

Φωτομετρία με χρήση CCD

Βαγγέλης Τσάμης

Αστρονομική Ένωση Σπάρτης

International Occultation Timing Association, European Section, IOTA-ES

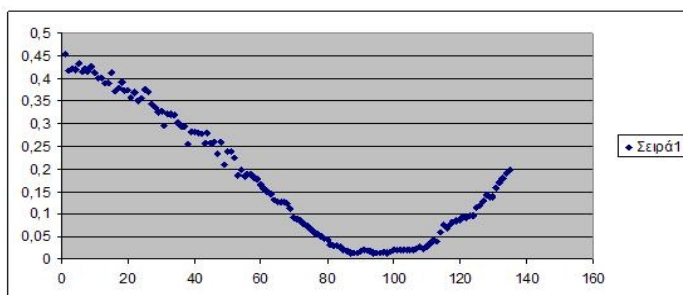
American Association of Variable Star Observers, AAVSO

vtsamis@aegean.gr

Το παρόν εγχειρίδιο περιλαμβάνει μερικές από τις βασικές έννοιες της φωτομετρίας και αποτελεί έναν πρακτικό οδηγό για τον ερασιτέχνη αστρονόμο ή αστροφωτογράφο που θέλει να ασχοληθεί με τη μέθοδο της διαφορικής φωτομετρίας.

Γιατί φωτομετρία;

Η φωτομετρία είναι μέτρηση. Είναι μια μέθοδος συλλογής στοιχείων για το τρόπο και το ρυθμό μεταβολής του φωτός, σε συνάρτηση με το μήκος κύματος, που μας στέλνουν τα αστέρια, οι πλανήτες, οι αστεροειδείς, κ.λ.π., σε διάφορες κλίμακες χρόνου (που ποικίλουν από μερικά δευτερόλεπτα έως και αρκετά έτη, αναλόγως του αντικειμένου και του φαινομένου που μελετάμε) με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη φύση των υπό εξέταση ουρανίων σωμάτων. Η μετρούμενη ποσότητα είναι τα φωτόνια. Συσκευή μέτρησης και καταγραφής των φωτονίων είναι η απλή CCD κάμερα που διαθέτει ο ερασιτέχνης αστρονόμος. Σήμερα, οι ερασιτέχνες αστρονόμοι μπορούν να συμβάλλουν με τον εξοπλισμό τους στη συλλογή πολύτιμων δεδομένων για την αστρονομική κοινότητα. Ο ερασιτέχνης συλλέγει τα δεδομένα, ο επιστήμονας αναλύει τα δεδομένα. Τα δεδομένα της φωτομετρίας κατά κανόνα παρουσιάζονται σε διάγραμμα καμπύλης φωτός, όπου στον έναν άξονα αποτυπώνεται η ποσοτική ή η ποσοστιαία μεταβολή της ενέργειας από τη φωτεινή πηγή-στόχο ως συνάρτηση του αριθμού και του είδους των φωτονίων που καταγράφονται από τον αισθητήρα του CCD, και στον άλλο άξονα ο ακριβής χρόνος στον οποίο συντελείται αυτή η μεταβολή.



Τμήμα καμπύλης φωτός του αστέρα V1128 Tauri - εκλειπτικός διπλός αστέρας τύπου W UMA, με σύντομη περίοδο, περίπου 7.2 ώρες και μεταβολή μεγέθους ~1 mag. Θ. Δούβρης

Όσον αφορά τους μεταβλητούς αστέρες, η φωτομετρία π.χ. των εκλειπτικών μεταβλητών αποκαλύπτει τη φυσική και τη γεωμετρία του διπλού αστρικού συστήματος, όπως είναι ο λόγος των

μαζών των αστέρων, οι θερμοκρασίες τους, η πιθανή ύπαρξη σκοτεινών ή φωτεινών κηλίδων στην επιφάνεια κάποιου αστέρα, κ.α.

Στο ηλιακό σύστημα, η καμπύλη φωτός που προκύπτει από την περιστροφή ενός αστεροειδούς αποτελεί ένδειξη για το γεωμετρικό σχήμα του. Η καμπύλη φωτός κατά την απόκρυψη αστέρων από το Δία ή άλλους πλανήτες που διαθέτουν έστω και λεπτή ατμόσφαιρα, βοηθά στην εξαγωγή στοιχείων για τη δομή της ατμόσφαιρά τους και το ποσοστό σκόνης που περιέχεται σε αυτήν, ή ακόμα και για τους ανέμους που πνέουν στην επιφάνεια. Στα αμοιβαία φαινόμενα (αμοιβαίες αποκρύψεις και εκλείψεις μεταξύ δορυφόρων των μεγάλων πλανητών) η καμπύλη φωτός που παράγεται αποτελεί ακριβέστατη μέθοδο προσδιορισμού της αστρομετρικής θέσης των

δορυφόρων, με συνέπεια τη βελτίωση των πλανητικών μοντέλων που περιγράφουν τις τροχιές στο ηλιακό μας σύστημα.

Πάνω απ' όλα όμως, για τον ερασιτέχνη αστρονόμο η φωτομετρία είναι μια απολαυστική ενασχόληση, μπορεί να γίνει από τον καθένα μας που διαθέτει τηλεσκόπιο και CCD κάμερα, προσφέρει μεγάλες χαρές και συγκινήσεις, επιφυλάσσει εκπλήξεις και είναι ένας τομέας με ανεξάντλητη ποικιλία στόχων, τόσο αστρικών όσο και πλανητικών!

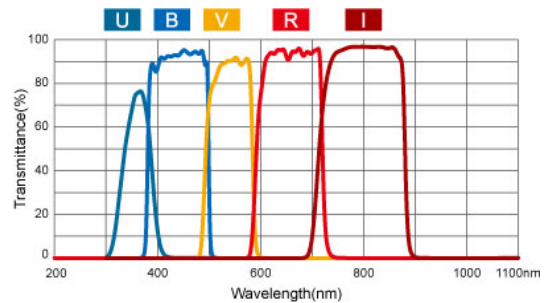
Συστήματα μέτρησης λαμπρότητας αστερών – Σύστημα U-B-V-R-I και φωτομετρικά φίλτρα

Στη δεκαετία του '50 οι Johnson & Morgan επινόησαν το UBV, το πρώτο φωτομετρικό σύστημα, που βασίζεται σε χρήση τριών φίλτρων, με επίκεντρο τις τρεις φασματικές περιοχές στο υπεριώδες, στο μπλε και στο οπτικό αντίστοιχα (V=visual), και παράλληλα τον ορισμό 10 προτύπων αστερών, με τρόπο ώστε η φωτογράφιση οποιουδήποτε αστερά με αυτά τα τρία φίλτρα να μπορεί να τον χαρακτηρίσει μοναδικά και με τρόπο ομοιόμορφο και συγκρίσιμο για όλους τους παρατηρητές.

Στη δεκαετία του '70 ο Cousins βελτίωσε το σύστημα με την προσθήκη δύο ακόμα φασματικών περιοχών και των αντίστοιχων σταθμισμένων φίλτρων: το ερυθρό Rc και το υπέρυθρο Ic. Το 1990 ο



Bessell πρότεινε και κατασκεύασε μια νέα σειρά φωτομετρικών φίλτρων, με τα οποία μπορούσαν να γίνουν οι απαραίτητοι μετασχηματισμοί, ώστε να ανάγονται οι μετρήσιμες τιμές με τα νεοεμφανισθέντα τότε CCD στο σύστημα Johnson- Cousins. Τέλος, ο Landolt το 1992, πρότεινε την τελική τυποποίηση για το καθιερωμένο πλέον σύστημα UBVRcIc, με τη δημοσίευση ενός έργου αναφοράς, μιας εκτεταμένης λίστας με φωτομετρικά στοιχεία πολλών αστερών, σύμφωνα με το πρότυπο αυτό.



Διαφορική (differential) και απόλυτη (all sky) φωτομετρία

Η φωτομέτρηση αστερών που κάνει κανείς με το δεδομένο εξοπλισμό του, δηλαδή το συνδιασμό τηλεσκοπίου, CCD και φίλτρου, δεν είναι τίποτε άλλο από μια τιμή pixel που καταγράφεται με το συγκεκριμένο συνδιασμό οργάνων. Αυτή η τιμή λέγεται “raw instrumental magnitude”. Ο ορισμός ενός πρότυπου συστήματος «χρωμάτων» όπως το UBVRcIc πιο πάνω και των αντίστοιχων προτύπων αστερών από τους καταλόγους, σημαίνει ότι εάν μετρήσει κανείς τις τιμές λαμπρότητας των αστερών αυτών με το συγκεκριμένο εξοπλισμό που διαθέτει και συγκρίνει τις τιμές αυτές με τις τιμές των αστερών που φωτομέτρησε, προκύπτουν οι λεγόμενοι μετασχηματισμοί, μια σειρά εξισώσεων δηλαδή που περιγράφουν τη σχέση του raw instrumental magnitude με το μέγεθος των αστερών στο σύστημα UBVRcIc. Με την εφαρμογή αυτών των μετασχηματισμών, καθίσταται δυνατόν να αναχθούν τα δεδομένα των παρατηρήσεων σε μια κοινή –απόλυτη- βάση, και έτσι να είναι άμεσα συγκρίσιμα. Η μέθοδος αυτή καλείται απόλυτη φωτομετρία ή all-sky photometry, διότι για να φωτομετρήσει κανείς έγκυρα και αξιόπιστα κάποιον αστερά πρέπει παράλληλα να στρέφει το τηλεσκόπιό του σε διάφορες περιοχές του ουρανού για να πάρει μετρήσεις από ικανό αριθμό προτύπων αστερών, ώστε να απαλειφθούν τόσο οι επιδράσεις της ατμόσφαιρας ανάλογα με την ύψωση των μετρούμενων αστερών

(extinction), όσο και οι μεταβαλλόμενες συνθήκες seeing, κλπ. Είναι η πιο δύσκολη και απαιτητική εφαρμογή της φωτομετρίας.

Αντίθετα, η διαφορική φωτομετρία είναι η μέθοδος με την οποία μετρώνται και συγκρίνονται μεταξύ τους τιμές αστέρων στο ίδιο πεδίο, επομένως με κάποια καλή προσέγγιση θεωρείται ότι απαλείφονται ως ισότιμες οι επιδράσεις της ατμόσφαιρας και του seeing.

Μεθοδολογία καταγραφής – Διαφορική φωτομετρία

1. Επιλογή στόχου

Επιλέγουμε τον αστέρα στόχο που μας ενδιαφέρει και μελετούμε προσεκτικά τους χάρτες που είναι διαθέσιμοι (πχ AAVSO, AFOEV) για την εξοικείωση με το πεδίο καθώς και τους αστέρες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αστέρες συγκρίσεως και αστέρες ελέγχου. Υπάρχουν επίσης freeware προγράμματα με τα οποία γίνεται πρόγνωση των χρόνων ελαχίστου ή/και των διαφόρων φάσεων της περιόδου μεταβολής των διαφόρων τύπων μεταβλητών αστέρων, πχ για βραχυπερίοδους εκλειπτικούς μεταβλητούς συνίσταται το πρόγραμμα EB_Min (http://www.aavso.org/data/software/EB_Min23.zip). Όταν έχουμε τον αναμενόμενο χρόνο ελαχίστου (time of minimum) για τον αστέρα που έχουμε επιλέξει, ξεκινάμε τις λήψεις 1-2 ώρες πριν και συνεχίζουμε έως και 1 ή 2 ώρες μετά το χρόνο αυτό. Στην περίπτωση που επιθυμούμε να καταγράψουμε όλη την περίοδο του μεταβλητού, συνεχίζουμε τις λήψεις για όσο το επιτρέπει η βραδιά (και τα κουράγια μας).

2. Εστίαση

Σημαντική! Όλοι μας έχουμε εμπειρίες αμέτρητων βραδιών αστροφωτογράφισης όπου συνηδητοποιήσαμε ότι κάθε δευτερόλεπτο που αφιερώνουμε στη σωστή εστίαση του πεδίου μας αποδίδει εις το πολλαπλάσιο τον κόπο και το χρόνο που αφιερώσαμε. Ωστόσο, στη φωτομετρία υπάρχουν περιπτώσεις που η εστίαση έρχεται σε δεύτερη μοίρα, προκειμένου να εξασφαλίσουμε ευμεγέθη και πιο εύκολα μετρήσιμα αστρικά είδωλα.

3. Δειγματοληψία (sampling)

Το θέμα αυτό είναι γνώριμο στους αστροφωτογράφους βαθέος ουρανού. Ο σωστός συνδιασμός του τηλεσκοπίου μας και του αισθητήρα CCD θα δώσει το κατάλληλο pixel scale στις λήψεις μας. Τα περισσότερα εγχειρίδια φωτομετρίας συνιστούν image scale 2 arcseconds/pixel, χωρίς όμως να θεωρείται αυτό ως θέσφατο. Φωτομετρία γίνεται και με 5 arcseconds/pixel. Το ζητούμενο, σύμφωνα με το κριτήριο του Nyquist, είναι το φως των αστεριών από το δίσκο του Airy (στο FWHM) να κατανέμεται σε δύο pixels του αισθητήρα. Εάν πχ το τηλεσκόπιό μας έχει πολύ μικρό εστιακό λόγο, τα αστρικά είδωλα θα είναι μικρά. Όλο το φως του αστέρα πέφτει σε 2-3 pixels (undersampled). Μία λύση που ακολουθείται στη φωτομετρία είναι να αφεστιάσουμε ελαφρώς το είδωλο του αστέρα, ώστε να απλωθεί το φως του σε περισσότερα pixels. Μπορεί το αισθητικό αποτέλεσμα να μη φαίνεται ωραίο, αλλά έτσι εξασφαλίζουμε πιο αξιόπιστες μετρήσεις και για τη φωτομετρία μεγαλύτερη σημασία έχει η σωστή και έγκυρη μέτρηση. Εάν το image scale είναι πολύ μεγάλο (oversampling), δε συνίσταται να παρεμβάλλουμε μειωτές εστιακού λόγου (focal reducer), κάτι που προκαλεί vignetting, παρά μόνο εάν δουλεύουμε με αστέρες στο κέντρο ή πολύ κοντά στο κέντρο του πεδίου. Για εφαρμογές αστρομετρίας οι focal reducers απαγορεύονται.

4. Χρόνος έκθεσης

Ο χρόνος έκθεσης για τον κάθε στόχο εξαρτάται από τη λαμπρότητά του και από τις δυνατότητες του εξοπλισμού μας (χαρακτηριστικά τηλεσκοπίου και CCD) καθώς βέβαια και από τη φασματική περιοχή καταγραφής: χρειάζεται πολύ περισσότερος χρόνος έκθεσης στο B, πόσο μάλλον στο U, παρά στο V ή το R για τους περισσότερους αστέρες. Το ζητούμενο είναι ο στόχος και οι υπόλοιποι αστέρες που μας ενδιαφέρουν να αποτυπωθούν με ικανοποιητικό λόγο σήματος προς θόρυβο (SNR) και παράλληλα η μέγιστη τιμή των pixel να μην υπερβαίνει την περιοχή όπου διατηρείται η γραμμικότητα στην απόκριση του αισθητήρα. Συνήθως για 16bit κάμερες είναι ασφαλές να σταματάμε στα 20.000 – 30.000 counts (όπου η μέγιστη δυνατή τιμή είναι 65.536). Το blooming απαγορεύεται ρητά για τους υπό φωτομέτρηση στόχους ή τους αστέρες ελέγχου. Σε ακραίες περιπτώσεις, εάν ο στόχος που μας ενδιαφέρει είναι πολύ αμυδρός σε σχέση με τους διαθέσιμους αστέρες συγκρίσεως και ελέγχου, είναι προτιμώτερο να πάρουμε πολλαπλές λήψεις και να τις στακάρουμε, έστω και αν είναι χρονοβόρα αυτή η διαδικασία, παρά να «κάψουμε» από υπερέκθεση κάποιο αστέρι αναφοράς. Έτσι μάλιστα αυξάνεται ο λόγος SNR. Γενικά το SNR είναι καλό να κυμαίνεται γύρω στο 100. Σε κάποιες περιπτώσεις φθάνει ή ξεπερνά και την τιμή 500. Δεν είναι όμως δυνατό να έχουμε πάντα τέτοιες τιμές, και πολλοί στόχοι βγαίνουν –ανάγκα και θεοί πείθονται– και με SNR αρκετά μικρότερο του 100.

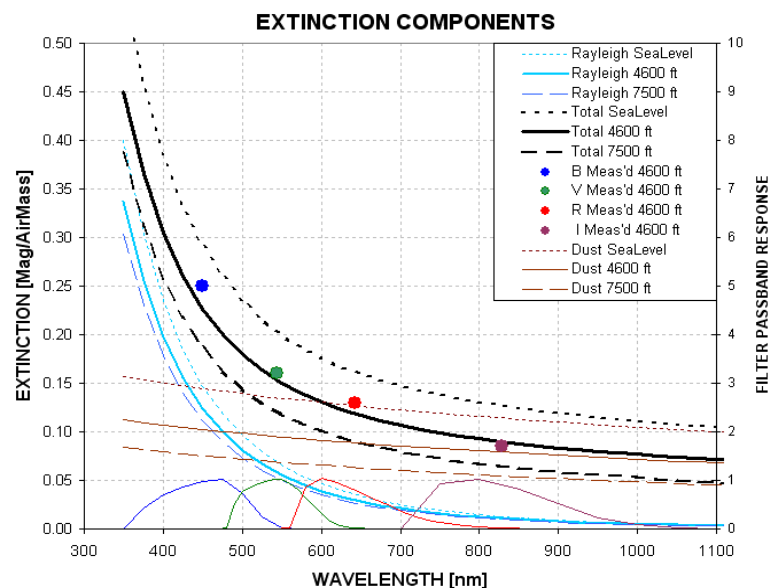
4. Calibration

Σωστό calibration γίνεται με λήψη dark frames, flat fields και bias frames. Ένα ακόμα κοινό σημείο με την αστροφωτογράφιση deep sky. Για τους ίδιους που η λήψη dark frames, flat fields και bias frames είναι απαραίτητη στην αστροφωτογράφιση για να βγει ένα ωραίο αισθητικά αποτέλεσμα deep sky στόχου, είναι επίσης απαραίτητη και στη φωτομετρία ώστε οι μετρήσεις να είναι έγκυρες και αξιόπιστες. Για φωτομετρία της τάξης ακρίβειας του 0.01% ο λόγος σήματος προς θόρυβο των flats μας πρέπει να είναι όχι μικρότερος από 500.

5. Περιορισμός της επίδρασης της ατμόσφαιρας.

Η μείωση / μερική κατάσβεση (extinction) του αστρικού φωτός εξαιτίας της ατμόσφαιρας είναι ένα από τα θέματα που λαμβάνονται σοβαρά υπόψη στη φωτομετρία. Για να περιορίσουμε όσο γίνεται τον παράγοντα αυτόν συνίσταται να καταγράφουμε το στόχο μας όσο αυτός είναι ψηλά στον ουρανό, συνήθως πάνω από τις 30° από τον ορίζοντα. Χαμηλότερα, ο ρυθμός μεταβολής του extinction αυξάνεται από γρήγορα ως ραγδαία. Είναι ιδιαίτερα

ενδιαφέρον το ότι αν κανείς επιχειρήσει να παράγει την «καμπύλη» φωτός ενός σταθερού σε λαμπρότητα αστέρα (μη μεταβλητού) καθώς ο αστέρας υψώνεται ή βυθίζεται, δεν θα είναι ευθεία, όπως ίσως να ανέμενε κανείς, αλλά καμπύλη με μεταβαλλόμενη κλίση, ανάλογα με το



πάχος της ατμόσφαιρας που το «σταθερό» φως έχει να διανύσει! Μάλιστα η κλίση της καμπύλης εξαρτάται από το χρώμα του αστέρα. Τα αστέρια μπλε χρώματος επηρεάζονται περισσότερο από τα ερυθρά αστέρια, καθώς σύμφωνα με τις ιδιότητες διάθλασης του φωτός, όσο μικρότερο μήκους κύματος είναι η ακτινοβολία τόσο περισσότερο κάμπτεται. Το πρόβλημα αυτό μπορεί μεν να αντιμετωπιστεί κατά την επεξεργασία και την φωτομετρική ανάλυση των δεδομένων αργότερα, είναι όμως δύσκολη και χρονοβόρος διαδικασία. Σε περιπτώσεις αστρονομικών φαινομένων που πρέπει να παρατηρηθούν συγκεκριμένη ώρα και από συγκεκριμένο τόπο, όπου δε μπορεί να αναβληθεί η παρατήρηση, ακολουθείται ο δύσκολος δρόμος.

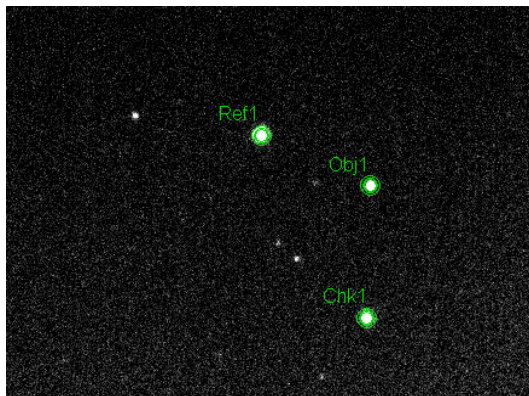
7. Χρήση φίλτρων

Η χρήση φίλτρων στη φωτομετρία είναι σχεδόν ο απόλυτος κανόνας. Τα φωτομετρικά φίλτρα U-B-V-R-I έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η ομοιομορφία και η πληρότητα της καταγραφής του φωτός από τους αστέρες σε όλο το φάσμα συχνοτήτων από το υπεριώδες έως το υπέρυθρο, ώστε κατ' αρχήν να είναι συγκρίσιμες οι μετρήσεις των διαφόρων παρατηρητών μεταξύ τους, αλλά και επιπλέον να μπορεί να αναχθούν οι τιμές των μετρήσεων στον ίδιο αστέρα με διαφορετικού χρώματος φωτομετρικά φίλτρα σε συμπεράσματα για τις εγγενείς ιδιότητες του αστέρα (απόλυτη φωτομετρία). Σε εξαιρετικές περιπτώσεις, όταν δε μπορεί να γίνει αλλιώς, η φωτομετρία χωρίς τη χρήση φίλτρων γίνεται μεν δεκτή, αλλά υπό προϋποθέσεις και περιορισμούς, σαν ένδεικτική περιγραφή του υπό εξέταση φαινομένου.

Μεθοδολογία επεξεργασίας - παραγωγή καμπύλης φωτός

Η επεξεργασία και η παραγωγή καμπύλης φωτός από τα δεδομένα που συλλέχτηκαν γίνεται με προγράμματα που λίγο-πολύ όλοι οι αστροφωτογράφοι γνωρίζουν, όπως το MaximDL και το AIP4WIN, το Mira, κα. Υπάρχουν επιπλέον και αξιοπρεπή προγράμματα που διατίθενται ελεύθερα στο διαδίκτυο (freeware) όπως το SalsaJ και άλλα.

Η πορεία της επεξεργασίας είναι σε γενικές γραμμές η εξής: Το πρώτο πράγμα που κάνουμε είναι να εφαρμόσουμε διορθώσεις με dark frames, flat fields και ενδεχομένως με bias frames. Η διαδικασία αυτή λέγεται calibration, και αποτελεί την απαραίτητη προεργασία πριν περάσουμε στο κυρίως στάδιο της φωτομετρίας. Το alignment δεν είναι τόσο ουσιαστικό και μπορεί μάλιστα να μη γίνει και καθόλου σε κάποιες περιπτώσεις, όπου η φωτομετρία γίνεται χειροκίνητα. Η καθαυτή φωτομέτρηση ξεκινάει απλά με τρία κλικ του ποντικιού με τον ορισμό του προς μέτρηση στόχου (variable star), ενός ακόμα αστέρα συγκρίσεως (comparison star) και ενός τρίτου αστέρα, του αστέρα ελέγχου (check star).



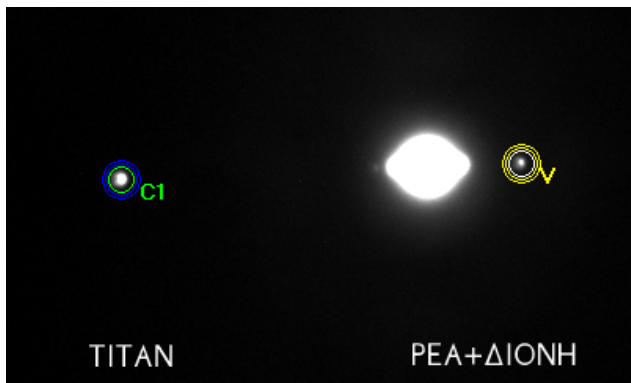
Μεταβλητός αστέρας RR Geminorum (Obj1) τύπου RR Lyrae, αστέρας ελέγχου (Ref1) και αστέρας αναφοράς (Chk1)

Αυτός ο ορισμός πρέπει να γίνει σε όλα τα frames. Υπάρχουν εδώ δύο δυνατότητες: είτε να ορίσουμε τους στόχους μας σε ένα πρώτο frame και να ζητήσουμε από το πρόγραμμα προχωρήσει στον καθορισμό των αντίστοιχων αστέρων σε όλα τα frames αυτόματα, εφόσον οι λήψεις μας είναι κεντραρισμένες ή έχει εφαρμοστεί align, είτε να

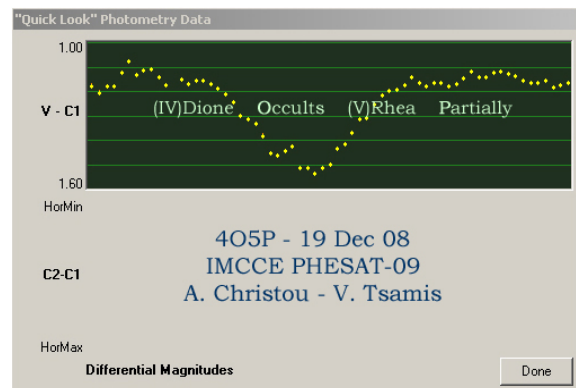
προχωρήσουμε χειροκίνητα στον ορισμό των τριών στόχων σε κάθε ένα frame ξεχωριστά. Και οι δύο αυτές μέθοδοι υποστηρίζονται τόσο από το MaximDL όσο και από το AIP4WIN. Εδώ πρέπει να προσέξουμε το εξής: Κάνοντας κλικ σε ένα άστρο εμφανίζονται τρεις ομόκεντροι κύκλοι που περιβάλλουν το άστρο και ορίζουν τις περιοχές των pixel οι τιμές των οποίων θα μετρηθούν από το πρόγραμμα κατά την αυτοματοποιημένη διαδικασία της φωτομέτρησης. Ο εσωτερικός κύκλος (aperture) που περιβάλλει το άστρο μετράει το σύνολο των τιμών για τη φωτεινότητα του αστέρα, αλλά αναγκαστικά συμπεριλαμβάνει και τις τιμές των pixel που οφείλονται στη φωτεινή ενέργεια του υποβάθρου (του ουρανού). Οι τιμές των pixel που οφείλονται στο υπόβαθρο μετρώνται στον εξωτερικό δακτύλιο (sky annulus) και αυτόματα αφαιρώνται από τις τιμές του εσωτερικού κύκλου. Έτσι το πρόγραμμα κρατάει τις τιμές που μας ενδιαφέρει: τις τιμές των pixel που οφείλονται αποκλειστικά στο μετρούμενο άστρο. Ο εσωτερικός δακτύλιος είναι ουδέτερος. Δυσκολίες προκύπτουν όταν τα μετρούμενα άστρα είναι σε πυκνοκατοικημένη περιοχή του ουρανού, οπότε ξένα άστρα μπορεί να βρεθούν στον εσωτερικό κύκλο (διάφραγμα) ή στον εξωτερικό δακτύλιο που μετρά το υπόβαθρο. Αυτό επηρεάζει τα αποτελέσματα της φωτομετρίας, και πρέπει το κατά δυνατόν να αποφεύγεται.

Ο συνήθης τρόπος είναι να μικρύνουμε τη διάμετρο των τριών κύκλων: aperture, inner annulus, outer annulus, όχι όμως τόσο πολύ ώστε το φως του αστέρα να πέφτει έξω από το διάφραγμα, διότι και πάλι τα αποτελέσματα τείνουν να χάνουν την ακρίβειά τους. Όταν έχουμε ικανοποιητικά ορίσει τους αστέρες προς μέτρηση, το πρόγραμμα αναλαμβάνει να συνεχίσει με την τελική επεξεργασία και την εμφάνιση της καμπύλης φωτός που προκύπτει. Παράλληλα, τα δεδομένα της φωτομετρίας που προκύπτουν καταγράφονται σε πίνακα, σε μορφή συνήθως .CSV, και είναι αναγνώσιμα από προγράμματα όπως το Microsoft Excel. Το Excel χρησιμοποιείται ευρέως για να επεξεργαστούμε ενδεχομένως περαιτέρω τα δεδομένα της φωτομετρίας και να τα αναπαραστήσουμε με διαγράμματα.

Παράδειγμα διαφορικής φωτομετρίας (Saturn 4O5P):



Αμοιβαία απόκρυψη της Ρέας από τη Διόνη,
Saturn 4O5P στις 19/12/2008
Πηγή-στόχος(V)= Διόνη+Ρέα, πηγή ελέγχου(C1)=
Τιτάν. Ο Κρόνος είναι υπερεκτεθειμένος, αλλά αυτό δεν
επηρεάζει τη φωτομετρία των δορυφόρων.



Καμπύλη φωτός 4O5P, μετά από την
επεξεργασία των φωτομετρικών σημείων στη
διπλανή εικόνα.
Βαγγέλης Τσάμης & Απόστολος Χρήστου

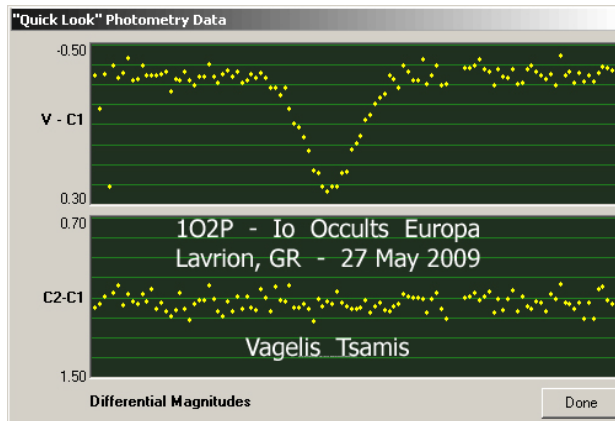
Η παρατήρηση έγινε με το διαμέτρου 0,4μ (16") καταδιωπτικό τηλεσκόπιο MEADE LX200-R f/10 στο αστεροσκοπείο της ΕΑ. Έγιναν λήψεις ψηφιακών απεικονίσεων CCD στο εγγύς υπέρυθρο τμήμα του φάσματος με φωτομετρικό φίλτρο Bessell Johnson-Cousins I(s). Οι λήψεις έγιναν με τη χρήση του

λογισμικού Artemis Capture CCD, το οποίο συνοδεύει την κάμερα ATIK 16-HR. Ομαδοποίηση εικονοστοιχείων (pixel binning) 3X3. Ο συνδυασμός του τηλεσκοπίου και του αισθητήρα CCD μας έδωσαν τα εξής χαρακτηριστικά: κλίμακα (image scale) = 0.93 arcsec/pixel, οπτικό πεδίο 6,68 x 5,37 arcmin.

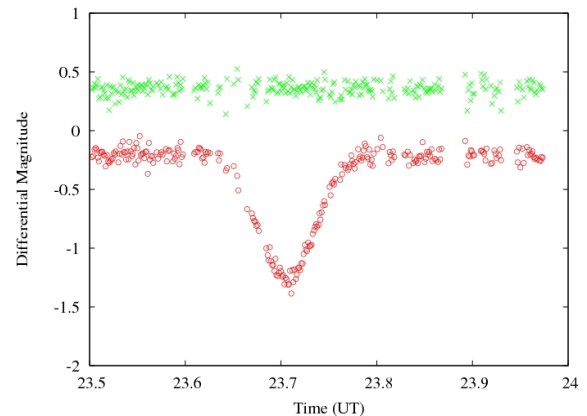
Έγιναν 63 λήψεις, διάρκειας (exposure time) 30 sec μεταξύ UT 01:51:20 και UT 2:25:26

Χρησιμοποιήσαμε διάφραγμα (aperture) ακτίνας 9 pixel για τη φωτομέτρηση των πηγών και δακτύλιο εσωτερικής ακτίνας 12 και εξωτερικής 16 pixel για τη φωτομέτρηση του υποβάθρου και αφαίρεσή του από τις τιμές των πηγών.

Άλλα παραδείγματα:



Καμπύλη φωτός - Απόκρυψη της Ευρώπης από την Ιώ
27/05/2009 - Βαγγέλης Τσάμης



Καμπύλη φωτός - Εκλειψη της Ευρώπης από την
Ιώ 08/09/2009 - Απόστολος Χρήστου

Πηγές

Berry, R. & Burnell, J. “*The Handbook of Astronomical Image Processing*”, Willmann-Bell, 2nd edition, 2006.

Henden, A. & Kaitchuck, R. “*Astronomical Photometry*”, Willmann-Bell, 1990.

Howell, S.B. “*Handbook of CCD Astronomy*”, Cambridge University Press, 2nd edition, 2006.

Johnson, H.L. & Morgan, W.W. “*Fundamental stellar photometry for standards of spectral type on the revised system of the Yerkes spectral atlas*”, The Astrophysical Journal, vol. 117, no.3, May 1953, p. 313-352.

Landolt, A.U. “*UBVRI photometric standard stars in the magnitude range 11.5-16.0 around the celestial equator*”, Astronomical Journal, vol. 104, no. 1, July 1992, p. 340-371, 436-491.

Warner, B.D. “*Lightcurve Photometry Analysis*”, Springer, 2006.

Τσάμης, Β. & Χρήστου Α. “*Αμοιβαία φαινόμενα (αποκρύψεις και εκλείψεις) μεταξύ των δορυφόρων του πλανήτη Κρόνου: Η καταγραφή των γεγονότων 405P (19/12/08) και 302P (24/12/08) στο πλαίσιο της παρατηρησιακής εκστρατείας PHEMAT-09 (IMCCE)*”, πρακτικά 6ου ΠΣΕΑ, Αλεξανδρούπολη, 2009, σελ. 259-269.

<http://www.astrosynedrio.gr/praktika.pdf>

AAVSO: <http://www.aavso.org/>

AFOEV: <http://cdsweb.u-strasbg.fr/afoev/>