

## ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΣΤΙΣ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ.

Για να κατανοήσουμε και να περιγράψουμε την ακρίβεια στις αστρονομικές παρατηρήσεις, θα πρέπει πρώτα να περιγράψουμε και να κατανοήσουμε τα σφάλματα τους καθώς και την προέλευση τους.

Τα σφάλματα κατά τις αστρονομικές παρατηρήσεις χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες.

Τα Συστηματικά (Systematic) σφάλματα και τα τυχαία (Random) σφάλματα.

### A. ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ

Τα συστηματικά σφάλματα είναι εκείνα τα οποία ακολουθούν κάποιο σταθερό πρότυπο και μπορούν να προβλεφθούν.

Τα συστηματικά σφάλματα μπορούν είτε να εξαλειφθούν είτε να αντισταθμιστούν.

Η απλούστερη μορφή συστηματικού λάθους είναι ένα σφάλμα με αμετάβλητο μέγεθος και πρόσημο. Αυτό ονομάζεται σταθερό σφάλμα. Παραδείγματα τέτοιων συστηματικών σφαλμάτων είναι το σφάλμα δείκτη (Index Error) του εξάντα, το σφάλμα χρονομέτρου ή το σφάλμα που προκύπτει από τη μη ακριβή ευθυγράμμιση της γραμμής του νήματος στο παλιννόριο σε σχέση με τον διαμήκη άξονα του πλοίου (Center Line).

Σε κάθε ένα από τα παραπάνω το σφάλμα είναι σταθερό και εξαλείψιμο εφόσον εφαρμόσουμε διόρθωση ίσου μεγέθους και αντίθετου πρόσημου.

Ένας άλλος τύπος συστηματικού σφάλματος προκύπτει από σφάλματα ακανόνιστης τιμής. Εάν π.χ. ένα χρονόμετρο έχει σφάλμα 4 δευτερόλεπτα ανά ημέρα, οι ενδείξεις του θα είναι λανθασμένες κατά 1 δευτερόλεπτο μετά από μεσοδιάστημα 6 ωρών, 8 δευτερόλεπτα στο τέλος 2 ημερών κ.λπ.

Το ίδιο συμβαίνει και με το στίγμα αναμετρήσεως. Ένα π.χ. σε κάποια περιοχή επικρατεί κάποιο ρεύμα το οποίο δεν έχει υπολογιστεί στο στίγμα αναμέτρησης τότε έχουμε ένα συστηματικό σφάλμα.

Το σφάλμα που εισάγετε από μία πυξίδα που δεν έχει υπολογιστεί το σφάλμα της για την τήρηση της πορείας είναι ένα συστηματικό σφάλμα.

Ένα άλλο συστηματικό σφάλμα που έχουμε μιλήσει ελάχιστα μέχρι τώρα, είναι το σφάλμα λόγω της *εξίσωσης χρόνου*<sup>1</sup>, της διαφοράς δηλαδή στην μη σταθερή διαφορά χρόνου που σχετίζεται με την αλλαγή της ταχύτητας περιφοράς της γης γύρω από τον ήλιο και το ανάποδο (λόγω της διαφοράς απόστασης μεταξύ των δύο σωμάτων εξαιτίας της ελλειπτικής τροχιάς).

---

<sup>1</sup> η διάρκεια της ημέρας έχει άμεση σχέση με την περιστροφή της Γης γύρω από τον άξονά της. Την περιστροφή αυτή της Γης μπορούμε να μετρήσουμε και με την μέθοδο του ηλιακού ρολογιού, που όμως παρουσιάζει ορισμένα προβλήματα. Γιατί το ηλιακό ρολόι δε μετράει μία μόνο κίνηση της Γης, αλλά δύο, ή μάλλον τη διαφορά μεταξύ της περιστροφής της Γης γύρω από τον άξονά της και της περιφοράς της γύρω από τον Ήλιο.

Και ενώ η περιστροφή είναι στην ουσία σταθερή, η περιφορά δεν είναι. Συνεπώς και η διαφορά τους δεν είναι σταθερή γεγονός που σχετίζεται με την ταχύτητα με την οποία τρέχει η Γη γύρω από τον Ήλιο. Γιατί όσο πιο κοντά στον Ήλιο βρίσκεται ένας πλανήτης, τόσο πιο γρήγορα κινείται, και όσο πιο μακριά τόσο πιο αργά. Το ίδιο συμβαίνει και με τη Γη αφού και αυτής η τροχιά γύρω από τον Ήλιο δεν είναι ένας τέλειος κύκλος αλλά μία έλλειψη. Γι' αυτό και η απόσταση της Γης από τον Ήλιο στη διάρκεια του έτους κυμαίνεται από 147 έως 152 εκατομμύρια χιλιόμετρα.

Η Γη φτάνει στην πλησιέστερη απόστασή της από τον Ήλιο, που ονομάζεται «περιήλιο», στις αρχές Ιανουαρίου, και στην πιο απομακρυσμένη της απόσταση, που ονομάζεται «αφήλιο», στις αρχές Ιουλίου. Καθώς λοιπόν η Γη πλησιάζει τον Ήλιο η τροχιακή της ταχύτητα αυξάνει έτσι ώστε στο περιήλιό της η ταχύτητα περιφοράς της γύρω από τον Ήλιο φτάνει περίπου τα 112.000 χλμ. την ώρα ενώ στο αφήλιο φτάνει περίπου τα 101.000 χλμ. την ώρα.

Το γεγονός αυτό επηρεάζει και το χρόνο που απαιτείται ανάμεσα σε δύο διαδοχικές μεσουρανήσεις, από δύο δηλαδή διαδοχικά μεσημέρια. Ο Ήλιος, στη διάρκεια ενός έτους, φτάνει να είναι καθυστερημένος στο ημερήσιο ραντεβού του με το Μεσημβρινό, ή ακόμη και να προτρέχει αυτού, έως και 16 λεπτά. Η διαφοροποίηση αυτή είναι κάθε χρόνο η ίδια για κάθε ορισμένη ημερομηνία του έτους, και ονομάζεται εξίσωση του χρόνου.

## B. ΤΥΧΑΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ.

Τα τυχαία σφάλματα είναι σφάλματα απρόβλεπτα σε μέγεθος και πρόσημο (δεν γνωρίζουμε αν είναι προσθετικά ή αφαιρετικά). Διέπονται δηλαδή από τον νόμο των πιθανοτήτων.

Π.χ. Εάν παρατηρηθεί το ύψος ενός ουράνιου σώματος, η ένδειξη μπορεί να είναι (1) πολύ μεγάλη, (2) σωστή ή (3) πολύ μικρή.

Η ποιότητα του ορίζοντα είναι διαφορετική από την μία παρατήρηση στην άλλη ή από την μία διεύθυνση στην άλλη.

Εάν γίνει ένας αριθμός ταυτόχρονων παρατηρήσεων και δεν υπάρχει συστηματικό σφάλμα, η πιθανότητα ενός θετικού σφάλματος είναι ακριβώς ίση με την πιθανότητα ενός αρνητικού σφάλματος. Η αύξηση δε της πιθανότητας σφάλματος είναι περιοδική.

Σφάλμα	Αριθμός Παρατηρήσεων	Πιθανότητα σφάλματος %
-10'	0	0,00
-9'	1	0,20
-8'	2	0,40
-7'	4	0,80
-6'	9	1,80
-5'	17	3,40
-4'	28	5,60
-3'	40	8,00
-2'	53	10,60
-1'	63	12,60
0'	66	13,20
+1'	63	12,60
+2'	53	10,60
+3'	40	8,00
+4'	28	5,60
+5'	17	3,40
+6'	9	1,80
+7'	4	0,80
+8'	2	0,40
+9'	1	0,20
+10'	0	0,00
<b>0</b>	<b>500</b>	<b>100</b>

Table 1 Φυσιολογική διανομή τυχαίων σφαλμάτων

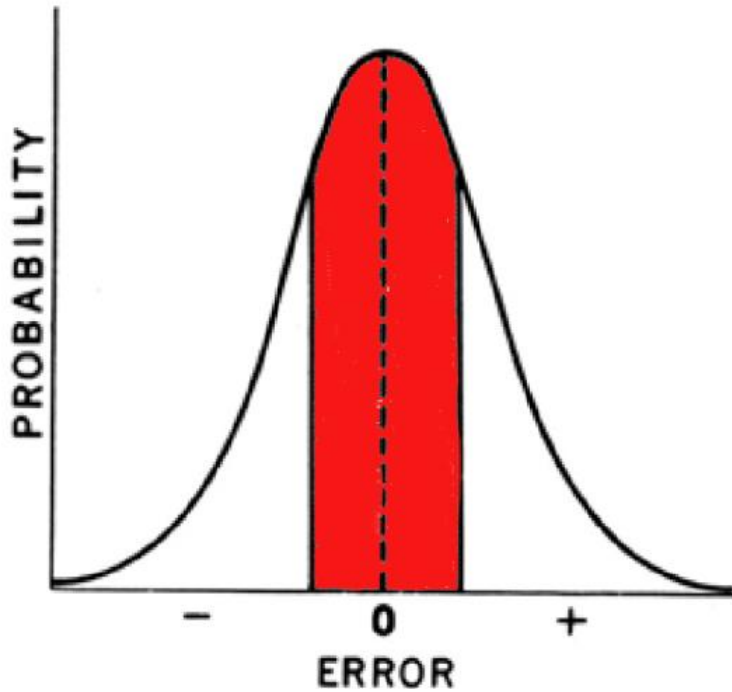


Figure 1 Γράφημα φυσιολογικής προόδου του σφάλματος με το 50% υπογραμμισμένο με κόκκινο

Εάν στον πίνακα το σύνολο των παρατηρήσεων αποτελεί το 100% τότε το ήμισυ της περιοχής με κόκκινο όπως φαίνεται στο σχήμα 1 είναι το 50% των παρατηρήσεων και παράλληλα η πιθανότητα σφάλματος στην (προκειμένη 50%).

Στις περισσότερες των περιπτώσεων αστρονομικής ναυτιλίας τα σφάλματα είναι μη περιοδικά και προσομοιάζουν γραμμική δομή.

Π.χ. Σε έναν εξάντα με κλίμακα που μπορεί να διαβαστεί με ακρίβεια 0.1' της μοίρας το σφάλμα της παρατήρησης μπορεί να είναι μεταξύ -0.05' και 0.05' και οποιαδήποτε τιμή εντός αυτών των ορίων μπορεί να συμβαίνει τότε. Συμπερασματικά η περιοχή του 100% του σφάλματος είναι το ήμισυ της διαφοράς του συνολικού σφάλματος ενώ το 50% είναι το ήμισυ αυτής της τιμής. Τα συγκεκριμένα σφάλματα ονομάζονται και σφάλματα ανάλυσης

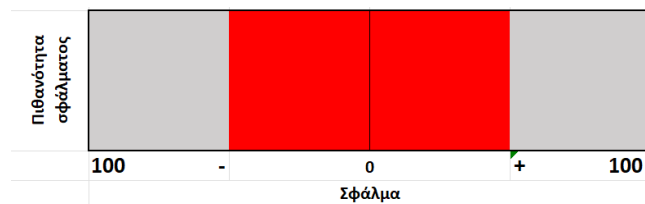


Figure 2 Γράφημα Ορθογώνιου Ποσοστού σφάλματος

## Γ. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

Πολλά από τα αποτελέσματα που λαμβάνονται στην αστρονομική ναυτιλία υπόκεινται σε περισσότερα από ένα σφάλματα. Ένας αριθμός πιθανών σφαλμάτων συστηματικών και τυχαίων σφαλμάτων εμπλέκονται στον προσδιορισμό του υπολογισμένου ύψους και άζιμουθ.

Εάν δύο ή περισσότερα σφάλματα περιέχονται στο αποτέλεσμα μιας παρατήρησης τότε το συνολικό σφάλμα τους είναι το αλγεβρικό τους άθροισμα.

## Δ. ΚΑΛΕΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ.

Σαν κανόνες καλής πρακτικής και για μεγιστοποίηση της ακρίβειας των αστρονομικών παρατηρήσεων μπορούμε να ακολουθήσουμε τα κάτωθι:

- *Λαμβάνουμε περισσότερες της μίας παρατηρήσεις για κάθε σώμα. Συλλέγοντας περισσότερα ύψη και χρησιμοποιώντας τον μέσο όρο τους μειώνουμε τις πιθανότητες σφάλματος στην λήψη και την ανάγνωση των παρατηρήσεων.*
- *Επιλέγουμε τουλάχιστον τρία σώματα με διαφορά διόπτρευσης περίπου  $120^\circ$  μεταξύ τους έτσι ώστε οι ευθείες που θα σχηματιστούν να περικλείουν έναν ολόκληρο κύκλο αμφιβολίας κι με αυτόν τον τρόπο αποκλείουμε την πιθανότητα το στίγμα από τον τριγωνισμό να βρίσκεται έξω από το τρίγωνο των ευθειών θέσεως.*
- *Επιλέγουμε τα φωτεινότερα σώματα για την λήψη παρατηρήσεων -εφόσον δεν θυσιάζουμε τον πιο πάνω κανόνα των  $120^\circ$ .*
- *Αποφεύγουμε την λήψη σωμάτων σε πολύ ψηλά ύψη ( $>80^\circ$ ) μια και το άζιμουθ τους μεταβάλλει πολύ γρήγορα με την κίνηση μας.*
- *Ελέγχουμε καλά το στίγμα αναμετρήσεως μας. Ένα κακό στίγμα αναμέτρησης μπορεί να φέρει τις ευθείες να τέμνονται έως και 60 ν.μ μακριά από το στίγμα αναμετρήσεως μας. Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιούμε την τομή από τις ευθείες ως νέο DR Lat/Long και επαναλαμβάνουμε τους υπολογισμούς χρησιμοποιώντας αυτό ως στίγμα αναμέτρησης -οπότε και η είσοδος στους πίνακες θα είναι με διαφορετικά assumed Lat/Long που όμως θα μας δώσουν καλύτερο / πλησιέστερο αποτέλεσμα (Σχήμα 3).*

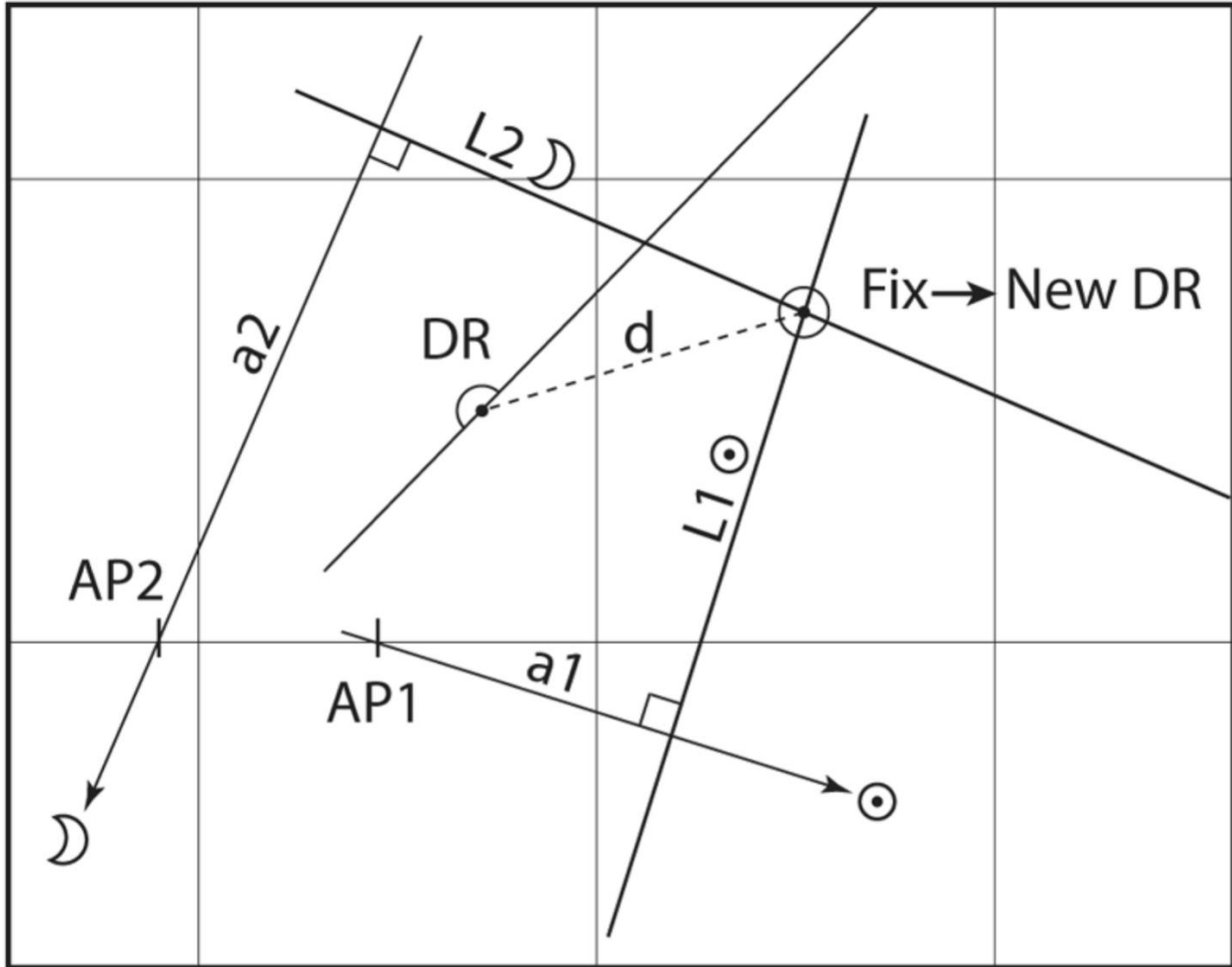


Figure 3 Η απόσταση  $d$  είναι μεγαλύτερη από  $60'$  σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιούμε το νέο στίγμα ως DR και επαναλαμβάνουμε τους υπολογισμούς.

Αν αναλογιστούμε ότι οι περισσότεροι εξάντες έχουν ένα ποσοστό ακρίβειας ανάγνωσης  $\pm 0.2$  ναυτικά μίλια και οι πίνακες μας δίνουν τιμές  $\pm 0.1$  ν.μ. καθώς κι όλοι οι πίνακες διορθώσεων (dip / altitude) μας δίνουν περίπου το ίδιο εύρος, ακόμη και αν δεν είχαμε τυχαία σφάλματα από κακή ανάγνωση της κλίμακας του εξάντα κλπ στην συμβατική αστροναυτία μπορούμε να φθάσουμε σε μία απόλυτη ακρίβεια στίγματος περίπου  $\pm 0.5$  ναυτικά μίλια και αυτό το επίπεδο ακρίβειας εξαρτάται από το πόσο ακριβείς είμαστε στον υπολογισμό της σχετικής θέσης μας.