

# Σύγχρονες και παραδοσιακές μέθοδοι παρατήρησης Διαττόντων Αστέρων



*Εικόνες 1,2: Περσείδες του 1996  
(φωτογραφική μηχανή με φακό 50mm f/2 και film Ilford XP-2,  
έκθεση 5min, Λουτράκι)*

## **Εισαγωγή:**

Ίσως το πιο χαρακτηριστικό στο πεδίο της παρατήρησης των διαττόντων αστέρων είναι ότι οι παραδοσιακές οπτικές τεχνικές παρατήρησης παραμένουν ακόμα και σήμερα το ίδιο ζωντανές. Αυτό για τον ερασιτέχνη αστρονόμο σημαίνει εύκολα μπορεί να

συμβάλει με ουσιαστικές παρατηρήσεις χωρίς ιδιαίτερο εξοπλισμό, παρά μόνο τα μάτια του... Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια όπου το επιστημονικό ενδιαφέρον στο πεδίο των διαττόντων έχει ανανεωθεί σημαντικά, έχει αρχίσει να εισάγεται νέα τεχνολογία και νέες τεχνικές από διάφορες ομάδες -ερασιτεχνών και επαγγελματιών- ανά τον κόσμο. Όμως στην Ελλάδα ελάχιστα είναι γνωστά για αυτό το πεδίο, ενώ κάθε χρόνο γίνονται ελάχιστες παρατηρήσεις, παρά τις ευνοϊκές καιρικές συνθήκες.

### Παραδοσιακές Τεχνικές Παρατήρησης:

Σαν παραδοσιακές τεχνικές παρατήρησης των διαττόντων θεωρούμε τις οπτικές και τις φωτογραφικές, με τις οπτικές βέβαια να είναι μακράν οι παλαιότερες ενώ οι φωτογραφικές έχουν ζωή περίπου μισό αιώνα.

### Οπτική παρατήρηση

Η οπτική παρατήρηση είναι ακόμα και σήμερα εξαιρετικής σημασίας γιατί μας επιτρέπει πιο εύκολα τον συσχετισμό των δεδομένων από διάφορους παρατηρητές για τον υπολογισμό της δραστηριότητας κάποιας πηγής διαττόντων. Μάλιστα το μέτρο της δραστηριότητας αυτής μετράται πάντα με βάση τον μέσο (άνθρωπο) παρατηρητή. Επίσης, δεν πρέπει να λησμονούμε ότι η οπτική μέθοδος μας έχει παράσχει μέχρι σήμερα αμέτρητες παρατηρήσεις στους ιστορικούς χρόνους, που είναι μεταξύ τους άμεσα συσχετίσιμες και μπορούν να μας δώσουν σημαντικές πληροφορίες για την δυναμική εξέλιξη και δραστηριότητα των διαφόρων πηγών μετεωροειδών. Επιπλέον ακόμα και σήμερα η οπτική παρατήρηση συνδυάζει καλύτερα από οποιαδήποτε άλλη τεχνική ένα πολύ μεγάλο οπτικό πεδίο με πολύ καλή ανιχνευτικότητα αμυδρών διαττόντων.

Ωστόσο, η οπτική παρατήρηση έχει σοβαρά μειονεκτήματα από άποψη ακρίβειας. Επειδή ένας διάττοντας γενικά διαρκεί περίπου ένα δευτερόλεπτο ή λιγότερο και πολλές φορές είναι αμυδρός, δεν είναι εύκολο να καταγράψουμε με ακρίβεια τις ποσότητες που μας ενδιαφέρουν (δηλαδή τη λαμπρότητα και την πορεία του).

Δυστυχώς η ανθρώπινη μνήμη δεν συγκρατεί καλά τέτοια φαινόμενα που διαρκούν τόσο λίγο, ενώ δεν παρέχει βέβαια και την δυνατότητα μόνιμης και αναπαράξιμης καταγραφής, όπως μια φωτογραφία. Επιπλέον, επειδή ο παρατηρητής θα πρέπει να αποφασίσει γρήγορα για το τι θα καταγράψει, η πιθανότητα σφάλματος είναι κάθε άλλο παρά αμελητέα. Εδώ βέβαια, πολύ σημαντικό ρόλο παίζει και η εμπειρία του παρατηρητή στην οπτική παρατήρηση, αφού είναι αναμενόμενο ένας έμπειρος παρατηρητής να κάνει σαφώς λιγότερα σφάλματα. Ωστόσο, αυτό είναι κάτι που γενικά δεν θέλουμε, μια και ένας επιστήμονας ιδανικά θα προτιμούσε ακριβώς ίδιους παρατηρητές, ώστε να έχει πλήρως συσχετίσιμα δεδομένα. Επίσης, δεν πρέπει να ξεχνούμε και το γεγονός ότι ένας άνθρωπος παρατηρητής, ακόμα και με πολύ δυνατή θέληση, μετά από μερικές ώρες παρατήρησης -και ειδικά σε μια περίοδο που ο οργανισμός θα έπρεπε να ξεκουράζεται- παρουσιάζει κόπωση που μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την επίδοση του.

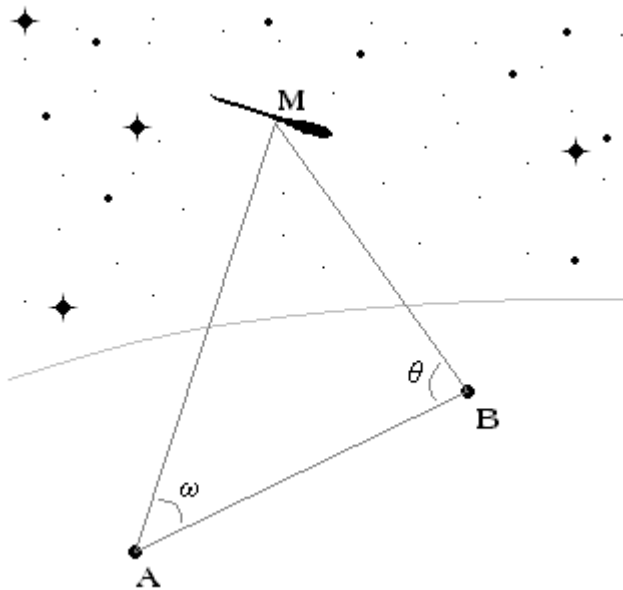
### Φωτογραφική παρατήρηση

Από την άλλη πλευρά η φωτογραφική μέθοδος ξεπερνά πολλές από τις δυσκολίες της οπτικής, αλλά με σημαντικά μειονεκτήματα που περιορίζουν την χρήση της μόνο σε μια εφαρμογή: την εύρεση τροχιών μετεωροειδών.

Ειδικότερα, αν και η φωτογραφία εξ ορισμού επιτρέπει την μόνιμη και αναπαράξιμη καταγραφή του διάττοντα, δυστυχώς δεν έχει αρκετή ευαισθησία και έτσι μόνο οι πολύ φωτεινοί διάττοντες καταγράφονται (μόνο φωτεινότεροι από 2ο μέγεθος στην καλύτερη περίπτωση). Αυτό, σε συνδυασμό με το ότι γενικά έχουμε μικρότερο οπτικό πεδίο σε σύγκριση με το μάτι, σημαίνει ότι γενικά πολύ λίγοι διάττοντες καταγράφονται, ακόμα σε όταν έχουμε υψηλή δραστηριότητα. Συνήθως χρειάζεται να τραβήξουμε πολλά καρέ για να βρούμε 1-2 διάττοντες πράγμα καθόλου αποτελεσματικό! Επίσης, αν και έχει πάρα πολύ καλή αστρομετρική ακρίβεια, δηλαδή καταγράφει εξαιρετικά καλά την τροχιά του διάττοντα στον ουρανό, δεν επιτρέπει ωστόσο την εύρεση της λαμπρότητας του διάττοντα με ούτε ικανοποιητική

ακρίβεια, ούτε εύκολα...

Αυτά τα προβλήματα δεν επιτρέπουν την χρήση της φωτογραφικής μεθόδου για τον υπολογισμό (ούτε καν την εκτίμηση) της δραστηριότητας που παρουσιάζει κάποια πηγή διαττόντων. Ωστόσο, λόγω της πολύ καλής ακρίβειας στην καταγραφή της τροχιάς η μέθοδος χρησιμοποιείται ευρέως για τον υπολογισμό της τροχιάς μετεωροειδών, πράγμα που επιτυγχάνεται με τριγωνισμό, φωτογραφίζοντας τον ίδιο διάττοντα από δύο διαφορετικούς σταθμούς παρατήρησης με σημαντική απόσταση μεταξύ τους. Με τον τριγωνισμό μπορεί να βρεθεί το ύψος του διάττοντα, η ακριβής διεύθυνση του στον χώρο και η ταχύτητα του (με χρήση ειδικών διαφραγμάτων, συνήθως περιστροφικών, που ανοιγοκλείνουν το φακό μερικές δεκάδες φορές το δευτερόλεπτο). Από αυτές τις πληροφορίες μπορεί πλέον να γίνει αρκετά ακριβής υπολογισμός της τροχιάς που ακολούθησε ο διάττοντας πριν πέσει στη Γη.



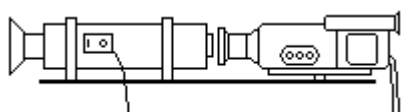
Εικόνα 3: Η βασική αρχή του τριγωνισμού είναι απλή, ξέροντας την απόσταση  $AB$  και βρίσκοντας τις γωνίες  $\omega$  και  $\theta$  από το αντίστοιχο ύψος (*altitude*) που μετρά κάθε σταθμός, όλες οι πλευρές του τριγώνου  $AMB$  μπορούν να προσδιοριστούν.

**Νέες Τεχνικές – Νέα Τεχνολογία:**

Οι πρώτη προσπάθεια εισαγωγής νέων μεθόδων για την μελέτη και καταγραφή διαττόντων ήταν με την τεχνική του ραδιοεντοπισμού διαττόντων πριν μερικές δεκαετίες. Βασικά αυτή η τεχνική βασίζεται στο γεγονός ότι οι διάττοντες δημιουργούν στο πέρασμα τους στην ατμόσφαιρα ένα ίχνος ιονισμένου υλικού που μπορεί να ανακλά ραδιοσήματα. Η ιδέα λοιπόν είναι να συντονιστεί ένας δέκτης σε κάποιο ραδιοφωνικό πομπό που βρίσκεται πολύ μακριά (πχ 500Km) και κανονικά δεν μπορεί να τον ακούσει. Όταν ένας διάττοντας πέσει στην ατμόσφαιρα, στην περιοχή μεταξύ του πομπού και του δέκτη θα ανακλαστεί το σήμα και ο δέκτης θα ακούσει για ένα μικρό χρονικό διάστημα (<1sec) τον πομπό. Αυτή η τεχνική παρά το πλεονέκτημα που έχει ότι μπορεί να ανιχνεύει διάττοντες ακόμα και την ημέρα και το γεγονός ότι μπορεί να παρέχει συγκεκριμένες καταγραφές τις δραστηριότητας, έχει αρκετά σοβαρά μειονεκτήματα. Κυρίως το ότι δεν μπορεί να βαθμονομηθεί αξιόπιστα σε σχέση με την οπτική παρατήρηση, μια και η μέθοδος είναι ευαίσθητη σε αρκετά πιο αμυδρούς διάττοντες από ότι το μάτι, ενώ τα αποτελέσματα εξαρτώνται από πολλούς παραμέτρους όπως η συχνότητα και ο προσανατολισμός της κεραίας του δέκτη, ή άλλα που δεν είναι υπό τον έλεγχο μας, όπως η γεωμετρία πομπού-διάττοντα-δέκτη. Ενώ, επιπλέον υπάρχει και η σημαντική δυσκολία στην εύρεση της λαμπρότητας των διαττόντων που καταγράφονται...

Η νεότερη τεχνική ωστόσο για την καταγραφή διαττόντων οπτικά, είναι η βιντεοσκοπήση με ειδικές κάμερες. Γενικά οι περισσότερες βιντεοκάμερες -εμπορικές και ασφαλείας- δεν έχουν την ευαισθησία για να καταγράψουν διάττοντες μια και καταγράφουν σκηνές με φωτισμό πάνω 2lux τυπικά (χρειάζεται 0.25lux για να καταγραφούν σκηνές υπό σεληνόφως με πανσέληνο). Ωστόσο, η χρήση του lux σαν μέτρηση της ευαισθησίας δεν μας βοηθά ιδιαίτερα γιατί τα άστρα και οι διάττοντες είναι σημειακές πηγές και όχι εκτεταμένες σκηνές, ενώ επιπλέον η ευαισθησία που αναφέρεται έτσι είναι συνάρτηση και του φακού που φέρει η κάμερα -εάν γενικά τοποθετηθεί ένας μεγαλύτερος σε διάμετρο φακός η ευαισθησία μπορεί να αυξηθεί αρκετά. Επειδή ωστόσο τα άστρα είναι σημειακές πηγές πολλές φορές ακόμα και

μια τέτοια κάμερα μπορεί να καταγράψει πολύ φωτεινά άστρα όπως πχ ο Vega, πάρα το γεγονός ότι η φωτεινότητα το Vega είναι  $0,000002 \text{ lux}$ ! Και αυτό γιατί το φως εστιάζεται σε μια πολύ μικρή περιοχή πάνω στον αισθητήρα CCD. Έτσι χρειάζεται πχ μια τυπική κάμερα-μινιατούρα με φακό  $6 \text{ mm f}/2$  (στις κάμερες η διαστάσεις αναφέρονται στην εστιακή απόσταση και όχι στη διάμετρο) και ευαισθησία  $1 \text{ lux}$  για την καταγραφή του Vega... Ενώ αν η ίδια κάμερα είχε ευαισθησία  $0,1 \text{ lux}$ , θα κατέγραφε άστρα μέχρι  $2,5 \text{ mag}$ .



*Εικόνα 4: Μια διάταξη με ενισχυτή ειδώλου αποτελείται από ένα φακό, τον ενισχυτή ειδώλου και μια βιντεοκάμερα (με φακό). Τέτοια συστήματα μπορεί να είναι πολύ ευαίσθητα ( $5-9 \text{ mag}$ ).*

Όμως επειδή μέχρι πριν από λίγα χρόνια δεν υπήρχαν πολλές τέτοιες κάμερες με καλή ευαισθησία πολλοί ξεκίνησαν πειραματισμούς με συστήματα που χρησιμοποιούσαν ενισχυτές ειδώλου. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν ένα φακό που προβάλλει την εικόνα του ουρανού σε ένα ενισχυτή ειδώλου και μετά μια απλή βιντεοκάμερα εστιασμένη στην οθόνη του ενισχυτή για την τελική καταγραφή της εικόνας σε βίντεο. Τέτοια συστήματα γενικά μπορούν να είναι πολύ αποτελεσματικά στην ανίχνευση διαττόντων και τυπικά μπορούν να ανιχνεύουν  $6 \text{ mag}$  με οπτικά πεδία της τάξεως των  $30$  μοιρών, ή και πιο χαμηλά γύρω στο  $9 \text{ mag}$ , αλλά με μικρό οπτικό πεδίο. Η όλη απόδοση βέβαια του συστήματος αυτού εξαρτάται από το ενισχυτή ειδώλου και τον φακό που επιλέγουμε. Τα προβλήματα που έχουμε είναι ότι οι ενισχυτές ειδώλου συνήθως απαιτούν κάποιο τροφοδοτικό υψηλής τάσεως και το γεγονός ότι οι καλοί ενισχυτές είναι πολύ ακριβοί. Συνήθως σε τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται φτηνοί ενισχυτές  $1 \text{ης}$  γενιάς που όμως εισάγουν σημαντική παραμόρφωση στο οπτικό μας πεδίο (ειδικά στις άκρες).

Ωστόσο, αν και οι CCD κάμερες δεν έχουν φτάσει ακόμα τα αντίστοιχα επίπεδα απόδοσης, υπάρχει σαφέστατη τάση βελτίωσης.

Μια προσέγγιση στο θέμα είναι η εύρεση κατάλληλου φακού που μπορεί να συγκεντρώσει περισσότερο φως, αλλά αυτό γενικά θα μας δώσει πολύ μικρό οπτικό πεδίο, ειδικά αν αναλογιστούμε τις μικρές διαστάσεις των video CCD. Για παράδειγμα, αν στην κάμερα που είδαμε στο παραπάνω παράδειγμα αντί για τον φακό 6mm f/2 βάζαμε ένα φωτογραφικό φακό 50mm f/2 τότε αντί για 2,5mag θα έφτανε 7mag! Ωστόσο, τώρα αντί για 40 μοίρες οπτικό πεδίο, θα είχαμε μόνο 5 μοίρες... Μια άλλη πιθανότητα είναι η χρήση κάποιας πιο ευαίσθητης κάμερας, αλλά υπάρχουν ελάχιστες καλύτερες από 0,1lux και αυτές πολλές φορές είναι υπερβολές του κατασκευαστή για λόγους μάρκετινγκ. Μια τέτοια κάμερα που έχει χρησιμοποιηθεί από τον συγγραφέα και μπορεί να διαβεβαιώσει για την αξία της είναι η PC23C της Supercircuits (βλέπε [www.supercircuits.com](http://www.supercircuits.com)) η οποία έχει ονομαστική ευαισθησία 0,04lux με φακό f/1,2. Σε αυτή έχω προσαρμόσει φακό 6mm f/1,2 που δίνει οπτικό πεδίο περίπου 40×30μοίρες. Αν το νούμερο του κατασκευαστή είναι αληθές θα πρέπει η κάμερα να μπορεί να ανιχνεύσει ~5mag αστέρια (και διάττοντες), ωστόσο αυτό δεν μπορώ να το επιβεβαιώσω, αν και πιστεύω ότι είναι αληθές. Μέσα από την Αθήνα έχω διαπιστώσει ότι καταγράφει άστρα μέχρι 3,5-4mag, ενώ σε δύο περιπτώσεις που την δοκίμασα εκτός Αθηνών (Λεοντίδες και Περσίδες 2000), δυστυχώς υπήρχε πανσέληνος και το αποτέλεσμα ήταν το ίδιο...

Νομίζω ωστόσο, ότι παρά το γεγονός ότι μια τέτοια κάμερα δεν φτάνει το ιδανικό 6-7mag, έχει πολλές δυνατότητες και μια ικανοποιητική ευαισθησία. Είναι δυνατόν κανείς με μια τέτοια κάμερα να κάνει αρκετές εργασίες με άμεσο επιστημονικό ενδιαφέρον, όπως:

- Καθημερινή καταγραφή δραστηριότητας διαττόντων γνωστών πηγών – πιθανή εύρεση νέων
- Τριγωνισμός – εύρεση τροχιών και αμυδρών διαττόντων
- Καταγραφή φάσματος φωτεινών διαττόντων (>4mag)
- Φωτομετρία διαττόντων – εύρεση ρ (population index) και πιθανές ανωμαλίες

Βέβαια όλα αυτά για να γίνουν θέλουν σίγουρα κατάλληλο

λογισμικό που σε μερικές περιπτώσεις υπάρχει, ενώ στις περισσότερες όχι. Για την επεξεργασία ωστόσο των καταγραφών βίντεο σίγουρα υπάρχει η ανάγκη για λογισμικό εύρεσης διαττόντων από κασέτες βίντεο. Τέτοιο λογισμικό υπάρχει και μπορεί κανείς να το προμηθευτεί δωρεάν από το IMO, ωστόσο αυτό το λογισμικό κάνει την ανίχνευση των διαττόντων από το βίντεο σήμα σε πραγματικό χρόνο και απαιτεί γρήγορο υπολογιστή και συγκεκριμένη κάρτα grabber. Επιπλέον κάτι που πρέπει να έχουμε υπόψη μας είναι ότι τέτοια προγράμματα πολλές φορές δεν έχουν 100% επιτυχία στην ανίχνευση των διαττόντων (συγκρινόμενα με άνθρωπο που βλέπει τις κασέτες) και για το συγκεκριμένο πρόγραμμα δίνεται ποσοστό επιτυχίας ~80%. Ωστόσο, αν έχουμε δεκάδες πολύωρες παρατηρήσεις, δεν είναι ανθρωπίνως δυνατόν να δούμε όλες τις κασέτες για να βρούμε τους διάττοντες.