



ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΗ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ

Νυκτερινή Παρατήρηση

Προσδιορισμός Αστρονομικού Αζιμουθίου

Προσδιορισμός Αστρονομικών Συντεταγμένων

A. Προσδιορισμός Αστρονομικού Αζιμουθίου

1. Σκοπός

Η πρακτική άσκηση των σπουδαστών στον προσδιορισμό του αζιμουθίου ενός σημείου αναφοράς με δύο μεθόδους:

- 1) με παρατήρηση του Πολικού αστέρα, χρησιμοποιώντας κλασσικό θεοδόλιχο (T2)
- 2) με παρατηρήσεις αστέρων στη θέση της μέγιστης αποχής, χρησιμοποιώντας ψηφιακό γεωδαιτικό σταθμό (TCR303)

Το σημείο αναφοράς, του οποίου το αζιμουθιο πρέπει να προσδιοριστεί, βρίσκεται στην ταράτσα του κτηρίου Φυσικής του ΕΜΠ, ενώ η παρατήρηση γίνεται από την ταράτσα του κτηρίου Λαμπαδαρίου.

2. Παρατήρηση του Πολικού

Για την παρατήρηση του Πολικού αστέρα χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα:

- Θεοδόλιχο T2 με τρίποδα και φωτιστική συσκευή.
- Χρονόμετρο (στιγμόμετρο) Συντονισμένου Παγκόσμιου Χρόνου UTC.

Για την αναγνώριση του Πολικού επισυνάπτεται ένας χάρτης του βορινού τμήματος του ουρανού, όπως περίπου θα φαίνεται κατά την διάρκεια των παρατηρήσεων.

Κάθε σπουδαστής κάνει μία παρατήρηση του Πολικού (καταγράφοντας χρόνο, κατακόρυφη και οριζόντια γωνία) και μια παρατήρηση του σημείου αναφοράς (καταγράφοντας μόνο οριζόντια γωνία).

Ο προσδιορισμός του αζιμουθίου γίνεται με την βοήθεια της ωριαίας γωνίας του Πολικού. Για τον σκοπό αυτό χρειάζονται: οι οριζόντιες αναγνώσεις του σημείου αναφοράς και του Πολικού, καθώς και το αστρονομικό αζιμουθιο του Πολικού, που θα προσδιοριστεί από την ωριαία γωνία του h , την απόκλιση του δ και το προσεγγιστικό πλάτος Φ_0 της στάσης παρατήρησης. Η ωριαία γωνία θα προκύψει από την στιγμή της παρατήρησης (εκφρασμένη σε αληθή αστρικό χρόνο Greenwich θ), την ορθή αναφορά a του Πολικού και το προσεγγιστικό μήκος Λ_0 της στάσης. Οι προσεγγιστικές συντεταγμένες της στάσης θα δοθούν από τον δέκτη GPS που συνοδεύει το σύστημα των παρατηρήσεων των μεσημβρινών διαβάσεων (για τον προσδιορισμό του πλάτους και του μήκους), ενώ οι ουρανογραφικές συντεταγμένες του Πολικού θα υπολογιστούν, με γραμμική παρεμβολή, από τα στοιχεία που υπάρχουν στους *Αστρονομικούς Πίνακες*. Στους πίνακες αυτούς οι

συντεταγμένες του Πολικού δίνονται, για κάθε μέρα, ΟΧΙ την στιγμή 0^h UT αλλά την στιγμή της άνω μεσουράνησης του Πολικού στο Greenwich, δηλαδή όταν $\theta = \alpha$. Επομένως, η παρεμβολή θα γίνει με βάση τον αληθινό αστρικό χρόνο Greenwich την στιγμή της παρατήρησης.

Επίσης, από τις μετρήσεις του, κάθε σπουδαστής θα υπολογίσει την επίδραση των συστηματικών σφαλμάτων των τιμών των Φ και Λ , καθώς και των τυχαίων σφαλμάτων σκόπευσης και καταγραφής του χρόνου, στην τιμή του αζιμουθίου του σημείου αναφοράς.

Ως σφάλμα των τιμών των Λ και Φ θα ληφθεί η διαφορά των προσεγγιστικών συντεταγμένων και των αληθών αστρονομικών συντεταγμένων, που είναι:

$$\Phi = 37^\circ 58' 29.5'' \quad \text{και} \quad \Lambda = 23^\circ 46' 37.5''$$

Ως σφάλμα κάθε σκόπευσης να θεωρηθεί η τιμή 5^{cc} , ενώ το σφάλμα χρόνου να θεωρηθεί ίσο με 0.1sec.

3. Παρατηρήσεις αστερών στη θέση της μέγιστης αποχής τους

Για τις παρατηρήσεις αυτές χρησιμοποιείται ο ψηφιακός γεωδαιτικός σταθμός TCR303.

Αρχικά, ο σταθμός προσανατολίζεται προσεγγιστικά με μια σκόπευση προς τον Πολικό, το αζιμούθιο του οποίου έχει ήδη προβλεφθεί. Στη συνέχεια, οι σπουδαστές κάνουν μια σειρά σκοπεύσεων (περίπου 20) προς το σημείο αναφοράς.

Κάθε σπουδαστής κάνει μία σειρά σκοπεύσεων (περίπου 50) ενός συγκεκριμένου άστρου (βάσει του προγράμματος των παρατηρήσεων) σε μικρό τμήμα της τροχιάς του, γύρω από την θέση της μέγιστης αποχής (ανατολικά ή δυτικά). Σε κάθε σκόπευση ο σταθμός καταγράφει την οριζόντια και την κατακόρυφη γωνία.

Ο προσδιορισμός του αζιμουθίου του άστρου θα γίνει από το (ορθογώνιο) τρίγωνο θέσης, με την βοήθεια της απόκλισης δ και του προσεγγιστικού πλάτους Φ_0 . Η απόκλιση κάθε άστρου, καθώς και η οριζόντια γωνία στην θέση της μέγιστης αποχής, θα υπολογιστούν και θα ανακοινωθούν από το Εργαστήριο μετά την ολοκλήρωση των παρατηρήσεων.

Εκτός από το αζιμούθιο του σημείου αναφοράς, κάθε σπουδαστής θα υπολογίσει και τον συντελεστή μετάδοσης του σφάλματος $\delta\Phi$ σε δA . Τα στοιχεία αυτά θα χρησιμοποιηθούν από το Εργαστήριο για την συνόρθωση των επι μέρους αποτελεσμάτων, η οποία θα δώσει την τελική τιμή του αζιμουθίου του σημείου αναφοράς και το σφάλμα $\delta\Phi$.

B. Προσδιορισμός Αστρονομικών Συντεταγμένων

1. Σκοπός

Η πρακτική άσκηση των σπουδαστών στην κυριότερη μέθοδο προσδιορισμού των αστρονομικών συντεταγμένων με παρατηρήσεις αστερών κατά την άνω μεσουράνησή τους, δηλαδή οι μέθοδοι Sterneck (για το πλάτος) και Mayer (για το μήκος). Οι παρατηρήσεις γίνονται με τα πιο σύγχρονα όργανα και με διαδικασία που οδηγεί σε προσδιορισμό υψηλής ακριβείας.

2. Παρατήρηση

Για την εκτέλεση της παρατήρησης χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα:

- Γεωδαιτικός σταθμός TDM 5000 και δέκτης GPS 4000DL
- Ψηφιακό θερμόμετρο και βαρόμετρο.



Ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός **TDM 5000** της εταιρείας Leica έχει μερικά αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά:

- Επιτρέπει την ψηφιακή μέτρηση και καταγραφή γωνιών, μηκών και χρόνου σε ειδική καταγραφική μονάδα, ενώ συνδέεται με ηλεκτρονικό υπολογιστή με τη βοήθεια εξόδου RS232. Με τον τρόπο αυτό υπάρχει η δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας και μεταφοράς των δεδομένων από το όργανο στον ηλεκτρονικό υπολογιστή αλλά και αντίστροφα η μεταφορά και εγκατάσταση λογισμικού από τον υπολογιστή στο όργανο
- Διαθέτει ενσωματωμένο ψηφιακό ρολόι που έχει απόδοση 0.001sec και με τη βοήθεια του οποίου είναι δυνατή η καταγραφή του χρόνου που αντιστοιχεί τη στιγμή της παρατήρησης.
- Έχει δυνατότητα ηλεκτρονικής οριζοντίωσης και αυτόματης διόρθωσης των τιμών των μετρούμενων γωνιακών μεγεθών αν υπάρχει σφάλμα
- Οι κοχλίες του είναι ατέρμονες, χωρίς πάκτωση οριζόντιου και κατακόρυφου δίσκου.
- Το τηλεσκόπιο του έχει μεγέθυνση x42, και στο οπτικό του πεδίο υπάρχουν τρεις ομόκεντροι κύκλοι οι οποίοι διακόπτονται από σταυρόνημα.
- Ο φωτισμός τόσο του τηλεσκοπίου όσο και της οθόνης του είναι ρυθμιζόμενος με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι δυνατή η παρατήρηση και κατά τη διάρκεια της νύκτας.
- Υπάρχει η δυνατότητα προσθήκης αγκωνοειδούς πρίσματος, απαραίτητου για την διαδικασία σκόπευσης σε μικρές κατακόρυφες γωνίες.

Το άλλο βασικό όργανο που χρησιμοποιείται είναι το σύστημα GPS 4000DL της εταιρείας Trimble, που εξασφαλίζει αξιόπιστο και υψηλής ακρίβειας προσδιορισμό θέσης. Επίσης, έχει τη δυνατότητα εξόδου ενός παλμού συγχρονισμού στην αρχή κάθε ακέραιου δευτερόλεπτου Συντονισμένου Παγκόσμιου Χρόνου (UTC) με ακρίβεια $\pm 5 \cdot 10^{-6}$ sec. Η μεταφορά αυτού του παλμού επιτυγχάνεται με τη βοήθεια της εξόδου RS232. Ακόμα, ο δέκτης GPS εξασφαλίζει τον προσδιορισμό των γεωδαιτικών συντεταγμένων, που θα

χρησιμοποιηθούν ως προσεγγιστικές τιμές των αστρονομικών συντεταγμένων της στάσης παρατήρησης.

Χρησιμοποιείται, τέλος, και φορητός ψηφιακός καταγραφικός σταθμός μετεωρολογικών δεδομένων της εταιρίας Ahlborn, που δίνει τιμές της ατμοσφαιρικής πίεσης, της θερμοκρασίας και της υγρασίας.

Ο προσανατολισμός του γεωδαιτικού σταθμού γίνεται με τη βοήθεια του Πολικού. Ο αρχικός προσανατολισμός γίνεται με σκόπευση του Πολικού αστέρα κάποια χρονική στιγμή κατά την οποία έχει προ-υπολογιστεί το αζιμούθιο του Πολικού. Τότε τίθεται στον οριζόντιο δίσκο του οργάνου η ανάγνωση μηδέν, στρέφεται το όργανο σε γωνία τόση όση είναι το αζιμούθιο του Πολικού **αλλά με αντίθετο πρόσημο** και εισάγεται πάλι η ανάγνωση μηδέν στον οριζόντιο δίσκο. Έτσι ο γεωδαιτικός σταθμός είναι προσανατολισμένος στον μεσημβρινό του τόπου με μια ακρίβεια περίπου $10^{\circ\circ}$ ($3''$), η οποία είναι αρκετή για την διαδικασία παρατήρησης των αστέρων του προγράμματος, οι οποίοι πρέπει να παρατηρούνται για ένα διάστημα περίπου 10 min, σε τμήμα της τροχιάς τους εκατέρωθεν του μεσημβρινού.

Πάντως, για τον ακριβέστερο προσανατολισμό του οργάνου, θα γίνει και μια σειρά σκοπεύσεων (περίπου 40) του Πολικού.

Κάθε σπουδαστής εκτελεί μια πλήρη σειρά παρατηρήσεων της μεσουράνησης ενός αστέρα (περίπου 60 – 80 παρατηρήσεις). Η σκόπευση κάθε αστέρα γίνεται αφού προηγηθεί η αναγνώριση του, με τη βοήθεια της οριζόντιας και κατακόρυφης γωνίας του τη χρονική στιγμή που έχει υπολογιστεί από το πρόγραμμα των παρατηρήσεων. Σε κάθε παρατήρηση αντιστοιχεί η καταγραφή της οριζόντιας και κατακόρυφης γωνίας, του χρόνου του ρολογιού του γεωδαιτικού σταθμού τη στιγμή της μέτρησης (σε msec), του χρόνου αναφοράς του ρολογιού του γεωδαιτικού σταθμού ως προς το ακέραιο δευτερόλεπτο του UTC (όπως αυτό εκπέμπεται από τον δέκτη GPS, σε msec) και, τέλος, ο αύξων αριθμός της καταγραφής.

Κατά διαστήματα σημειώνεται η θερμοκρασία και η ατμοσφαιρική πίεση, όπως δίνονται από τον ψηφιακό μετεωρολογικό σταθμό.

3. Επεξεργασία

Η επεξεργασία των καταγεγραμμένων μετρήσεων κάθε αστέρα αποβλέπει στον προσδιορισμό της ελάχιστης τιμής της κατακόρυφης γωνίας, που είναι η τιμή την στιγμή της μεσουράνησης, και του χρόνου UTC που αντιστοιχεί στην οριζόντια ανάγνωση του μεσημβρινού. Για τον προσδιορισμό αυτό εφαρμόζεται η μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων για την προσαρμογή κατάλληλων πολυωνύμων στις πλεονάζουσες παρατηρήσεις. Ακριβέστερα, η προσαρμογή ενός συμμετρικού πολυωνύμου $4^{\text{ου}}$ βαθμού στα ζεύγη (οριζόντια – κατακόρυφη γωνία) οδηγεί στον προσδιορισμό της κατακόρυφης γωνίας την στιγμή της μεσουράνησης, ενώ η προσαρμογή ενός πολυωνύμου $3^{\text{ου}}$ βαθμού στα ζεύγη (οριζόντια γωνία – χρόνος) οδηγεί στον προσδιορισμό του χρόνου μεσουράνησης.

Με τον τρόπο αυτό ετοιμάζεται ο πίνακας των δεδομένων μεσουράνησης των αστέρων, που είναι η βάση για τον υπολογισμό των συντεταγμένων με τις μεθόδους Sterneck (για το πλάτος) και Mayer (για το μήκος). *Ο πίνακας αυτός θα ετοιμαστεί, μετά το τέλος των παρατηρήσεων, από το Εργαστήριο και θα είναι στην διάθεση των σπουδαστών για τον τελικό υπολογισμό των συντεταγμένων.*

Ας σημειωθεί ότι θα χρησιμοποιηθεί μια τροποποίηση της μεθόδου Sterneck, όπου δεν θα γίνουν συμμετρικές παρατηρήσεις και η επίδραση της διάθλασης θα προκύψει από την τελική συνόρθωση των τιμών του πλάτους από κάθε άστρο.

3.1. Τροποποιημένη μέθοδος Sterneck - Υπολογισμοί

$$\alpha) \Phi_i = \delta_i \pm z_i \left[\begin{array}{c} +S \\ -N \end{array} \right], \text{ για κάθε άστρο } i = 1, \dots, v.$$

$$\beta) R_i = \pm \frac{p_i}{1013.25} \cdot \frac{273}{273 + g_i} \cdot \tan(z_i) \left[\begin{array}{c} +N \\ -S \end{array} \right], \quad i = 1, \dots, v.$$

$$\gamma) \Phi_i = C \cdot R_i + \bar{\Phi}, \quad \text{εξίσωση παρατήρησης γραμμικής μορφής}$$

Το πλάτος $\bar{\Phi}$ και ο συντελεστής κανονικής διάθλασης C υπολογίζονται με συνόρθωση (MET) των εξισώσεων παρατήρησης (γ). Επειδή οι μετρήσεις έγιναν από πολλούς παρατηρητές και δεν έχουν όλες την ίδια ακρίβεια, καλό είναι να χρησιμοποιηθούν βάρη κατά την συνόρθωση, αντιστρόφως ανάλογα του τετραγώνου του τυπικού σφάλματος (σ_z^2) κάθε παρατηρητή, κατά τα γνωστά.

3.2. Μέθοδος Mayer - Υπολογισμοί

α) Μετατροπή του χρόνου παρατήρησης UTC_i σε αληθή αστρικό χρόνο Greenwich θ_i

$$\beta) \Lambda_i = \alpha_i - \theta_i, \quad i = 1, \dots, v$$

γ) Η τιμή του Λ_i πρέπει να διορθωθεί από την επίδραση της ημερήσιας αποπλάνησης με την προσθήκη του όρου:

$$\Delta\Lambda_i = -0^s.021 \cdot \frac{\cos \bar{\Phi}}{\cos \delta_i}$$

$$\delta) \text{Υπολογισμός της παραμέτρου Mayer: } A_i = \pm \frac{\sin z_i}{\cos \delta_i} \left[\begin{array}{c} +S \\ -N \end{array} \right], \quad i = 1, \dots, v$$

$$\epsilon) \Lambda_i = \Delta A \cdot A_i + \Lambda, \quad \text{εξίσωση παρατήρησης γραμμικής μορφής}$$

Το μήκος Λ και το σφάλμα προσανατολισμού ΔA υπολογίζονται με συνόρθωση (MET) των εξισώσεων παρατήρησης (ϵ). Επειδή οι μετρήσεις έγιναν από πολλούς παρατηρητές και δεν έχουν όλες την ίδια ακρίβεια, καλό είναι να χρησιμοποιηθούν βάρη κατά την συνόρθωση, αντιστρόφως ανάλογα του τετραγώνου του τυπικού σφάλματος (σ_i^2) κάθε παρατηρητή, κατά τα γνωστά.

