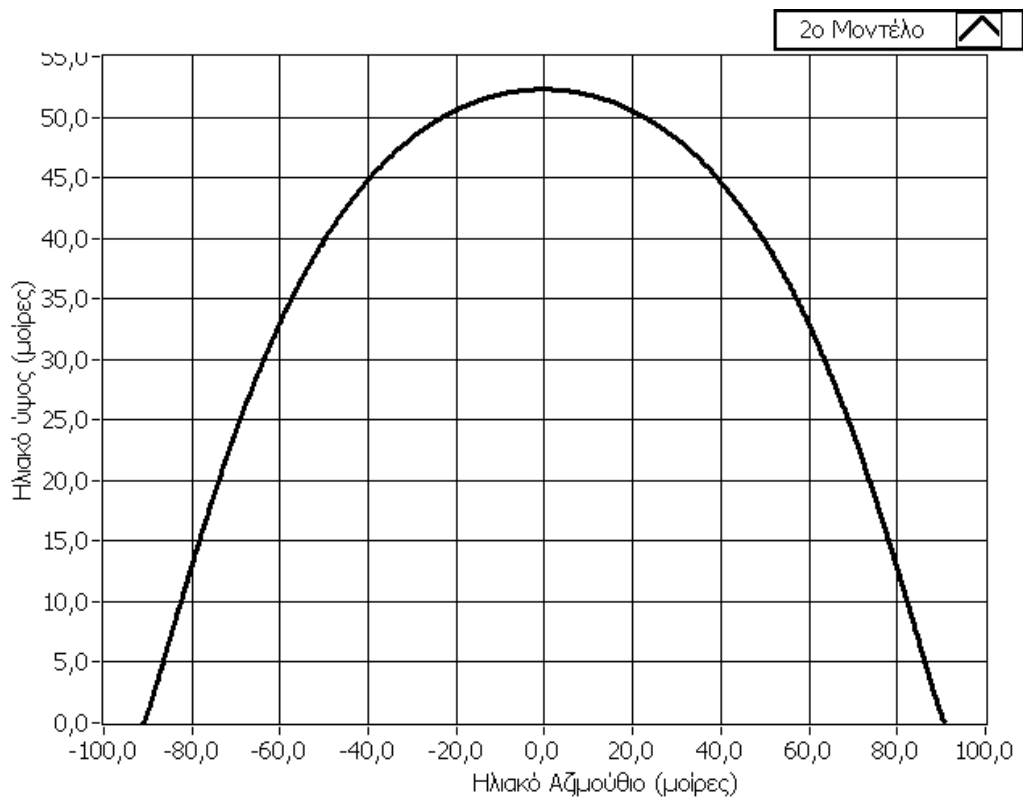
## 21 Ιουνίου



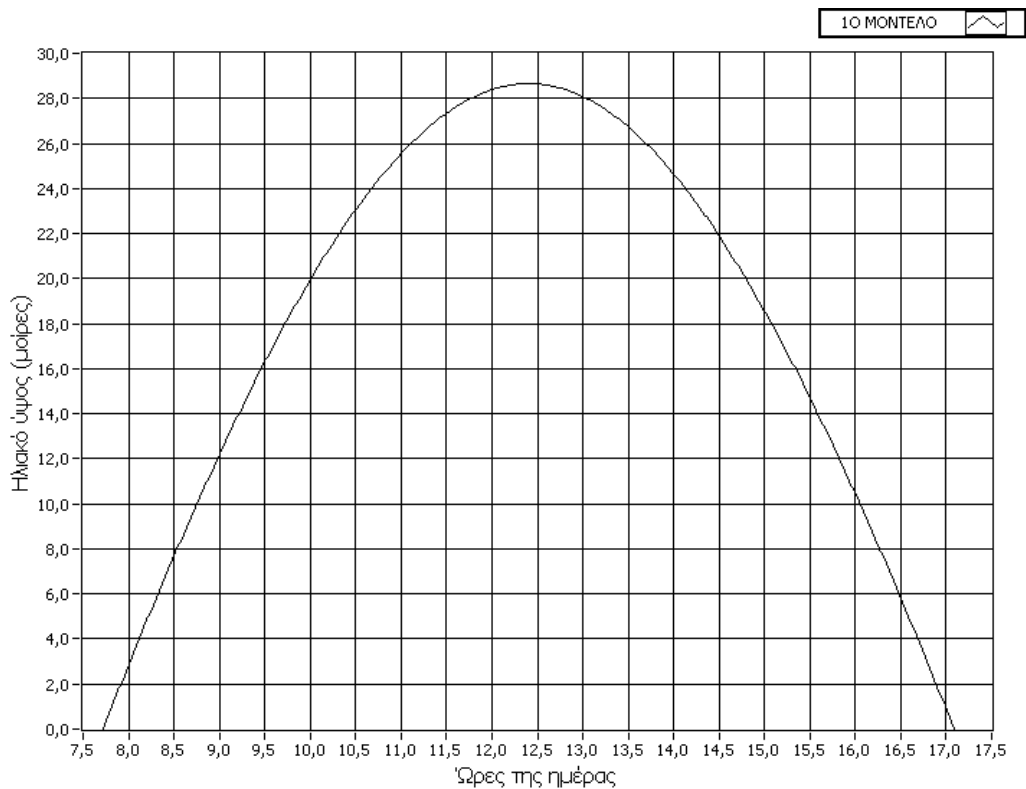
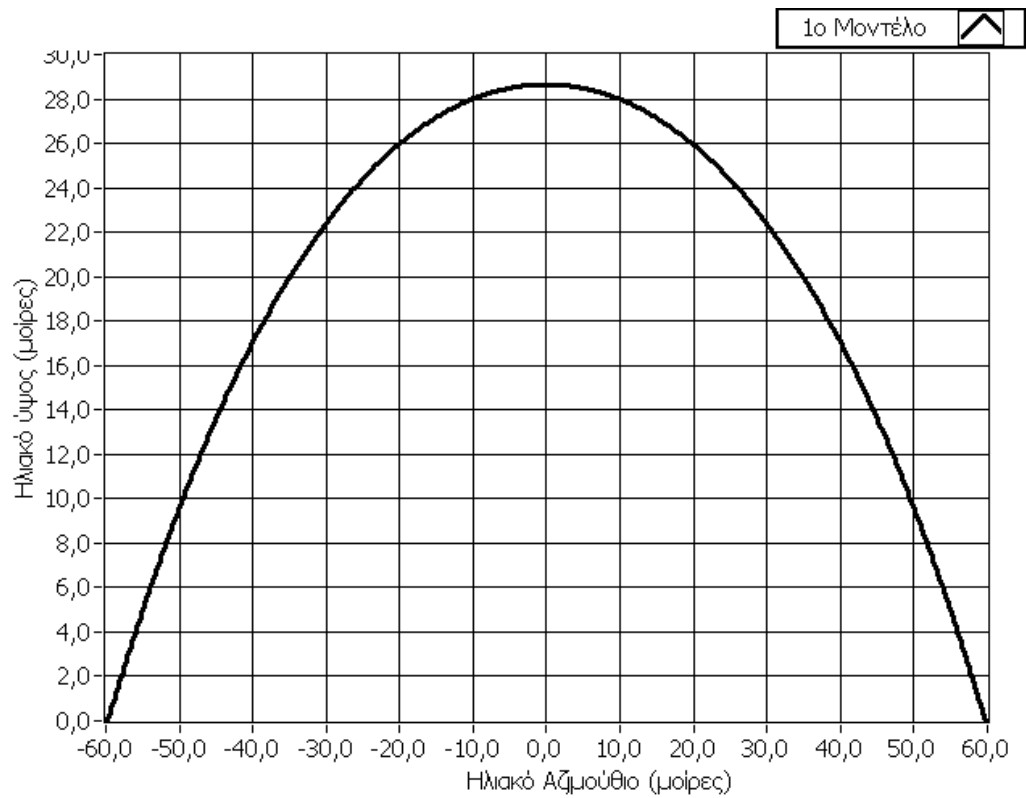


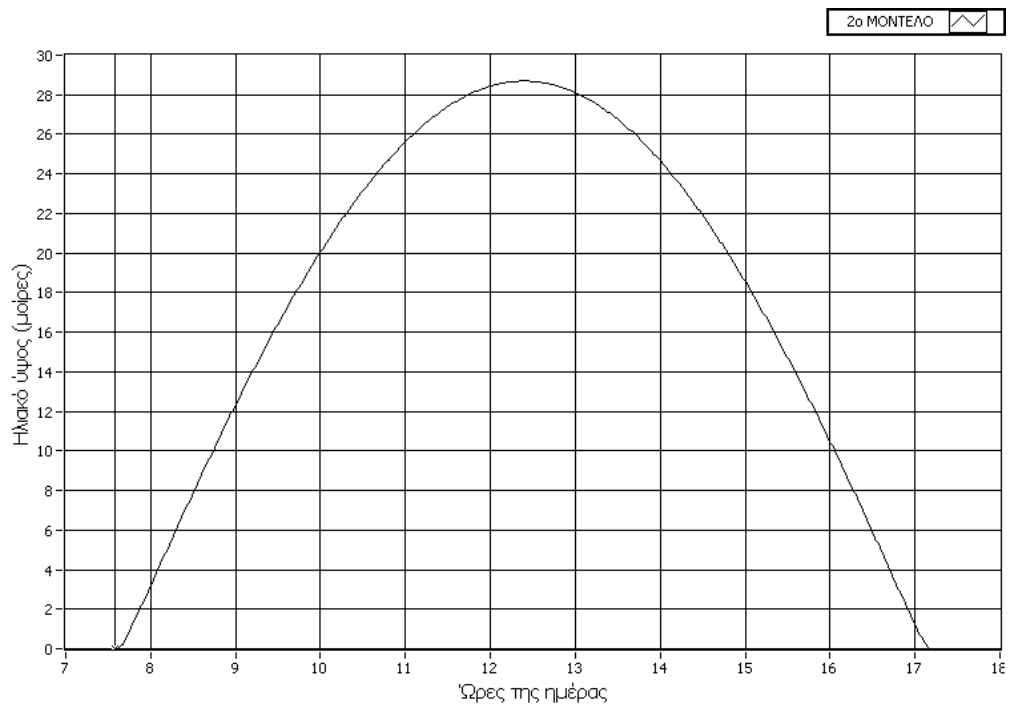
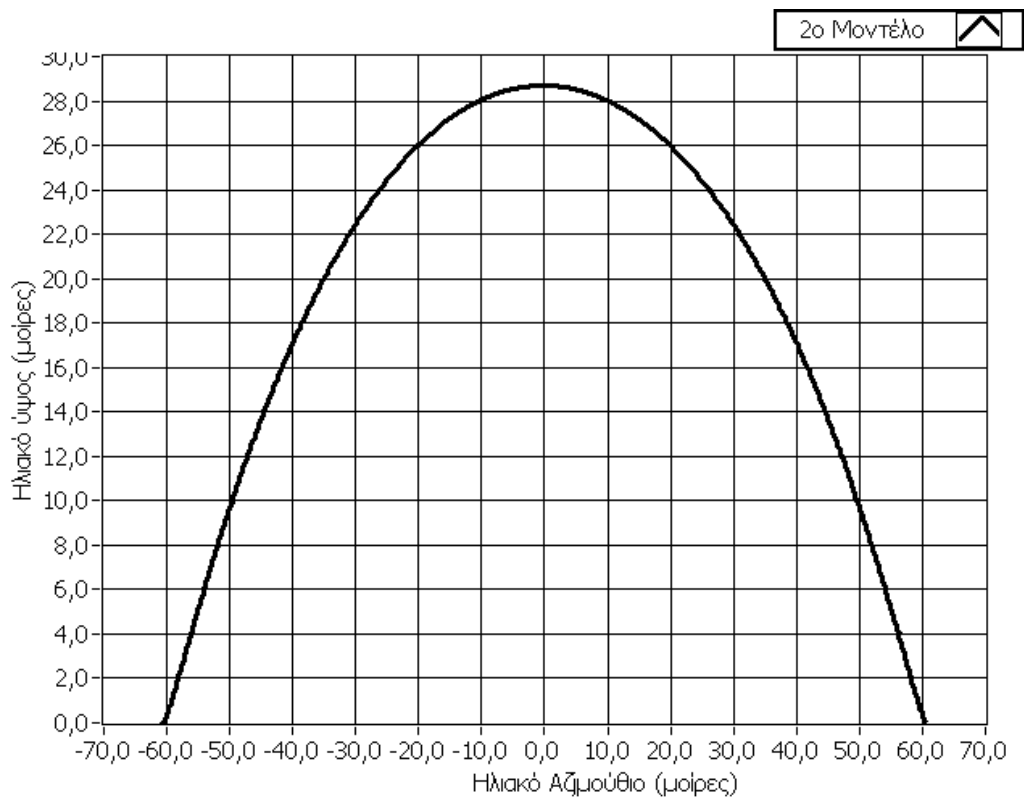
## 21 Σεπτεμβρίου





## 21 Δεκεμβρίου





Για το θερινό ηλιοστάσιο που αποτελεί και τη “μεγαλύτερη ημέρα” του έτους, παρατηρούμε ότι η γραφική παράσταση λαμβάνει τις μεγαλύτερες και περισσότερες τιμές για  $\beta$  και  $Z$ , ενώ το χειμερινό ηλιοστάσιο παίρνουμε αντίστοιχα τις χαμηλότερες και λιγότερες τιμές. Όσον αφορά τις ισημερίες, παρατηρούμε ότι οι γραφικές παραστάσεις τους ταυτίζονται, πράγμα απόλυτα λογικό αφού τότε ο ήλιος ανατέλλει και δύει τις ίδιες ώρες.

Οι διαφορές ανάμεσα στα δυο μοντέλα και σε αυτές τις μετρήσεις είναι μικρές.

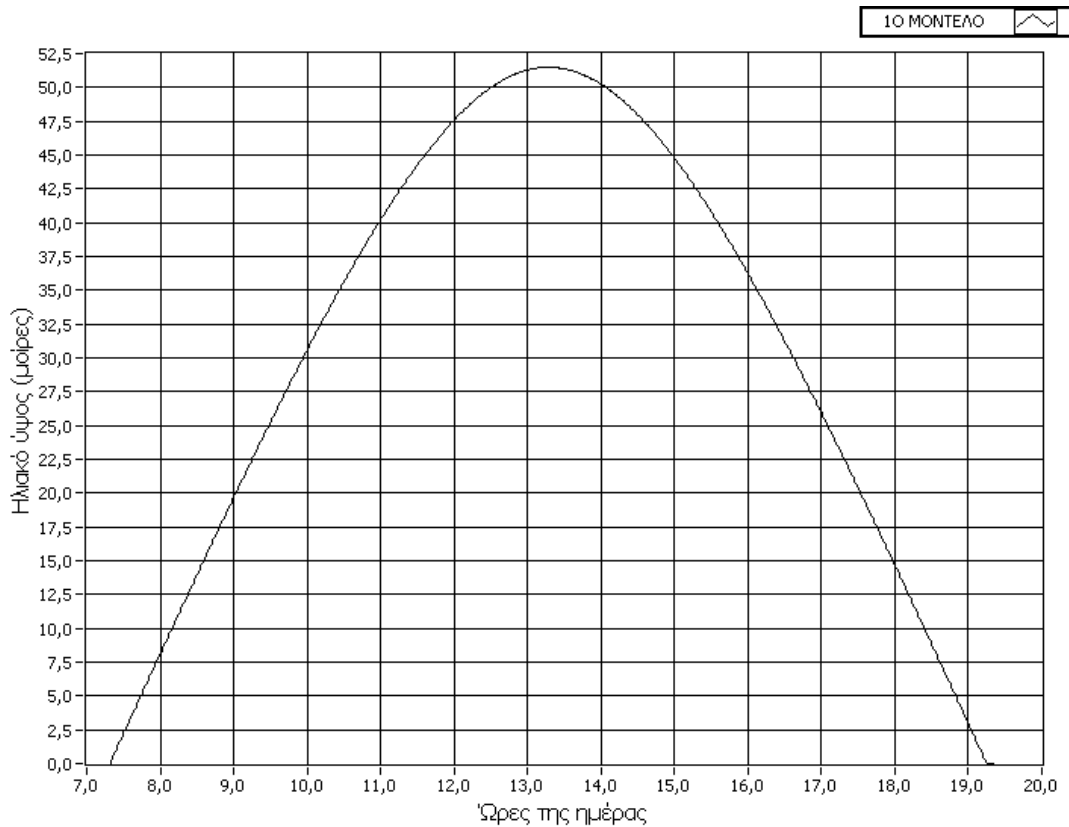
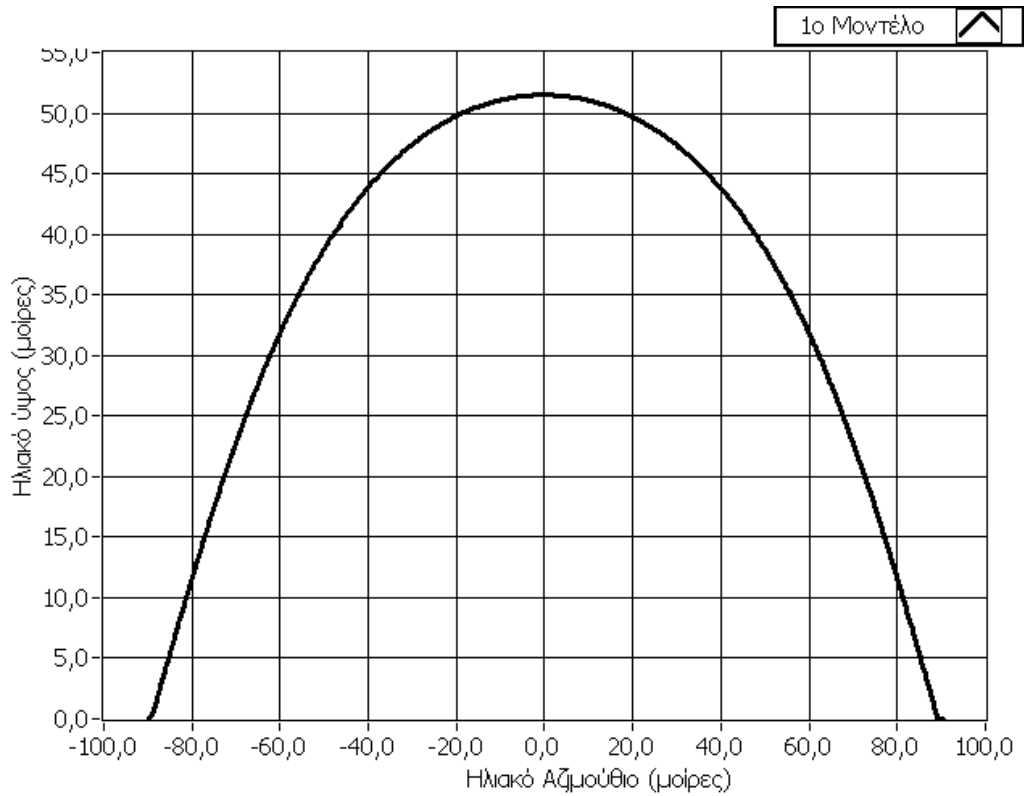
### ***2.3. Διαγράμματα καταγραφής της ηλιακής τροχιάς στις 21 Σεπτέμβρη 2012 σε 3 πόλεις του κόσμου.***

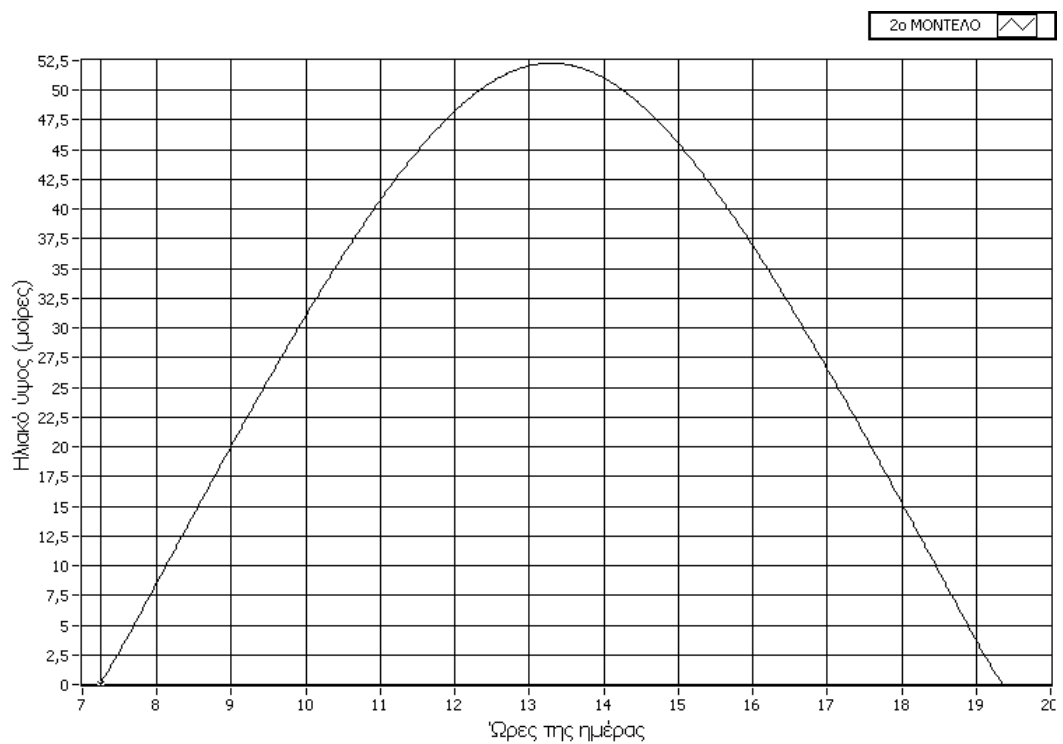
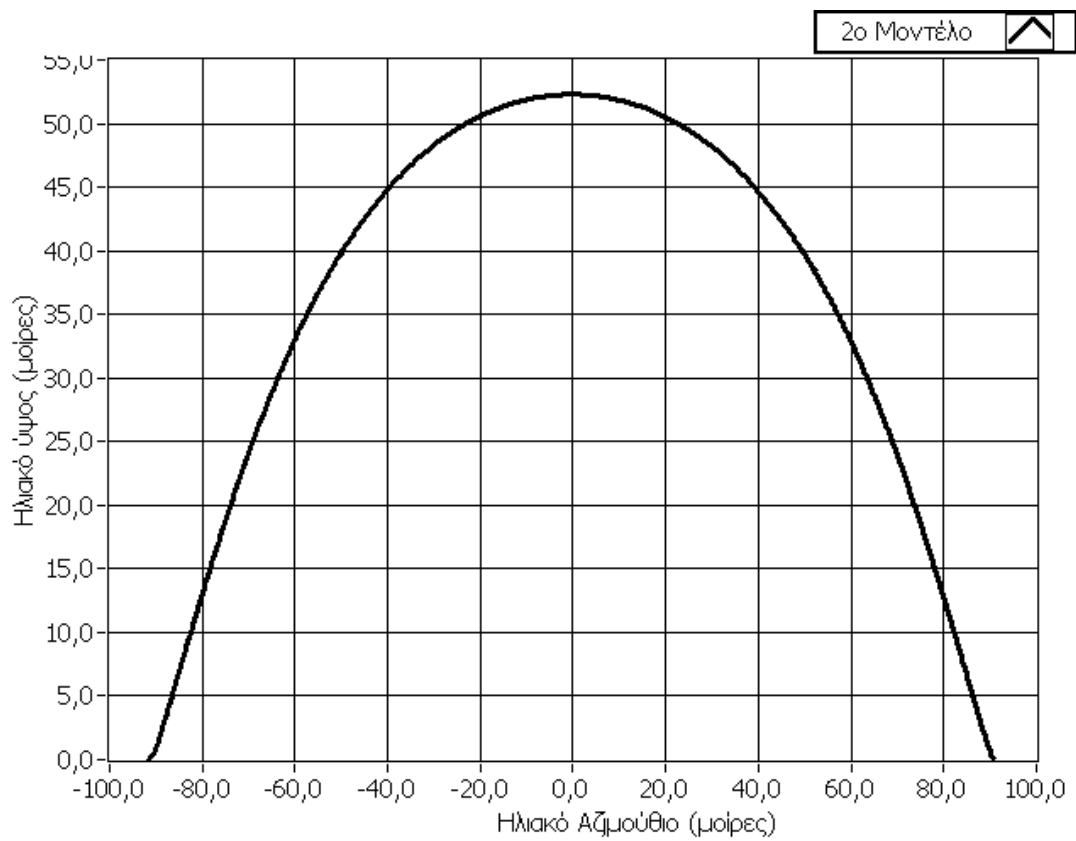
Θα παρουσιαστούν και με τα δύο θεωρητικά μοντέλα οι γραφικές παραστάσεις τις πορείας του ηλίου για διάφορες μεγάλες πόλεις την ίδια ημέρα. Οι πόλεις που επιλέγονται είναι η Θεσσαλονίκη (  $\varphi=40,63^\circ$   $\alpha=\pm 22,95^\circ$  ,  $\Delta T_{GMT}=\pm 2h$  ), το Λονδίνο (  $\varphi=51,51^\circ$   $\alpha=\pm 0,11^\circ$   $\Delta T_{GMT}=0h$  ) και η Νέα Υόρκη (  $\varphi=40,78^\circ$   $\alpha=\mp 73,96^\circ$   $\Delta T_{GMT}=\mp 5h$  ). Η ημερομηνία που επιλέγεται είναι η 21 Σεπτεμβρίου 2012.



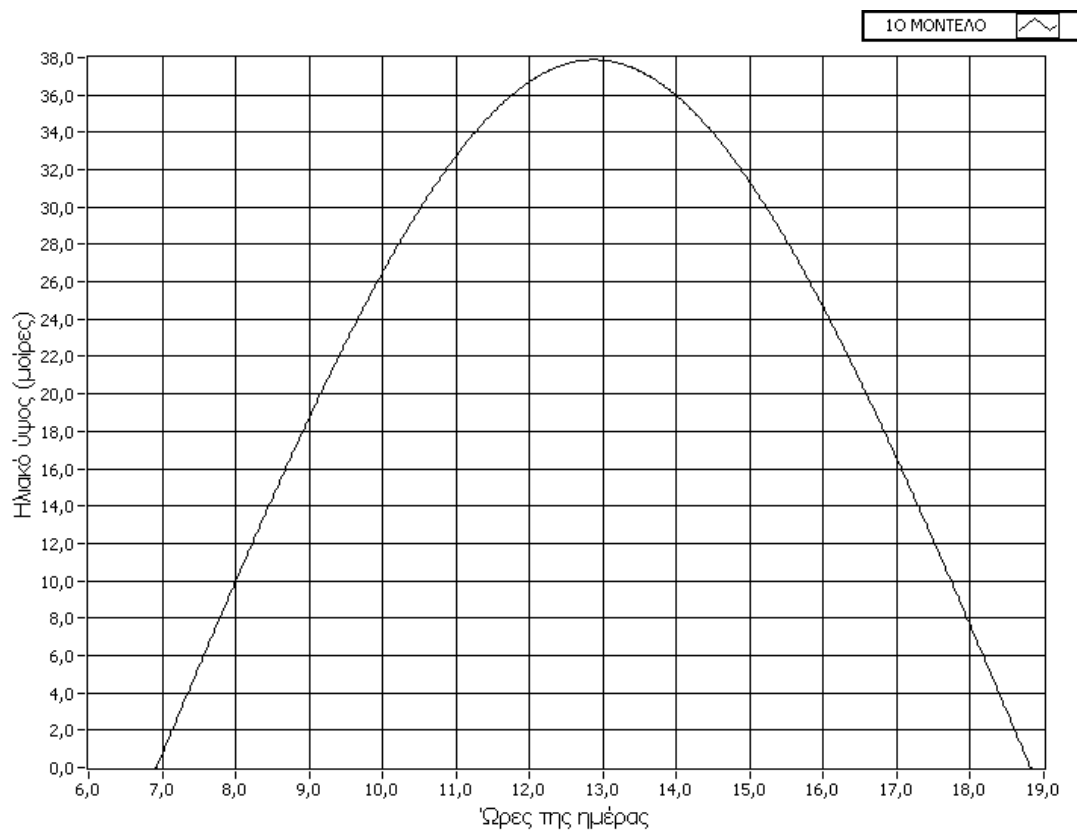
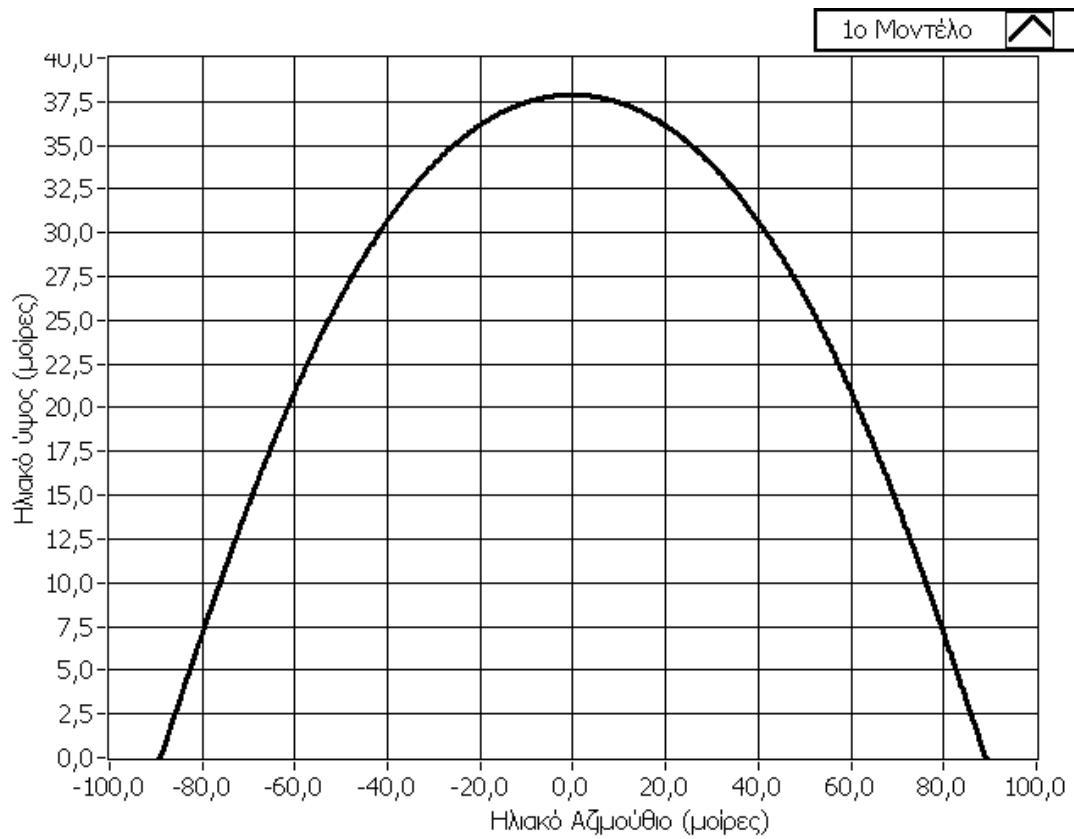


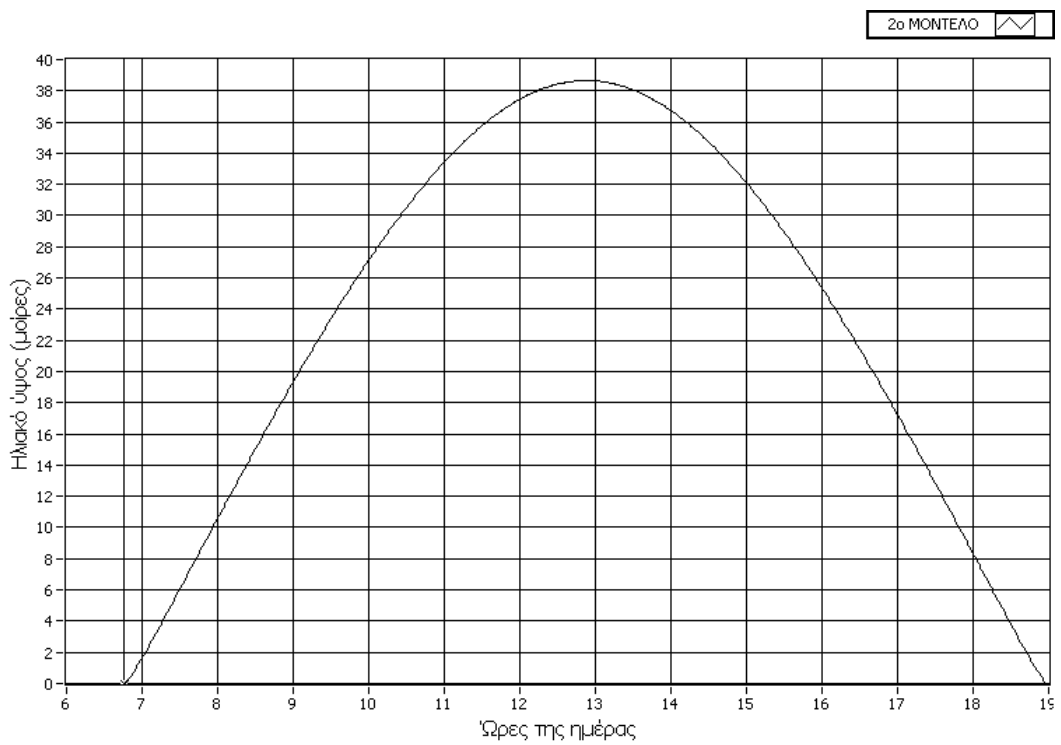
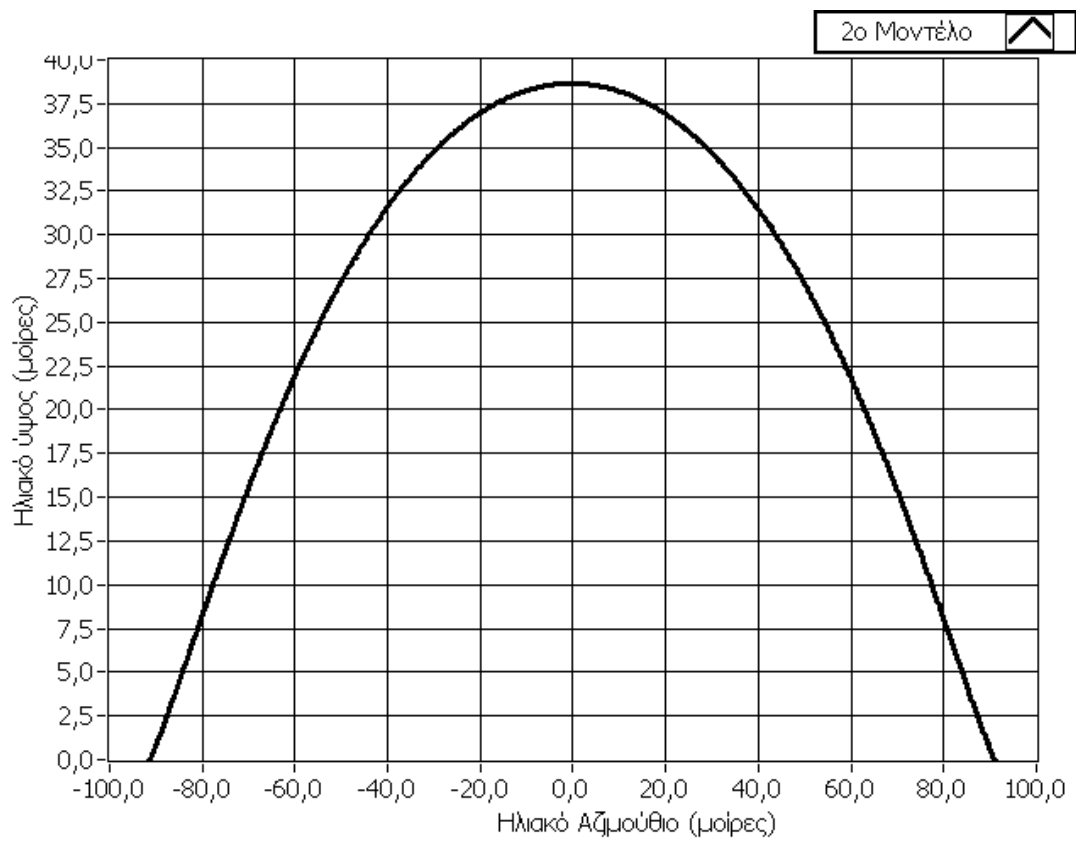
# Θεσσαλονίκη



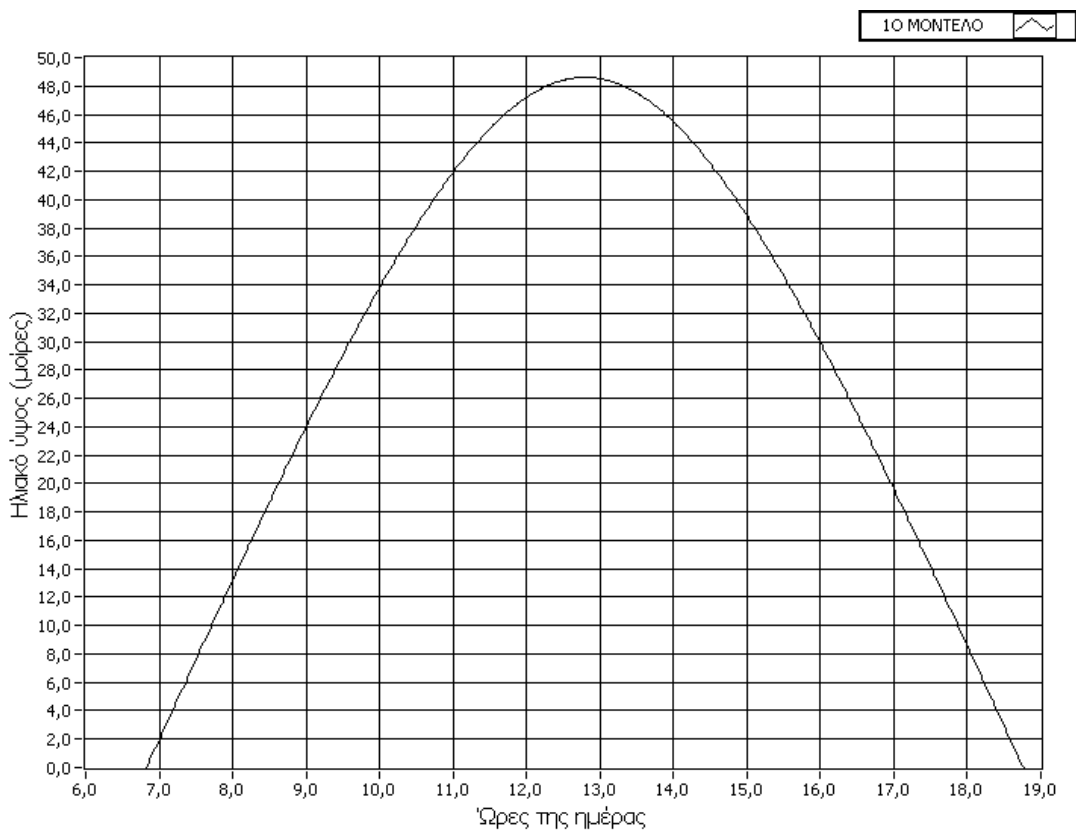
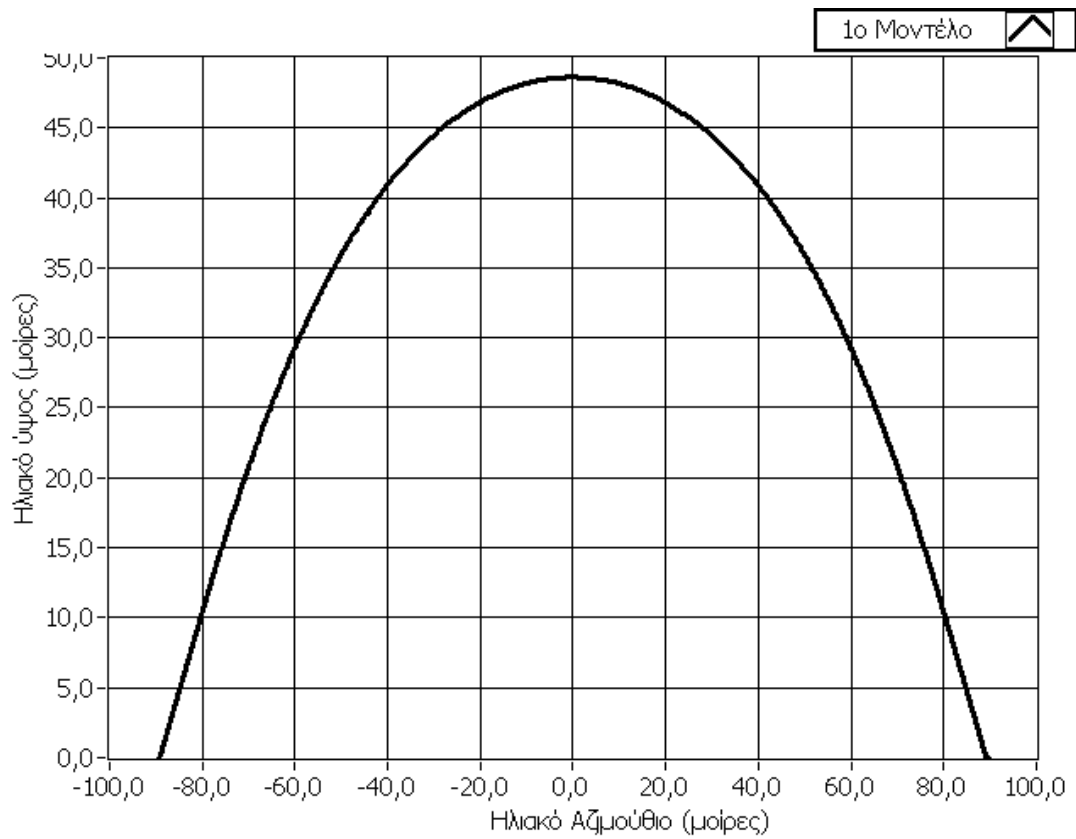


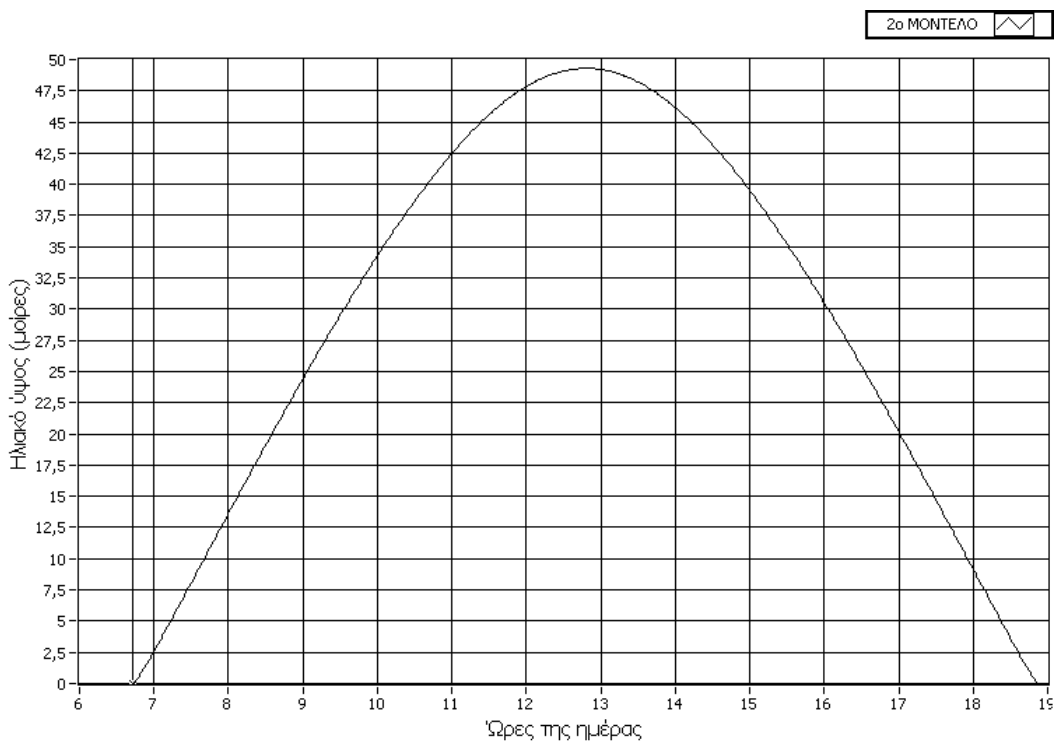
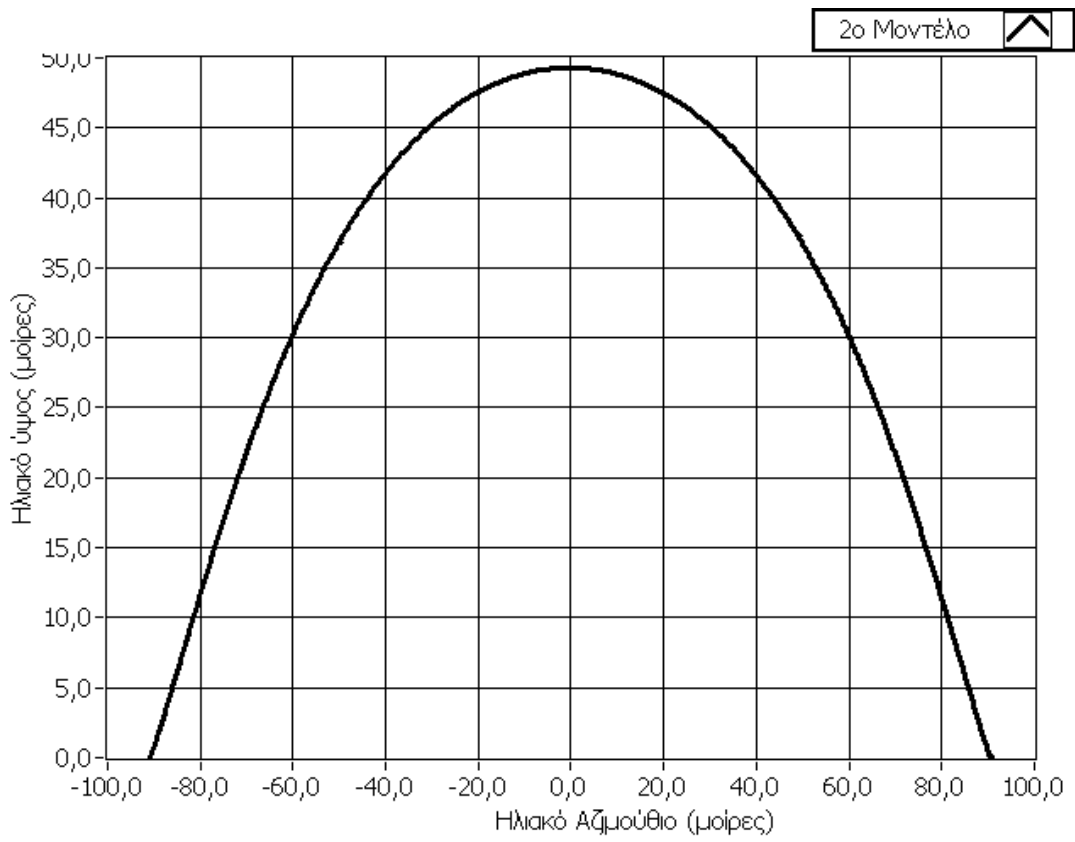
# Λονδίνο





# Νέα Υόρκη





---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ : ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

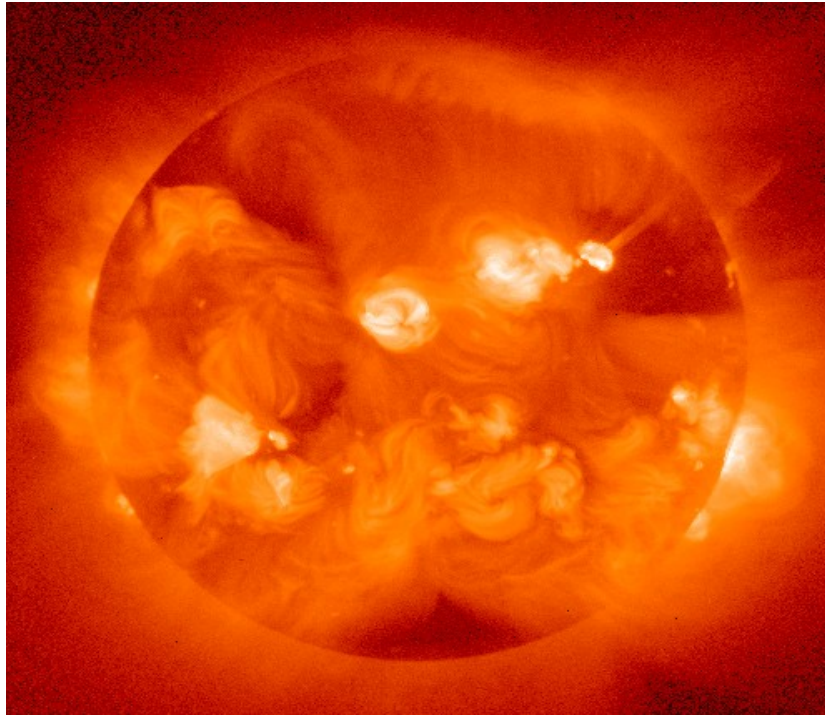
---

### 3. *Εισαγωγή*

Στη Γη, τον τρίτο πλανήτη του ηλιακού μας συστήματος, καταναλώνονται καθημερινά τεράστια ποσά ενέργειας. Η ενέργεια αυτή προέρχεται στην πραγματικότητα σε μεγάλο ποσοστό από την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνειά της. Θα περιγράψουμε θεωρητικά πως μετριέται αυτή η ενέργεια πριν παρουσιάσουμε τις μετρήσεις που πήραμε από τον ηλιακό ιχνηλάτη σε επόμενο κεφάλαιο της εργασίας.

#### 3.1. *Η πορεία της ηλιακής ακτινοβολίας από τη δημιουργία της μέχρι το έδαφος*

Η πηγή των τεράστιων ποσών ηλιακής ενέργειας, θερμότητας και φωτός, ο Ήλιος, αποτελείται από μία τεράστια μάζα θερμής αέριας ύλης. Η μάζα του Ήλιου, πολλές χιλιάδες φορές μεγαλύτερη από αυτή της Γης, δεν είναι στάσιμη αλλά όπως είναι γνωστό στον πυρήνα του Ήλιου γίνονται συνεχώς χημικές αντιδράσεις, πιο σημαντική από τις οποίες είναι η διαρκής πυρηνική σύντηξη. Ο πυρήνας του καταλαμβάνει μια έκταση από το κέντρο του Ήλιου μέχρι περίπου το ένα τέταρτο της ακτίνας του αστεριού. Στο επίκεντρο, η βαρύτητα τραβά όλη τη μάζα του Ήλιου προς τα μέσα και δημιουργεί πολύ έντονη πίεση. Αυτή η πίεση είναι αρκετά υψηλή ώστε να προκαλέσει τη σύντηξη των ατομικών μαζών. Οι θερμοκρασίες που επιτυγχάνονται γι' αυτό το λόγο στον Ήλιο είναι τεράστιες.



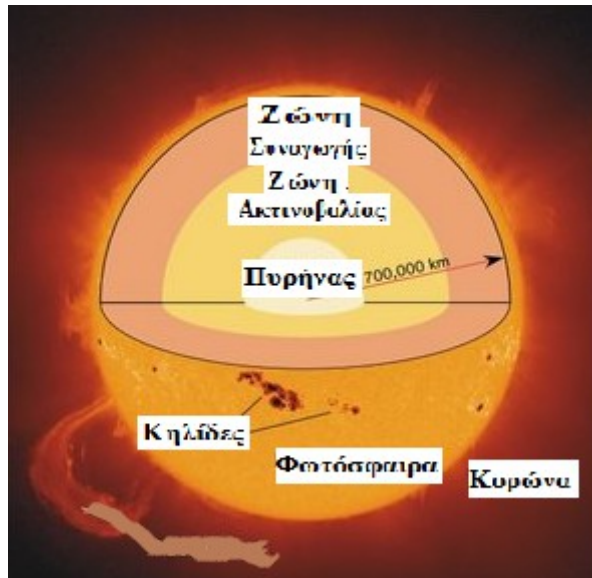
Σχ. 3.1 : Ο Ήλιος

Η ακριβής διαδικασία που συμβαίνει στο εσωτερικό του Ηλίου είναι μία αλυσωτή αντίδραση σύντηξης πρωτονίων που έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή ατόμων ηλίου He και ταυτόχρονα την έκλυση τεράστιων ποσών ενέργειας υπό τη μορφή ακτίνων X, ακτίνων γ και νετρίνων.

Οι ακτίνες αυτές μεταφέρονται στην επιφάνεια του Ηλίου είτε με τη μορφή ακτινοβολίας, είτε μέσω θερμού υλικού συναγωγικά. Στην πρώτη περίπτωση κάθε φωτόνιο που δημιουργείται ταξιδεύει περίπου ένα μικρόμετρο πριν απορροφηθεί από κάποιο παρακείμενο μόριο φυσικού αερίου. Αυτή η απορρόφηση στη συνέχεια προκαλεί τη θέρμανση των γειτονικών ατόμων και εκ νέου εκπέμπει ένα άλλο φωτόνιο που ταξιδεύει και πάλι σε μικρή απόσταση πριν απορροφηθεί από κάποιο άλλο άτομο. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται συνέχεια, πολλές φορές πριν το φωτόνιο να μπορέσει τελικά να εκπεμφθεί στην επιφάνεια του ήλιου. Παίρνει σε ένα φωτόνιο περίπου 100.000 χρόνια ή περίπου  $10^{25}$  απορροφήσεις και εκ νέου εκπομπές για να κάνει το ταξίδι από τον πυρήνα του ήλιου στην επιφάνειά του. Το ταξίδι από την επιφάνεια του ήλιου στη Γη διαρκεί περίπου 8 λεπτά. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας το μήκος κύματός της ακτινοβολίας το οποίο είναι αρχικά πολύ μικρό, αυξάνεται, μειώνοντας έτσι την ενέργεια που μεταφέρεται



μέσω αυτής. Στη δεύτερη περίπτωση λαμβάνει χώρα ο “κύκλος συναγωγής” ο οποίος περιλαμβάνει τη μεταφορά θερμού υλικού στην επιφάνεια του Ήλιου μέσω θερμών διαύλων. Το θερμό υλικό ψύχεται μεταφέροντας τη θερμότητα στην επιφάνεια και στη συνέχεια επιστρέφει πίσω στον πυρήνα ώστε να επαναθερμανθεί. Μέσα από όλη αυτή τη διαδικασία ο Ήλιος παράγει τα τεράστια ποσά ενέργειας, μέρος των οποίων φτάνουν στη Γη.



Σχ.3.2: Τα

στρώματα του Ηλίου

### 3.2. Πυκνότητα ισχύος και φασματική κατανομή ηλιακής ακτινοβολίας

Η μέση ετήσια πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μία μοναδιαία επιφάνεια κάθετη στις ακτίνες του ήλιου στο όριο της ατμόσφαιρας της γης έχει μέση τιμή  $1367 \text{ W} / \text{m}^2$  και ορίζεται ως ηλιακή σταθερά.

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

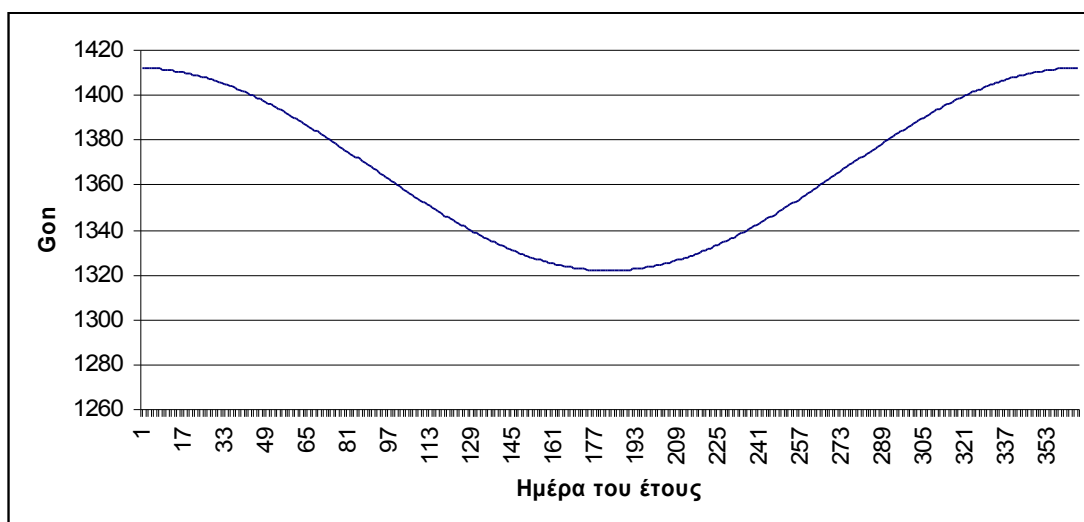
Λόγω της μεταβολής της απόστασης ήλιου-γης κατά την διάρκεια του έτους χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση για τον υπολογισμό της ετήσιας μεταβολής της ηλιακής σταθεράς:

$$G_{on} = G_{sc} \left[ 1 + 0.033 \cos \frac{360 \cdot \text{DOY}}{365} \right]$$

Όπου: DOY οι ημέρες του έτους  $\text{DOY} = 1, 2, 3, \dots, 365$

$G_{on}$ : ακτινοβολία που δέχεται επίπεδο εκτός ατμόσφαιρας και κάθετο στις ακτίνες του ήλιου

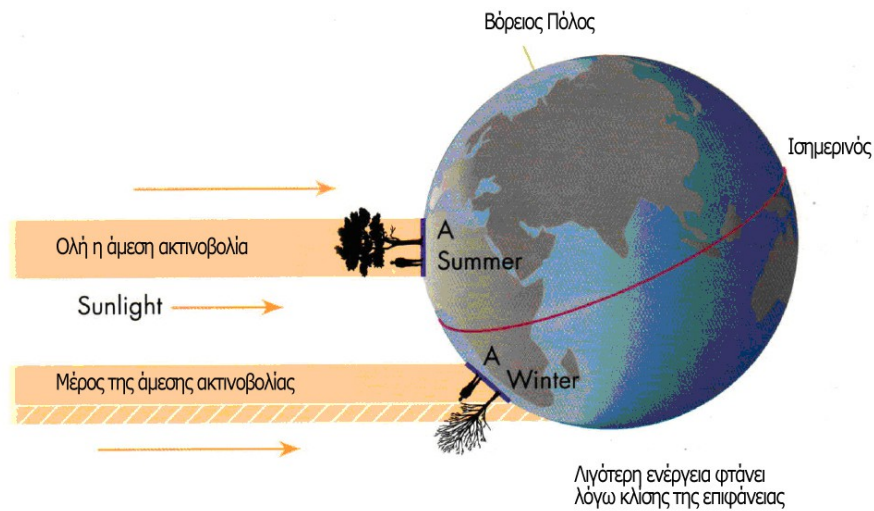
Υπολογίζουμε την τιμή του  $G_{on}$  σε ένα φύλλο excel για κάθε ημέρα του έτους και δημιουργούμε το παρακάτω διάγραμμα το οποίο δείχνει την μεταβολή της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια του έτους.



Σχήμα 3.3 Διακύμανση πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια του έτους.

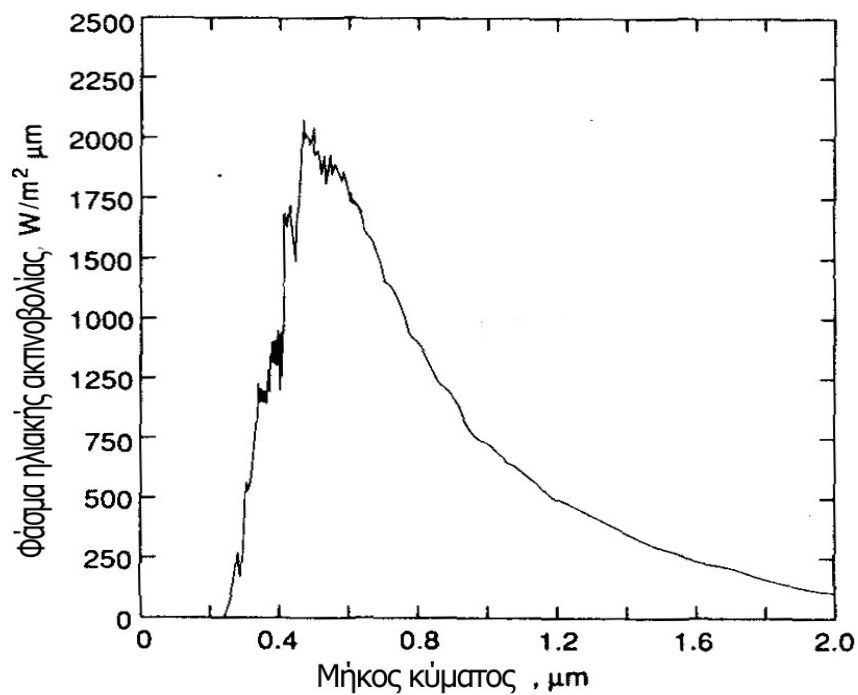
Παρατηρούμε από το παραπάνω διάγραμμα ότι η πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας λαμβάνει τη μεγαλύτερη τιμή την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου. Αυτό συμβαίνει διότι τότε η απόσταση ήλιου-γης είναι η μικρότερη από όλη τη διάρκεια του έτους. Όμως, για μία οριζόντια επιφάνεια τοποθετημένη στο βόρειο ημισφαίριο η ακτινοβολία που προσπίπτει είναι μικρότερη το χειμώνα και αυτό οφείλεται στην κλίση της γης

Η κλίση της γης έχει ως αποτέλεσμα η μεγαλύτερη ενέργεια από τον ήλιο να φτάνει όταν οι ακτίνες του ηλίου προσπίπτουν κάθετα στην περιοχή την οποία εξετάζουμε. Για το βόρειο ημισφαίριο αυτό συμβαίνει τους καλοκαιρινούς μήνες.



Σχήμα 3.4 Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στη γη ανάλογα με την εποχή.

Εκτός από την ηλιακή σταθερά είναι χρήσιμο να γνωρίζουμε και τη φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας έξω από την ατμόσφαιρα. Το σχήμα 3.6 μας δίνει την πληροφορία αυτή στο μέσο της απόστασης ηλίου-γης



Σχήμα 3.6 Κατανομή φάσματος ακτινοβολίας στο μέσο της απόστασης ηλίου-γης

Η ακτινοβολία του ήλιου που καταλήγει στην επιφάνεια της γης μπορεί να φθάσει τα  $1.200 \text{ W/m}^2$  (εξαρτάται από την περιοχή στην οποία αναφερόμαστε), όταν ο ήλιος είναι στο ζενίθ, και καλύπτει το φάσμα μεταξύ  $0,3 \mu\text{m}$  έως  $2,5 \mu\text{m}$  με αιχμή (peak) στα  $0,5 \mu\text{m}$ . Η ακτινοβολία αυτή χαρακτηρίζεται ως μικρού μήκους κύματος και συμπεριλαμβάνει το ορατό φάσμα ( $0,4 - 0,7 \mu\text{m}$ ), συγκεκριμένα δε κατανέμεται ως εξής:

- (i) υπεριώδης ακτινοβολία ( $\lambda < 0,4 \mu\text{m}$ ) με ποσοστό εμφάνισης 9%.
- (ii) ορατό φως ( $0,4 \mu\text{m} < \lambda < 0,7 \mu\text{m}$ ) με ποσοστό 45%.
- (iii) υπέρυθη ακτινοβολία ( $\lambda > 0,7 \mu\text{m}$ ) με ποσοστό 46%.

### 3.3. Ορισμοί και βασικές έννοιες ηλιακής ακτινοβολίας

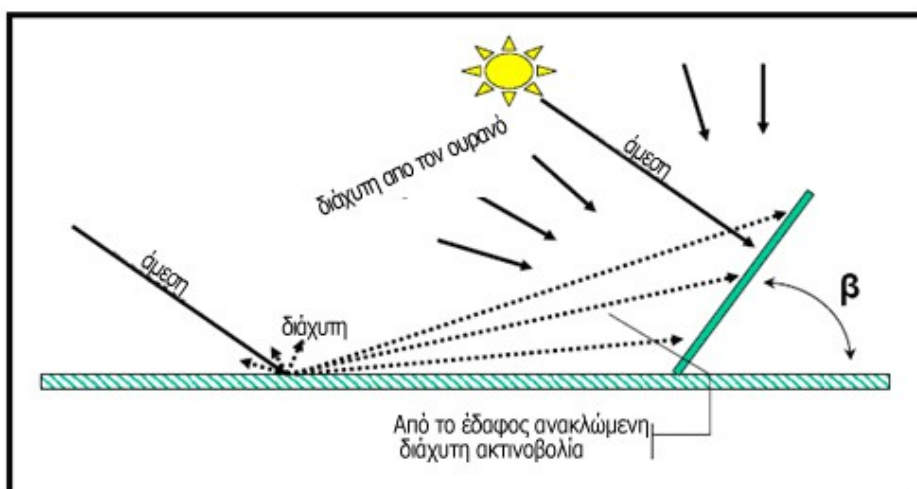
Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζουμε ορισμούς και βασικές έννοιες που είναι χρήσιμοι στην μελέτη της ηλιακής ακτινοβολίας.

**Αέριος μάζα AM:** Το ποσοστό που αναλογεί από το μήκος της μάζας της ατμόσφαιρας το οποίο διασχίζει η δέσμη της άμεσης ακτινοβολίας ως προς το μήκος της μάζας της ατμόσφαιρας που θα περνούσε εάν ο ήλιος ήταν στο ζενίθ του (δηλ., άμεσα από πάνω). Κατά συνέπεια στη στάθμη της θάλασσας,  $\mu = 1$  όταν είναι ο ήλιος στο ζενίθ, και οι  $\mu = 2$  για μια γωνία ζενίθ  $60^\circ$ . Για γωνίες ζενίθ από  $0$  έως  $70^\circ$  στη στάθμη της θάλασσας, κατά προσέγγιση

$$AM = \frac{1}{\cos \theta}$$

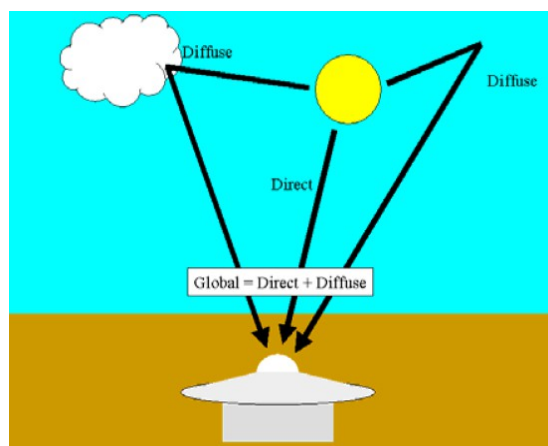
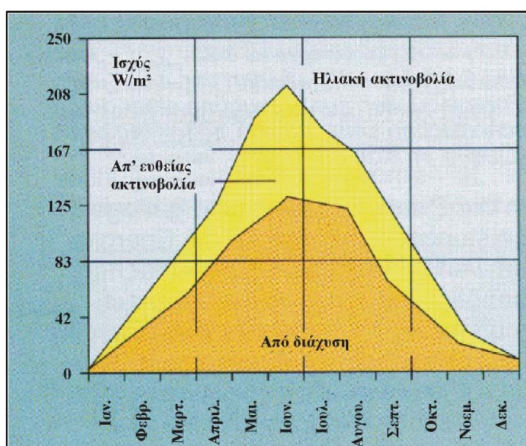
**Άμεση ακτινοβολία:** η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει απ' ευθείας από τον ήλιο χωρίς να έχει υποστεί σκέδαση από την ατμόσφαιρα. (Η άμεση ακτινοβολία αναφέρεται συχνά ως direct ή beam ακτινοβολία)

**Διάχυτη ακτινοβολία:** η ηλιακή ακτινοβολία που έχει υποστεί σκέδαση από την ατμόσφαιρα (η σύμβαση που χρησιμοποιούμε σε αυτήν τη μελέτη θα διακρίνει τη διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία από την υπέρυθη ακτινοβολία που εκπέμπεται από την ατμόσφαιρα, αναφέρεται και ως diffuse ακτινοβολία.)



Σχήμα 3.7 Άμεση και διάχυτη ακτινοβολία.

**Συνολική Ακτινοβολία:** (total solar radiation) Το άθροισμα της άμεση και διάχυτη ηλιακής ακτινοβολία πάνω σε μια επιφάνεια (συνήθως οι μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας είναι μετρήσεις της συνολικής ακτινοβολίας σε μια οριζόντια επιφάνεια, συχνά καλούμενη κοσμική ακτινοβολία.)



Σχήμα 3.8 Αριστερά η κατανομή της μέσης ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο αναλυμένη σε άμεση και διάχυτη ακτινοβολία. Δεξιά μέτρηση της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας.

Η ηλιακή ακτινοβολία κατά την είσοδό της στην ατμόσφαιρα υπόκειται απορρόφηση και σκέδαση (οι κυριότεροι απορροφητές είναι: τα νέφη, οι υδρατμοί, το όζον και το διοξείδιο του άνθρακα ). Η ακτινοβολία που

σκεδάζεται είναι η διάχυτη και ένα μέρος της επιστρέφει στο διάστημα. Η ακτινοβολία που φτάνει στο έδαφος χωρίς σκέδαση είναι η άμεση ηλιακή ακτινοβολία.

**Πυκνότητα ισχύος ακτινοβολίας G:** Μονάδα  $W/m^2$  ή  $mW/cm^2$ , είναι ο ρυθμός με τον οποίο η ακτινοβολία προσπίπτει σε μία επιφάνεια, ανά μονάδα επιφάνειας. Το σύμβολο G χρησιμοποιείται για να εκφράσει την πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας, με τους κατάλληλους δείκτες για την άμεση, τη διάχυτη ή τη συνολική ακτινοβολία.

**Πυκνότητα ενέργειας ακτινοβολίας:** μονάδα  $J/m^2$  η προσπίπτουσα ενέργεια σε μία επιφάνεια, ανά μονάδα επιφάνειας. Υπολογίζεται από την ολοκλήρωση της πυκνότητας ισχύος ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια ενός καθορισμένου χρόνου, συνήθως μια ώρα ή μια ημέρα.

Η έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία είναι ένας όρος που ισχύει συγκεκριμένα για την ακτινοβολία ηλιακής ενέργειας. Το σύμβολο X χρησιμοποιείται για την έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία για μια ημέρα. Το σύμβολο I χρησιμοποιείται για την έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία για μια ώρα (ή άλλη περίοδο, εάν καθορίζεται). Τα σύμβολα X και I μπορούν να αντιπροσωπεύσουν την άμεση, τη διάχυτη ή τη συνολική ακτινοβολία. και μπορούν να υπολογιστούν σε επιφάνειες οποιουδήποτε προσανατολισμού.

Χρησιμοποιούμε δείκτες στα I στο G και το X για να καθορίσουμε σε ποιο μέγεθος αναφέρονται. Συγκεκριμένα:

o: αναφέρεται στην ακτινοβολία έξω από τη γήινη ατμόσφαιρα.

b: αναφέρεται στην άμεση.

d: αναφέρεται στη διάχυτη.

T: αναφέρεται στην ακτινοβολία σε μια κεκλιμένη επιφάνεια.

n: σε μια επιφάνεια κάθετη στην κατεύθυνση της διάδοσης.

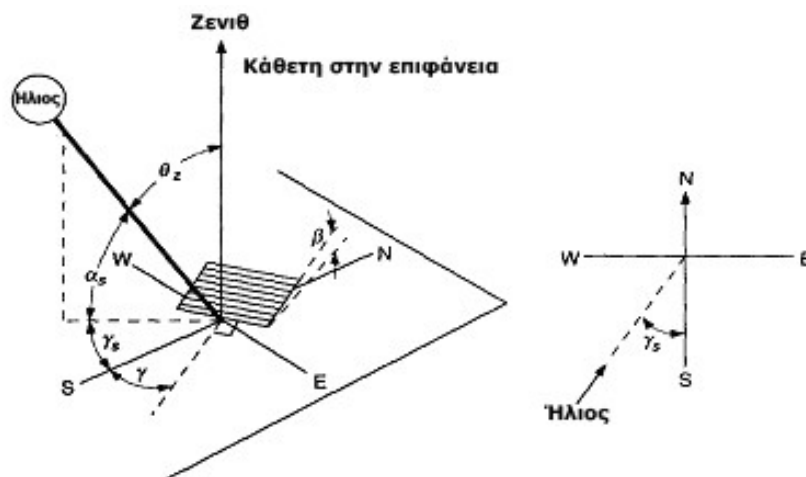
Εάν ούτε το T ούτε το n εμφανίζονται, η ακτινοβολία αναφέρεται σε οριζόντιο επίπεδο.

**Ηλιακή ώρα (solar time):** η ηλιακή ώρα χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό όλων των γωνιών που αναφέρονται στον ήλιο και διαφέρει από την τοπική

ώρα λόγω της κλίσης του άξονα της γης και της εκλειπτικής τροχιάς της γύρω από τον ήλιο.

### 3.4. Υπολογισμός κατεύθυνσης ηλιακής ακτινοβολίας

Οι γεωμετρικές σχέσεις μεταξύ μίας επιφάνειας οποιουδήποτε προσανατολισμού σχετικά με τη γη, οποιαδήποτε στιγμή (είτε η επιφάνεια είναι σταθερή είτε κινούμενη σε σχέση με τη γη) και η εισερχόμενη άμεση ηλιακή ακτινοβολία, δηλαδή η θέση του ήλιου σχετικά με την επιφάνεια, μπορεί να περιγραφεί από διάφορες γωνίες [Benford και Bock (1939)]. Μερικές από τις γωνίες υποδεικνύονται στο σχήμα 4.9



Σχήμα 3.9 Γεωμετρικές σχέσεις μεταξύ μίας επιφάνειας και του ηλίου.

Ο υπολογισμός της κατεύθυνσης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας είναι το πιο σημαντικό στοιχείο και απαιτείται όταν επιθυμούμε να υπολογίσουμε την ηλιακή ακτινοβολία σε μία επιφάνεια στη γη. Αν γνωρίζουμε τη σχετική θέση του ηλίου και της επιφάνειας που μελετάμε τότε μπορούμε να υπολογίσουμε και την ακτινοβολία που δέχεται η επιφάνεια μας σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα όπως θα δούμε σε επόμενη παράγραφο.

Στο υπόλοιπο αυτής της παραγράφου θα δούμε τις πιο σημαντικές, για αυτήν την εργασία, γωνίες που περιγράφουν τη θέση ηλίου- γης στη διάρκεια μίας ημέρας καθώς και το πώς αυτές υπολογίζονται.

Χρησιμοποιούμε πολικό σύστημα συντεταγμένων με τη θέση του ηλίου να προσδιορίζεται πλήρως από την απόσταση του από τη γη και τις γωνίες  $\gamma_s$  και  $\theta_z$  (σχήμα 4.9) όπως αυτές ορίζονται παρακάτω. (Ως απόσταση του ηλίου θεωρούμε τη μέση απόσταση από τη γη σε ένα έτος και εκφράζεται στις εξισώσεις μέσω της ηλιακής σταθεράς  $G_{sc}$ ).

$\gamma_s$ : η γωνιακή απόκλιση της άμεσης ακτινοβολίας από το νότο σε οριζόντιο επίπεδο, ανατολικά έχει αρνητικές τιμές ενώ δυτικά θετικές.

$\theta_z$ : γωνία ζενίθ η γωνία που σχηματίζει η άμεση ηλιακή ακτινοβολία με την κάθετη στο οριζόντιο επίπεδο.

Η θέση της επιφάνειας χαρακτηρίζεται από τις γωνίες:

$\phi$ : γεωγραφικό πλάτος, γωνιακή θέση νότια ή βόρεια του ισημερινού, βόρεια θετική

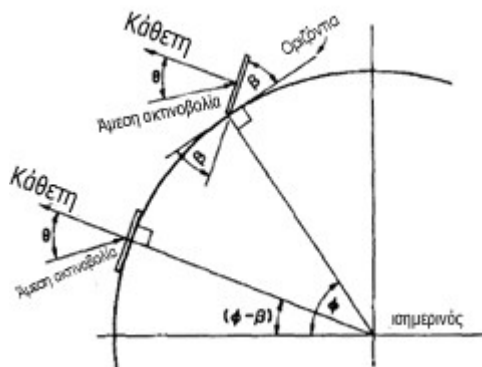
$L_{loc}$ : γεωγραφικό μήκος, η γωνιακή θέση ανατολικά ή δυτικά του μεσημβρινού αναφοράς.

$\gamma$ : η οριζόντια γωνία που σχηματίζει η προβολή της καθέτου της επιφάνειας, στο οριζόντιο επίπεδο, με τον τοπικό μεσημβρινό (δηλαδή τον νότο), ανατολικά έχει αρνητικές τιμές ενώ δυτικά θετικές. ( $-180 < \gamma < 180$ ). (σχήμα 4.9).

$\beta$ : η γωνία που σχηματίζει η επιφάνειά μας με το οριζόντιο επίπεδο.

**Για τον υπολογισμό της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας σε μία επιφάνεια απαιτείται ο υπολογισμός των γωνιών:**

$\theta$ : γωνία πτώσης της ηλιακής ακτινοβολίας σε μία επιφάνεια, σε σχέση με την κάθετο στην επιφάνεια (για οριζόντια επιφάνεια ισούται με  $\theta_z$ ).



Σχήμα 3.10 Η γωνία  $\theta$  που σχηματίζει η άμεση ηλιακή ακτινοβολία με επιφάνεια κλίσης  $\beta$  σε γεωγραφικό πλάτος  $\phi$ .



**δ:** η γωνιακή απόκλιση του ηλίου το ηλιακό μεσημέρι (δηλαδή όταν ο ήλιος βρίσκεται στον τοπικό μεσημβρινό) με αναφορά στον ισημερινό, βόρεια θετική.

**Ω:** η ωριαία γωνία του ήλιου ανατολικά ή δυτικά του τοπικού μεσημβρινού λόγω της περιστροφής της γης στον άξονά του.

Υπάρχει ένα σύνολο εξισώσεων που συνδέει όλες τις παραπάνω γωνίες. Η σχέση που συνδέει τη γωνία πτώσης της άμεση ακτινοβολίας,  $\theta$ , σε μία επιφάνεια σε σχέση με τις υπόλοιπες γωνίες είναι:

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \sin \varphi \cos \beta \\ & - \sin \delta \cos \varphi \sin \beta \cos \gamma \\ & + \cos \delta \cos \varphi \cos \beta \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \varphi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned}$$

και

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

**Στην περίπτωση της οριζόντιας επιφάνειας** η γωνία  $\theta$  είναι ίση με τη γωνία ζενίθ του ηλίου και η τιμή της πρέπει να είναι μεταξύ 0 και 90 όταν ο ήλιος είναι πάνω από τον ορίζοντα. Στην περίπτωση αυτή ισχύει:

$$\beta = 0$$

$$\theta = \theta_z$$

Οι σχέσεις (2.3.2) και (2.3.3) γίνονται:

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \cos \delta \cos \varphi \cos \beta \cos \omega + \sin \delta \sin \varphi \\ & \theta = \theta_z \end{aligned}$$

Όμως για  $\beta = 0$  (οριζόντια επιφάνεια) και  $\theta_z = 90^\circ$  (δηλαδή η ώρα του ηλιοβασιλέματος) η σχέση γίνεται:

$$\cos \omega_s = - \frac{\sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta} = - \tan \varphi \tan \delta$$

### Το ανισοτροπικό μοντέλο.

Επειδή η σκέδαση και η απορρόφηση είναι πολύπλοκες διαδικασίες για να περιγραφούν μαθηματικά, η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στη γη μετράτε από ιδικά όργανα μέτρησης. Η συνήθης πρακτική είναι να μετράμε την ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο. Από τις μετρήσεις αυτές μπορούμε να υπολογίσουμε την ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο με τη βοήθεια του ανισοτροπικού μοντέλου.

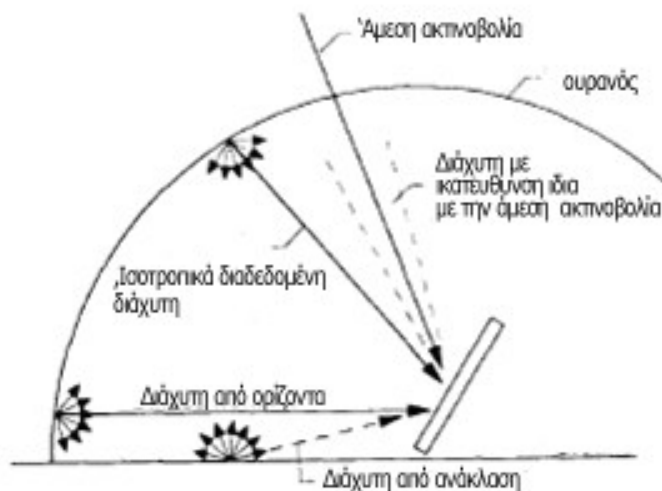
Το ανισοτροπικό μοντέλο δίνει μια μέθοδο για τον υπολογισμό της ακτινοβολίας σε μία κεκλιμένη επιφάνεια στην επιφάνεια της γης. Ο υπολογισμός γίνεται με βάση τις μετρήσεις που έχουμε για μία περιοχή στο οριζόντιο επίπεδο. Θεώρει ότι η ακτινοβολία που φτάνει σε επιφάνεια στη γη αποτελείται από τέσσερις παράγοντες:

- A) την άμεση ακτινοβολία.
- B) τη διάχυτη που έχει σκεδαστεί σε ένα κομμάτι γύρω από τον ήλιο αλλά ακολουθεί την κατεύθυνση της άμεση (Circumsolar).
- Γ) τη διάχυτη που διαδίδεται από όλο τον ουράνιο θόλο κατά τον ίδιο τρόπο.
- Δ) τη διάχυτη από το έδαφος και τον ορίζοντα που δεν έχει την ίδια κατεύθυνση με την άμεση.

Συγκεκριμένα η συνολική ακτινοβολία σε μία κεκλιμένη επιφάνεια στην γη αποτελείται από τους παράγοντες της παρακάτω εξίσωσης:

$$I_T = I_{T,b} + I_{T,d,iso} + I_{T,d,cs} + I_{T,d,hz} + I_{T,refl}$$

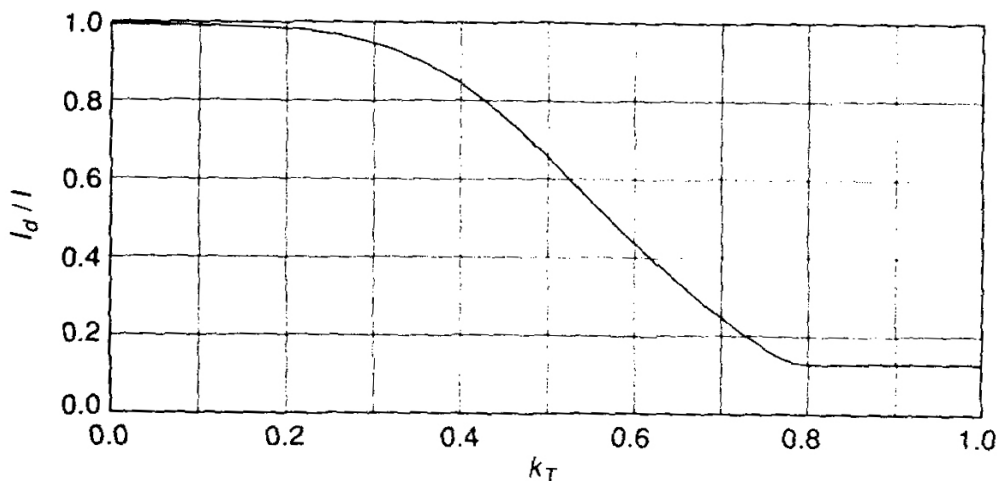
Ο πρώτος όρος υπολογίζει την συνολική άμεση ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια. Ο δεύτερος τη συνολική διάχυτη ακτινοβολία η οποία είναι αποτέλεσμα της σκέδασης του ουράνιου θόλου. Ο τρίτος όρος υπολογίζει την ακτινοβολία που σκεδάζεται από ένα κομμάτι του ουρανού γύρω από τον ήλιο και έπειτα προωθείται μαζί με την άμεση ακτινοβολία. Ενώ οι δύο τελευταίοι εκφράζουν την λάμψη του ορίζοντα (κυρίως τις ηλιόλουστες μέρες) και την ανακλώμενη από το έδαφος αντίστοιχα.



Σχήμα 3.11 Συνιστώσες της συνολικής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μία κεκλιμένη επιφάνεια.

Το ανισοτροπικό μοντέλο λαμβάνει υπόψη τους τέσσερεις από τους πέντε παράγοντες της εξίσωσης (δεν υπολογίζει τη φωτεινότητα του ορίζοντα). Πριν τον υπολογισμό είναι αναγκαίο να δούμε μερικούς ορισμούς:

Δείκτης καθαρότητας του ουρανού για μία ώρα ( $k_T = \frac{I}{I_0}$ ), όπου  $I_0$  η μέση ωριαία ακτινοβολία και  $I$  η μέση ωριαία μετρούμενη ακτινοβολία. Αναλόγως την τιμή που παίρνει αυτός ο δείκτης μεταβάλλεται η σχέση μεταξύ διάχυτης και μετρούμενης ακτινοβολίας.



Σχήμα 3.12 Σχέση μεταξύ διάχυτης και μετρούμενης ακτινοβολίας.

Ο λόγος της διάχυτης προς τη μετρούμενη ακτινοβολία. μεταβάλλεται ως εξής:

$$\lambda = \frac{I_d}{I} = \begin{cases} 1 - 0,09k_T & \text{αν } k_T < 0,22 \\ 0,9511 - 0,1604k_T + 4,388k_T^2 - 16,638k_T^3 + 12,336k_T^4 & \text{αν } 0,22 \leq k_T \leq 0,8 \\ 0,165 & \text{αν } k_T > 0,8 \end{cases}$$

Έπεται ότι  $I_d = I \cdot \lambda$

Ο υπολογισμός της άμεση έρχεται από τη σχέση  $I_b = I_o - I_d$

Έχοντας υπολογίσει την άμεση και διάχυτη ακτινοβολία μπορούμε να υπολογίσουμε όλους τους όρους της εξίσωσης:

$$I_{d,T} = I_{T,d,cs} + I_{T,d,iso} = I_d \left[ (1 - A_i) \left( \frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + A_i R_b \right]$$

Όπου  $A_i$  είναι δείκτης της άμεση ακτινοβολίας:  $A_i = \frac{I_{bn}}{I_{on}} = \frac{I_b}{I_o}$

και  $R_b$  ορίζεται ο λόγος της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο προς αυτήν σε οριζόντιο επίπεδο:

$$R_b = G_{bn} / G_b = \frac{G_{bn} \cdot \cos\theta}{G_{bn} \cdot \cos\theta_z} = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \rightarrow G_{bt} = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} G_b$$

Η αντανάκλαση του εδάφους δίνετε από την  $I_{pg} \left( \frac{1 - \cos\beta}{2} \right)$

Όπου  $p_g$  είναι ο συντελεστής ανάκλασης του εδάφους με τιμές 0 έως 1.

Ο παράγοντας  $\left[ 1 + f \sin^3 \left( \frac{\beta}{2} \right) \right]$  είναι μία διόρθωση που εφαρμόζεται για την καλύτερη προσέγγιση των υπολογισμών τις συνεφιασμένες μέρες

$$\text{με } f = \sqrt{\frac{I_b}{I}}$$

Η συνολική ακτινοβολία σε μία κεκλιμένη επιφάνεια υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$I_T = (I_b + I_d A_i) R_b + \left[ (1 - A_i) \left( \frac{1 + \cos\beta}{2} \right) \left[ 1 + f \sin^3 \left( \frac{\beta}{2} \right) \right] \right] + I_{pg} \left( \frac{1 - \cos\beta}{2} \right)$$

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ: ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΗΛΙΑΚΟΥ ΙΧΝΗΛΑΤΗ ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ZABER ΣΥΣΚΕΥΩΝ

---

### 4. *Εισαγωγή*

Σκοπός της εργασίας είναι η κατασκευή ενός συστήματος ηλιακού ιχνηλάτη μέσω του οποίου να καταγράφουμε και να μετράμε την άμεση – διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία. Χρησιμοποιήθηκαν στρεφόμενες συσκευές zaber ως ανιχνευτές του ηλιακού ύψους και αζιμούθιου. Οι συσκευές αυτές τοποθετήθηκαν σε κατάλληλη διάταξη ούτως ώστε να ακολουθείται κάθε στιγμή της μέρας η ηλιακή διαδρομή. Στη συνέχεια προσαρμόστηκαν αισθητήρες για τη μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας.

#### 4.1. *Στρεφόμενες συσκευές “zaber T-RS60A”*

Για την κατασκευή συστήματος ηλιακού ιχνηλάτη είναι απαραίτητη η χρήση ανιχνευτών του ηλιακού αζιμούθιου και του ηλιακού ύψους. Οι ανιχνευτές θα πρέπει να είναι συσκευές που να προγραμματίζονται με χρήση κατάλληλου λογισμικού από H/Y.

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν ως ανιχνευτές δύο συσκευές “zaber T-RS60A”. Πρόκειται για μηχανοκίνητες στρεφόμενες συσκευές, περιστροφής 360 μοιρών, διαμέτρου 60 mm με ενσωματωμένο ελεγκτή. Οι συσκευές αυτές έχουν μικρή ταχύτητα περιστροφής αλλά παρέχουν μεγάλη ακρίβεια στις μετρήσεις. Πλήρης περιγραφή των χαρακτηριστικών υπάρχει στο site της εταιρείας ([http://www.zaber.com/products/product\\_group.php?group=T-RS&name=Motorized\\_Rotary\\_Stages](http://www.zaber.com/products/product_group.php?group=T-RS&name=Motorized_Rotary_Stages))



#### **4.2. Εγκατάσταση και λειτουργία της zaber T-RS60A συσκευής.**

Πριν ξεκινήσει η εγκατάσταση χρειάζεται να υπάρχει τροφοδοτικό της συσκευής. Η τάση τροφοδοσίας είναι 12-16 V. Η συσκευή μπορεί να λειτουργήσει ή χειροκίνητα ή κατόπιν σύνδεσης στον υπολογιστή.

Στα πλαίσια της εργασίας η χειροκίνητη λειτουργία της συσκευής μέσω του ειδικού ποτενσιόμετρου δεν εφαρμόστηκε.

Αρχικά η συσκευή συνδέεται στον Η/Υ. Η έξοδος της συσκευής είναι Mini-DIN 6 οπότε αυτή συνδέεται σε σειριακό προσαρμογέα (T-DSUB9). Στη συνέχεια μπορεί να συνδεθεί στην RS232 είσοδο του Η/Υ. Στα πλαίσια της εργασίας χρησιμοποιήθηκε μετατροπέας RS232 σε USB και οι δυο zaber συσκευές συνδέθηκαν σε θύρες USB του Η/Υ.

Στη συνέχεια συνδέεται το βύσμα του τροφοδοτικού στην υποδοχή τροφοδοσίας της συσκευής. Μόλις γίνει αυτό ανάβει ένα πράσινο LED και η συσκευή είναι έτοιμη προς χρήση.

Για να λειτουργήσει η συσκευή χρειάζεται η εγκατάσταση ειδικού λογισμικού από την σελίδα <http://www.zaber.com/wiki/Software>. Η πιο εύχρηστη επιλογή λογισμικού είναι το Zaber Console αλλά, για λόγους που θα

εξηγηθούν στο επόμενο κεφάλαιο, στα πλαίσια της εργασίας επιλέγεται ως λογισμικό το Labview.

#### 4.3. Τεχνικά χαρακτηριστικά zaber T-RS60A συσκευής.

Τα χαρακτηριστικά της συσκευής που μας ενδιαφέρουν είναι :

*Ακρίβεια :  $\pm 0.05$  μοίρες*

*Προεπιλεγμένη ανάλυση : 1/64 του βήματος*

*Μέγεθος micro – step (προεπιλεγμένη ανάλυση) : 0.000234375 μοίρες*

*Μέγιστη ταχύτητα : 13.2 μοίρες / s*

*Ελάχιστη ταχύτητα : 0.0011 μοίρες / s*

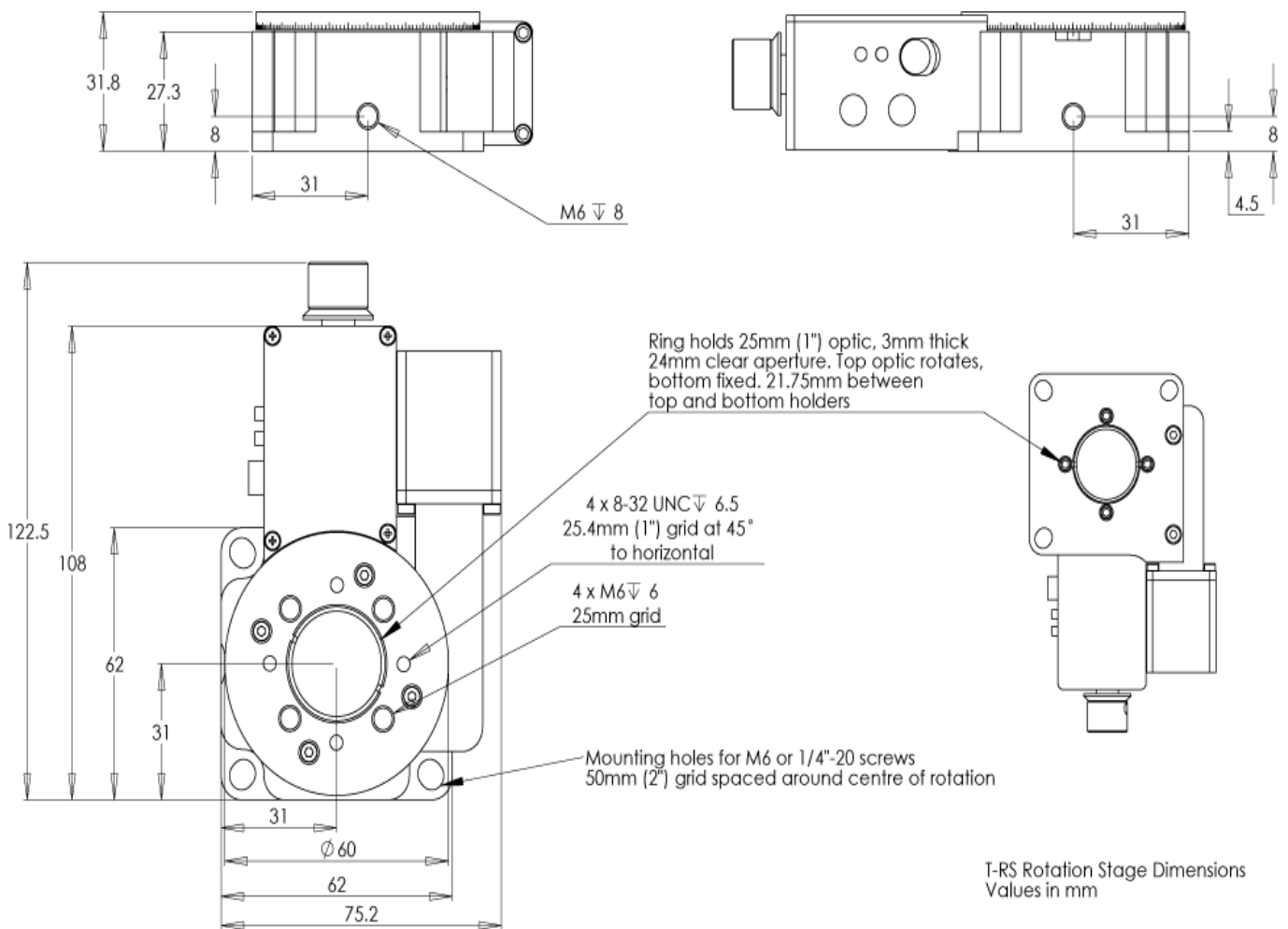
*Μέγιστη συνεχής ροπή : 80 N – cm*

*Βάρος : 0.48 kg*

Η συσκευή δεν επιτρέπει κίνηση αριστερόστροφα του αρχικού της σημείου 0. Επειδή όμως ο ανιχνευτής του αζιμουθίου πρέπει να κινείται σε ένα διάστημα  $120^\circ$  αριστερά έως  $120^\circ$  δεξιά του 0. Θεωρούμε για αυτό το λόγο αρχικό σημείο το  $180^\circ$ , Δηλαδή όταν η συσκευή είναι στην αρχική της θέση ( $0^\circ$ ) τοποθετούμε στο αντιδιαμετρικό του σημείο ( $180^\circ$ ) μια ένδειξη (λεπτή κόκκινη γραμμή). Η αρχική μας συνθήκη πριν εκκινήσει μια διαδικασία παρακολούθησης της ηλιακής πορείας είναι η zaber συσκευή – ανιχνευτής αζιμουθίου να αρχικοποιηθεί στις  $180^\circ$ . Έτσι στην κόκκινη ένδειξη θα είναι τώρα η τιμή  $0^\circ$  της συσκευής.

Για την κατασκευή του συστήματος ηλιακού ιχνηλάτη χρειάζεται η μια zaber συσκευή να τοποθετηθεί σε οριζόντιο επίπεδο για να αποτελέσει τον ανιχνευτή αζιμούθιου και κάθετα σε αυτή, σε κάποιο ύψος που να επιτρέπει την ανάγνωση της τιμής του αζιμούθιου και την περιστροφή της δεύτερης συσκευής μαζί με τους αισθητήρες, να τοποθετηθεί ο ανιχνευτής του ύψους.

Για το λόγο αυτό μελετήθηκαν οι διαστάσεις της συσκευής ούτως ώστε να γίνουν στο μηχανουργείο οι απαραίτητες μηχανικές κατασκευές.



#### 4.4. Κατασκευή του συστήματος ηλιακού ιχνηλάτη

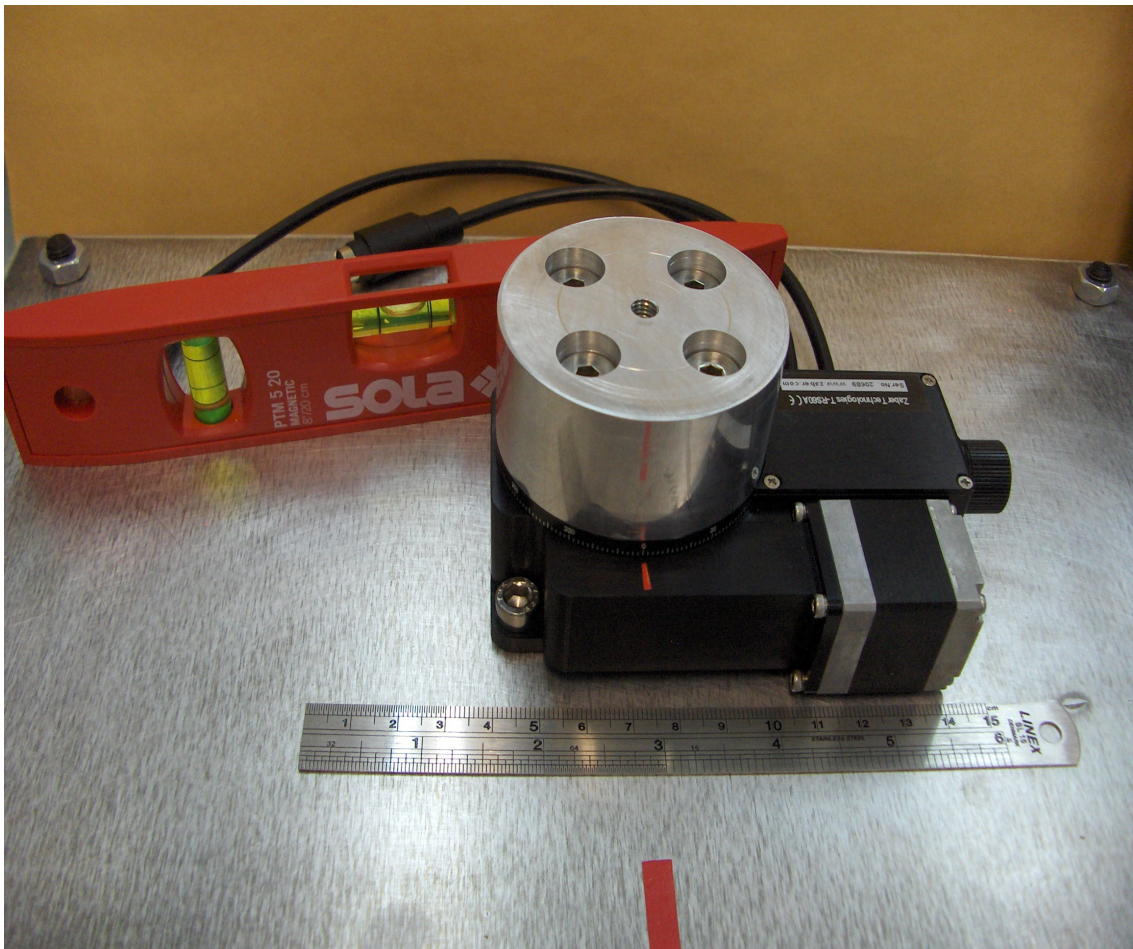
Αρχικά κατασκευάστηκε από αλουμίνιο ειδική βάση (οπτικός πάγκος) πάνω στην οποία στερεώνεται το σύστημα ιχνηλάτη καθώς και μια πυξίδα για να



προσδιορίζονται ακριβώς τα σημεία του ορίζοντα. Και στον ανιχνευτή του αζιμουθίου αλλά και στη βάση υπάρχει κόκκινη ένδειξη, οι οποίες πριν την αρχή των μετρήσεων θα πρέπει να δείχνουν προς το Νότο.

Η βάση στερεώνεται σε 4 ρυθμιζόμενες καθ' ύψος βίδες. Για να είναι πάντοτε ευθυγραμμισμένη η βάση με το οριζόντιο επίπεδο πριν από κάθε μέτρηση γίνεται έλεγχος του οριζοντίου επιπέδου με χρήση καταλλήλου οργάνου.

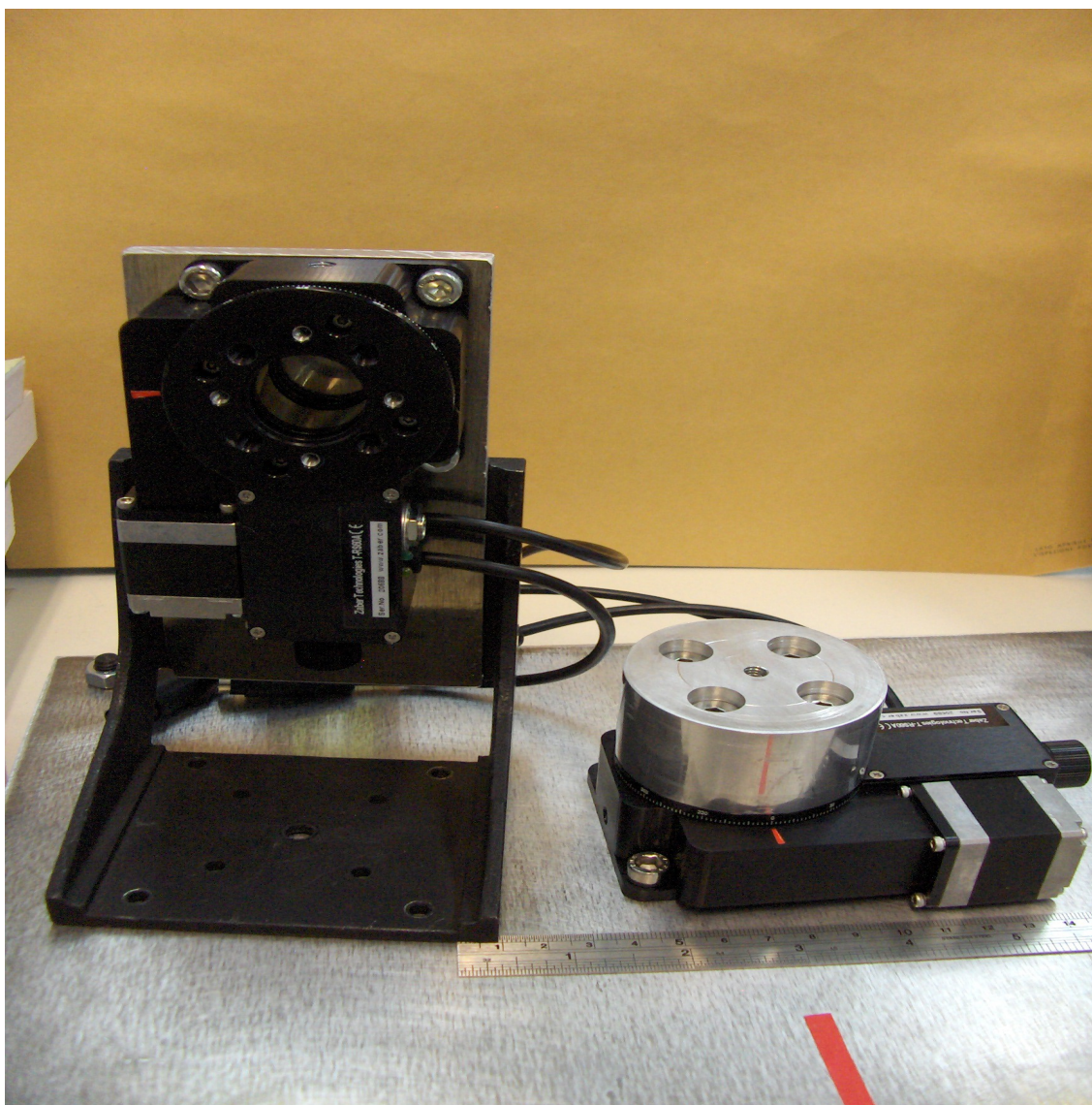
Το σύστημα ιχνηλάτη στερεώνεται στο κέντρο της οπτικής βάσης. Πρώτα στερεώνεται οριζόντια ο ανιχνευτής του αζιμουθίου με την αρχική ένδειξη που έχουμε ορίσει εμείς να ταυτίζεται με την ένδειξη στη βάση.



Ο ανιχνευτής του ύψους στερεώνεται κάθετα πάνω στον ανιχνευτή του αζιμουθίου. Για να γίνει αυτό χρησιμοποιείται μεταλλική σταθερή γωνία 90° με τη μια πλευρά της να είναι παράλληλη με την ευθεία της βάσης όταν ο ανιχνευτής του αζιμουθίου είναι στην αρχική θέση.

Για να μπορούμε να διαβάζουμε τις ενδείξεις του μετρητή του αζιμούθιου η μεταλλική γωνία στερεώνεται σε μεταλλικό κύλινδρο ύψους 3 εκατοστών και διαμέτρου 6 εκατοστών.

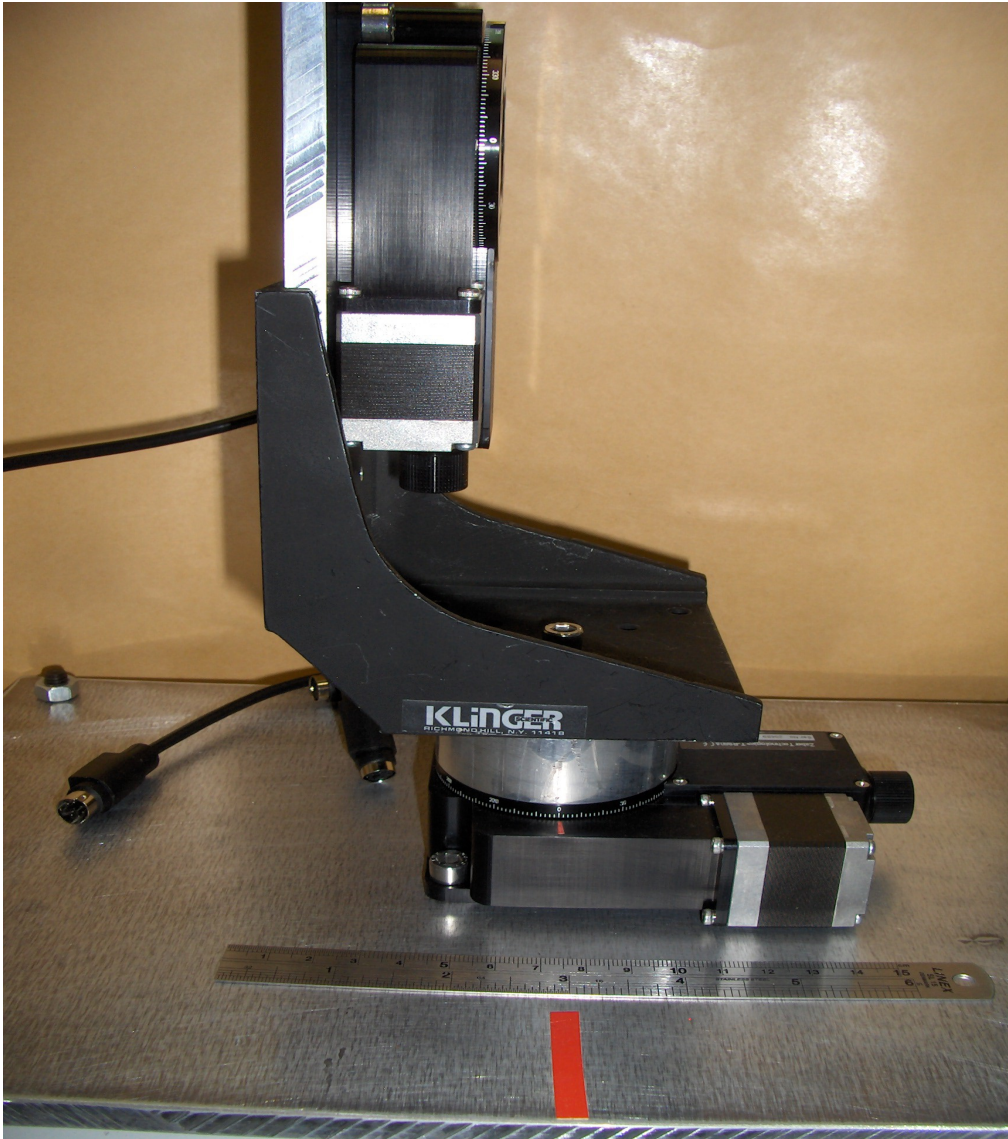
Για να μπορέσει να περιστρέφεται ο ανιχνευτής του ύψους, στερεώνεται σε μεταλλική προέκταση πάνω στην κάθετη στο οριζόντιο επίπεδο πλευρά της μεταλλικής γωνίας.



Μετά από αυτές τις κατασκευές ολοκληρώνεται το σύστημα ηλιακού ιχνηλάτη της πορείας του ηλίου. Μπορεί πλέον ο ηλιακός ιχνηλάτης (σύμφωνα με τους



δυο αλγορίθμους ) να προσδιορίσει για κάθε στιγμή το ηλιακό αζιμούθιο και το ηλιακό ύψος.





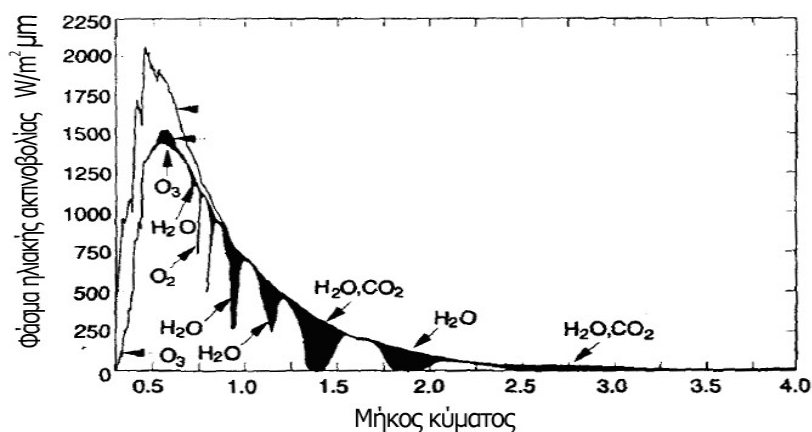


#### 4.5. Διατάξεις μέτρησης ηλιακής ακτινοβολίας

Κατά την είσοδο της ακτινοβολίας του ηλίου στην ατμόσφαιρα συμβαίνουν δύο σημαντικά φαινόμενα:

Α)Σκέδαση της ακτινοβολίας, από τα μόρια του αέρα, τους υδρατμούς και τη σκόνη της ατμόσφαιρας (η σκέδαση οφείλεται στη αλληλεπίδραση ακτινοβολίας και μορίων του αέρα και εξαρτάται από τη μάζα του αέρα που πρέπει να διασχίσει η ακτινοβολία και το μέγεθος των μορίων της ατμόσφαιρας. Η σκέδαση λόγω υδρατμών εξαρτάται από την ώρα ενώ η σκέδαση λόγω σκόνης από την περιοχή).

Β)Απορρόφηση από το  $O_3$ ,  $H_2O$  και το  $CO_2$ . ( Η απορρόφηση γίνεται κυρίως από το όζον στο φάσμα της υπεριώδους ακτινοβολίας και από τα μόρια του νερού στο φάσμα των υπέρυθρων ). Το όζον απορροφά ολοκληρωτικά την ακτινοβολία στα μικρά μήκη κύματος, μέχρι  $0,29 \mu m$ . Η απορρόφηση μειώνεται σταδιακά μέχρι τα  $0,35 \mu m$  και μηδενίζεται για μεγαλύτερα μήκη κύματος. Οι υδρατμοί απορροφούν την ακτινοβολία στην περιοχή του φάσματος γύρω από τα  $1 \mu m$ ,  $1,4 \mu m$  και  $1,8 \mu m$ . Για μήκη κύματος μεγαλύτερα από  $2,5 \mu m$  η ακτινοβολία απορροφάται από το  $H_2O$  και από το  $CO_2$ . Σημειωτέον ότι ποσοστό λιγότερο από 5% της ηλιακής ενέργειας εκπέμπεται στο φάσμα αυτό. Επομένως, η ακτινοβολία που φτάνει στη γη περιορίζεται στο φάσμα μεταξύ  $0,29 \mu m$  και  $2,5 \mu m$ .



Απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας από τα μόρια της ατμόσφαιρας.

Δεν είναι γενικά πρακτικό να βασιστούν οι προβλέψεις ή οι υπολογισμοί της ηλιακής ακτινοβολίας στη μείωση της εξωγήινης ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα, δεδομένου ότι επαρκείς μετεωρολογικές πληροφορίες είναι σπάνια διαθέσιμες. Αντ' αυτού, για να προβλέψουμε την ηλιακή ενεργειακή απόδοση μιας περιοχής, χρησιμοποιούμε προηγούμενες μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας στην εν λόγω θέση ή από μια κοντινή παρόμοια θέση.

Τα δεδομένα της ηλιακής ακτινοβολίας χρησιμοποιούνται με διάφορες μορφές και για ποικίλους λόγους. Η πιο λεπτομερής διαθέσιμη πληροφορία είναι η άμεση και διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία σε μια οριζόντια επιφάνεια, για τις ώρες οι οποίες ενδιαφέρουν στις προσομοιώσεις των ηλιακών εφαρμογών.

Καθημερινά δεδομένα είναι διαθέσιμα σε αρκετές θέσεις ώστε η ωριαία ακτινοβολία να μπορεί να υπολογιστεί από αυτά. Η μηνιαία συνολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μερικές μεθόδους ανάλυσης της ηλιακής διαδικασίας. Εντούτοις, η χρήση των μέσων όρων μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρά λάθη όποτε οι μη γραμμικότητες της ηλιακής ακτινοβολίας δεν λαμβάνονται υπόψη. Παρ' όλα αυτά έχουν το θετικό ότι ομαδοποιούν τα δεδομένα ακτινοβολίας κάνοντας ευκολότερη την αξιολόγησή τους με στατιστικές μεθόδους.

Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει τις ροές ακτινοβολίας σε μια επιφάνεια κοντά στο έδαφος που έχουν αξία για την ενεργειακή απόδοση των ηλιακών εφαρμογών. Εξετάζουμε την ακτινοβολία σαν δύο σειρές διαφορετικού μήκους.



*Ροές ακτινοβολίας σε μια επιφάνεια κοντά στο έδαφος*

A) Ηλιακή ή μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία: είναι η ακτινοβολία που προέρχεται από τον ήλιο και περιλαμβάνει τα μήκη κύματος από 0.3 έως 3 μ.μ. Η ηλιακή ακτινοβολία περιλαμβάνει την άμεση και τη διάχυτη ακτινοβολία.

B) Η μεγάλη μήκους κύματος (Long-wave) προέρχεται από πηγές οι οποίες στις θερμοκρασίες κοντά στις συνηθισμένες περιβαλλοντικές θερμοκρασίες εκπέμπουν σε μήκη κύματος μεγαλύτερα από 3 μμ. Η μεγάλη μήκους κύματος ακτινοβολία εκπέμπεται από την ατμόσφαιρα, από έναν συλλέκτη, ή από οποιοδήποτε σώμα στις συνηθισμένες θερμοκρασίες.

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι οργάνων για τη μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας:

Πυρηλιόμετρο : είναι ένα όργανο που χρησιμοποιεί έναν εστιασμένο ανιχνευτή για τη μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας που προέρχεται απευθείας από τον ήλιο και από μια μικρή περιοχή του ουρανού γύρω από τον ήλιο (δηλ., άμεση ακτινοβολία ).



Πυρηλιόμετρο

Πυρανόμετρο: είναι ένα όργανο για τη μέτρηση της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας (άμεση και διάχυτη), συνήθως σε μια οριζόντια επιφάνεια. Εάν σκιασούμε την άμεση ακτινοβολία με έναν δίσκο τότε το πυρανόμετρο μετρά τη διάχυτη ακτινοβολία.





*Αριστερά σκίαση της άμεση για να μετρήσουμε μόνο τη διάχυτη. Δεξιά μέτρηση συνολικής ακτινοβολίας.*

#### **4.6. Πειραματική διάταξη οργάνων μέτρησης ηλιακής ακτινοβολίας**

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας τοποθετούνται 3 αισθητήρες – όργανα μέτρησης της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε 3 διαφορετικές θέσεις.

Μετράται η ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο, η συνολική ακτινοβολία σε επίπεδο κάθετο στην ακτίνα του ηλίου και η άμεση ακτινοβολία σε επίπεδο κάθετο στην ακτίνα του ηλίου.

Για τις μετρήσεις της ακτινοβολίας χρησιμοποιήθηκαν πυρανόμετρα τοποθετημένα ή οριζόντια αντικρίζοντας τον ουρανό, ή υπό γωνία ανάλογα με τη θέση του ηλίου κάθε στιγμή. Με αυτόν τον τρόπο η ακτινοβολία του ουρανού (μέσα από τις ιδιότητες του πυριτίου) μετατρέπεται σε ηλεκτρική μορφή ενέργεια. Η παραγόμενη ηλεκτρική ένδειξη από τον αισθητήρα είναι γραμμική και ανάλογη με την ακτινοβολία ουρανού.



*Πυρανόμετρο 4015 της Hydro Lynx*

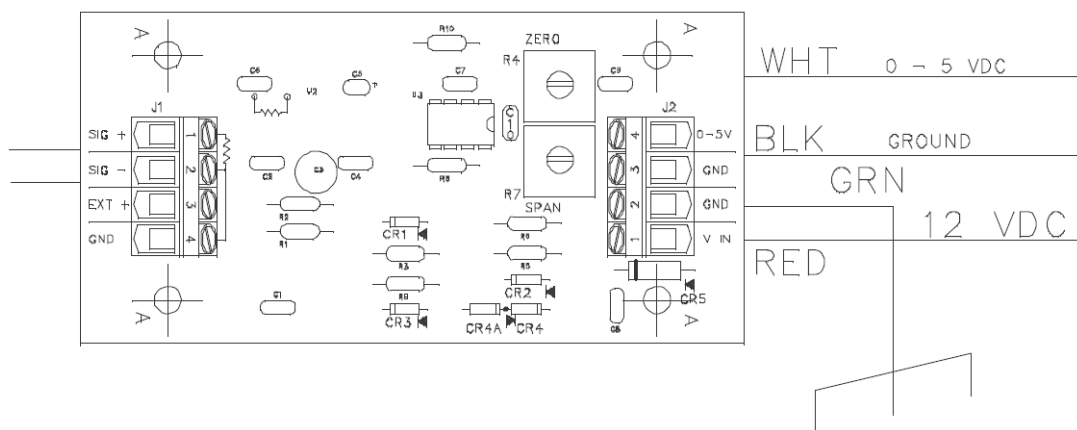


Για το συγκεκριμένο πυρανόμετρο η έξοδος είναι 0.0075mV ανά Watt ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας και η απόκριση της εξόδου είναι ακαριαία αφού ανταποκρίνεται στη μεταβολή του ρυθμού των προσπιπτόντων φωτονίων, σε αντίθεση με συσκευές που αποκρίνονται στη μεταβολή της θερμοκρασίας.

Το σήμα παραγωγής του πυρανόμετρου είναι ένα σήμα τάξης millivolt που κυμαίνεται από μηδέν έως περίπου 105 millivolts και αντιστοιχεί σε 1400 W/m<sup>2</sup>.

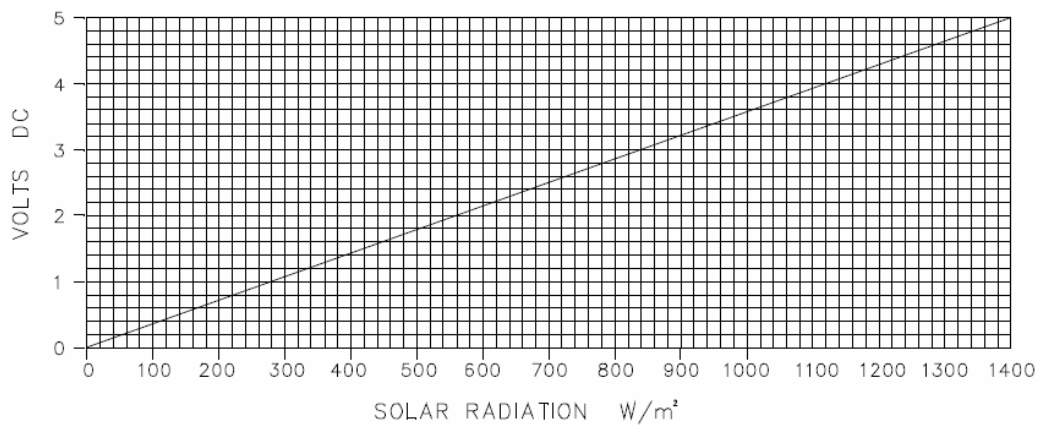
Για τις περισσότερες περιοχές, η μέγιστη τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας είναι περίπου 1000 Wm<sup>-2</sup> λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Το σήμα εξόδου μπορεί είτε να συνδεθεί απευθείας είτε να ενισχυθεί πριν φτάσει στο όργανο μέτρησης. Το κύκλωμα του ενισχυτή φαίνεται στην παρακάτω εικόνα .

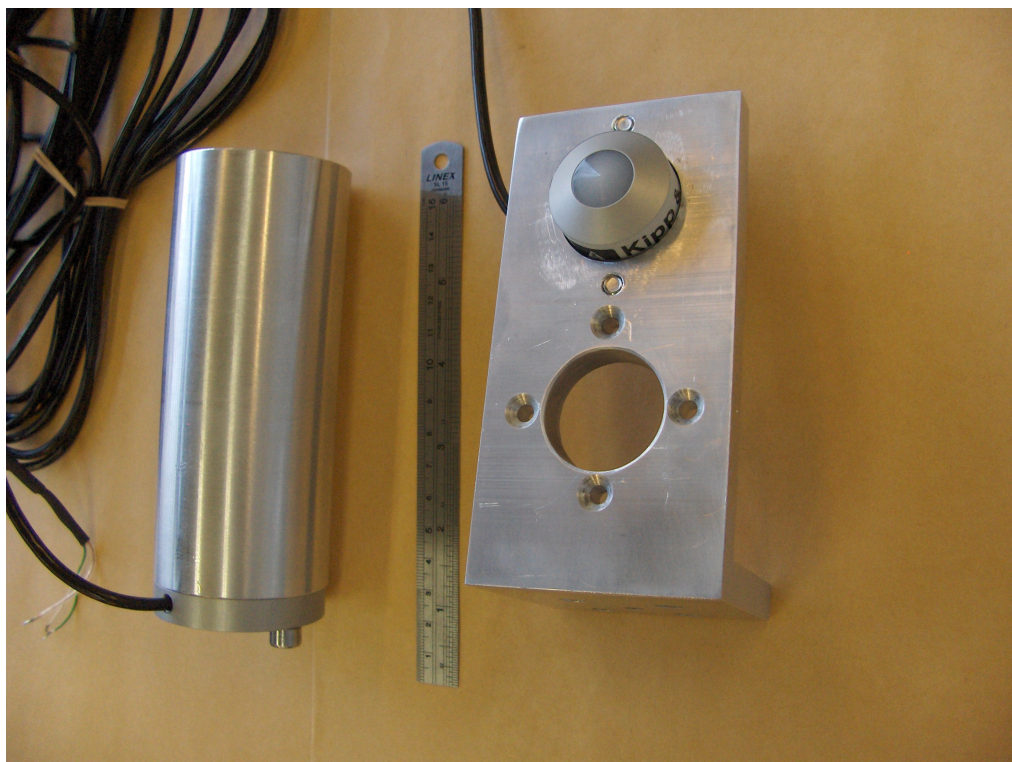


*Κύκλωμα του ενισχυτή*

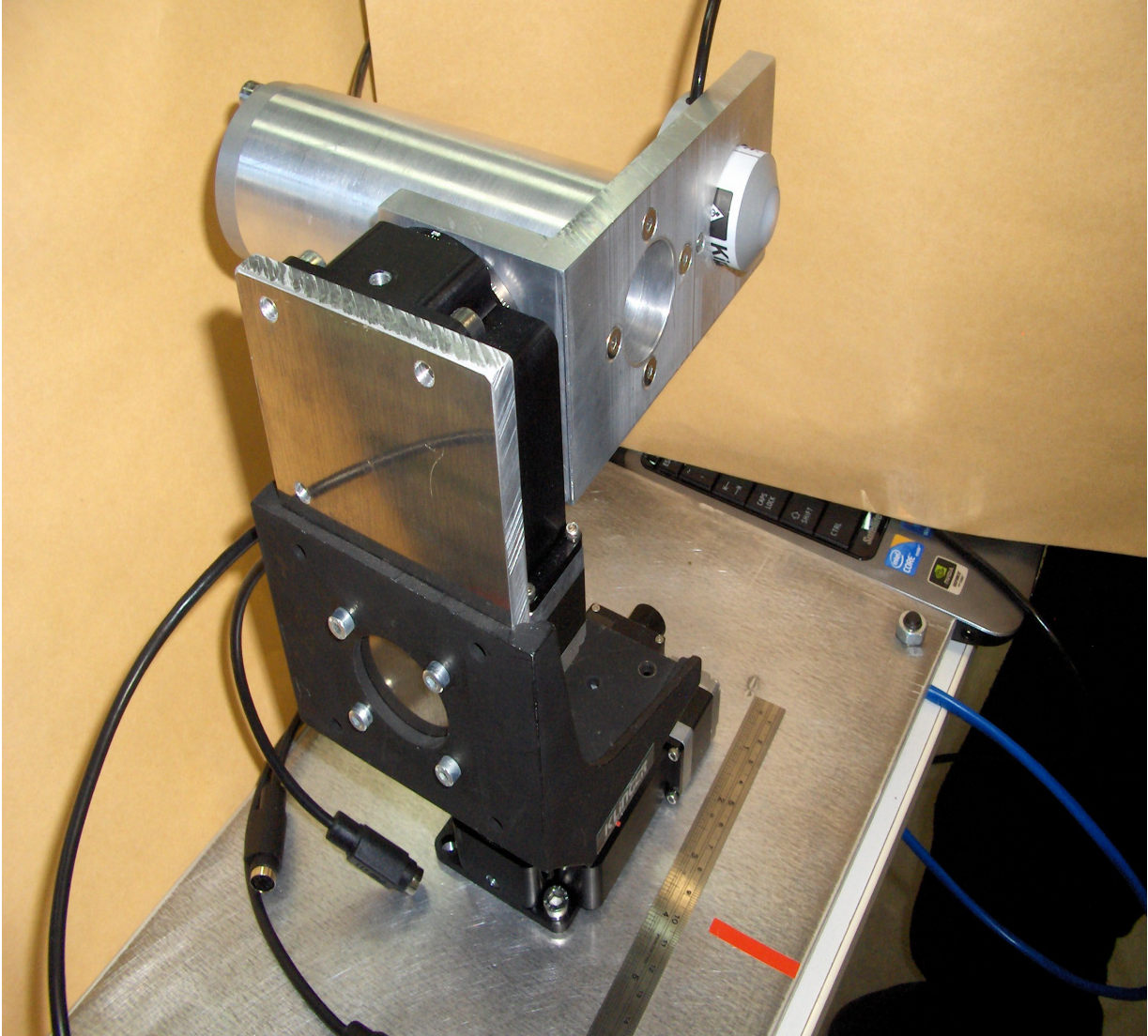
Ο ενισχυτής που χρησιμοποιούμε με το πυρανόμετρο τροφοδοτείται από πηγή συνεχούς τάσης +12 και το κέρδος του κυκλώματος είναι τέτοιο ώστε η έξοδος του ενισχυτή να τοποθετεί το σήμα σε τιμές από ένα 0 έως 5 Vdc. Οπότε το σήμα 0-5 Vdc είναι βαθμολογημένο έτσι ώστε να είναι ανάλογο ως προς μία σειρά μετρήσεων ακτινοβολίας από 0 έως 1400 W/m<sup>2</sup>.



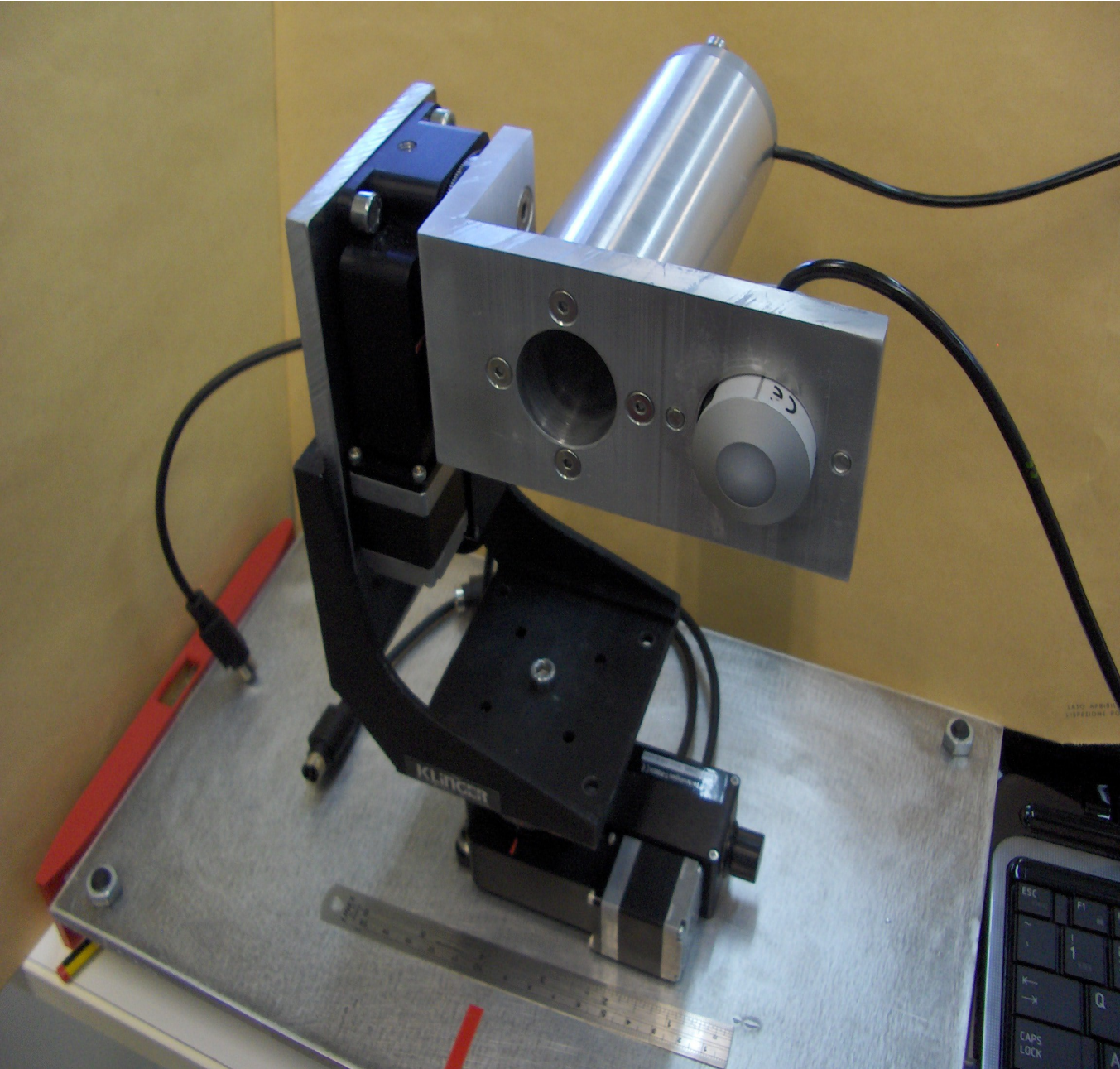
Η μέτρηση της άμεσης ακτινοβολίας γίνεται μέσω πυρηλιομέτρου, το οποίο κατασκευάζεται μέσω ενός μη συμπαγούς μεταλλικού κυλίνδρου, ο οποίος απομονώνει μόνο την άμεση ακτινοβολία, την οποία καταμετρά ο αισθητήρας που βρίσκεται στη βάση του κυλίνδρου.



Η τελική εικόνα του συστήματος ιχνηλάτη, ο οποίος καταγράφει την ηλιακή ακτινοβολία είναι :







---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΟΔΗΓΗΣΗΣ ΤΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΙΧΝΗΛΑΤΗ

---

### 5. *Εισαγωγή*

Θα παρουσιαστούν οι λόγοι για τους οποίους επιλέχθηκε το Labview για την οδήγηση του ιχνηλάτη. Στη συνέχεια θα γίνει αναλυτική παρουσίαση όλων των εφαρμογών που κατασκευάστηκαν για να γίνει εφικτή η παρακολούθηση της πορείας του ηλίου. Υπάρχουν 2 κατηγορίες εφαρμογών : η 1<sup>η</sup> ακολουθεί το 1<sup>ο</sup> θεωρητικό μοντέλο και η 2<sup>η</sup> το 2<sup>ο</sup>. Τα θεωρητικά μοντέλα παρουσιάστηκαν στο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας.

#### 5.1. *Labview*

Αν και οι zaber συσκευές προγραμματίζονται σε ειδικό περιβάλλον της εταιρείας, επιλέχθηκε ο προγραμματισμός του ιχνηλάτη να γίνει με το Labview. Το Labview είναι ένα προγραμματιστικό περιβάλλον, κατασκευασμένο για την επικοινωνία οργάνων μέτρησης με ηλεκτρονικό υπολογιστή. Οι εφαρμογές γίνονται με γραφικό προγραμματισμό ενώ η πρόσοψή του θυμίζει περιβάλλον ψηφιακού εργαστηρίου. Η επιλογή του Labview έγινε για να μπορέσουμε με πιο εύκολο τρόπο να επικοινωνούμε ταυτόχρονα και με τους δύο ανιχνευτές (ηλίου και ύψους), να χρησιμοποιήσουμε τη δυνατότητα που μας δίνει να έχουμε υπό-εφαρμογές στην τελική μας εφαρμογή, να κατασκευάζουμε ταυτόχρονα με την οδήγηση του ιχνηλάτη διαγράμματα παρουσίασης της ηλιακής πορείας και τέλος για να έχουμε τη δυνατότητα σε ένα μόνο τελικό πρόγραμμα να λαμβάνουμε και ψηφιακές μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας από πολύμετρα με θύρα σύνδεσης σε υπολογιστή και οδηγούς χρήσης (drivers) σε περιβάλλον Labview. Η δυνατότητα αυτής της επιλογής έγινε γιατί υπάρχουν οδηγοί χρήσης (drivers) των zaber συσκευών σε περιβάλλον Labview.

Στην ιστοσελίδα <http://www.zaber.com/wiki/Software> υπάρχουν οι drivers των zaber συσκευών για ένα σύνολο από πλατφόρμες μεταξύ των οποίων και για Labview. Οι drivers αυτοί υπάρχουν για να αναγνωρίζεται η zaber συσκευή από το προγραμματιστικό περιβάλλον του Labview και να μπορεί να λαμβάνει εντολές. Για να μπορέσει να γίνει η επικοινωνία χρειάζεται η εγκατάσταση του NI visa, ενός προγράμματος που επιτρέπει την επικοινωνία του Labview με τις θύρες του υπολογιστή (σειριακές RS232, USB και άλλες). Όπως αναφέρθηκε το zaber έχει έξοδο για σύνδεση σε RS232 αλλά εμείς για λόγους ταχύτητας και επικοινωνίας με φορητό υπολογιστή τη μετατρέπουμε με αντάπτορα σε USB.

Για να κατασκευαστεί λοιπόν το πρόγραμμα οδήγησης του ιχνηλάτη χρειάζονται να εγκατασταθούν :

- Το προγραμματιστικό περιβάλλον Labview
- Το πρόγραμμα NI VISA
- Οι drivers για τις zaber συσκευές.

## **5.2. Labview Zaber Drivers**

Στην ιστοσελίδα <http://www.zaber.com/wiki/Software> υπάρχουν διάφοροι drivers για το Labview. Οι drivers είναι υπό-εφαρμογές, οι οποίες γίνονται τμήματα μεγαλύτερων εφαρμογών με αποτέλεσμα η zaber συσκευή να κινείται σύμφωνα με κατασκευασμένους από το χρήστη αλγόριθμους.

Υπάρχουν διάφοροι drivers στο site. Από αυτούς χρησιμοποιήθηκαν αυτοί που χρειάστηκαν για να αναγνωρίζεται και να ενεργοποιείται η θύρα σύνδεσης της zaber συσκευής με τον Υπολογιστή, για να δέχεται η συσκευή εντολές κίνησης αλλά και να τερματίζεται η επικοινωνία της zaber συσκευής με τον Υπολογιστή.

Συγκεκριμένα ο 1<sup>ος</sup> driver λέγεται “zaber-initialize” . Ο driver δέχεται σαν είσοδο τη θύρα που βρίσκεται η zaber συσκευή. Από την στιγμή που καλείται αυτός ο driver το Labview επικοινωνεί με τη συσκευή.

Ο driver “zaber-close” τερματίζει την επικοινωνία του zaber με το Labview και εμφανίζει τυχόντα σφάλματα (errors).

Ο driver “request command” στέλνει εντολές κίνησης στο zaber από τον χρήστη. Οι εντολές που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία είναι

- “move absolute” – κινήσου κατά απόλυτο (πήγαινε στην ακριβή θέση).
- “move relative” - κινήσου σχετικά (μετακινήσου).
- “home” - μετακινήσου στην αρχική θέση.

Οι τιμές που δέχονται αυτές οι εντολές είναι σε micro-step. Επειδή οι υπολογισμοί γίνονται σε μοίρες, χρησιμοποιείται η αναλογία που υπάρχει στην σελίδα [http://www.zaber.com/products/product\\_group.php?group=T-RS&tab=Series%20Specs#tabs](http://www.zaber.com/products/product_group.php?group=T-RS&tab=Series%20Specs#tabs). Σύμφωνα με την οποία  $1 \text{ micro-step} = 0.000234375 \text{ μοίρες}$  . Επομένως στο όρισμα “μέγεθος κίνησης (micro-steps)” θα βάζω τις μοίρες που έχω υπολογίσει διαιρεμένες κατά 0.000234375.

Με τη χρησιμοποίηση αυτών των drivers και την μετατροπή των μοιρών σε micro – steps έγινε δυνατή η μετακίνηση της στρεφόμενης zaber συσκευής σε οποιοσδήποτε μοίρες όριζε ο χρήστης.

Όπως θα φανεί και στις επόμενες εφαρμογές, οι zaber συσκευές αρχικά αναγνωρίζονται στη θύρα που είναι συνδεδεμένες με τον driver zaber-initialize. Στη συνέχεια η πρώτη εφαρμογή “request command” συνδέεται με τη zaber-initialize και κάθε επόμενη εφαρμογή “request command” συνδέεται με την προηγούμενη. Σε κάθε εντολή της εφαρμογής “request command”, η συσκευή διαβάζει τα δεδομένα που λαμβάνει από το Labview, εκτελεί την κίνηση που ορίζουν τα δεδομένα αυτά και μόνο τότε το πρόγραμμα προχωράει σε επόμενες εφαρμογές. Στο τέλος συνδέεται με την τελευταία εφαρμογή “request command” η εφαρμογή “zaber-close” και η θύρα αποσυνδέεται.

Όπως θα φανεί και στις παρακάτω εφαρμογές οι εντολές “request command” μπορούν να μπουν και μέσα σε βρόγχο επανάληψης (for or while loop).

Επόμενο στάδιο είναι η κατασκευή εφαρμογών για τη μετακίνηση των zaber συσκευών στις συγκεκριμένες θέσεις που προκύπτουν από τα θεωρητικά μοντέλα που παρουσιάστηκαν στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο της Εργασίας.

### **5.3. Εφαρμογές σύμφωνα με το 1<sup>ο</sup> Θεωρητικό μοντέλο.**

#### **5.3.1. Εφαρμογή υπολογισμού του αζιμούθιου και του ύψους του ηλίου οποιαδήποτε στιγμή.**

Αρχικά δημιουργήθηκε μια εφαρμογή που με δεδομένα την ώρα, την ημερομηνία, τη ζώνη ώρας και τις γεωγραφικές συντεταγμένες υπολογίζει για κάθε στιγμή τη θέση του ηλίου (ύψος – αζιμούθιο) καθώς και τα υπόλοιπα ηλιακά μεγέθη. Το αποτέλεσμα αυτής της εφαρμογής γίνεται είσοδος στον κάθε ένα ιχνηλάτη και τον στρέφει στην συγκεκριμένη θέση που είναι ο ήλιος την στιγμή που ορίζει ο χρήστης (το πιο εύχρηστο είναι να επιλέγεται η ακριβής ώρα που εκτελείται η εφαρμογή).

Επειδή έχει νόημα ο εντοπισμός της θέσης του ηλίου για τις ώρες της ηλιοφάνειας η οριακή κατώτερη στιγμή του ύψους γίνεται η μηδενική τιμή (και ανώτερη η 90° γιατί στην Ελλάδα δεν ξεπερνιέται) και το αζιμούθιο περιορίζεται σε μια κίνηση από -120° έως 120° .

Γίνεται πρόβλεψη και για την περίπτωση της θερινής ώρας ούτως ώστε να αφαιρείται αυτή όταν ισχύει από τους υπολογισμούς.

Όλα αυτά καθώς και ο αλγόριθμος παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα που παρουσιάζει την συγκεκριμένη εφαρμογή.

Η εφαρμογή αυτή θα καλείται ως υπό- εφαρμογή στο τελικό πρόγραμμα. Για αυτόν το λόγο και για λόγους ευκρίνειας θα έχει και συγκεκριμένο εικονίδιο .



### **5.3.2. Εφαρμογή υπολογισμού ηλιακών χαρακτηριστικών ημέρας**

Η εφαρμογή αυτή υπολογίζει τα ηλιακά χαρακτηριστικά μιας οποιασδήποτε μέρας του χρόνου και κυρίως τις ώρες ανατολής και δύσης του ηλίου. Υπολογίζεται η γωνία ώρας για μηδενικό ηλιακό ύψος από τον τύπο

$$\omega_0 = \cos^{-1}(-\sin\delta \times \sin\varphi / \cos\delta \times \cos\varphi)$$

και στην συνέχεια η Ηλιακή ώρα ανατολής από τον τύπο  $\omega_0/15+12$  και η Ηλιακή ώρα Δύσης από τον τύπο  $\omega_0/15-12$ . Αυτές μετατρέπονται σε πραγματικές μέσω της εξίσωσης του χρόνου.

Οι ώρες Ανατολής -Δύσης υπολογίζονται σε δεκαδική μορφή. Η παρουσίασή τους σε κανονική μορφή γίνεται σύμφωνα με την ακόλουθη εφαρμογή.

### **5.3.3. Εφαρμογή υπολογισμού του αζιμούθιου και του ύψους του ηλίου με ένα συγκεκριμένο βήμα.**

Αφού έχει υπολογιστεί το αζιμούθιο και το ύψος του ηλίου για μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή πρέπει να υπολογίζεται με κάποιο βήμα για όλες τις επόμενες στιγμές μέχρι να νυχτώσει. Με αυτόν τον τρόπο θα παρακολουθείται η πορεία του ηλίου για μια ολόκληρη μέρα.

Για αυτόν το λόγο θα κατασκευαστεί ένας βρόγχος επανάληψης μέσα στον οποίο θα βρίσκεται η πρώτη εφαρμογή ελαφρώς παραλλαγμένη. Η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι χρειαζόμαστε μια εφαρμογή με είσοδο την δεκαδική ώρα, η οποία θα αυξάνεται μέσα στο βρόγχο με βήμα που ορίζει ο χρήστης.

### **5.3.4. Εφαρμογή προγράμματος πλοήγησης ηλιακού ιχνηλάτη χρησιμοποιώντας στρεφόμενες συσκευές zaber.**

Με κατασκευασμένα αυτές τις εφαρμογές (που θα καλεστούν σαν υπό – εφαρμογές στο πρόγραμμα) θα κατασκευαστεί το τελικό πρόγραμμα πλοήγησης.

Οι υπό-εφαρμογές καλούνται σαν συναρτήσεις στο τελικό πρόγραμμα και

απεικονίζονται με το εικονίδιό τους.

Η εφαρμογή αυτή οδηγεί ηλιακό ιχνηλάτη να παρακολουθεί την πορεία του ηλίου σύμφωνα με τον 1ο Αλγόριθμο για οποιαδήποτε μέρα, οποιοδήποτε έτος και για οποιοδήποτε ώρες. Ταυτόχρονα για τις ώρες αυτές κατασκευάζονται τα διαγράμματα αζιμουθίου - ύψους και χρόνου - ύψους

Τα δεδομένα (αυτά που εισάγει ο χρήστης) είναι η **ημερομηνία**, η **ώρα**, η **ζώνη ώρας**, οι **γεωγραφικές συντεταγμένες**, οι **θύρες εισόδου των zaber συσκευών**, το **βήμα μέτρησης σε λεπτά**, και ο **χρόνος προσομοίωσης σε λεπτά**. Αν θέλουμε να παρακολουθήσουμε σε κανονικό χρόνο την πορεία του ήλιου προφανώς  $\text{βήμα μέτρησης} = \text{χρόνος προσομοίωσης}$  .

Αρχικά υπολογίζονται τα ηλιακά χαρακτηριστικά που αφορούν τη μέρα κατά τη διάρκεια της οποίας θέλουμε να παρακολουθήσουμε την πορεία του ήλιου.

Ταυτόχρονα αρχικοποιούνται οι δύο zaber ανιχνευτές. Πρώτα αρχικοποιείται ο ανιχνευτής αζιμουθίου με τέτοιο τρόπο ώστε το 0 να είναι στο νότο -εντολή μετατόπισης στις  $180^\circ = 768000 \text{ micro-steps}$  . (Σύμφωνα με το 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο, επειδή η συσκευή δεν στρέφεται αριστερόστροφα στο 0, δημιουργούμε εμείς αναφορά στις  $180^\circ$ ). Έπειτα αρχικοποιείται και ο ανιχνευτής του ύψους με τέτοιο τρόπο ώστε το κατασκευασμένο  $0^\circ$  να είναι το οριζόντιο επίπεδο. (Μετατόπιση  $180^\circ = 768000 \text{ micro-steps}$  )

Ο βρόγχος μέσα στον οποίον βρίσκονται οι zaber εντολές, καθορίζει την προτεραιότητα των εντολών. Πρώτα δίνονται εντολές στον ανιχνευτή του αζιμουθίου και μετά σε αυτόν του ύψους.

Μετά από τις αρχικές συνθήκες υπολογίζεται για την ώρα έναρξης των μετρήσεων (για την παρακολούθηση της πραγματικής πορείας του ήλιου ώρα έναρξης είναι η πραγματική ώρα έναρξης) το ηλιακό αζιμούθιο και το ύψος του ηλίου.

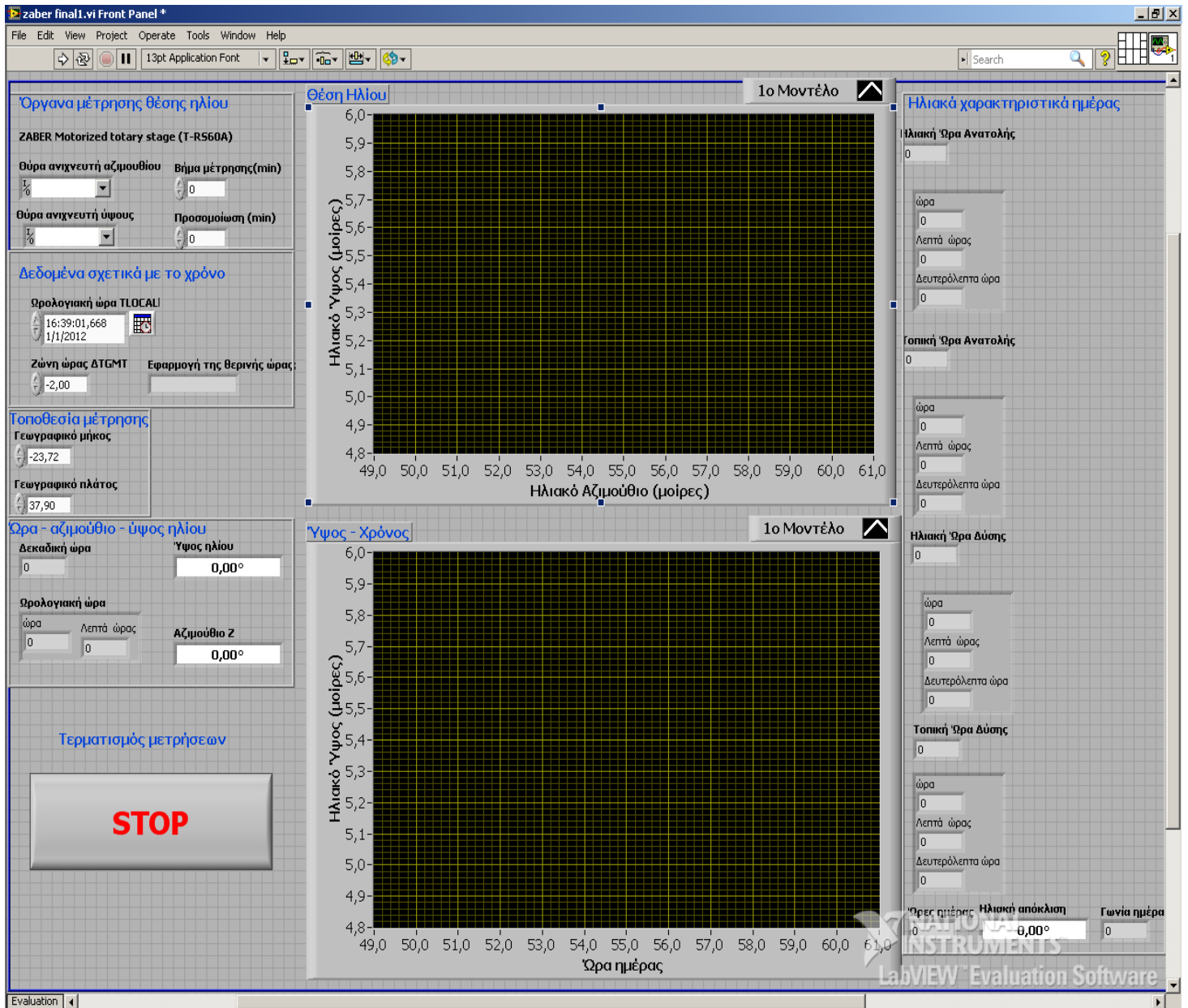
Αφού έχουν υπολογιστεί αυτά κατασκευάζεται ένας βρόγχος επανάληψης μέσα στον οποίο θα υπολογίζεται το αζιμούθιο και το ύψος με κάποιο βήμα που θα ορίζει ο χρήστης. Σύμφωνα με αυτούς τους υπολογισμούς ο ιχνηλάτης θα εντοπίζει τη θέση του ηλίου και ταυτόχρονα θα κατασκευάζονται τα διαγράμματα αζιμούθιο – ύψος και χρόνος – ύψος. Ο βρόγχος θα τερματίζεται ή από τον χρήστη ή τη στιγμή που νυχτώνει.

**Βρόγχος επανάληψης:**

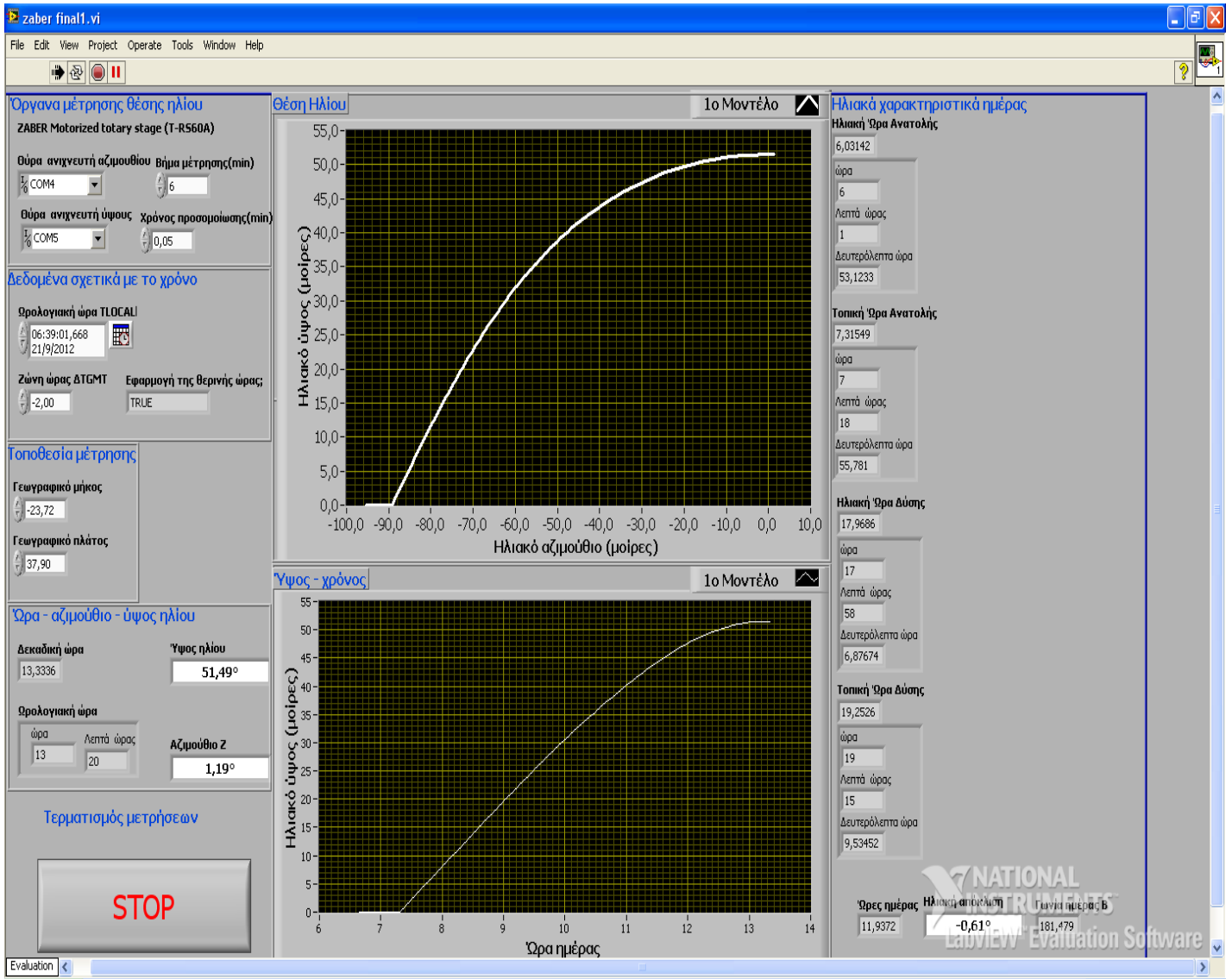
- 1. Αρχικές συνθήκες του βρόγχου είναι η δεκαδική ώρα, το ηλιακό αζιμούθιο και το ύψος της αρχικής στιγμής που ορίζει ο χρήστης.*
- 2. Ο βρόγχος μετά το πέρασμα κάποιου χρονικού διαστήματος που ορίζει ο χρήστης, υπολογίζει το αζιμούθιο και το ύψος με συχνότητα που την δίνει ο χρήστης.*
- 3. Ο ιχνηλάτης που είναι αρχικοποιημένος να είναι το 0 του ανιχνευτή αζιμουθίου στο Νότο και στο οριζόντιο επίπεδο ο ανιχνευτής του ύψους παρακολουθεί την πορεία του ήλιου με την συχνότητα που ορίζει ο χρήστης. Πρέπει προσομοίωση(min)=βήμα μέτρησης(min).*
- 4. Ταυτόχρονα κατασκευάζονται τα διαγράμματα αζιμούθιου - ύψους και χρόνου - ύψους,*
- 5. Ο βρόγχος τερματίζεται όποια στιγμή αποθυμεί ο χρήστης πατώντας το STOP ή την στιγμή που η ώρα ξεπεράσει την τοπική ώρα δύσης.*

Όταν τερματιστεί ο βρόγχος με μια από τις 2 συνθήκες τότε οι ανιχνευτές επιστρέφουν στην θέση αναφοράς και οι θύρες του υπολογιστή αποδεσμεύονται.

Η πρόσοψη της εφαρμογής στο Labview (front panel), δηλαδή αυτό που βλέπει ο χρήστης στην έναρξη της εφαρμογής και τοποθετεί τα δεδομένα του είναι:



Η πρόσοψη της εφαρμογής στο Labview (front panel) καθώς το πρόγραμμα τρέχει. Ο ιχνηλάτης ακολουθεί σε προσομοίωση την πορεία του ηλίου.



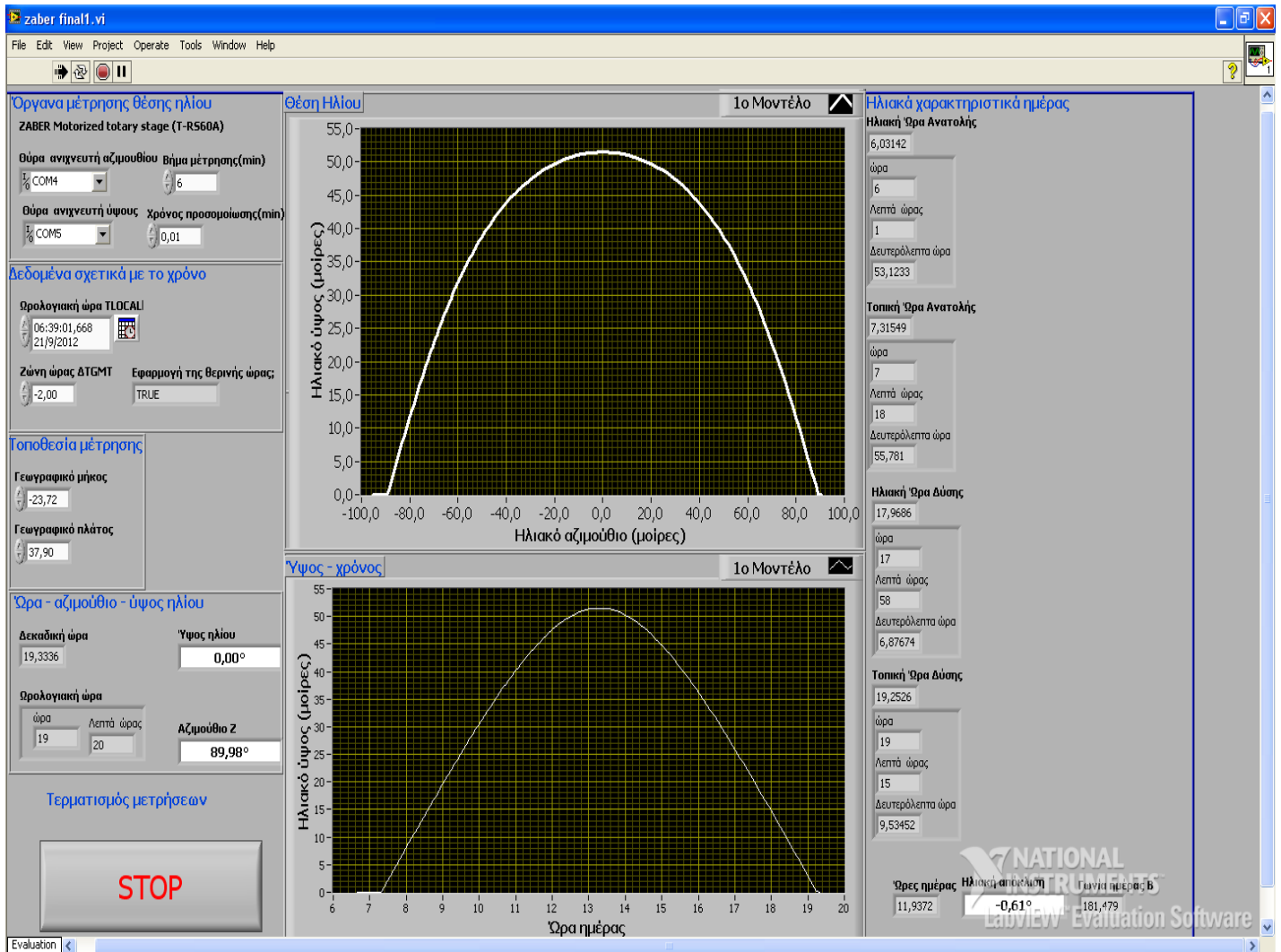
Τη στιγμή αυτή ο ιχνηλάτης έχει πραγματοποιήσει λίγο περισσότερη κίνηση από το μισό της ολικής του κίνησης. Λαμβάνονται υπολογισμοί για τη θέση του ήλιου κάθε 5 λεπτά ενώ ο χρόνος καθυστέρησης μεταξύ των υπολογισμών και των κινήσεων του ιχνηλάτη έχει οριστεί από τον χρήστη να είναι 0,05 λεπτά δηλαδή 3 δευτερόλεπτα. Γεωγραφικές συντεταγμένες ορίστηκαν του Ε.Μ.Π.

Ως ημερομηνία μέτρησης ορίστηκε η 21/9/2012 και τοπική ώρα η 06:39:01.668. Για εκείνη την ημερομηνία την ώρα έναρξης των μετρήσεων δεν έχει ακόμα ξημερώσει. Αυτό φαίνεται και στα διαγράμματα, στα οποία το ύψος παίρνει θετικές τιμές μετά την τοπική ώρα Ανατολής.

Κάθε στιγμή με το κουμπί STOP ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να σταματήσει την εφαρμογή. Αν δεν το πατήσει η εφαρμογή σταματάει στην τοπική ώρα Δύσης (σύμφωνα με τους υπολογισμούς του 1<sup>ου</sup> Αλγορίθμου)

Την στιγμή που παγώνει το πρόγραμμα και αποτυπώνει η φωτογραφία το ύψος του ηλίου είναι  $51,49^\circ$  και έχει αρχίσει να μειώνεται από τη μέγιστη τιμή, ενώ το αζιμούθιο είναι  $1,19^\circ$ , λαμβάνει δηλαδή τις πρώτες θετικές τιμές της ημέρας. Η ώρα εκείνη τη στιγμή στην προσομοίωση είναι 13:20.

Στο τέλος των μετρήσεων χωρίς να έχει πατηθεί το STOP από το χρήστη η πρόσοψη του Labview θα είναι :



Στο τέλος της προσομοίωσης ο ανιχνευτής επανέρχεται στις αρχικοποιημένες θέσεις. Ο Ανιχνευτής του αζιμουθίου ως προς το Νότο και του ύψους ως προς το οριζόντιο επίπεδο.

#### **5.4. Εφαρμογές σύμφωνα με το 2<sup>ο</sup> Θεωρητικό μοντέλο.**

Το τελικό πρόγραμμα οδήγησης του ιχνηλάτη είναι το ίδιο. Αυτό που αλλάζει και θα παρουσιαστεί είναι οι υπό – εφαρμογές υπολογισμού του Αζιμούθιου και του ύψους του ηλίου που γίνονται τώρα με το δεύτερο Αλγόριθμο.

##### **5.4.1. Εφαρμογή υπολογισμού του αζιμούθιου και του ύψους του ηλίου οποιαδήποτε στιγμή.**

Και σε αυτήν τη περίπτωση δημιουργήθηκε μια εφαρμογή που με δεδομένα την ώρα και την ημερομηνία και τις γεωγραφικές συντεταγμένες υπολογίζει για κάθε στιγμή τη θέση του ηλίου (ύψος – αζιμούθιο) καθώς και τα υπόλοιπα ηλιακά μεγέθη. Το αποτέλεσμα αυτής της εφαρμογής γίνεται είσοδος στον κάθε ένα ιχνηλάτη και τον στρέφει στην συγκεκριμένη θέση που είναι ο ήλιος την στιγμή που ορίζει ο χρήστης (το πιο εύχρηστο είναι να επιλέγεται η ακριβής ώρα που εκτελείται η εφαρμογή).

Επειδή έχει νόημα ο εντοπισμός της θέσης του ηλίου για τις ώρες της ηλιοφάνειας η οριακή κατώτερη στιγμή του ύψους γίνεται η μηδενική τιμή (και ανώτερη η 90° γιατί στην Ελλάδα δεν ξεπερνιέται) και το αζιμούθιο περιορίζεται σε μια κίνηση από -120° έως 120° .

Γίνεται πρόβλεψη και για την περίπτωση της θερινής ώρας ούτως ώστε να αφαιρείται αυτή όταν ισχύει από τους υπολογισμούς.

Το μέσο ύψος, η μέση ανωμαλία και το εκλειπτικό ύψος κανονικοποιούνται ώστε να ανήκουν στο διάστημα [0°-360°) ενώ το Lmst και Gmst ώστε να ανήκουν στο [0h – 24h).

Ο παράγοντας διάθλασης διάθλασης επηρεάζει την τελική τιμή του ύψους ως εξής (Το αζιμούθιο υπολογίζεται χωρίς την εφαρμογή του παράγοντα διάθλασης)

- Αν  $\text{ύψος} \geq 19.225$  τότε  $Π.Δ = 0.00452 \times 3.51823 / \tan(\text{ύψος})$
- Αν  $-0.766 < \text{ύψος} < 19.225$  τότε  $Π.Δ = 3.51823 * (0.1594 + \text{ύψος} * (0.0196 + 0.00002 * \text{ύψος})) / (1. + \text{ύψος} * (0.505 + 0.0845 * \text{ύψος}))$



- Αν ύψος  $\leq -0.766$  τότε  $P.A = 0$

Το αζιμούθιο μετατοπίζεται κατά  $180^\circ$  αριστερά ούτως ώστε το σημείο αναφοράς να είναι ο Νότος για να μην επηρεάζεται το σημείο αναφοράς που έχουμε δώσει στον ιχνηλάτη.

Η εικόνα της εφαρμογής είναι η ακόλουθη.

Η εφαρμογή αυτή υπολογίζει μέσω του 2ου Αλγορίθμου το ηλιακό αζιμούθιο και το ηλιακό ύψος για οποιαδήποτε μέρα οποιοδήποτε έτους και οποιαδήποτε ώρα

#### **5.4.2. Εφαρμογή υπολογισμού του αζιμούθιου και του ύψους του ηλίου με ένα συγκεκριμένο βήμα.**

Αφού έχει υπολογιστεί το αζιμούθιο και το ύψος του ηλίου για μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή πρέπει να υπολογίζεται με κάποιο βήμα για όλες τις επόμενες στιγμές μέχρι να νυχτώσει. Με αυτόν τον τρόπο θα παρακολουθείται η πορεία του ηλίου για μια ολόκληρη μέρα.

Για αυτόν το λόγο θα κατασκευαστεί ένας βρόγχος επανάληψης μέσα στον οποίο θα βρίσκεται η πρώτη εφαρμογή ελαφρώς παραλλαγμένη. Η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι χρειαζόμαστε μια εφαρμογή με είσοδο την δεκαδική ώρα, η οποία θα αυξάνεται μέσα στο βρόγχο με βήμα που ορίζει ο χρήστης.

#### **5.4.3. Εφαρμογή προγράμματος πλοήγησης ηλιακού ιχνηλάτη χρησιμοποιώντας στρεφόμενες συσκευές zaber.**

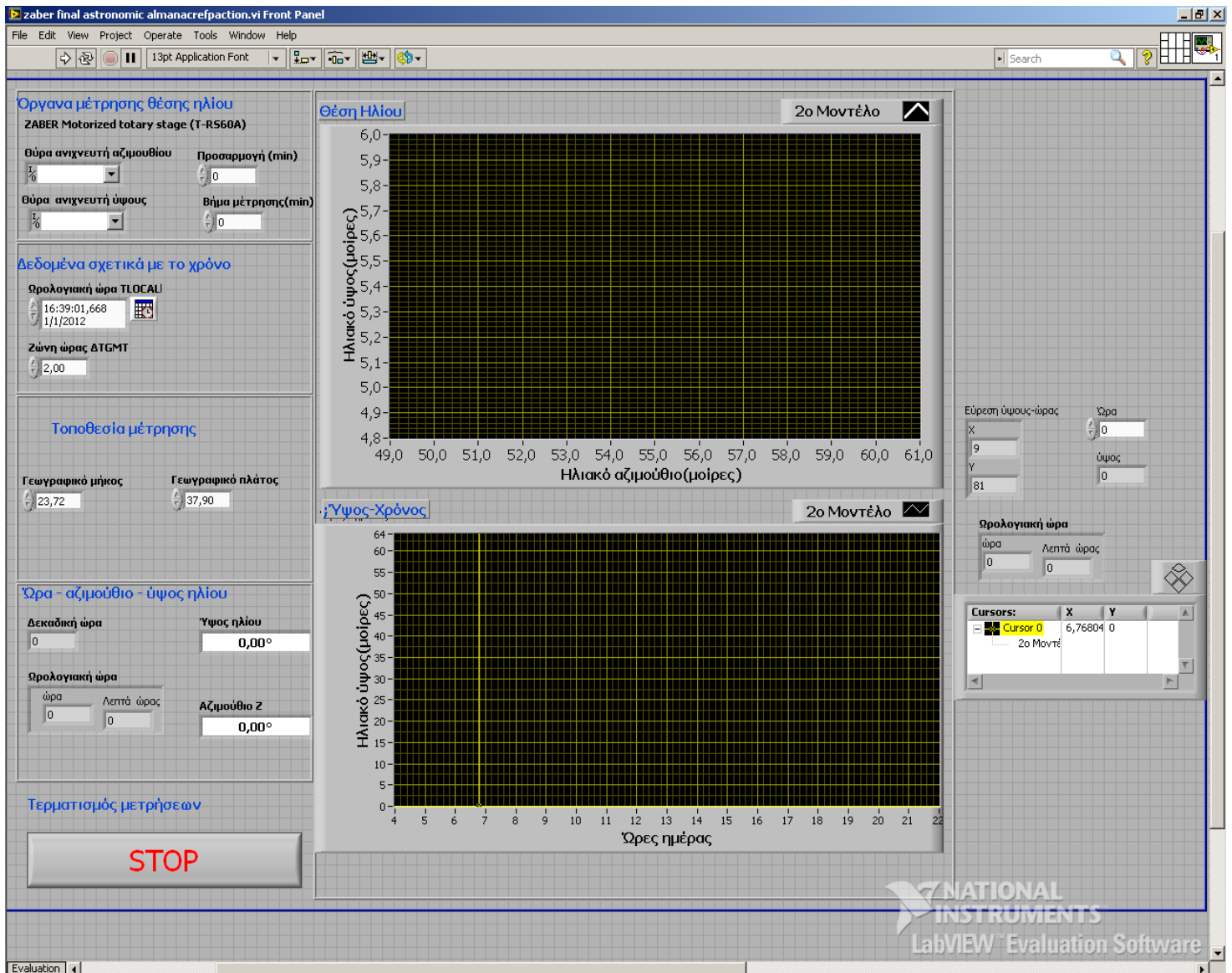
Με κατασκευασμένα αυτές τις εφαρμογές (που θα καλεστούν σαν υπό – εφαρμογές στο πρόγραμμα) θα κατασκευαστεί το τελικό πρόγραμμα πλοήγησης και για το δεύτερο μοντέλο.

Ο αλγόριθμος είναι ακριβώς ο ίδιος με αντικατάσταση των υπό – προγραμμάτων hour και min με τα hour2 και min2.

Δεν υπάρχει η υπό – εφαρμογή που υπολογίζει τα ηλιακά χαρακτηριστικά της ημέρας. Οι ώρες ανατολής και δύσης υπολογίζονται από το διάγραμμα

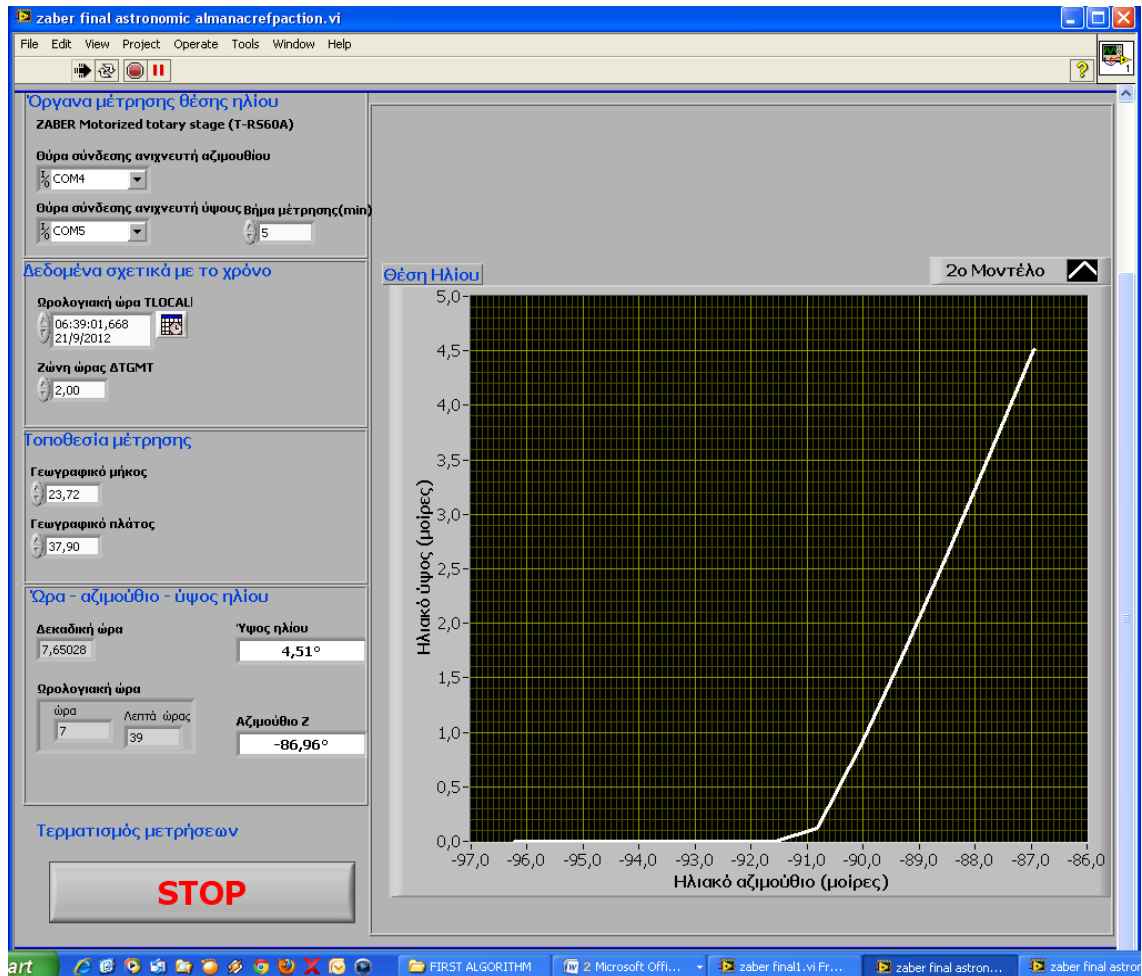
ηλιακού ύψους και χρόνου. Για να είναι πιο εύκολο αυτό δημιουργούμε μέσω του Labview ένα κέρσορα ο οποίος για κάθε στιγμή του διαγράμματος εμφανίζει τις συντεταγμένες του ύψους και της ώρας. Για την πρώτη στιγμή που το ύψος γίνεται θετικό παίρνουμε τη δεκαδική ώρα ανατολής, ενώ για τη στιγμή που το ύψος γίνεται πάλι 0 παίρνουμε τη δεκαδική ώρα δύσης. Οι δεκαδικές ώρες στη συνέχεια μετατρέπονται σε κανονικές.

Η πρόσοψη της εφαρμογής στο Labview (front panel), δηλαδή αυτό που βλέπει ο χρήστης στην έναρξη της εφαρμογής και τοποθετεί τα δεδομένα του είναι:



Για να μπορούμε να είμαστε ακόμα πιο ακριβείς στις τιμές που παίρνουμε από το διάγραμμα ύψους-χρόνου, το μεγαλώνουμε αλλάζοντας λίγο τη διάταξη της πρόσοψης στο Labview.

Έτσι η πρόσοψη της εφαρμογής στο Labview (front panel) καθώς το πρόγραμμα τρέχει για μικρές μετατοπίσεις από την αρχική θέση, είναι το ακόλουθο. Ο ιχνηλάτης ακολουθεί σε προσομοίωση την πορεία του ηλίου.



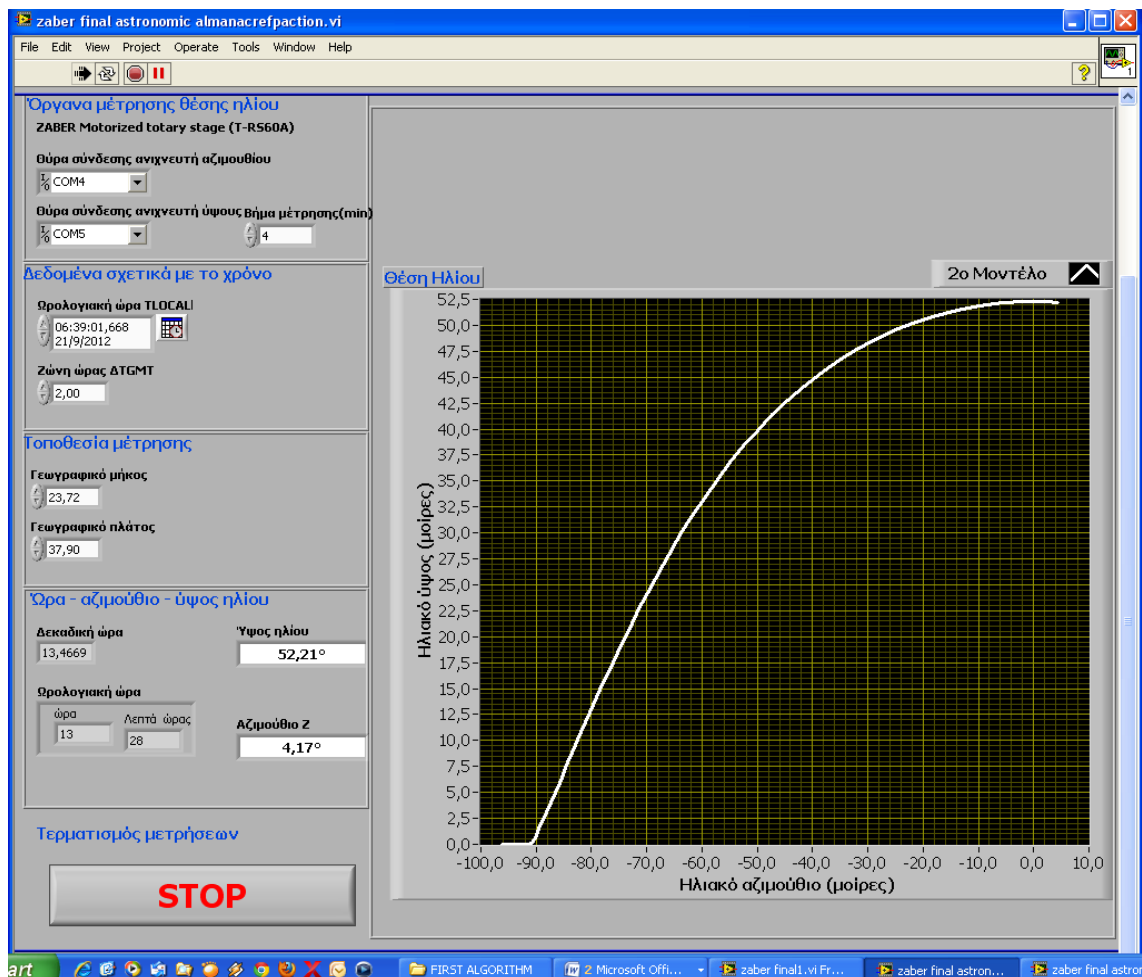
Γεωγραφικές συντεταγμένες ορίστηκαν του Ε.Μ.Π και βήμα μέτρησης είναι κάθε 5 λεπτά

Ως ημερομηνία μέτρησης ορίστηκε η 21/9/2012 και τοπική ώρα η 06:39:01.668. Για εκείνη την ημερομηνία, την ώρα έναρξης των μετρήσεων δεν έχει ακόμα ξημερώσει. Αυτό φαίνεται και στα διαγράμματα, στα οποία το ύψος παίρνει θετικές τιμές μετά την τοπική ώρα Ανατολής.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η αλλαγή της κλίσης στο διάγραμμα ως αποτέλεσμα της τροποποίησης του παράγοντα διάθλασης για μικρές τιμές του ηλιακού ύψους συγκριτικά με μεγαλύτερες.

Την στιγμή που παγώνει το πρόγραμμα και αποτυπώνει η φωτογραφία το ύψος του ηλίου είναι  $4,51^\circ$  ενώ το αζιμούθιο είναι  $-86,96^\circ$ . Η ώρα εκείνη τη στιγμή στην προσομοίωση είναι 07:39.

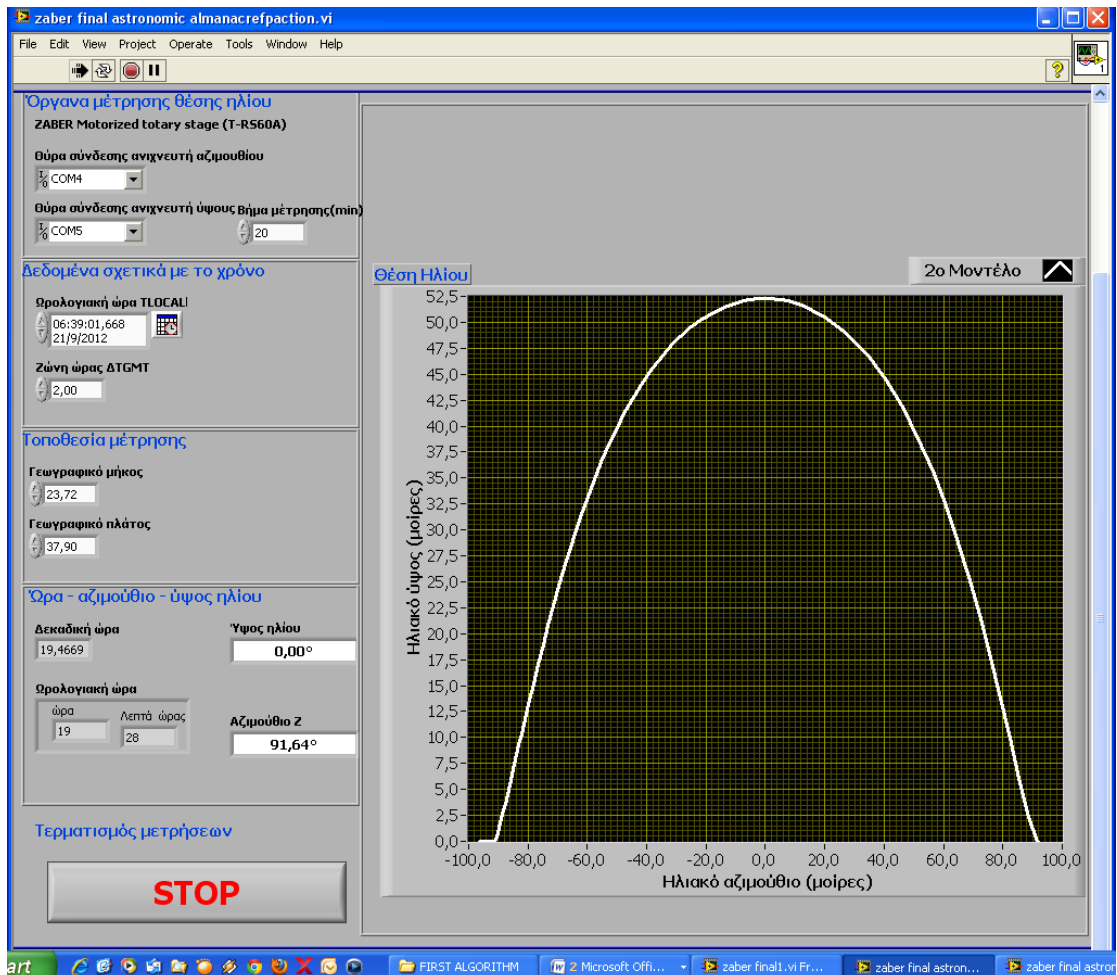
Η πρόσοψη της εφαρμογής στο Labview (front panel) καθώς το πρόγραμμα τρέχει για για μεγαλύτερη της μισής διαδρομής:



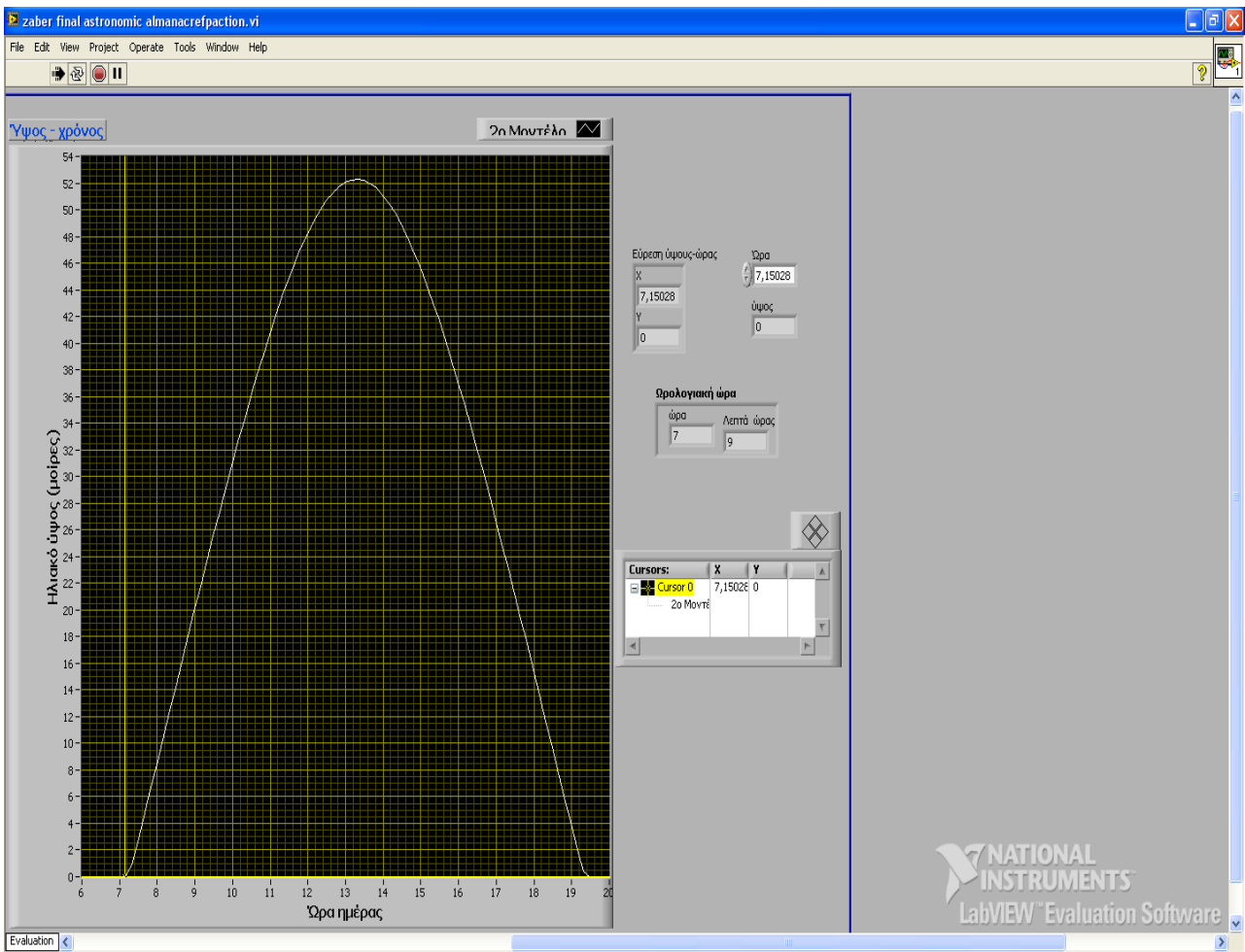
Την στιγμή που παγώνει το πρόγραμμα και αποτυπώνει η φωτογραφία το ύψος του ηλίου είναι  $52,21^\circ$  και έχει αρχίσει να μειώνεται από τη μέγιστη τιμή, ενώ το αζιμούθιο είναι  $4,17^\circ$ , λαμβάνει δηλαδή τις πρώτες θετικές τιμές

της ημέρας. Η ώρα εκείνη τη στιγμή στην προσομοίωση είναι 13:28.

Η τελική μορφή της πρόσοψης του Labview για τη συγκεκριμένη προσομοίωση είναι :



Σε ότι αφορά το διάγραμμα ύψους-χρόνου, το χρησιμοποιούμε για να εξάγουμε συμπεράσματα για την τοπική ώρα ανατολής, την τοπική ώρα δύσης και την τοπική ώρα που το ύψος του ηλίου λαμβάνει τη μέγιστη τιμή και για άλλες χρήσιμες ώρες της ημέρας.



Ο κέρσορας δείχνει την ώρα ανατολής που όπως φαίνεται και από τους σχετικούς πίνακες παρουσίασης της ώρας είναι 7:09.

Στο διάγραμμα ύψος – χρόνος παρουσιάζεται πιο εμφανώς σε σχέση με το ύψος – αζιμουθιο η αλλαγή της κλίσης του διαγράμματος για μικρές τιμές του ύψους.

Στο τέλος της προσομοίωσης ο ανιχνευτής επανέρχεται στις αρχικοποιημένες θέσεις. Ο Ανιχνευτής του αζιμουθίου ως προς το Νότο και του ύψους ως προς το οριζόντιο επίπεδο.

## 5.5. Εφαρμογή ταυτόχρονης καταγραφής της ηλιακής ακτινοβολίας με χρήση πολυμέτρων με δυνατότητα σύνδεσης σε Η/Υ

### 5.5.1. Ψηφιακό πολύμετρο “agilent 34401a”

Υπάρχουν πολύμετρα για τα οποία έχουν κατασκευαστεί drivers για το Labview. Με χρήση αυτών μπορούμε με την ίδια εφαρμογή του Labview (με προσθήκη δηλαδή των drivers ως υπό – εφαρμογές στην εφαρμογή πλοήγησης του ηλιακού ιχνηλάτη) μπορούμε να καταγράφουμε και να επεξεργαζόμαστε διάφορες μορφές της ηλιακής ακτινοβολίας.

Πριν τις τελικές μετρήσεις, κατασκευάστηκε ένα πρόγραμμα προσομοίωσης καταγραφής της ακτινοβολίας στο εργαστήριο. Αντί για τον ήλιο χρησιμοποιήθηκε λάμπα και το ψηφιακό πολύμετρο “agilent 34401a” 6,5 ψηφίων της *Hewlett Packard* .

Το πολύμετρο αυτό έχει δυνατότητα σύνδεσης στη θύρα RS232 του Η/Υ.





Για το ψηφιακό πολύμετρο έχουν κατασκευαστεί drivers για το Labview οι οποίοι υπάρχουν στη σελίδα

[http://sine.ni.com/apps/utf8/niid\\_web\\_display\\_model\\_page?p\\_model\\_id=978](http://sine.ni.com/apps/utf8/niid_web_display_model_page?p_model_id=978).

Οι drivers που χρησιμοποιήθηκαν είναι :

Ο 1<sup>ος</sup> driver λέγεται “agilent 34401a-initialize” . Ο driver δέχεται σαν είσοδο τη θύρα που συνδέεται το ψηφιακό πολύμετρο στον H/Y . Από την στιγμή που καλείται αυτός ο driver το Labview επικοινωνεί με το πολύμετρο.

Χρησιμοποιήθηκε και ο driver “agilent 34401a-close”, ο οποίος τερματίζει την επικοινωνία του ψηφιακού πολυμέτρου με το Labview και εμφανίζει τυχόντα σφάλματα (errors).

Η ανάγνωση, αποθήκευση και καταγραφή των τιμών της τάσης και η δυνατότητα για μετέπειτα επεξεργασία γίνεται μέσω του driver “agilent 34401a Read (single Point)”.



### **5.5.2. Τελική εφαρμογή προσομοίωσης συστήματος ηλιακού ιχνηλάτη με ταυτόχρονη καταγραφή της ακτινοβολίας.**

Στην τελική εφαρμογή για την οδήγηση του ηλιακού ιχνηλάτη προστίθενται ως υπό-εφαρμογές οι drivers του ψηφιακού πολυμέτρου “agilent 34401a”. Σκοπός είναι μετά από κάθε ανίχνευση της θέσης του ηλίου να υπάρχει καταγραφή της τάσης που συλλέγει ο αισθητήρας και ταυτόχρονα να δημιουργείται το διάγραμμα τάσης – χρόνου.

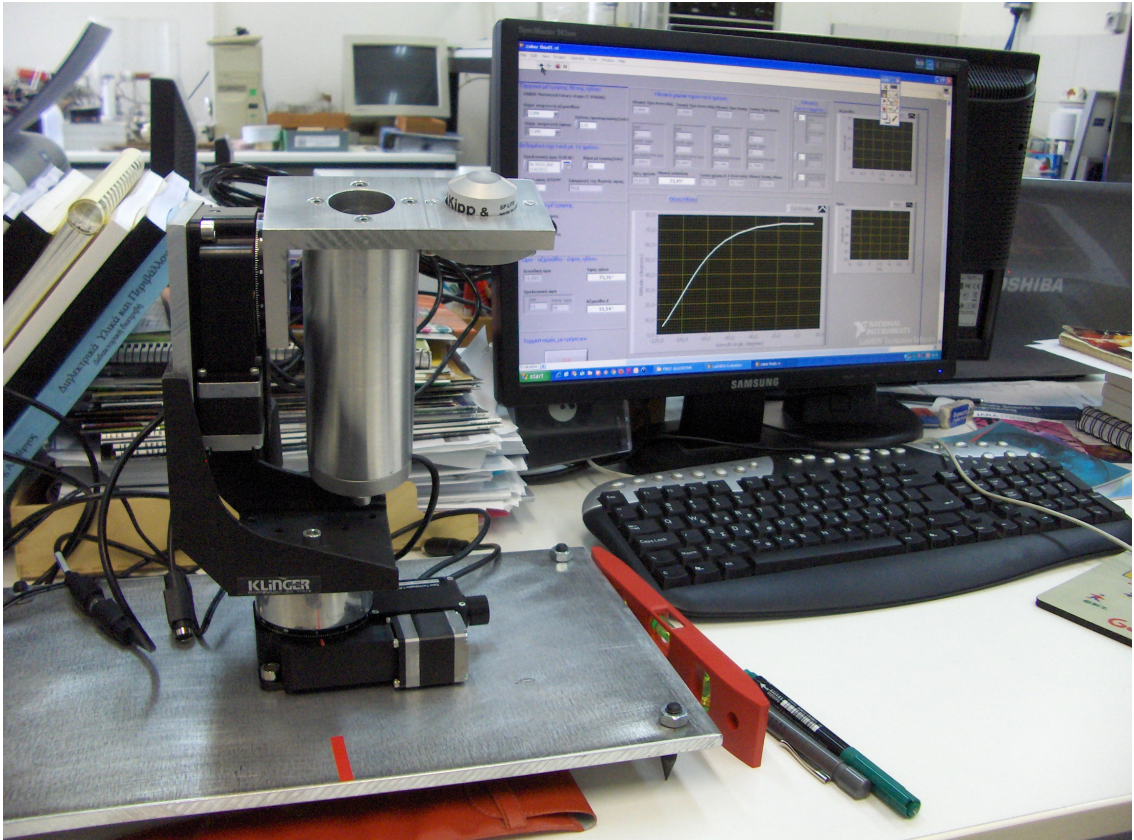
Συγκεκριμένα μετά την αναγνώριση και αρχικοποίηση των zaber συσκευών αναγνωρίζεται και η θύρα σύνδεσης του ψηφιακού πολυμέτρου.

Μέσα στο βρόγχο επανάληψης καταμετρείται για κάθε θέση του ηλίου η τάση που ανιχνεύει ο αισθητήρας.

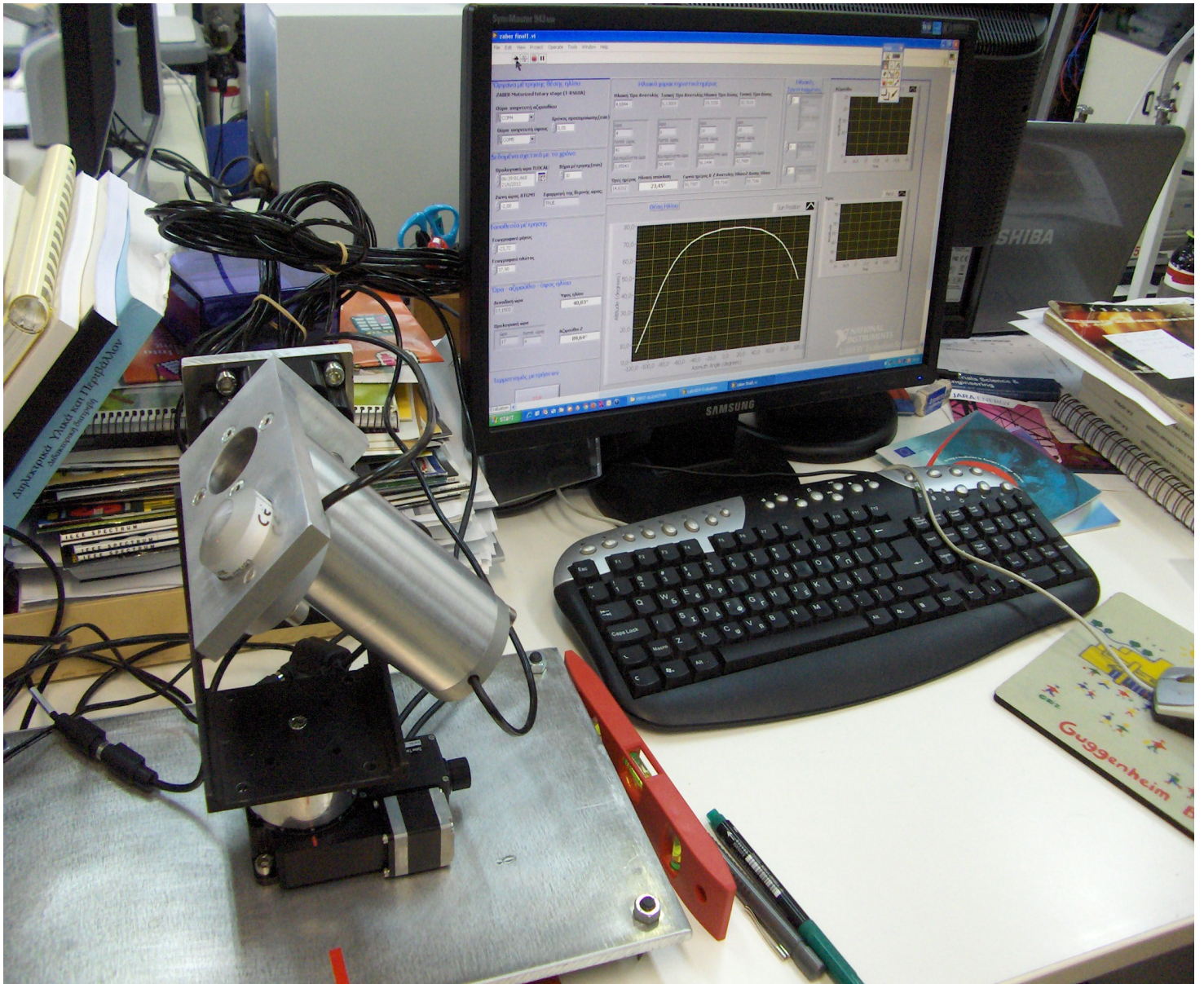
Για τις τιμές της τάσης που αποθηκεύονται κατασκευάζεται το διάγραμμα τάσης-χρόνου. Με την προσθήκη ειδικού κέρσορα παρουσιάζεται σε ειδικό πίνακα για κάθε στιγμή το ζεύγος των συντεταγμένων τάσης-χρόνου.

Τέλος μετά την επαναφορά των ανιχνευτών στην αρχική τους θέση και την αποδέσμευσή τους από τη θύρα σύνδεσης, αποσυνδέεται από τη θύρα σύνδεσης και το ψηφιακό πολύμετρο.

Η εικόνα του συστήματος ιχνηλάτη που λειτουργεί σε προσομοίωση και είναι είναι η ακόλουθη :

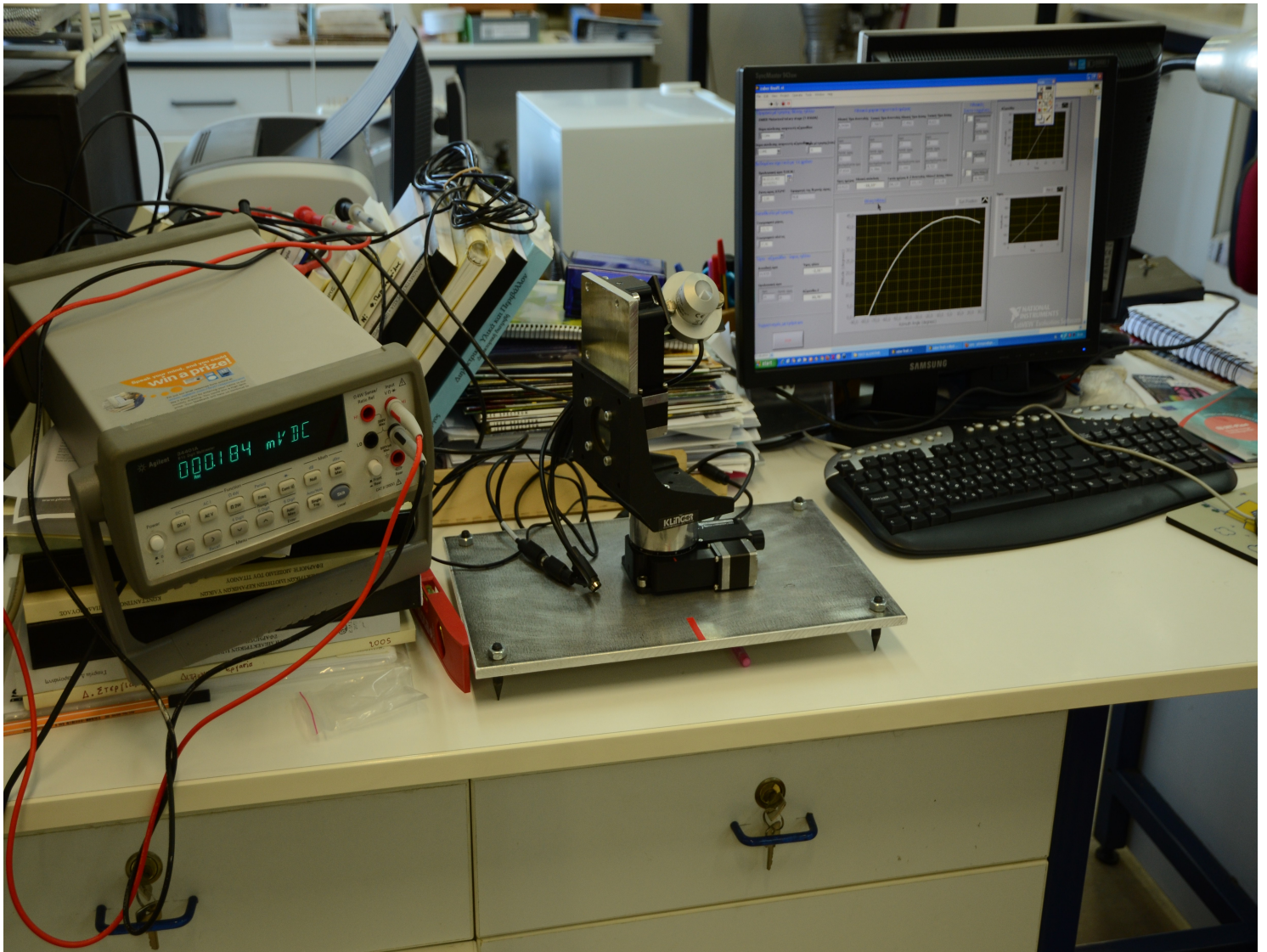




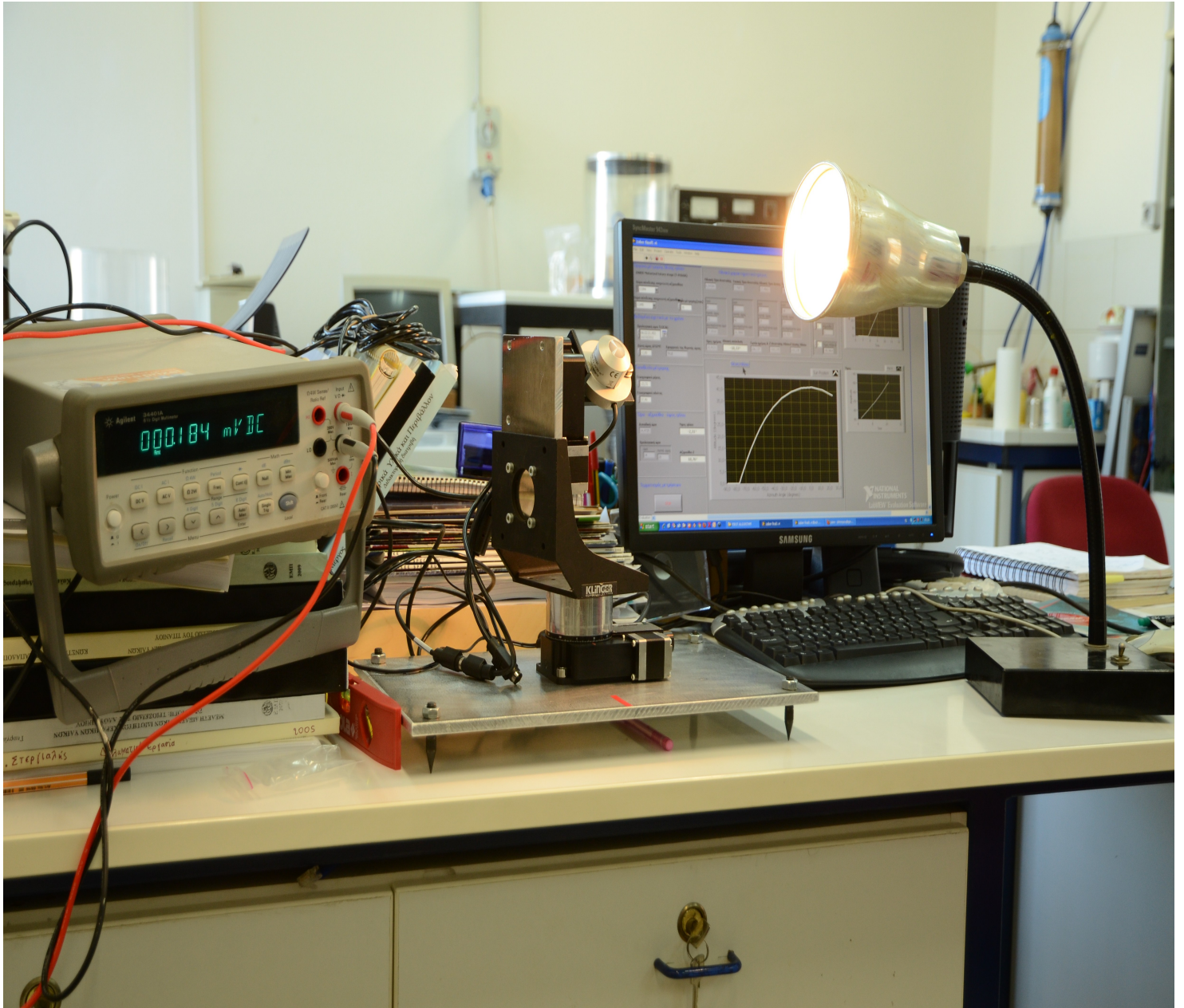




Σε λειτουργία προσομοίωσης συνδεδεμένος με ψηφιακό πολύμετρο :







---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ: ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΗΝ ΤΑΡΑΤΣΑ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΣΤΟ ΕΜΠ

---

### 6. *Εισαγωγή*

Αφού έχει κατασκευαστεί το σύστημα ηλιακού ιχνηλάτη και το πρόγραμμα οδήγησής του, παίρνουμε μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας στην ταράτσα του κτηρίου ηλεκτρολόγων στο ΕΜΠ. Την Παρασκευή 9/11/2012 από τις 10:51 ως τις 15:21 λάβαμε μετρήσεις της συνολικής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο και της συνολικής και άμεσης ακτινοβολίας σε επίπεδο μονίμως κάθετο στην ακτίνα του ηλίου. Η μέρα αυτή είχε ανεπαίσθητες νεφώσεις.

#### 6.1. *Διάταξη*

Το σύστημα ιχνηλάτη τοποθετημένο στην οπτική βάση τοποθετήθηκε σε τραπέζι κατάλληλα ευθυγραμμισμένο με το οριζόντιο επίπεδο όπως διαπιστώθηκε με χρήση κατάλληλου οργάνου.

Στη συνέχεια με χρήση πυξίδας τοποθετήθηκε το κατασκευασμένο  $0^\circ$  του ανιχνευτή αξιμουθίου να είναι προσανατολισμένο προς το Νοτο.

Συνδέθηκαν με τους 3 αισθητήρες πολύμετρα καταγραφής της τάσης που δίνουν οι αισθητήρες.

Τέλος ο ιχνηλάτης συνδέθηκε με φορητό ηλεκτρονικό υπολογιστή και ξεκίνησε η παρακολούθηση της τροχιάς του ηλίου για τη συγκεκριμένη μέρα.

Με έλεγχο της σκίασης που παρουσιαζόταν στον αισθητήρα καταγραφής της άμεσης ακτινοβολίας (πυρηλιόμετρο) αποφασίστηκε πως για τη συγκεκριμένη μέρα και τις συγκεκριμένες ώρες μέτρησεις καλύτερα αποτελέσματα δίνει ο



1<sup>ος</sup> Αλγόριθμος προσδιορισμού της ηλιακής θέσης.

Η διάταξη καταγραφής της ηλιακής ακτινοβολίας παρουσιάζεται στις ακόλουθες εικόνες :









## 6.2. Μετρήσεις

Με βήμα μέτρησης τα 3 λεπτά ο πίνακας μετρήσεων είναι ο ακόλουθος :

Ώρα Ημέρας	Ηλιακό Ύψος (°)	Ηλιακό Αζιμούθιο (°)	Συνολική ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο (mV)	Άμεση ακτινοβολία σε κάθετο στην ακτίνα (mV)	Συνολική ακτινοβολία σε κάθετο στην ακτίνα (mV)
10:51	31,28	-21,72	35,6	73	71,9
10:54	31,49	-20,93	36	73,6	72
10:57	31,7	-20,12	36,8	74,3	73,1
11:00	31,9	-19,32	37,3	75,5	73,9
11:03	32,09	-18,51	37,9	75,8	74,5
11:06	32,28	-17,69	38,2	76,6	74,7
11:09	32,45	-16,87	38,4	76	74,7
11:12	32,62	-16,05	38,4	76,3	74,4
11:15	32,78	-15,22	38,5	75,4	73,8
11:18	32,93	-14,39	37,4	74,3	72,5
11:21	33,07	-13,56	38,9	76,8	74,7
11:24	33,21	-12,72	39	76,8	74,6
11:27	33,33	-11,88	39,5	77,3	75,3
11:30	33,45	-11,04	39,6	77,5	75,4
11:33	33,56	-10,19	39,7	77,5	75,3
11:36	33,66	-9,35	39,8	77,5	75,3
11:39	33,75	-8,5	40	77,4	75,4
11:42	33,84	-7,64	40,1	77,6	75,4
11:45	33,91	-6,79	40,1	77,4	75,3
11:48	33,98	-5,93	40,2	77,6	75,6
11:51	34,03	-5,07	40,4	77,7	75,6
11:54	34,08	-4,21	40,5	77,8	75,8
11:57	34,12	-3,35	40,6	77,7	75,7
12:00	34,15	-2,49	40,6	77,5	75,6
12:03	34,17	-1,63	39,2	74,6	73
12:06	34,18	-0,77	40,2	76	73,7
12:09	34,19	0,10	40,2	77,2	75,5
12:12	34,18	0,96	40,4	77,4	75,6

Ωρα Ημέρας	Ηλιακό Ύψος (°)	Ηλιακό Αζιμούθιο (°)	Συνολική ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο (mV)	Άμεση ακτινοβολία σε κάθετο στην ακτίνα (mV)	Συνολική ακτινοβολία σε κάθετο στην ακτίνα (mV)
12:15	34,17	1,82	40	77,1	75,2
12:18	34,14	2,68	39,9	77	75,1
12:21	34,11	3,54	39,9	77	75,1
12:24	34,07	4,4	40	77,2	75,2
12:27	34,02	5,26	40	77,3	75,3
12:30	33,96	6,12	39,7	76,8	74,8
12:33	33,89	6,98	39,7	77	75,1
12:36	33,82	7,83	39,5	76,9	74,9
12:39	33,73	8,68	39,4	76,9	74,9
12:42	33,64	9,53	39,4	77	75,1
12:45	33,54	10,38	39,2	76,8	74,9
12:48	33,43	11,23	39,1	76,6	74,7
12:51	33,31	12,07	38,8	76,3	74,5
12:54	33,18	12,91	38,4	75,7	74
12:57	33,04	13,75	38,4	76	74,3
13:00	32,9	14,58	38,2	75,9	74,2
13:03	32,74	15,41	38	75,7	74,1
13:06	32,58	16,23	37,8	75,5	74
13:09	32,41	17,06	37,5	75,3	73,9
13:12	32,24	17,87	37,3	75,1	73,7
13:15	32,05	18,69	36,8	74,5	73,2
13:18	31,86	19,50	36,7	74,5	73,2
13:21	31,66	20,3	36,3	74,3	73
13:24	31,45	21,1	36,1	74,4	73,2
13:27	31,23	21,9	36,1	74,9	73,7
13:30	31	22,69	35,7	74,4	73,2
13:33	30,77	23,48	35,2	73,7	72,5
13:36	30,53	24,26	34,9	73,6	72,5
13:39	30,29	25,03	34,7	73,6	72,5
13:42	30,03	25,81	34,3	73,2	72,1
13:45	29,77	26,57	33,9	73,1	72,1
13:48	29,5	27,3	33,8	73,4	72,3

Ωρα Ημέρας	Ηλιακό Ύψος (°)	Ηλιακό Αζιμούθιο (°)	Συνολική ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο (mV)	Άμεση ακτινοβολία σε κάθετο στην ακτίνα (mV)	Συνολική ακτινοβολία σε κάθετο στην ακτίνα (mV)
13:51	29,23	28,09	33,4	73,1	72
13:54	28,95	28,84	33	72,8	71,6
13:57	28,66	29,58	32,8	73	71,9
14:00	28,36	30,32	32,5	73,1	72
14:03	28,06	31,06	32	72,6	71,5
14:06	27,75	31,78	31,6	72,6	71,4
14:09	27,44	32,51	31,4	72,7	71,5
14:12	27,11	33,22	30,9	72,4	71,2
14:15	26,79	33,94	30,5	72,4	71,2
14:18	26,45	34,64	30,2	72,5	71,3
14:21	26,11	35,34	30	72,6	71,4
14:24	25,77	36,04	29,5	72,4	71,2
14:27	25,42	36,72	29	72,2	71
14:30	25,06	37,41	28,3	71,3	70,1
14:33	24,7	38,09	27,9	71,2	70
14:36	24,33	38,76	27,3	70,7	69,4
14:39	23,96	39,42	26,8	70,2	69,1
14:42	23,58	40,09	26,2	69,9	68,8
14:45	23,2	40,74	25,5	69,3	68,2
14:48	22,81	41,39	25,1	69	68
14:51	22,41	42,04	24,5	68,7	67,7
14:54	21,01	42,68	24	68,6	67,6
14:57	21,61	43,31	23,6	68,6	67,5
15:00	21,2	41,94	23	68,2	67,1
15:03	20,79	44,56	22,5	67,8	66,6
15:06	20,37	45,18	21,6	66,5	65,3
15:09	19,95	45,79	21,2	66,4	65,2
15:12	19,52	46,40	20,6	66,2	65
15:15	19,09	47	20,3	65,9	64,5
15:18	18,66	47,6	19,7	65,9	64,7
15:21	18,22	48,19	19	65,5	64,2

Ο συντελεστής μετατροπής της τάσης που καταγράφει ο αισθητήρας που βρίσκεται στο οριζόντιο επίπεδο σε πυκνότητα ισχύος ακτινοβολίας είναι

$$\frac{69 \mu V}{W/m^2}, \text{ ο αντίστοιχος συντελεστής του αισθητήρα που καταγράφει την}$$

άμεση ακτινοβολία στο επίπεδο κάθετο στην ακτίνα του ηλίου είναι

$$\frac{72 \mu V}{W/m^2} \text{ και ο συντελεστής του αισθητήρα που καταγράφει τη συνολική}$$

ακτινοβολία σε επίπεδο κάθετο στην ακτίνα του ηλίου είναι  $\frac{71 \mu V}{W/m^2}$ .

Ο πίνακας πυκνότητας ακτινοβολίας είναι ο ακόλουθος :

Ωρα Ημέρας	Ηλιακό Ύψος (°)	Ηλιακό Αζιμούθιο (°)	Συνολική ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο (kW/m <sup>2</sup> )	Άμεση ακτινοβολία σε κάθετο στην ακτίνα (kW/m <sup>2</sup> )	Συνολική ακτινοβολία σε κάθετο στην ακτίνα (kW/m <sup>2</sup> )
10:51	31,28	-21,72	0,516	1,014	1,013
10:54	31,49	-20,93	0,522	1,022	1,014
10:57	31,7	-20,12	0,533	1,032	1,030
11:00	31,9	-19,32	0,541	1,049	1,041
11:03	32,09	-18,51	0,549	1,053	1,049
11:06	32,28	-17,69	0,554	1,064	1,052
11:09	32,45	-16,87	0,557	1,056	1,052
11:12	32,62	-16,05	0,557	1,060	1,048
11:15	32,78	-15,22	0,558	1,047	1,039
11:18	32,93	-14,39	0,542	1,032	1,021
11:21	33,07	-13,56	0,564	1,067	1,052
11:24	33,21	-12,72	0,565	1,067	1,051
11:27	33,33	-11,88	0,572	1,074	1,061
11:30	33,45	-11,04	0,574	1,076	1,062
11:33	33,56	-10,19	0,575	1,076	1,061
11:36	33,66	-9,35	0,577	1,076	1,061
11:39	33,75	-8,5	0,580	1,075	1,062

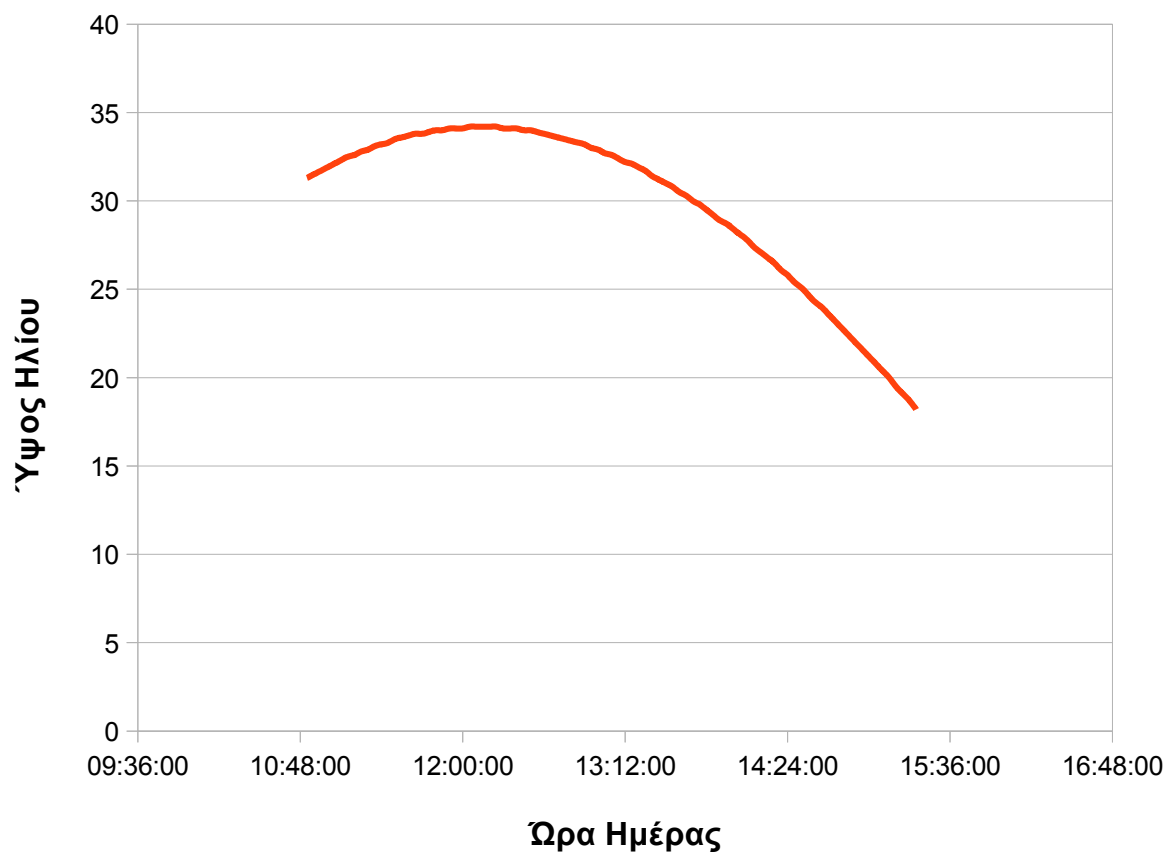
Ωρα Ημέρας	Ηλιακό Ύψος (°)	Ηλιακό Αζιμούθιο (°)	Συνολική ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο (kW/m <sup>2</sup> )	Άμεση ακτινοβολία σε κάθετο στην ακτίνα (kW/m <sup>2</sup> )	Συνολική ακτινοβολία σε κάθετο στην ακτίνα (kW/m <sup>2</sup> )
11:42	33,84	-7,64	0,581	1,078	1,062
11:45	33,91	-6,79	0,581	1,075	1,061
11:48	33,98	-5,93	0,583	1,078	1,065
11:51	34,03	-5,07	0,586	1,079	1,065
11:54	34,08	-4,21	0,587	1,081	1,068
11:57	34,12	-3,35	0,588	1,079	1,066
12:00	34,15	-2,49	0,588	1,076	1,065
12:03	34,17	-1,63	0,568	1,036	1,028
12:06	34,18	-0,77	0,583	1,056	1,038
12:09	34,19	0,10	0,587	1,072	1,063
12:12	34,18	0,96	0,586	1,075	1,065
12:15	34,17	1,82	0,580	1,071	1,059
12:18	34,14	2,68	0,578	1,069	1,058
12:21	34,11	3,54	0,578	1,069	1,058
12:24	34,07	4,4	0,580	1,072	1,059
12:27	34,02	5,26	0,580	1,054	1,061
12:30	33,96	6,12	0,575	1,067	1,054
12:33	33,89	6,98	0,575	1,069	1,058
12:36	33,82	7,83	0,572	1,068	1,055
12:39	33,73	8,68	0,571	1,068	1,055
12:42	33,64	9,53	0,571	1,069	1,058
12:45	33,54	10,38	0,568	1,067	1,055
12:48	33,43	11,23	0,567	1,064	1,052
12:51	33,31	12,07	0,562	1,060	1,049
12:54	33,18	12,91	0,557	1,051	1,042
12:57	33,04	13,75	0,557	1,056	1,046
13:00	32,9	14,58	0,554	1,054	1,045
13:03	32,74	15,41	0,551	1,051	1,044
13:06	32,58	16,23	0,548	1,049	1,042
13:09	32,41	17,06	0,543	1,046	1,041
13:12	32,24	17,87	0,541	1,043	1,038
13:15	32,05	78,69	0,533	1,035	1,031

Ωρα Ημέρας	Ηλιακό Ύψος ( <sup>ο</sup> )	Ηλιακό Αζιμούθιο ( <sup>ο</sup> )	Συνολική ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο (kW/m <sup>2</sup> )	Άμεση ακτινοβολία σε κάθετο στην ακτίνα (kW/m <sup>2</sup> )	Συνολική ακτινοβολία σε κάθετο στην ακτίνα (kW/m <sup>2</sup> )
13:18	31,86	19,50	0,532	1,035	1,031
13:21	31,66	20,3	0,526	1,032	1,028
13:24	31,45	21,1	0,523	1,033	1,031
13:27	31,23	21,9	0,523	1,040	1,038
13:30	31	22,69	0,517	1,033	1,031
13:33	30,77	23,48	0,510	1,024	1,021
13:36	30,53	24,26	0,506	1,022	1,021
13:39	30,29	25,03	0,503	1,022	1,021
13:42	30,03	25,81	0,497	1,017	1,015
13:45	29,77	26,57	0,491	1,015	1,015
13:48	29,5	27,3	0,490	1,019	1,018
13:51	29,23	28,09	0,484	1,015	1,014
13:54	28,95	28,84	0,478	1,011	1,008
13:57	28,66	29,58	0,475	1,014	1,013
14:00	28,36	30,32	0,471	1,015	1,014
14:03	28,06	31,06	0,464	1,008	1,007
14:06	27,75	31,78	0,458	1,008	1,006
14:09	27,44	32,51	0,455	1,010	1,007
14:12	27,11	33,22	0,448	1,006	1,003
14:15	26,79	33,94	0,442	1,006	1,003
14:18	26,45	34,64	0,438	1,007	1,004
14:21	26,11	35,34	0,435	1,008	1,006
14:24	25,77	36,04	0,428	1,006	1,003
14:27	25,42	36,72	0,420	1,003	1,000
14:30	25,06	37,41	0,410	0,990	0,987
14:33	24,7	38,09	0,404	0,989	0,986
14:36	24,33	38,76	0,396	0,982	0,977
14:39	23,96	39,42	0,388	0,975	0,973
14:42	23,58	40,09	0,380	0,971	0,969
14:45	23,2	40,74	0,370	0,963	0,961
14:48	22,81	41,39	0,364	0,958	0,958
14:51	22,41	42,04	0,355	0,954	0,954

<b>Ωρα Ημέρας</b>	<b>Ηλιακό Ύψος (°)</b>	<b>Ηλιακό Αζιμούθιο (°)</b>	<b>Συνολική ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο (kW/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Άμεση ακτινοβολία σε κάθετο στην ακτίνα (kW/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Συνολική ακτινοβολία σε κάθετο στην ακτίνα (kW/m<sup>2</sup>)</b>
<b>14:54</b>	<b>21,01</b>	<b>42,68</b>	<b>0,348</b>	<b>0,953</b>	<b>0,952</b>
<b>14:57</b>	<b>21,61</b>	<b>43,31</b>	<b>0,342</b>	<b>0,947</b>	<b>0,951</b>
<b>15:00</b>	<b>21,2</b>	<b>41,94</b>	<b>0,333</b>	<b>0,942</b>	<b>0,945</b>
<b>15:03</b>	<b>20,79</b>	<b>44,56</b>	<b>0,326</b>	<b>0,924</b>	<b>0,938</b>
<b>15:06</b>	<b>20,37</b>	<b>45,18</b>	<b>0,313</b>	<b>0,922</b>	<b>0,920</b>
<b>15:09</b>	<b>19,95</b>	<b>45,79</b>	<b>0,307</b>	<b>0,919</b>	<b>0,918</b>
<b>15:12</b>	<b>19,52</b>	<b>46,40</b>	<b>0,299</b>	<b>0,915</b>	<b>0,915</b>
<b>15:15</b>	<b>19,09</b>	<b>47</b>	<b>0,294</b>	<b>0,915</b>	<b>0,908</b>
<b>15:18</b>	<b>18,66</b>	<b>47,6</b>	<b>0,286</b>	<b>0,915</b>	<b>0,911</b>
<b>15:21</b>	<b>18,22</b>	<b>48,19</b>	<b>0,275</b>	<b>0,910</b>	<b>0,904</b>

6.3. Διαγράμματα ηλιακής τροχιάς για την Παρασκευή 9/11/2012 στο ΕΜΠ

### Διάγραμμα Ηλιακής Πορείας

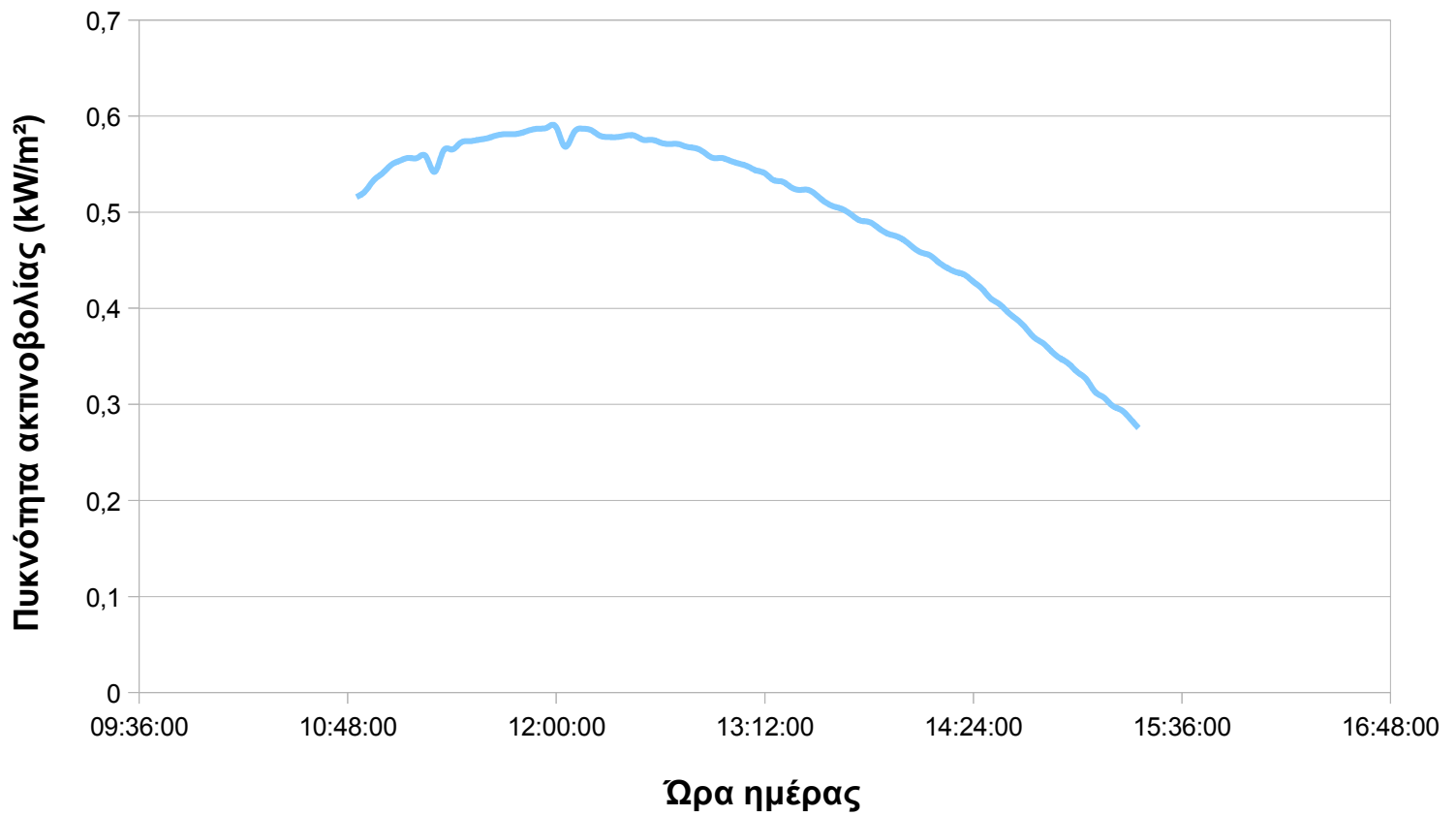




6.4. Διαγράμματα πυκνότητας ισχύος της ακτινοβολίας για την Παρασκευή 9/11/2012 στο ΕΜΠ.

### Διάγραμμα συνολικής ακτινοβολίας

#### Οριζόντιο επίπεδο



## Διάγραμμα άμεσης ακτινοβολίας

*Κάθετο επίπεδο στην ηλιακή ακτίνα*

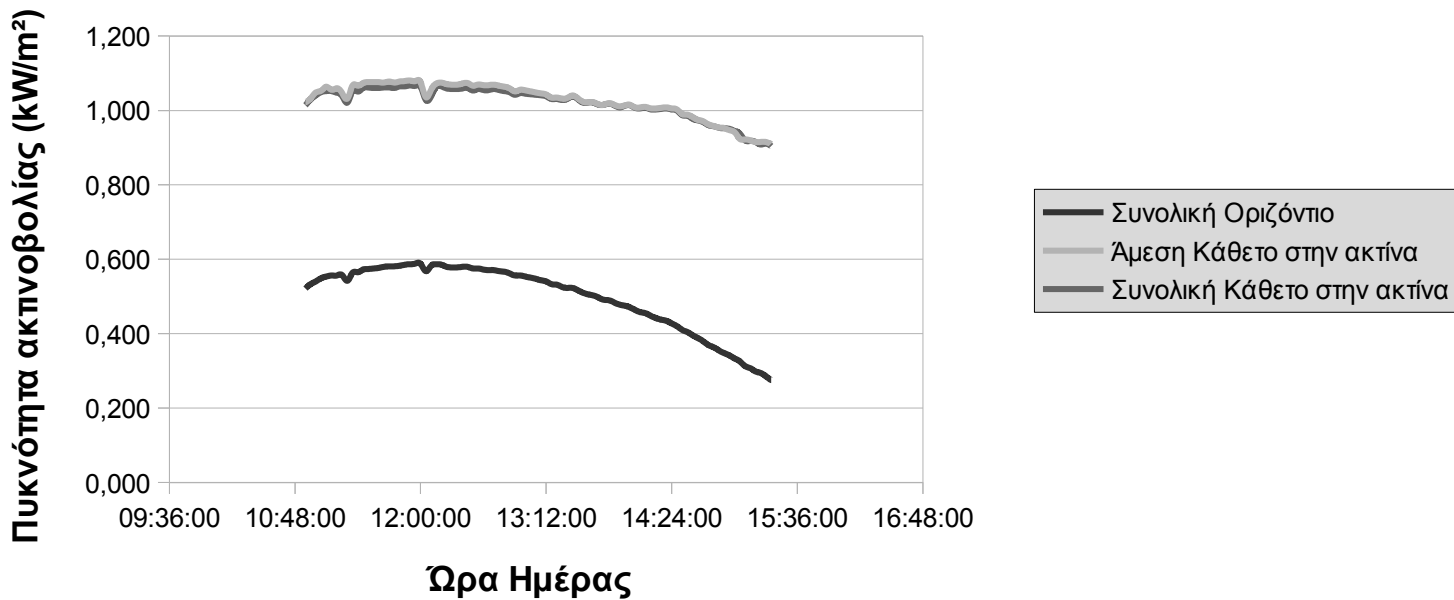


## Διάγραμμα Άμεσης Ακτινοβολίας

*Κάθετο επίπεδο στην ηλιακή ακτίνα*



## Διαγράμματα ακτινοβολίας



### 6.5. Σχολιασμός των μετρήσεων

Είναι φανερό το κέρδος ακτινοβολίας που λαμβάνουν οι αισθητήρες που ακολουθούν την ηλιακή τροχιά σε σχέση με αυτόν που βρίσκεται στο οριζόντιο επίπεδο. Για τις ώρες που ο ήλιος βρίσκεται κοντά στο μέγιστο ύψος της μέρας οι αισθητήρες στον ιχνηλάτη λαμβάνουν περίπου τη διπλάσια ακτινοβολία ενώ όσο απομακρυνόμαστε από αυτή την ώρα περίπου τη διπλάσια. Κατά μήκος της τροχιάς έχουμε μικρότερες απώλειες στην ακτινοβολία που λαμβάνουμε.

Οι αισθητήρες δε λαμβάνουν μεγάλο ποσοστό της διάχυτης ακτινοβολίας λόγω κατασκευής. Αυτό φαίνεται και από τις παραπλήσιες τιμές που λαμβάνει ο κάθετος στην ακτίνα αισθητήρας μέτρησης της συνολικής ακτινοβολίας με το πυρηλιόμετρο.

Λόγω της απουσίας νεφώσεων οι τιμές που της άμεσης με τη συνολική ακτινοβολία στη θέση κάθετα στην ακτίνα του ήλιου είναι παραπλήσιες. Υπάρχει δηλαδή πολύ μικρή τιμή της διάχυτης ακτινοβολίας. Οι ελαφρώς μεγαλύτερες τιμές στην άμεση ακτινοβολία εξηγούνται από τις πιθανές ανακλάσεις που λαμβάνει η ακτίνα του ηλίου κατά μήκος του μεταλλικού κυλίνδρου. Για να έχουμε καλύτερα αποτελέσματα θα μπορούσαμε να μειώσουμε την ακτίνα του κυλίνδρου καθώς και να βάψουμε με σκούρο χρώμα το εσωτερικό του κυλίνδρου για να εξαλείψουμε τις ανακλάσεις.

Οι ελαφρές μεταπτώσεις στις τιμές της ακτινοβολίας (μείωση της τιμής ενώ αυξάνει το ύψος του ηλίου κτλ) προκλήθηκαν από ελαφρές νεφώσεις που παρουσιάστηκαν στην πορεία της ακτίνας μέσα στην ατμόσφαιρα.

Ενδιαφέρον για επόμενες μελέτες θα έχει να γίνουν μετρήσεις σε νεφώδη μέρα για το προσδιορισμό της διάχυτης ακτινοβολίας, να κατασκευαστούν σκιάδια για τον άμεσο προσδιορισμό της διάχυτης ακτινοβολίας αλλά και τον έλεγχο των δυο αλγορίθμων καθώς και να γίνουν μετρήσεις με σταθερή τη γωνία του ανιχνευτή ύψους.



---

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

- [1] Κ.Θ.Δέρβος " Εισαγωγή στα Ημιαγώγιμα Υλικά και Φωτοβολταϊκές Διατάξεις", Αθήνα 2008
- [2] Erbs, D; Klein, S. and Duffie, J.: 'Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly-average global radiation'
- [3] Holland, P. and Mayer, I.: 'On calculating the position of the Sun'
- [4] Liu, B. and Jordan, R.: 'The Interrelationship and Characteristic Distribution of Direct, Diffuse and Total Solar Radiation'
- [5] Perez, R.; Seals, R.; Zelenka, A. and Ineichen, P.: ' Climatic Evaluation of Models that predict Hourly Global Irradiance: Prospects for Performance Improvements'
- [6] JOHN A. DUFFIE " SOLAR ENGINEERING OF THERMAL PROCESSES", second edition, Wiley-Interscience Publication, New York, 1985
- [7] Johnson. F. S.. *J. of Meteorology*, 11. 431 (1954). "The Solar Constant."
- [8] Cooper, P L., *Solar Energy*, 12, 3 (1969). "The Absorption of Solar Radiation in Solar Stills." *United States Journal*, 1969 ( OSTI ID: 5176208).
- [9] Thekaekara. M. P., *Solar Energy*, 18.309 (1976). "Solar Radiation Measurement: Techniques and Instrumentation."( OSTI ID: 7338394 ).
- [10] Michalsky, 1988 J.J. Michalsky , The astronomical Almanac's algorithm for approximate solar position (1950-2050) *Solar Energy* Volume 40 Issue 1988 Pages 227 – 235 .
- [11] Walraven, 1978 R. Walraven , Calculating the position of the Sun *Solar Energy* Volume 20 Issue 1978
- [12] Walraven, 1979 R. Walraven , Erratum *Solar Energy* Volume 22 Issue 1979
- [13] The Astronomical Almanac, 1985 The Astronomical Almanac, 1985, 1986 ed. US Gov. Printing Office, Washington, DC.
- [14] Lamm, 1981 L.O. Lamm , A new analytic expression for the equation of time *Solar Energy* Volume 26 Issue 1981
- [15] <http://www.zaber.com/>
- [16] [https://www.zaber.com/wiki/Main\\_Page](https://www.zaber.com/wiki/Main_Page)
- [17] <http://www.ni.com/>



---

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

Περίληψη.....	11
---------------	----

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ : ΗΛΙΑΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ**

1. Εισαγωγή.....	17
1.1. Ηλιακή ενέργεια.....	17
1.2. Ήλιος και Γη.....	18
1.3. Σχετική κίνηση Ήλιου- Γης.....	22
1.3.1. Γεωμετρία Γης-Ηλίου.....	23
1.3.2. Συστήματα Συντεταγμένων που χρησιμοποιούνται στην ηλιακή πρόβλεψη.....	25
1.3.2.1. Γεωγραφικό μήκος / Γεωγραφικό Πλάτος.....	25
1.3.2.2. Οι συντεταγμένες Ορθή Αναφορά / Απόκλιση.....	25
1.3.2.3. Ο χρόνος.....	26
1.4. Υπολογισμός ακριβούς θέσης του ηλίου.....	28
1.5. Πρώτο μοντέλο κίνησης του ηλίου.....	29
1.5.1. Ηλιακή Ωρα.....	31
1.5.1.1. Μεσημβρινός αναφοράς.....	31
1.5.1.2. Μήκος τόπου.....	32
1.5.1.3. Εξίσωση χρόνου.....	32
1.5.2. Ηλιακή απόκλιση $\delta$ .....	33
1.5.3. Γωνία ώρας $\omega$ .....	34
1.5.4. Συντεταγμένες Ηλίου.....	35
1.5.5. Ανατολή, δύση και ηλιοφάνεια.....	35
1.5.5.1. Εφαρμογή για τις συντεταγμένες της Αθήνας.....	35
1.6. Δεύτερο μοντέλο της κίνησης του ηλίου.....	38
1.6.1. Ο χρόνος.....	38
1.6.2. Εκλειπτικές συντεταγμένες.....	39
1.6.3. Ουράνιες συντεταγμένες.....	39
1.6.4. Τοπικές συντεταγμένες.....	40
1.6.5. Διόρθωση διάθλασης.....	41



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ : ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ**

2. Εισαγωγή.....	43
2.1. Ωρες Ανατολής – Δύσης ηλίου για το μήνα Οκτώβριο του 2012.....	43
2.2. Διαγράμματα καταγραφής της ηλιακής τροχιάς για διάφορες μέρες του 2012 στην Αθήνα.....	49
2.3. Διαγράμματα καταγραφής της ηλιακής τροχιάς στις 21 Σεπτεμβρίου 2012 σε 3 πόλεις του κόσμου.....	59

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ : ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ**

3. Εισαγωγή.....	67
3.1. Η πορεία της ηλιακής ακτινοβολίας από τη δημιουργία της μέχρι το έδαφος..	67
3.2. Πυκνότητα ισχύος και φασματική κατανομή ηλιακής ακτινοβολίας.....	69
3.3. Ορισμοί και βασικές έννοιες ηλιακής ακτινοβολίας.....	72
3.4. Υπολογισμός κατεύθυνσης ηλιακής ακτινοβολίας.....	75
3.5. Το ανισοτροπικό μοντέλο.....	78

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ : ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΗΛΙΑΚΟΥ ΙΧΝΗΛΑΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ZABER ΣΥΣΚΕΥΩΝ**

4. Εισαγωγή.....	81
4.1. Στρεφόμενες συσκευές “zaber T-RS60A” .....	81
4.2. Εγκατάσταση και λειτουργία της zaber T-RS60A συσκευής.....	82
4.3. Τεχνικά χαρακτηριστικά “zaber T- RS60A” συσκευής.....	83
4.4. Κατασκευή του συστήματος ηλιακού ιχνηλάτη.....	84
4.5. Διατάξεις μέτρησης ηλιακής ακτινοβολίας.....	89
4.6. Πειραματική διάταξη οργάνων μέτρησης ηλιακής ακτινοβολίας.....	92

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ : ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΟΔΗΓΗΣΗΣ ΤΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΙΧΝΗΛΑΤΗ**

5. Εισαγωγή.....	97
5.1. Labview.....	97

5.2. Labview Zaber Drivers.....	98
5.3. Εφαρμογές σύμφωνα με το 1 <sup>ο</sup> Θεωρητικό Μοντέλο.....	100
5.3.1. Εφαρμογή του Αζιμούθιου και του Ύψους του ηλίου οποιαδήποτε στιγμή.....	100
5.3.2. Εφαρμογή υπολογισμού ηλιακών χαρακτηριστικών ημέρας.....	101
5.3.3. Εφαρμογή υπολογισμού του Αζιμούθιου και του ύψους του ηλίου με ένα συγκεκριμένο βήμα.....	101
5.3.4. Εφαρμογή προγράμματος πλοήγησης ηλιακού ιχνηλάτη χρησιμοποιώντας στρεφόμενες συσκευές zaber.....	101
5.4. Εφαρμογές σύμφωνα με το 2 <sup>ο</sup> Μόντελο.....	108
5.4.1. Εφαρμογή του Αζιμούθιου και του Ύψους του ηλίου οποιαδήποτε στιγμή.....	108
5.4.2. Εφαρμογή υπολογισμού του Αζιμούθιου και του ύψους του ηλίου με ένα συγκεκριμένο βήμα.....	109
5.4.3. Εφαρμογή προγράμματος πλοήγησης ηλιακού ιχνηλάτη χρησιμοποιώντας στρεφόμενες συσκευές zaber.....	109
5.5. Εφαρμογή ταυτόχρονης καταγραφής της ηλιακής ακτινοβολίας με χρήση πολυμέτρων με δυνατότητα σύνδεσης σε H/Y.....	115
5.5.1. Ψηφιακό πολύμετρο “agilent 34401a”.....	115
5.5.2. Τελική εφαρμογή προσομοίωσης συστήματος ηλιακού ιχνηλάτη με ταυτόχρονη καταγραφή της ακτινοβολίας.....	117

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ : ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΗΝ  
ΤΑΡΑΤΣΑ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΣΤΟ Ε.Μ.Π**

6. Εισαγωγή.....	122
6.1. Διάταξη.....	122
6.2. Μετρήσεις.....	125
6.3. Διαγράμματα ηλιακής τροχιάς για την Παρασκευή 9/11/2012 στο ΕΜΠ.....	132
6.4. Διαγράμματα πυκνότητας ισχύος της ακτινοβολίας για την Παρασκευή 9/11/2012 στο ΕΜΠ.....	133
6.5. Σχολιασμός των μετρήσεων.....	135
Βιβλιογραφία.....	138