

AAVSO

Εγχειρίδιο για την παρατήρηση με κάμερα DSLR



AAVSO
49 Bay State Road
Cambridge, MA 02138
email: aavso@aavso.org

Version 1.3
Copyright 2014 AAVSO
ISBN 978-1-939538-50-5

Sponsored by the AAVSO & NSF award DRL-0840188



Πρόλογος

Αυτό το εγχειρίδιο είναι βασική εισαγωγή και οδηγός χρήσης μιας κάμερας DSLR για παρατηρήσεις μεταβλητών αστερών. Στοχεύει σε επίπεδο αναγνωστών που κυμαίνεται από αρχάριο ως μέσης εμπειρίας αν και αρκετοί προχωρημένοι παρατηρητές θα βρουν χρήσιμα τα περιεχόμενα του.

Το Εγχειρίδιο Παρατηρήσεων με DSLR δημιουργήθηκε με αφορμή το μεγάλο ενδιαφέρον για φωτομετρία με DSLR που παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια του προγράμματος της AAVSO "Citizen Sky". Οι καταναλωτικές συσκευές απεικόνισης εξελίσσονται γρήγορα κι έτσι επιλέξαμε να γράψουμε το εγχειρίδιο όσο πιο γενικής μορφής γίνεται και μετακινήσαμε θέματα σχετικά με λογισμικό ή με συγκεκριμένες κάμερες στα forum της AAVSO για DSLR. Αν εντοπίσετε κάποιο σημείο του εγχειριδίου που μπορεί να βελτιωθεί, παρακαλούμε να μας ενημερώσετε. Παρακαλούμε να στείλετε εντυπώσεις ή προτάσεις στο: aavso@aavso.org.

Τα περισσότερα από τα περιεχόμενα των κεφαλαίων γράφηκαν κατά τη διάρκεια του εργαστηρίου του 3^{ου} Citizen Sky, 22-24 Μαρτίου 2013 στην AAVSO. Υπεύθυνοι για τη σύνταξη των περισσότερων περιεχομένων των κεφαλαίων είναι:

Κεφάλαιο 1 (Εισαγωγή): Colin Littlefield, Paul Norris, Richard (Doc) Kinne, Matthew Templeton

Κεφάλαιο 2 (Επισκόπηση εξοπλισμού): Roger Pieri, Rebecca Jackson, Michael Brewster, Matthew Templeton

Κεφάλαιο 3 (Επισκόπηση Λογισμικού): Mark Blackford, Heinz-Bernd Eggenstein, Martin Connors, Ian Doktor

Κεφάλαια 4 & 5 (Λήψη και επεξεργασία εικόνας): Robert Buchheim, Donald Collins, Tim Hager, Bob Manske, Matthew Templeton

Κεφάλαιο 6 (Μετασχηματισμοί): Brian Kloppenborg, Arne Henden

Κεφάλαιο (Πρόγραμμα Παρατηρήσεων): Des Loughney, Mike Simonsen, Todd Brown

Διάφορες Εικόνες: Paul Valleli

Καθαρούς Ουρανούς και Καλές Παρατηρήσεις!

Στέλλα Καυκά, Διευθύντρια της AAVSO
Arne Henden, Πρώην Διευθυντής της AAVSO
Rebecca Turner, Διευθύντρια λειτουργίας
Brian Kloppenborg, Διόρθωση
Matthew Templeton, Επιστημονικός Διευθυντής
Elizabeth Waagen, Προισταμένη Τεχνικού Τμήματος

American Association of Variable Star Observers
Cambridge, Massachusetts
Ιούνιος 2014

Μετάφραση στα Ελληνικά: Στέλιος Κλειδής, Νοέμβριος 2015

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ
 - 1.1 Πρόλογος
 - 1.2 Το κοινό στο οποίο απευθύνεται
 - 1.3 Τα τι, γιατί και πώς της φωτομετρίας DSLR
 - 1.4 Διαφορές μεθόδων παρατήρησης: Οπτικής, DSLR και CCD
 - 1.5 Είστε έτοιμοι; (Προυποθέσεις)
 - 1.6 Προσδοκίες
2. Επισκόπηση εξοπλισμού
 - 2.1 Τι είναι η DSLR;
 - 2.2 Φακοί και τηλεσκόπια
 - 2.3 Τρίποδες και στηρίξεις
 - 2.4 Ρυθμίσεις της κάμερας
 - 2.5 Φίλτρα και φασματική απόκριση
3. Επισκόπηση Λογισμικού
 - 3.1 Ελάχιστες απαιτήσεις λογισμικού για φωτομετρία DSLR
 - 3.2 Χρήσιμες λειτουργίες του λογισμικού
 - 3.3 Προαιρετικές λειτουργίες
 - 3.4 Συγκριτικός Πίνακας δυνατοτήτων λογισμικού
 - 3.5 Άλλο χρήσιμο λογισμικό
4. Λήψη Εικόνας
 - 4.1 Προεπισκόπηση τεχνικής λήψεων
 - 4.2 Προπαρασκευαστικές εργασίες
 - 4.3 Πηγές θορύβου και συστηματική πόλωση
 - 4.4 Εικόνες βαθμονόμησης (bias, dark και flat)
 - 4.5 ISO και χρόνοι έκθεσης
 - 4.6 Βρίσκοντας και κεντράροντας το πεδίο
 - 4.7 Συλλέγοντας επιστημονικά δεδομένα, τεχνικές
5. Αξιολόγηση και επεξεργασία εικόνας, φωτομετρία διαφράγματος
 - 5.1 Επισκόπηση
 - 5.2 Προκαταρκτική της επεξεργασίας και αξιολόγηση εικόνας
 - 5.3 Εφαρμογή εικόνων βαθμονόμησης, co-registration, stacking, binning
 - 5.4 Διαχωρισμός καναλιών RGB
 - 5.5 Αξιολόγηση εικόνων μετά την βαθμονόμηση
 - 5.6 Φωτομετρία διαφράγματος
 - 5.7 Διαφορική φωτομετρία
6. Φωτομετρική βαθμονόμηση
 - 6.1 Κανονικοποιημένη φωτομετρία
 - 6.2 Μετασχηματισμοί
 - 6.3 Υποβολή των αποτελεσμάτων σας
7. Διαμόρφωση προγράμματος παρατηρήσεων με DSLR
 - 7.1 Αποφασίζοντας τι να παρατηρήσετε
 - 7.2 Ποιοί είναι κατάλληλοι αστέρες για να ξεκινήσουμε;

Παράρτημα Α: Καθορισμός βέλτιστων χρόνων έκθεσης και ορίων κορεσμού

Παράρτημα Β: Έλεγχος γραμμικότητας και βαθμονόμηση της DSLR

Παράρτημα Γ: Προκαταρκτική αξιολόγηση της βαθμονόμησης: Ελέγχοντας τις Εικόνες Σκότους για Hot pixels

Παράρτημα Δ: Έλεγχος ομοιόμορφου φωτισμού των Flat

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Πρόλογος

Φανταστείτε πως τρέχετε κάποιο βράδυ τη συνηθισμένη σας διαδρομή στο πάρκο. Είναι σκοτεινά, αλλά ξέρετε καλά την περιοχή και δεν φοβάστε κάτι. Απόψε όμως κάτι διαφορετικό θα συμβεί. Καθώς τρέχετε, βλέπετε μια γυναικεία φιγούρα δίπλα από το δρομάκι με φωτογραφική μηχανή και τρίποδο. Παραδόξως, προσέχετε πως τόσο η κοπέλα, όσο και η κάμερα κοιτάζουν ψηλά στον ουρανό. Στρέφετε το βλέμμα επάνω αλλά η φωτορύπανση δεν σας αφήνει να διακρίνετε κάτι πέρα από τα λαμπρότερα φωτεινά σημάδια. Τι κάνει λοιπόν αυτή; Στην περίπτωση μας, η γυναίκα που είναι καθηγήτρια Ιστορίας σε ημερήσιο Λύκειο, κάνει μετρήσεις λαμπρότητας συγκεκριμένων άστρων και τα δεδομένα που συλλέγει ενδιαφέρουν και αξιοποιούνται από επιστήμονες αστρονόμους. Ανήκει στην αυξανόμενη ομάδα ανθρώπων που ονομάζονται «Πολίτες – Επιστήμονες» κι αυτό το εγχειρίδιο θα σας δείξει με ποιό τρόπο μπορείτε κι εσείς να πάρετε μέρος.

Οι περισσότεροι από εμάς που έχουν περιστασιακό ενδιαφέρον για την αστρονομία, έχουν δει κάποιες φορές ξεφυλλίζοντας ένα περιοδικό αστρονομίας, τις εκπληκτικές φωτογραφίες που κοσμούν τις σελίδες του. Οι περισσότερες από αυτές τις έχουν ληφθεί με φωτογραφικές μηχανές που συνδέονται με οδηγούμενα τηλεσκόπια και είναι επεξεργασμένες έτσι ώστε να φαίνονται όσο πιο καλές γίνεται. Αυτό είναι το βασίλειο της αστροφωτογράφισης. Τούτο το εγχειρίδιο θα σας μεταφέρει σε μια διαφορετική κατεύθυνση. Εδώ θα ρίξουμε μια ματιά στο πώς μπορείτε να πάρετε επιστημονικά πολύτιμες φωτογραφίες για να μετρηθούν οι λαμπρότητες των μεταβλητών αστέρων – αστέρια των οποίων οι λαμπρότητες αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου. Ο στόχος αυτού του εγχειριδίου είναι να σας καθοδηγήσει στη διαδικασία ώστε, χρησιμοποιώντας την ίδια φωτογραφική μηχανή DSLR που χρησιμοποιείτε για γενική φωτογράφιση, να συμβάλλετε με επιστημονικής ποιότητας δεδομένα στην αστρονομική κοινότητα.

1.2 Το κοινό στο οποίο απευθύνεται

Το εγχειρίδιο DSLR φωτομετρίας της AAVSO προορίζεται για όλους όσοι ενδιαφέρονται για τη χρήση φωτογραφικών μηχανών DSLR για τη μέτρηση της φωτεινότητας των μεταβλητών αστέρων. Οι περισσότερες από τις πληροφορίες σε αυτό το βιβλίο είναι γραμμένες με γνώμονα τον αρχάριο παρατηρητή, παρέχουν όμως επιπλέον λεπτομέρειες υψηλού επιπέδου που ακόμα και ο πιο προχωρημένος παρατηρητής μπορεί να βρει ενδιαφέρουσες.

Οι ερασιτέχνες αστρονόμοι μπορούν να ανακαλύψουν ότι η μέτρηση των μεταβλητών αστέρων προσθέτει μια νέα διάσταση στο χόμπι τους. Πρόκειται για πραγματική απόλαυση να βλέπετε τις μετρήσεις σας να δημιουργούν την «καμπύλη φωτός» της αλλαγής φωτεινότητας ενός αστέρα! Οι μεταβλητοί αστέρες είναι επίσης κατάλληλοι στόχοι για την έρευνα των σπουδαστών. Μερικά από τα projects είναι κατάλληλα για λυκειακού επιπέδου επιστημονικές εργασίες ενώ άλλα μπορούν να προσφέρουν στους φοιτητές την πρόκληση της παρατήρησης και της ανάλυσης δεδομένων.

1.3 Τα τι, γιατί και πώς της φωτομετρίας DSLR

Η φωτομετρία είναι η επιστήμη της μέτρησης του πόσο φωτεινό είναι ένα συγκεκριμένο αντικείμενο στον ουρανό. Εκ πρώτης όψεως, μπορεί να μη φαίνεται σαν ένα ιδιαίτερα συναρπαστικό θέμα, αλλά στην πραγματικότητα είναι ένα δυναμικό πεδίο στο οποίο οι ερασιτέχνες μπορούν να διαδραματίσουν καθοριστικό ρόλο. Παρά το γεγονός ότι υπάρχουν χιλιάδες αντικείμενα για τα οποία η φωτομετρία είναι σημαντική, αυτό το εγχειρίδιο επικεντρώνεται στα μεταβλητά αστέρια επειδή η αστρική φωτομετρία είναι ένα από τα ευκολότερα πεδία μάθησης και ταυτόχρονα συνεισφέρει πολύτιμες μετρήσεις.

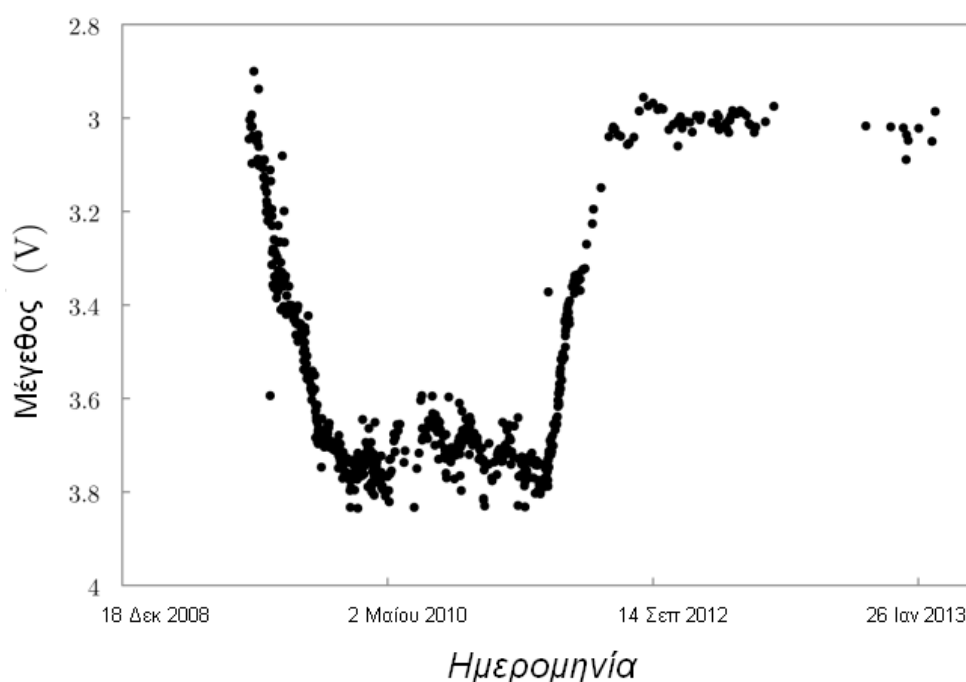
1.3.1 Τι είναι τα μεταβλητά άστρα και γιατί τα παρατηρούμε;

Όλα τα αστέρια αλλάζουν φωτεινότητα λόγω των φυσικών διεργασιών που συμβαίνουν μέσα, επάνω ή κοντά τους. Με προσεκτική παρατήρηση αυτής της μεταβλητότητας, είναι δυνατόν να μάθουμε πολλές πληροφορίες για το άστρο και γενικότερα, για αστροφυσικά φαινόμενα. Στην πραγματικότητα λοιπόν, τα μεταβλητά άστρα είναι σαν εργαστήρια φυσικής. Οι ίδιες βασικές φυσικές διεργασίες που λειτουργούν εδώ στη Γη - βαρύτητα, μηχανική ρευστών, φως και θερμότητα, χημεία, πυρηνική φυσική, και ούτω καθ' εξής - λειτουργούν ακριβώς με τον ίδιο τρόπο σε όλο το σύμπαν. Βλέποντας πώς τα άστρα αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου, μπορούμε να μάθουμε γιατί αλλάζουν.

Παρά το γεγονός ότι πολλές αστρικές μεταβολές δεν μπορούν να ανιχνευθούν αξιόπιστα από την επιφάνεια της γης (περισσότερα για αυτό σε επόμενο κεφάλαιο), εξακολουθούν να υπάρχουν εκατοντάδες κατηγορίες μεταβλητών αστερών, η καθεμιά με λίγα έως αρκετές χιλιάδες γνωστά μέλη. Για παράδειγμα, τα αστέρια μπορεί να αλλάζουν ως προς το μέγεθος, το σχήμα ή τη θερμοκρασία με την πάροδο του χρόνου (pulsators - παλλόμενοι), μπορούν να υποβάλλονται σε ταχείες μεταβολές του φωτός εξαιτίας φυσικών διεργασιών γύρω από το άστρο (αστέρες με δίσκο προσαύξησης και εκρηκτικοί), ή μπορεί να υφίστανται εκλείψεις από αστέρες ή πλανήτες σε τροχιά γύρω τους (διπλοί αστέρες και εξωπλανήτες). Το ουσιώδες είναι ότι κάτι φυσικό συμβαίνει στο ίδιο το άστρο ή στο άμεσο περιβάλλον του. (Ίσως έχετε παρατηρήσει πώς τα άστρα λαμπυρίζουν στον ουρανό, η διακύμανση όμως αυτή οφείλεται αποκλειστικά στην ατμόσφαιρα της Γης και είναι εντελώς άσχετη με αυτά).

Διαφορετικά είδη μεταβλητών άστρων μεταβάλλονται σε διαφορετικές χρονικές κλίμακες. Για μερικά μπορεί να χρειαστούν εβδομάδες, μήνες ή χρόνια για να υποβληθούν σε αλλαγές που μπορούμε να ανιχνεύσουμε. Άλλα χρειάζονται ημέρες, ώρες, λεπτά, δευτερόλεπτα ή ακόμη λιγότερο. Μερικά αστέρια μεταβάλλονται περιοδικά, και μπορούμε να δούμε σχηματισμούς στις μεταβολές που επαναλαμβάνονται με την πάροδο του χρόνου. Άλλα αστέρια υποβάλλονται σε χαστικές αλλαγές που δεν μπορούμε ποτέ να προβλέψουμε με ακρίβεια. Μερικά αστέρια μεταβάλλονται με τον ίδιο τρόπο εδώ και αιώνες, ενώ άλλα -όπως οι υπερκαινοφανείς - μπορεί να λάμπουν έντονα για λίγο και στη συνέχεια εξαφανίζονται, για να μην τα δούμε ποτέ ξανά.

Παρατηρήσεις του ϵ Ηνίοχου με DSLR



Εικόνα 1.1 Παρατηρήσεις με DSLR του ϵ Ηνίοχου (*epsilon Aurigae*) κατά τη διάρκεια της έκλειψης 2009-2011. Κάθε σημείο της καμπύλης φωτός έχει υποβληθεί από ένα ερασιτέχνη αστρονόμο.

Οι μεταβλητοί αστέρες έχουν ένα εύρος φαινόμενης λαμπρότητας (πόσο φωτεινοί φαίνονται σε μας), καθώς και ένα εύρος εσωτερικής φωτεινότητας (πόσο φως εκπέμπουν πραγματικά). Ένα αστέρι μπορεί να είναι εγγενώς λαμπρό, αν βρίσκεται όμως χιλιάδες έτη φωτός μακριά, θα φαίνεται αμυδρό. Οι μεταβλητοί έχουν επίσης ένα εύρος διακύμανσης - δηλαδή, **πόσο** αλλάζει η φωτεινότητα τους με την πάροδο του χρόνου. Μερικά μεταβλητά άστρα μπορεί να μεταβάλλονται κατά δέκα μεγέθη ή περισσότερο, το οποίο αποτελεί παράγοντα δέκα χιλιάδων σε φωτεινότητα, μια τεράστια αλλαγή! Μερικοί μεταβλητοί αστέρες μεταβάλλονται κατά χιλιοστά του μεγέθους (mag) ή ακόμα λιγότερο και μπορεί να είναι αδύνατο να ανιχνεύσετε τις διακυμάνσεις τους. Υπάρχουν πολλές διαβαθμίσεις ανάμεσά τους και δεν πρόκειται να λείψουν στόχοι που θα σας επιτρέψουν, ανεξάρτητα από τον εξοπλισμό σας, να κάνετε παραγωγική εργασία. Με αυτό το εγχειρίδιο, θα μάθετε πώς να χρησιμοποιήσετε τη DSLR σας για να επιτύχετε πολύτιμες επιστημονικές μετρήσεις αυτών των άστρων και να υποβάλετε τα ευρήματά σας ώστε να αξιοποιηθούν στην επιστημονική έρευνα.

Πώς λοιπόν οι ερασιτέχνες μπαίνουν σ' αυτό το πλαίσιο; Οι επιστήμονες αστρονόμοι χρησιμοποιούν εκτενώς τη φωτομετρία, αλλά επειδή έχουν περιορισμένο χρόνο παρατήρησης, συχνά εξαρτώνται από ερασιτέχνες αστρονόμους ώστε να εκτελέσουν φωτομετρία για λογαριασμό τους σε ενδιαφέροντα αντικείμενα. Επομένως, οι παρατηρήσεις σας θα παρέχουν την πρώτη ύλη που τροφοδοτεί την επιστημονική έρευνα. Οι επιστήμονες μπορούν να κάνουν ατελείωτες υποθέσεις σχετικά με το γιατί τα φαινόμενα εκδηλώνονται με τον τρόπο που το κάνουν, τελικά όμως, αυτές οι υποθέσεις πρέπει να ελέγχονται προκειμένου να προχωρήσει παραγωγικά η επιστημονική μας γνώση. Αν δώσετε αξιόπιστα στοιχεία, οι ερευνητές μπορούν να δημιουργήσουν ακριβή μοντέλα για την περιγραφή της λειτουργίας του σύμπαντος, με αποτέλεσμα η κατανόησή μας να βελτιώνεται και να επεκτείνεται. Για παράδειγμα, ερασιτέχνες χρησιμοποίησαν απλές φωτογραφικές μηχανές DSLR για να παρακολουθήσουν συστηματικά τη φωτεινότητα του ε Ηνίοχου, ενός εμφανώς αινιγματικού διπλού συστήματος, καθώς αυτό υπέστη την πολυαναμενόμενη έκλειψη μεταξύ 2009 και 2011 (βλέπε σχήμα 1.1). Χάρη στο έργο των εν λόγω ερασιτεχνών, οι επιστήμονες αστρονόμοι έλαβαν πληθώρα χρήσιμων δεδομένων από τα οποία ήταν σε θέση να διατυπώσουν νέες ιδέες σχετικά με τον μυστηριώδη διπλό αστέρα.

1.3.2 Πώς κάνουμε φωτομετρία με DSLR;

Ουσιαστικά, η φωτομετρία DSLR είναι μια απλή διαδικασία: Μετά την κατάλληλη ρύθμιση της φωτογραφικής μηχανής σας, παίρνετε μια σειρά ειδικών λήψεων (που ονομάζονται dark και flat) και χρησιμοποιούνται στη μετέπειτα ανάλυση.

Ύστερα από αυτό, η κάμερα στρέφεται προς τον ουρανό και μια σειρά μακρών (10+ δευτερολέπτων) εκθέσεων λαμβάνονται από μια συγκεκριμένη περιοχή του ουρανού. Αυτές οι εικόνες υφίστανται επεξεργασία χρησιμοποιώντας εξειδικευμένο λογισμικό για να ληφθούν μεγέθη οργάνου (εκτιμήσεις φωτεινότητας όπως μετράται από την κάμερα). Στη συνέχεια, τα μεγέθη οργάνου μετασχηματίζονται σε αντιστοιχία με μεγέθη γνωστών άστρων βάσει των οποίων μετριέται κάθε μεταβλητός. Υπάρχουν διάφορα βήματα που εξηγούνται λεπτομερέστερα στα επόμενα κεφάλαια.

Εικόνα 1.2 Συνηθισμένη DSLR προσαρτημένη σε τρίποδο.



1.4 Διαφορές μεθόδων παρατήρησης: Οπτικής, DSLR και CCD

Πριν από την εφεύρεση ηλεκτρονικών αισθητήρων και φωτογραφικού εξοπλισμού, οι αστρονόμοι είχαν μόνο τα μάτια τους για την εκτίμηση των λαμπρότητας των άστρων. Αν και αυτή η τεχνική είναι αρχαία, εξακολουθεί να ασκείται ευρέως και παραμένει χρήσιμη για την παρατήρηση ορισμένων τύπων μεταβλητών αστερών, ειδικά για εκείνους οι οποίοι είναι σχετικά φωτεινοί και έχουν μεγάλες διαφορές στη φωτεινότητα.

Επιπλέον, με την οπτική εκτίμηση, δεν υπάρχει ανάγκη για ακριβό, περίπλοκο εξοπλισμό, καθιστώντας την πολύ οικονομική μέθοδο παρατήρησης των μεταβλητών αστέρων. Ωστόσο, οι οπτικές εκτιμήσεις είναι επιρρεπείς σε σφάλμα λόγω της ευαισθησίας χρώματος του ανθρώπινου ματιού, της ηλικίας του παρατηρητή, της εμπειρίας στη διενέργεια οπτικών μετρήσεων και πιθανής προκατάληψης. Ως αποτέλεσμα, είναι συχνά δύσκολο να ανιχνευθούν λεπτές διακυμάνσεις φωτεινότητας οπτικά και διαφορετικοί παρατηρητές διαφωνούν συχνά ως προς την ακριβή φωτεινότητα ενός μεταβλητού αστέρα μεχρι και αρκετά δέκατα του μεγέθους. Το Εγχειρίδιο για την Οπτική Παρατήρηση των Μεταβλητών Αστέρων της AAVSO, περιγράφει αναλυτικά τη διαδικασία της λήψης οπτικών παρατηρήσεων μεταβλητών αστέρων.

Με την έλευση προσιτών, υψηλής ποιότητας φωτογραφικών μηχανών DSLR, οι πολίτες-επιστήμονες δεν περιορίζονται πλέον σε οπτικές εκτιμήσεις των μεταβλητών αστέρων. Με τις παρατηρήσεις DSLR, είναι δυνατό να αντισταθμίσουν ορισμένες συνέπειες, όπως το χρώμα του αστέρα, το οποίο κάνει συχνά αδύνατη την ακριβή οπτική εκτίμηση ενός άστρου. Οι χρήστες DSLR μπορούν να ανιχνεύσουν εξαιρετικά λεπτές διαφορές στη φωτεινότητα και να συγκρίνουν αξιόπιστα τις εκτιμήσεις τους με εκείνες άλλων παρατηρητών με ηλεκτρονικά μέσα – μόνο όμως αν τηρηθούν προσεκτικά οι κατάλληλες διαδικασίες, ειδικά αυτές που περιγράφονται στο παρόν εγχειρίδιο.

Μια άλλη επιλογή για έναν παρατηρητή είναι να χρησιμοποιηθεί μια κάμερα CCD προσαρτημένη σε ένα τηλεσκόπιο. Στην πράξη, η φωτομετρία με CCD είναι παρόμοια με την DSLR φωτομετρία. Οι επιστήμονες αστρονόμοι χρησιμοποιούν CCD για φωτομετρία, επειδή προσφέρει υψηλότερη ποιότητα εικόνας και ευελιξία, αλλά οι καλές CCD τείνουν να είναι πολύ πιο ακριβές από ό,τι οι DSLR και να έχουν επίσης πιο δύσκολη καμπύλη εκμάθησης. Όσον αφορά την ανταποδοτικότητα του κόστους, οι φωτογραφικές μηχανές DSLR προσφέρουν γενικά πολύ καλύτερη σχέση αξίας/τιμής από ό,τι οι CCD. Η AAVSO έχει δημοσιεύσει έναν πλήρη οδηγό για φωτομετρία με CCD και τη χρήση τους σε παρατηρήσεις μεταβλητών αστέρων.

1.5 Είστε έτοιμοι; (Προυποθέσεις)

Πριν ξεκινήσετε με DSLR φωτομετρία, θα πρέπει να έχετε κάποια εμπειρία με την κάμερά σας. Θα πρέπει:

- Να ξέρετε πώς λειτουργεί η φωτογραφική μηχανή σας. Συγκεκριμένα, να μπορείτε να ορίσετε τη μορφή της εικόνας σε RAW (CR2, NEF, κλπ), να ακυρώσετε πρόσθετες επιλογές επεξεργασίας εικόνας, να απενεργοποιήσετε την αυτόματη εστίαση, να ρυθμίσετε χειροκίνητα την εστία και να τοποθετείτε τη φωτογραφική σας μηχανή σε τρίποδο.
- Να έχετε καλή γνώση των ηλεκτρονικών υπολογιστών και να είστε σε θέση να εγκαταστήσετε λογισμικό στον υπολογιστή σας. (Οι Οδηγοί Εκμάθησής μας, παρέχουν δείγμα δεδομένων, καθώς και οδηγίες για το πώς να χρησιμοποιείτε το λογισμικό, αλλά η εφαρμογή τους για το μηχάνημά σας είναι εκτός αντικειμένου του παρόντος εγχειριδίου).
- Συνιστάται ανεπιφύλακτα, αλλά δεν απαιτείται: να έχετε κάποια εμπειρία στην οπτική εκτίμηση μεταβλητών αστέρων.

Το τελευταίο στοιχείο μπορεί να σας εξοικονομήσει πολύ χρόνο. "Ένα γραμμάριο πρόληψης αξίζει όσο ένα κιλό θεραπείας." Γενικώς, για κάθε οπτική εκτίμηση μεταβλητού αστέρα θα καταλήξετε να εξοικονομήσετε δέκα φορές αυτό το χρόνο στην καμπύλη εκμάθησης της φωτομετρίας με DSLR. Προσπαθήστε να κάνετε τουλάχιστον εκατό οπτικές εκτιμήσεις μεταβλητών αστέρων. Διαλέξτε κάποιους μεταβλητούς για κιάλια και απλά παρακολουθήστε τους μία φορά την εβδομάδα για ένα μήνα. Αν δεν το έχετε κάνει ήδη, διαβάστε και εξοικειωθείτε με το εξαιρετικό Εγχειρίδιο της AAVSO για την Οπτική Παρατήρηση Μεταβλητών Αστέρων.

Αυτή η εμπειρία θα είναι το μέσον που θα σας διδάξει πώς να αναγνωρίζετε τα αστρικά πεδία, πώς το χρώμα επηρεάζει τη εκτιμήσεις (σημαντικό αργότερα, όταν προχωρήσουμε στη χρήση φίλτρων), τη συμπεριφορά της καμπύλης φωτός ενός άστρου, τον τρόπο υποβολής των δεδομένων και ίσως το σημαντικότερο: την υπομονή!

Επίσης, η οπτική παρατήρηση είναι συνήθως αρκετά διασκεδαστική και εθιστική, έτσι ώστε η πρακτική της εφαρμογή θα βοηθήσει να βεβαιωθείτε ότι απολαμβάνετε την παρατήρηση μεταβλητών αστερών. Τελικά, για τους περισσότερους από εμάς αυτό είναι ένα χόμπι, σωστά; Η παρατήρηση με DSLR έχει πολλές εφαρμογές σ' αυτό. Για κάθε μία από αυτές που θα αποκτήσετε εμπειρία, θα μειώνεται η απόσταση από τον κυρίως στόχο: τη φωτομετρία με DSLR.

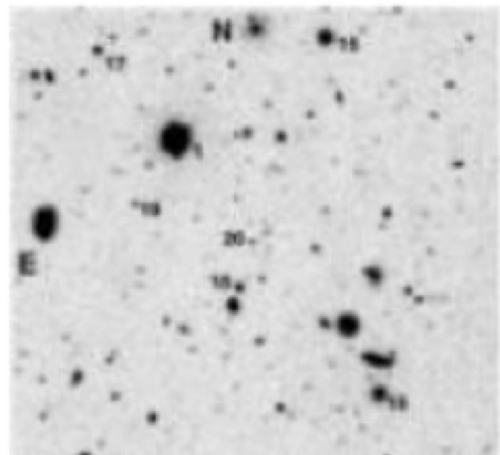
1.6 Προσδοκίες

Σε γενικές γραμμές, αυτό το εγχειρίδιο θα επικεντρωθεί στις πτυχές της παρατήρησης μεταβλητών άστρων με τις φωτογραφικές μηχανές DSLR. Χρησιμοποιούμε τη λέξη "DSLR" εκτενώς σε όλο αυτό το κείμενο, για να αναφερθούμε σε μια γενική κατηγορία φωτογραφικών μηχανών που είναι κατάλληλες για τη διεξαγωγή φωτομετρικών παρατηρήσεων. Πρόσφατα, πολλές απλές φωτογραφικές μηχανές έχουν αρχίσει να υποστηρίζουν διάφορες λειτουργίες που απαιτούνται για να κάνουν αστρονομική φωτομετρία. Ως εκ τούτου, το κείμενο που παρουσιάζεται εδώ μπορεί να εφαρμοστεί στη φωτογραφική μηχανή σας, ακόμα κι αν δεν είναι DSLR.

Σ' αυτό το εγχειρίδιο θα επικεντρωθούμε σε μεταβλητά αστέρια, επειδή είναι από τα ευκολότερα αντικείμενα για να μετρηθούν. Οι τεχνικές που μπορείτε να μάθετε είναι εφαρμόσιμες σε ένα ευρύτερο φάσμα των αντικειμένων (όπως οι διελεύσεις εξωπλανητών και ενεργοί γαλαξιακοί πυρήνες), αλλά δεν μπορεί να είναι δυνατόν να υπολοισθούν χωρίς μεγαλύτερες επενδύσεις. Με λίγες εξαιρέσεις, δεν θα υπεισέλθουμε σε λεπτομέρειες σχετικά με το πώς λειτουργεί μια DSLR ή πώς να χειριστείτε κάθε συγκεκριμένο μοντέλο φωτογραφικής μηχανής. Επίσης, παρακαλούμε να συνειδητοποιήσετε ότι οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται σε DSLR φωτομετρία είναι παρόμοιες, αλλά όχι ταυτόσημες με την αστροφωτογράφιση. Ειδικότερα, η αφεστίαση στη φωτομετρία με DSLR θα οδηγήσει σε θολές εικόνες που δεν είναι όμορφες να τις βλέπουμε, αλλά είναι επιστημονικά πολύτιμες.



Όχι τέτοιες εικόνες...



...αλλά τέτοιες!

Εικόνα 1.3 Τι θα πρέπει να περιμένετε να δείτε στη φωτομετρία με DSLR. (A. Henden (USNO/AAVSO))

Ο στόχος αυτού του εγχειριδίου είναι να απομυθοποιήσει τη διαδικασία επιτέλεσης φωτομετρίας επιστημονικής ποιότητας με φωτογραφικές μηχανές DSLR. Πολλοί ερασιτέχνες αστρονόμοι φοβούνται αδικαιολόγητα από τη δήθεν δύσκολη καμπύλη εκμάθησης της φωτομετρίας, αλλά με μηχανές DSLR, είναι δυνατό να αρχίσουν να λαμβάνουν χρήσιμες πληροφορίες σχεδόν αμέσως. Αν και είναι αλήθεια ότι η απόκτηση καλής ποιότητας φωτομετρικών δεδομένων απαιτεί την επισταμένη ανάλυση τους και προσοχή στη λεπτομέρεια, η φωτομετρία είναι ένα πεδίο το οποίο είναι εύκολα προσβάσιμο στους ερασιτέχνες αστρονόμους που στερούνται τεχνικού υποβάθρου. Το μόνο που απαιτείται είναι ο ενθουσιασμός, η υπομονή και η καλή τεχνική, παρά η σε βάθος μαθηματική ή επιστημονική επάρκεια.

"Νιώθω ότι είναι καθήκον μου να προειδοποιήσω τους άλλους ... ώστε να προσεγγίσουν την παρατήρηση των μεταβλητών αστέρων με τη μεγαλύτερη δυνατή προσοχή. Είναι εύκολο να γίνετε ένας εξαρτημένος και ως συνήθως, όσο περισσότερο συνεχίζεται αυτή η ενασχόληση, τόσο πιο δύσκολο είναι να κάνετε παύση και να επιστρέψετε πίσω σε μια φυσιολογική ζωή".

Leslie C. Peltier (1900-1980)

Παραπομπές

AAVSO Visual Observing Manual: <http://www.aavso.org/visual-observing-manual>

AAVSO Guide to CCD Photometry: <http://www.aavso.org/ccd-photometry-guide>

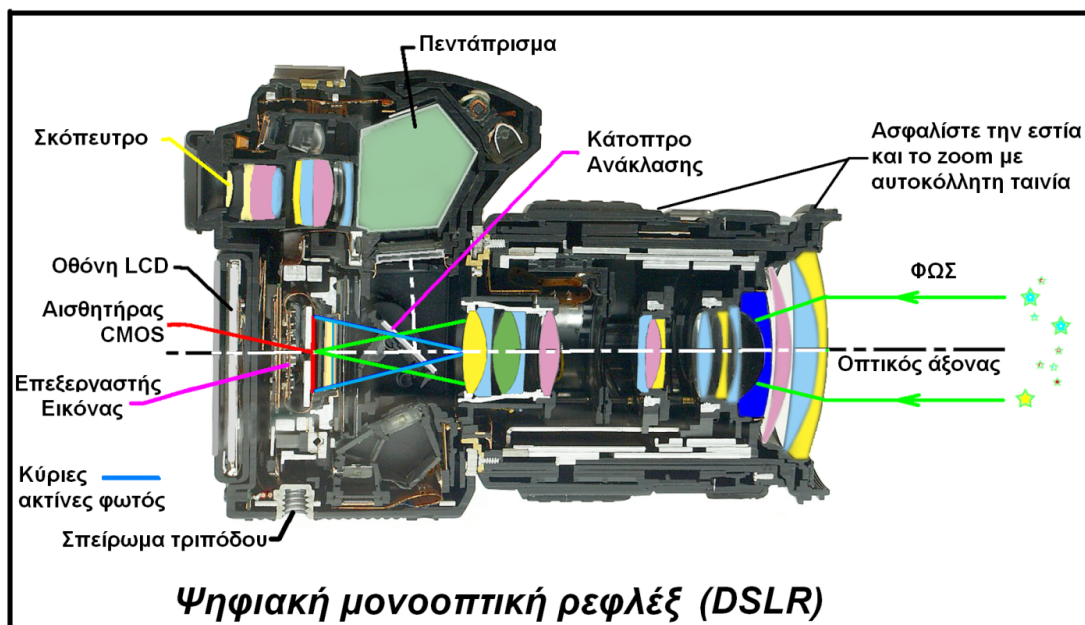
Κεφάλαιο 2: Επισκόπηση Εξοπλισμού

Οι φωτογραφικές μηχανές DSLR παρέχουν έναν από τους πιο οικονομικούς τρόπους για να κάνετε ψηφιακή φωτομετρία. Υπάρχουν τρία βασικά πράγματα που απαιτούνται: ένας φακός ή άλλη διάταξη που να εστιάζει το φως, μια φωτογραφική μηχανή ικανή να παρέχει εικόνες σε μη επεξεργασμένη μορφή και κάτι για να σταθεροποιήσετε την κάμερα κατά τη διάρκεια μεγάλων εκθέσεων. Αυτές οι συσκευές μπορεί να είναι τόσο απλές όσο μια κατάλληλη κόμπακτ φωτογραφική μηχανή σε ένα απλό στήριγμα, είτε εξεζητημένη επαγγελματικής ποιότητας φωτογραφική μηχανή που βλέπει μέσα από ένα τηλεσκόπιο. Πριν συζητήσουμε για το πώς κάποιος διεξάγει παρατηρήσεις και επεξεργάζεται τα δεδομένα, το καλύτερο είναι να καταλάβουμε πρώτα ποιός ακριβώς εξοπλισμός απαιτείται για να γίνει φωτομετρία με DSLR. Καθώς θα συζητούμε κάθε ένα από αυτά τα τρία συστατικά αναλυτικά, θα έχουμε την ευκαιρία να εξηγήσουμε μερικές από τις φυσικές πτυχές της κάμερας έτσι ώστε να αντιληφθείτε καλύτερα τι συμβαίνει όταν τροποποιείτε διάφορες ρυθμίσεις της μηχανής.

2.1 Τι είναι η DSLR;

Ο όρος "DSLR" (Digital Single Lens Reflex – Ψηφιακή μονοοπτική ρεφλέξ) αναφέρεται εδώ σε μια γενική κατηγορία φωτογραφικών μηχανών που είναι κατάλληλες για τη διεξαγωγή φωτομετρικών παρατηρήσεων. Πρόσφατα, πολλές κόμπακτ κάμερες έχουν αρχίσει να υποστηρίζουν διάφορες λειτουργίες που απαιτούνται για να γίνει αστρονομική φωτομετρία. Ως εκ τούτου, το κείμενο που παρουσιάζεται εδώ, μπορεί να εφαρμοστεί στη φωτογραφική μηχανή σας, ακόμα κι αν δεν είναι ρητά μια DSLR.

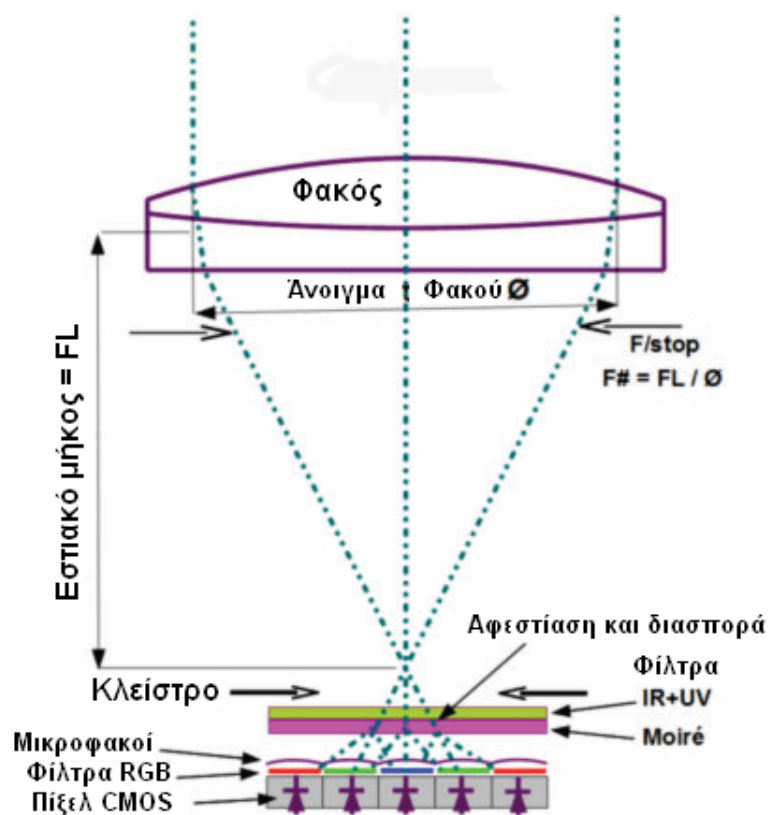
Η θεμελιώδης διαφορά ανάμεσα σε μια φωτογραφική μηχανή DSLR και μια φωτογραφική μηχανή SLR είναι ότι σε μια φωτογραφική μηχανή DSLR η εικόνα καταγράφεται ηλεκτρονικά μέσω ενός αισθητήρα σε ένα αρχείο, όχι σε φιλμ όπως σε μια φωτογραφική μηχανή SLR. Όπως απεικονίζεται στο σχήμα 2.1, μια φωτογραφική μηχανή DSLR είναι κατασκευασμένη από ένα σύνολο οπτικών και ηλεκτρονικών εξαρτημάτων που είναι απαραίτητα για τη λήψη εικόνων. Πολλές σύγχρονες φωτογραφικές μηχανές DSLR έρχονται επίσης με μια πληθώρα ρυθμίσεων και επιλογών επεξεργασίας λογισμικού, τα περισσότερα από τα οποία δεν είναι χρήσιμα για την αστρονομική φωτομετρία.



Εικόνα 2.1 Τομή φωτογραφικής μηχανής DSLR που δείχνει τα διάφορα εξαρτήματα.

2.1.1 Οπτική διαδρομή

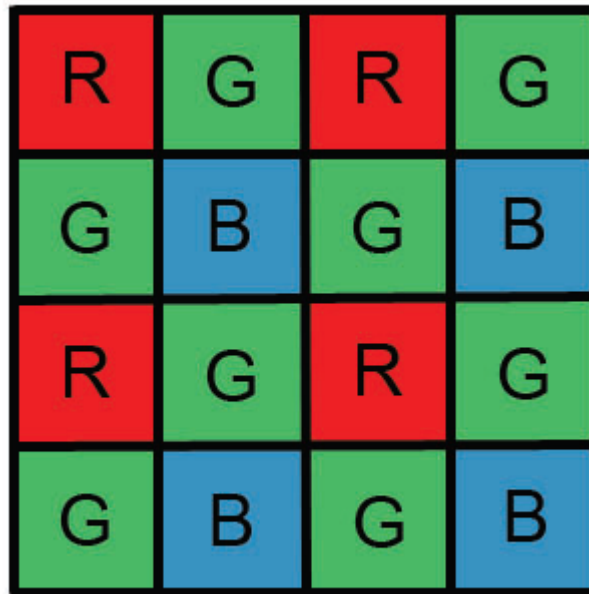
Η κάμερα αποτελείται από ένα φακό που συνδέεται με το εμπρός μέρος του σώματος της μηχανής, ένα κλείστρο, μερικά μεγάλα φίλτρα, μία συστοιχία μικροφακών, επιπλέον φίλτρα κι έναν αισθητήρα. Τα οπτικά στοιχεία τα οποία μας ενδιαφέρουν περισσότερο απεικονίζονται σχηματικά στην εικόνα 2.2. Το πρώτο οπτικό στοιχείο είναι ο φακός. Πρωταρχικός σκοπός του είναι να προβάλλει και να εστιάζει μια εικόνα πάνω στον αισθητήρα. Πίσω από το φακό είναι το διάφραγμα f-stop. Αυτό καθορίζει το συνολικό άνοιγμα ή τη φωτοσυλλεκτική επιφάνεια του φακού. Αυτά τα στοιχεία περιέχονται συνήθως εντός του σώματος του φακού. Μέσα στο σώμα της μηχανής, το πρώτο στοιχείο που συναντάμε είναι συνήθως το κλείστρο. Ο σκοπός του κλείστρου ή φωτοφράχτη, είναι να ελέγχει το φως που εισέρχεται στην κάμερα. Σε μια φωτογραφική μηχανή φιλμ το κλείστρο είναι κλειστό, εκτός από όταν ανοίξει για να επιτραπεί στο φως να χτυπήσει το φιλμ. Σε μια φωτογραφική μηχανή DSLR, όμως, συμβαίνει το αντίθετο: το κλείστρο είναι πάντα ανοιχτό και όταν κλείσει, μπορεί να διαβαστεί το φως που έπεσε στον αισθητήρα. Πίσω από το διάφραγμα f-stop είναι μια σειρά από φίλτρα που εξαλείφουν ανεπιθύμητα μήκη κύματος του φωτός (υπέρυθρο και υπεριώδες).



Εικόνα 2.2 Τυπική οπτική διάταξη μιας κάμερας DSLR με αισθητήρα CMOS και διάταξη RGB κατά Bayer (με την άδεια του Roger Pieri)

2.1.2 Αισθητήρας CMOS και διάταξη Bayer

Ανάλογα με τον αισθητήρα που χρησιμοποιεί η φωτογραφική σας μηχανή, αυτά που βρίσκονται μεταξύ των φίλτρων και του αισθητήρα μπορεί να διαφέρουν αρκετά. Οι περισσότερες φωτογραφικές μηχανές DSLR έχουν αισθητήρα CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) σε διάταξη Bayer (βλέπε σχήμα 2.3) των pixels κόκκινου, πράσινου και μπλε (στο εξής RGB), όμως υπάρχουν συχνά δύο πράσινα εικονοστοιχεία, έτσι ώστε η συστοιχία να θεωρείται ως RGGB. Εμπρός από τη συστοιχία Bayer βρίσκεται ένα χαμηλοπερατό φίλτρο που διαχέει το φως για να μειώσει το σχηματισμό Moiré που προκαλείται από την δομή της διάταξης Bayer. Πίσω από αυτό το φίλτρο και αμέσως μπροστά από τον αισθητήρα, μία συστοιχία μικροφακών εστιάζει το φως επάνω σε ένα ενιαίο επίπεδο των ευαίσθητων φωτοδίοδων σε κάθε pixel. Πάνω σε αυτά τα εικονοστοιχεία είναι τυπωμένα φίλτρα που χωρίζουν το φάσμα σε κανάλια χρώματος RGB. Για περισσότερη σε βάθος συζήτηση των καναλιών και των φίλτρων, δείτε την ενότητα 2.5.



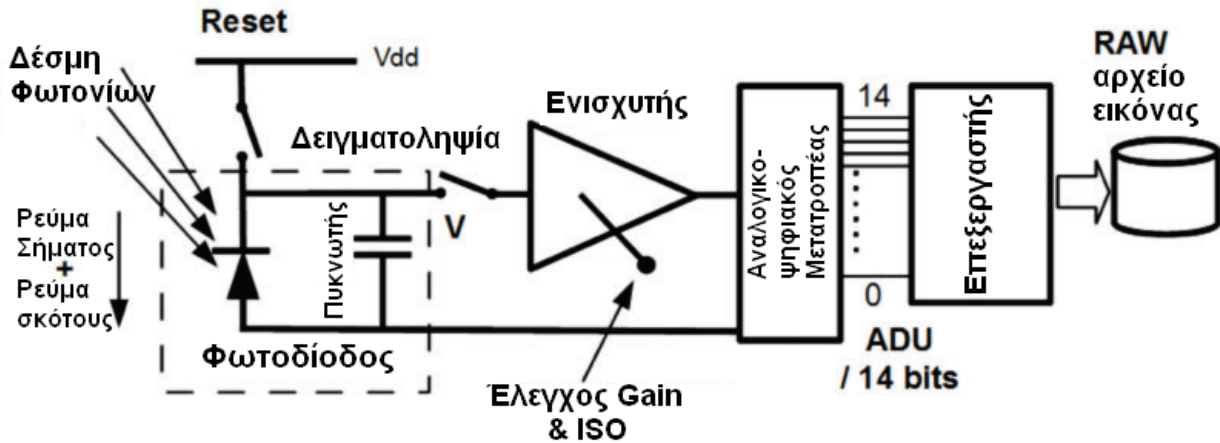
Διάταξη φίλτρων Bayer

Εικόνα 2.3 Σχηματική παράσταση τυπικού πίνακα έγχρωμων φίλτρων κατά Bayer. Η διάταξη των χρωμάτων μπορεί να ποικίλει ανάλογα με τον κατασκευαστή κι έτσι είναι σημαντικό να καθορίσετε ποιο κανάλι της DSLR σας αντιστοιχεί στο κόκκινο, ποιο στο μπλε και ποιο στο πράσινο.

Η αύξηση της τάσης ενός μοναδικού φωτοηλεκτρικού συμβάντος είναι αρκετά μικρή, ως εκ τούτου, η συσσωρευμένη τάση στον πυκνωτή είναι ομοίως μικρή. Για να διαβαστεί αυτό το σήμα, διέρχεται πρώτα μέσω ενός ενισχυτή πριν πάει στον μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό σήμα (ADC). Η ρύθμιση απολαβής (gain) του ενισχυτή καθορίζει το "ISO" (μονάδα μέτρησης της ευαισθησίας του ανιχνευτή), η οποία προσαρμόζει το σήμα προς το σταθερό εύρος του μετατροπέα. Η έξοδος σε ADU (αυθαίρετες ψηφιακές μονάδες) του ADC είναι ανάλογη με τον αριθμό των ηλεκτρονίων που συλλέγονται από τη φωτοδίοδο του κάθε pixel. Όταν αποθηκεύεται ως αρχείο RAW δεδομένων, οι τιμές αυτές των ADU είναι οι θεμελιώδεις πληροφορίες που χρησιμοποιούνται στη φωτομετρία DSLR. Αυτή η αναφορά συνεχίζεται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια στην ενότητα 2.4.

Επειδή όλες οι DSLR κάμερες της αγοράς σήμερα έχουν αισθητήρες CMOS, θα επικεντρωθούμε σ' αυτό τον τύπο συσκευών. Για συζήτηση σχετική με την τεχνολογία καμερών CCD, παρακαλούμε να συμβουλευτείτε τον Οδηγό Φωτομετρίας με CCD της AAVSO (AAVSO Guide to CCD Photometry). Κάμερες με αισθητήρες Foveon (που έχουν τρία στρώματα pixels ένα για κάθε χρώμα αντί για ένα μόνο επίπεδο πίζελ διαφορετικών χρωμάτων) δεν απαντώνται συχνά. Αν θέλετε να μάθετε περισσότερα για αυτούς, ρωτήστε στο forum Φωτομετρίας DSLR της AAVSO.

Το Σχήμα 2.4 δείχνει μια σχηματική αναπαράσταση ενός αισθητήρα CMOS. Ο ίδιος ο αισθητήρας είναι κατασκευασμένος από ένα τσιπ πυριτίου επί του οποίου χαράσσεται το κύκλωμα CMOS. Το φωτοευαίσθητο στοιχείο σε κάθε pixel είναι μια φωτοδιόδος (ή φωτοπύλη MOS). Αυτές οι συσκευές λειτουργούν με το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, στο οποίο ένα φωτόνιο που επηρεάζει τον ανιχνευτή παράγει ένα ζεύγος ηλεκτρονίου-οπής. Λόγω της κατασκευής της φωτοδιόδου, το ηλεκτρόνιο γρήγορα κινείται έξω από τον κύριο όγκο υλικού και ωθείται επάνω σε ένα κοντινό πυκνωτή. Κατά την έναρξη της έκθεσης, αυτός ο πυκνωτής μηδενίζεται και διαβάζεται η τάση του. Κατά τη διάρκεια της έκθεσης, κάθε προσπίπτον φωτόνιο έχει ως αποτέλεσμα μια ελαφρά μείωση στο φορτίο του πυκνωτή. Στο τέλος της έκθεσης, η τάση στον πυκνωτή διαβάζεται για δεύτερη φορά.



Εικόνα 2.4 Σχηματική παράσταση των στοιχείων ενός αισθητήρα CMOS (με την άδεια του Roger Pieri)

2.1.3 Λειτουργίες κάμερας DSLR ακατάλληλες για φωτομετρία

Οι σύγχρονες μηχανές DSLR έχουν μια πληθώρα πρόσθετων λειτουργιών, οι περισσότερες εκ των οποίων όχι μόνο δεν είναι χρήσιμες, αλλά μπορεί ακόμη και να είναι επιβλαβείς για τη διεξαγωγή των φωτομετρικών μετρήσεων. Πρωτίστως, δεν πρέπει ποτέ να χρησιμοποιούνται εικόνες JPEG στην αστρονομική φωτομετρία. Για να δημιουργήσετε μια εικόνα JPEG, οι τιμές ADU από τον ανιχνευτή αποστέλλονται σε έναν επεξεργαστή που μετατρέπει την εικόνα σε ένα μη-γραμμικό χρωματικό χώρο sRGB (απολύτως μη-φωτομετρικό) και στη συνέχεια τη συμπιέζει σε ένα αρχείο JPEG. Η μη γραμμικότητα και η συμπίεση οδηγούν σε σημαντική υποβάθμιση της ακρίβειας των δεδομένων (από ~ 14.000 επίπεδα φωτεινότητας σε ανώτατο όριο 256 επιπέδων) που απαγορεύει την ακριβή μέτρηση της ακτινοβολίας. Ορισμένες κάμερες έχουν λειτουργία αποθρομβοποίησης ή βελτίωσης της εικόνας της που τροποποιεί τα βασικά δεδομένα, πιθανώς αλλοιώνοντας και τα φωτομετρικά κατά τη διαδικασία αυτή. Λειτουργίες που μετρούν το φωτισμό της σκηνής και κάνουν αυτόματη εστίαση είναι σχεδόν άχρηστες για τη φωτομετρία. Η λειτουργία μεγέθυνσης "LiveView" (5x, 10x, κλπ) είναι χρήσιμη για την εστίαση / αφεστίαση ενός φωτεινού αστέρα, αλλά το σκόπευτρο (ενδεχομένως με έναν προσαρμογέα ορθής γωνίας) είναι συχνά πιο χρήσιμο όταν σκοπεύουμε στην επιθυμητή περιοχή του ουρανού.

2.2 Φακοί και τηλεσκόπια

Το πρώτο βήμα για να γίνει φωτομετρία με DSLR είναι να εισέλθει το φως στην κάμερα. Το φως των άστρων πρέπει να εστιαστεί στον αισθητήρα είτε από ένα φακό που τοποθετείται απευθείας στη φωτογραφική μηχανή ή συνδέοντας την κάμερα σε ένα μεγάλο τηλεφακό ή ένα τηλεσκόπιο. Η εικόνα 2.5 δείχνει μια τυπική ποικιλία φακών DSLR.



Εικόνα 2.5 Διάφοροι φακοί για DSLR (με την άδεια του Paul Vallesi)

Ο φακός είναι το πρώτο στοιχείο της φωτομετρικής αλυσίδας. Οι φακοί μπορεί γενικά να περιγραφούν με δύο χαρακτηριστικά: το άνοιγμα και το εστιακό μήκος. Η επιφάνεια του ανοίγματος καθορίζει πόσα φωτόνια μπορούν να εισέρχονται στο οπτικό σύστημα μέσα σε ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα. Μεγαλύτερες διαμέτροι συλλέγουν περισσότερο φως και επιτρέπουν να παρατηρούνται πιο αμυδροί στόχοι. Το εστιακό μήκος καθορίζει πόσο έντονα αναγκάζει ο φακός το φως να συγκλίνει στον ανιχνευτή. Όταν συνδυάζεται με το μέγεθος του ανιχνευτή, το εστιακό μήκος καθορίζει το οπτικό πεδίο (FOV) του οργάνου.

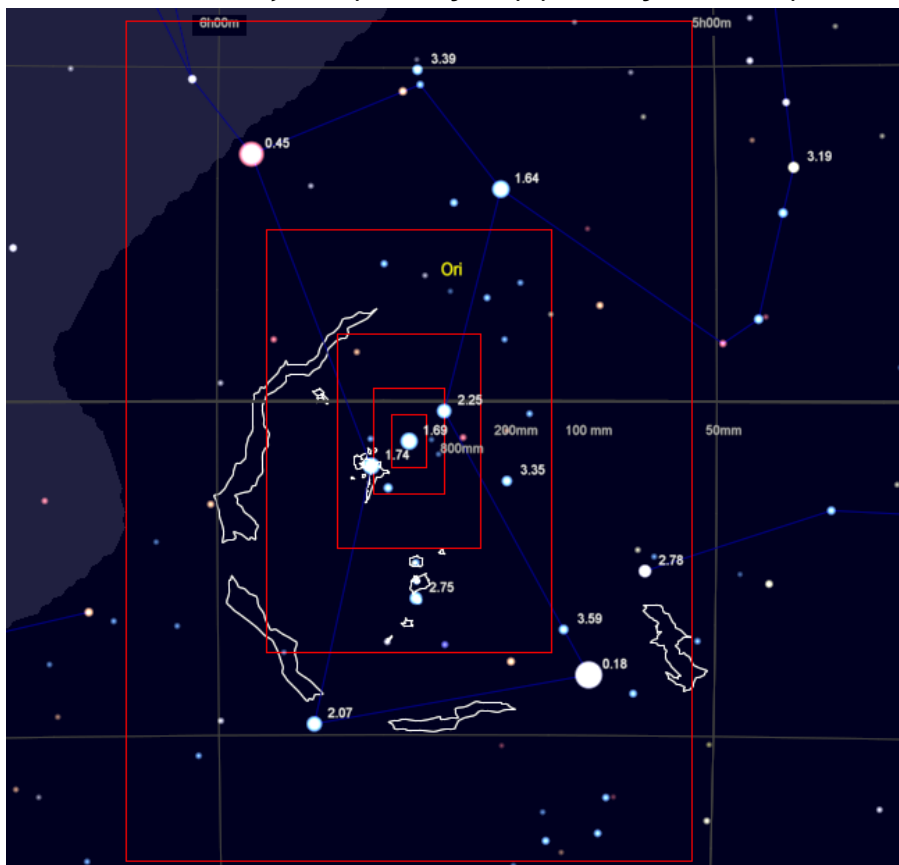
Είναι απαραίτητο ένα αρκετά μεγάλο FOV - η περιοχή του ουρανού που μπορεί να δει η φωτογραφική μηχανή σας - για να είναι σε θέση να συμπεριλάβει ένα καλό σύνολο αστέρων σύγκρισης, εκτός από το αστέρι-στόχο. Ένα μικρό εστιακό μήκος φακού έχει ευρύ FOV, έτσι είναι κατάλληλο για τη μέτρηση φωτεινών μεταβλητών γιατί οι φωτεινοί αστέρες συγκρίσεως θα είναι πιο μακριά από τον μεταβλητό σε σχέση με τους αμυδρούς, καθώς και για τη αποτύπωση πολλών αστέρων ταυτόχρονα για μαζική ανάλυση. Όσο μεγαλύτερη είναι η εστιακή απόσταση του φακού, τόσο πιο "μεγαθυμμένοι" είστε, δηλαδή, μπορείτε να δείτε μια μικρότερη περιοχή του ουρανού, αλλά με μεγαλύτερη λεπτομέρεια. Έτσι, για αμυδρά αστέρια, είναι απαραίτητο μεγαλύτερο εστιακό μήκος του φακού ή ένα τηλεσκόπιο. Σε ένα δεδομένο f-stop (f-stop είναι μια ρύθμιση που καθορίζει το εμβαδόν του ανοίγματος) το επίπεδο του υποβάθρου του ουρανού είναι ίδιο για όλα τα εστιακά μήκη, αλλά η επιφάνεια του ανοίγματος και ο προκύπτων αριθμός των φωτονίων που φτάνουν στον ανιχνευτή είναι ανάλογος προς το τετράγωνο του εν λόγω εστιακού μήκους. Έτσι, το να κάνετε ζουμ αυξάνει πολύ την δυνατότητά σας να μετράτε αμυδρότερα άστρα επειδή ο λόγος σήματος προς θόρυβο (SNR – signal to noise ratio) βελτιώνεται πολύ ως προς τη στάθμη θορύβου του υποβάθρου του ουρανού (περισσότερα στο κεφάλαιο 4).

Σχεδόν όλες οι έρευνες μεταβλητών αστέρων με DSLR χρησιμοποιούν "διαφορική φωτομετρία", στην οποία η φωτεινότητα του μεταβλητού αστέρα-στόχου συγκρίνεται με τη φωτεινότητα ενός κοντινού αστέρα σταθερής φωτεινότητας - ενός "αστέρα συγκρίσεως". Για να επιτύχει αυτό, θα πρέπει να έχετε τόσο το στόχο και τους "αστέρες συγκρίσεως" στην ίδια εικόνα του πεδίου και ο "αστέρας συγκρίσεως" θα πρέπει να έχει περίπου την ίδια φωτεινότητα με τον μεταβλητό. Εάν ο στόχος σας είναι φωτεινός (για παράδειγμα, ένα αστέρι ορατό με γυμνό μάτι), τότε πιθανότατα θα χρειαστείτε ένα FOV αρκετών μοιρών (ίσως 10 με 30 μοίρες), προκειμένου η εικόνα να συμπεριλάβει κι ένα συγκρίσιμης φωτεινότητας αστέρα συγκρίσεως. Ένα ευρύ πεδίο δημιουργείται από μικρό εστιακό μήκος, το οποίο με τη σειρά του αντιστοιχεί στους τυπικούς φακούς που έρχονται με τα περισσότερα κιτ φωτογραφικών μηχανών DSLR.

Εάν ο στόχος σας είναι αμυδρός, τότε πρέπει να εξισορροπήσετε δύο προσεγγίσεις για την επίτευξη εικόνας υψηλού σήματος. Μπορείτε να πάρετε μια μεγάλη έκθεση, ή μπορείτε να χρησιμοποιήσετε ένα φακό μεγάλης διαμέτρου. Ο διπλασιασμός της έκθεσης διπλασιάζει τον τον αριθμό των φωτονίων που συλλέγονται (αν όλοι οι άλλοι παράγοντες παραμείνουν σταθεροί), αλλά αυτό μπορεί να είναι μια προβληματική προσέγγιση καθώς κινείστε προς πιο αμυδρούς στόχους. Ίσως να είστε σε θέση να λάβετε μια ωραία εικόνα ενός άστρου ορατού με γυμνό μάτι ($5^{\text{ου}}$ μεγέθους ας πούμε) σε μια έκθεση 10 δευτερολέπτων χρησιμοποιώντας τον τυπικό φακό σας των 50 mm. Πηγαίνοντας όμως σε ένα αστέρι $10^{\text{ου}}$ μεγέθους (το οποίο παρέχει μόνο το ένα εκατοστό των φωτονίων ανά δευτερόλεπτο) θα απαιτήσει 1.000 δευτερόλεπτα έκθεσης (σχεδόν 17 λεπτά), το οποίο σημαίνει ότι θα πρέπει να ακολουθήσετε με ακρίβεια την περιστροφή του ουρανού για αυτή τη μακρά έκθεση, ενώ θέτει επίσης μια σειρά από άλλες προκλήσεις. Αυτός ο φακός των 50 mm έχει πιθανότατα ένα άνοιγμα συλλογής με διάμετρο περίπου 15 mm (μικρότερο από μία ίντσα) - όχι πολύ μεγάλο! Με την προσαρμογή της φωτογραφικής σας μηχανής σε ένα τηλεσκόπιο, μπορείτε να επιτύχετε τεράστια αύξηση στη φωτοσυλλεκτικότητα. Για παράδειγμα, ένα μέτριο άνοιγμα τηλεσκοπίου 6-ιντσών θα παράσχει εύκολα 40-100 φορές τη φωτοσυλλεκτική επιφάνεια ενός τυπικού φακού 50 mm, επεκτείνοντας έτσι τη δυνατότητα να φθάσετε σε 10° μέγεθος αστέρα με μικρή ή καθόλου αύξηση στην διάρκεια της έκθεσης. Φυσικά, το τηλεσκόπιο είναι πιθανό να έχει ένα αρκετά μεγάλο εστιακό μήκος (δηλαδή 30-60 ίντσες), και ως εκ τούτου να παρέχει ένα αρκετά στενό πεδίο. Αυτό σημαίνει ότι δεν είναι πιθανό να έχετε ένα λαμπρό αστέρα συγκρίσεως στο πεδίο (αλλά υπάρχει καλή πιθανότητα ότι θα έχετε μερικούς αμυδρούς - ας πούμε, $10^{\text{ου}}$ μεγέθους - αστέρες συγκρίσεως, το οποίο είναι ό, τι χρειάζεστε για έναν στόχο $10^{\text{ου}}$ μεγέθους). Το στενό FOV συνεπάγεται την ανάγκη για μια στήριξη με καλή οδήγηση, αλλά αυτό μάλλον είναι ήδη μέρος του τηλεσκοπίου σας.

Υπάρχει λοιπόν χρησιμότητα για τα πάντα, από χαμηλού κόστους φακούς (αρκετά φωτεινά αστέρια), σε τηλεφακούς (πιο αμυδρούς στόχους, αυτούς με κατάλληλα αστέρια συγκρίσεως μέσα σε λίγες μοίρες), και τηλεσκόπια (αμυδροί στόχοι, με έναν ή δύο αστέρες σύγκρισης εντός του στενού οπτικού πεδίου).

Η εικόνα 2.6 δείχνει πως η άποψη του Ωρίωνα εξαρτάται από το οπτικό πεδίο, ώστε να μπορείτε να προσδιορίσετε το οπτικό πεδίο του εξοπλισμού σας, συγκρίνοντας αυτό που βλέπετε με το διάγραμμα.



Εικόνα 2.6 Η περιοχή του Ωρίωνα χρησιμοποιείται για να καθορίσει το οπτικό πεδίο ενός αισθητήρα APS-C για διάφορα εστιακά μήκη.

Εάν γνωρίζετε το εστιακό μήκος του φακού σας και το μέγεθος του αισθητήρα της φωτογραφικής μηχανής σας, μπορείτε να καθορίσετε το οπτικό πεδίο από την εξίσωση ή τον πίνακα 2.1 κατωτέρω. Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο σας για να βρείτε το μέγεθος του αισθητήρα της κάμερας σας. Το πιο κοινό μέγεθος αισθητήρα DSLR και "υβριδικής" κάμερας είναι το APS-C, το οποίο είναι 14.9 x 22.4 χιλιοστά, αλλά υπάρχουν επίσης και άλλες διαστάσεις σε κάμερες που είναι γνωστό ότι χρησιμοποιούνται για φωτομετρία: το σύστημα 4/3 (13 x 17.3), η μορφή 1" κάποιων υβριδικών (8.8 x 13.2), το 1 / 1.7" που χρησιμοποιούνται σε "εξειδικευμένες" DSC (5.7 x 7.6). Υφίσταται επίσης η "full frame" μορφή (24 x 36 χιλιοστά), αλλά δεν είναι τόσο συχνή, είναι πολύ ακριβή και υπάρχει η επιφύλαξη προβλημάτων βινιεταρίσματος. Όλες αυτές οι φωτογραφικές μηχανές προσφέρουν πρωτογενή (RAW) μορφή αρχείων εικόνας.

Πίνακας 2.1 Παράδειγμα εστιακών μηκών που απαιτούνται για κάλυψη δεδομένου πεδίου μερικών τυπικών μεγεθών αισθητήρα.

Όλες οι διαστάσεις σε mm	APS-C 14.9 x 22.3	Τύπος 4/3" 13 x 17.3	Τύπος 1" 8.8 x 13.2	1 / 1.7" 5.7 x 7.6	1 / 2.3" 4.6 x 6.1	Full Frame 24 x 36
Οπτικό Πεδίο (°)	Π/Υ = 1.5 Εστ. Μήκος	Π/Υ = 1.33 Εστ. Μήκος	Π/Υ = 1.5 Εστ. Μήκος	Π/Υ = 1.33 Εστ. Μήκος	Π/Υ = 1.33 Εστ. Μήκος	Π/Υ = 1.5 Εστ. Μήκος
64	18	14	11	6	5	29
48	25	19	15	9	7	40
32	39	30	23	13	11	63
24	52	41	31	18.8	14	85
16	79	62	47	27	22	128
8	159	124	94	54	44	257
4	319	248	189	-	-	515
2	639	496	378	-	-	1031

Μπλε υπογράμμιση: πολύ ακριβοί φακοί, συνιστάται η χρήση τηλεσκοπίου στο οποίο θα προσαρτηθεί το σώμα της φωτογραφικής μηχανής. Μήκη σε χιλιοστά

Ο πίνακας 2.2 δείχνει το εμβαδόν του αντικειμενικού στο f/4 για τα εστιακά μήκη και τους αισθητήρες του πίνακα 2.1. Φαίνεται εύκολα το τεράστιο εύρος της ροής φωτονίων συναρτήσεως του οπτικού πεδίου. Με αυτό τον τρόπο, η ρύθμιση του f-stop καθορίζει τη δυνατότητα κάθε συνδυασμού να έχει πρόσβαση και να μετρήσει ένα μεγάλο εύρος μεγεθών.

Πίνακας 2.2 Εμβαδόν αντικειμενικού στο f/4 για εστιακά μήκη και αισθητήρες του πίνακα 2.1

Όλες οι διαστάσεις σε mm	APS-C 14.9 x 22.3	Τύπος 4/3" 13 x 17.3	Τύπος 1" 8.8 x 13.2	1 / 1.7" 5.7 x 7.6	1 / 2.3" 4.6 x 6.1	Full Frame 24 x 36
Οπτικό Πεδίο (°)	Π/Υ = 1.5 Εστ. Μήκος	Π/Υ = 1.33 Εστ. Μήκος	Π/Υ = 1.5 Εστ. Μήκος	Π/Υ = 1.33 Εστ. Μήκος	Π/Υ = 1.33 Εστ. Μήκος	Π/Υ = 1.5 Εστ. Μήκος
64	16	9	5	2	1	41
48	31	19	11	4	2	80
32	74	45	26	9	6	193
24	135	81	47	16	10	352
16	309	186	108	36	23	805
8	1248	751	437	145	93	3253
4	5004	3012	1753	-	-	13042
2	20030	12055	7018	-	-	52200

Μπλε υπογράμμιση: όπως και στον Πίνακα 2.1. Εμβαδά σε τετραγωνικά χιλιοστά.

Ο φακός της κάμερας θα πρέπει να είναι σε θέση να εστιάζει χειροκίνητα γιατί η αυτόματη εστίαση δεν θα λειτουργήσει όταν ο στόχος είναι άστρα. Για όμορφες αστροφωτογραφίες, θέλετε να εστιάζετε τα άστρα όσο το δυνατόν καλύτερα, αλλά για τη φωτομετρία, τις περισσότερες φορές θα πρέπει να αφεστιάσετε για να διαχυθεί το φως σε μεγαλύτερη περιοχή του αισθητήρα. Η μόνη εξαίρεση είναι όταν παρατηρείτε στο όριο ανίχνευσης, γιατί τότε η αβεβαιότητα της καταγραφής λόγω του θορύβου κυριαρχεί και η ελαχιστοποίηση του αριθμού των pixels που εμπλέκονται βελτιώνει την κατάσταση. Κατά την παρατήρηση αμυδρών αστέρων ο γενικός κανόνας είναι να εξισορροπούνται οι δύο πηγές σφάλματος: ο θόρυβος που οφείλεται στη διασπορά σε πολλαπλά pixels και την υποδειγματοληψία του προφίλ αστέρων λόγω της δομής Bayer. Η ισορροπία αυτή μπορεί να είναι μια πρόκληση για τον αρχάριο παρατηρητή. Αντίθετα, όταν παρατηρούμε φωτεινά άστρα, η αφεστίαση θα πρέπει να είναι μεγάλη.

Πολλές φωτογραφικές μηχανές DSLR είναι εξοπλισμένες με φακούς zoom. Αυτοί οι τύποι των φακών μπορεί συχνά να αποδίδουν καλά, αλλά υπάρχει ένα πιθανό πρόβλημα όταν χρησιμοποιούνται για φωτομετρία. Αν ο φακός ζουμ αλλάζει εστιακό μήκος κατά τη διάρκεια της παρατήρησης, η εστία θα μετατοπιστεί, μπορεί να συμβεί κορεσμός και η σωστή αστρομετρία και η άθροιση εικόνων μπορεί να είναι πιο δύσκολη. Η αλλαγή αυτή μπορεί να οφείλεται είτε σε περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως η αλλαγή της θερμοκρασίας ή σε ένα φυσικό αποτέλεσμα, όπως το βάρος του ίδιου του φακού καθώς η κάμερα κινείται από χαμηλή σε υψηλή θέση παρατήρησης. Όλοι οι φακοί μπορούν να επηρεαστούν με ανάλογο τρόπο (θα μάθετε για όλα αυτά στο κεφάλαιο ανάλυσης εικόνας). Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε αυτοκόλλητη ταινία για να αποτρέψετε την αλλαγή εστιακής απόστασης. Πολλοί ερασιτέχνες κάνουν εκθέσεις με σταθερή εστιακή απόσταση για την επίτευξη ταχύτερου f-stop.

2.3 Τρίποδες και στηρίξεις

Η κάμερα πρέπει να συνδεθεί σε κάποιο είδος στήριξης προκειμένου να λάβει εικόνες καλής ποιότητας. Μια κάμερα που κρατάμε με το χέρι δεν παρέχει αρκετή σταθερότητα για να ληφθούν ποιοτικά δεδομένα. Υπάρχουν αρκετοί τρόποι για να στηριχθεί μια φωτογραφική μηχανή, με την απλούστερη και λιγότερο δαπανηρή να είναι ένα σταθερό τρίποδο. Είναι επίσης δυνατό να τοποθετηθεί μια φωτογραφική μηχανή εξοπλισμένη με φακό σε ισημερινή στήριξη που ακολουθεί την κίνηση του ουρανού ή να τοποθετήσετε «riggy-back» μια φωτογραφική μηχανή πάνω σε ένα τηλεσκόπιο που είναι σε ισημερινή βάση. Κάτι τέτοιο έχει το πλεονέκτημα του να στοχεύει η κάμερα σας ακριβώς στην ίδια θέση του ουρανού, καθώς αυτός κινείται κατά τη διάρκεια της νύχτας. Τέλος, μπορείτε επίσης να συνδέσετε μια ψηφιακή φωτογραφική μηχανή στον εστιαστή τηλεσκοπίου, κατ'ουσίαν, μετατρέποντας το ίδιο το τηλεσκόπιο σε φακό της κάμερας. Ποια από αυτά θα χρησιμοποιήσετε είναι θέμα προσωπικής προτίμησης και εξοπλισμού. Ενώ μπορείτε να αποκτήσετε καλή ποιότητα δεδομένων με οποιοδήποτε από αυτούς τους τρόπους, η επιλογή στήριξης θα καθορίσει ποια αντικείμενα και με ποιό τρόπο θα μπορέσετε να παρατηρήσετε.

Παρακάτω θα παρουσιάσουμε τις τρεις συνηθέστερες στηρίξεις.

2.3.1 Τρίποδο ή άλλου είδους σταθερή στήριξη

Ένα τρίποδο αποτελείται από ένα τυποποιημένο σημείο στήριξης στο οποίο μπορεί να συνδέονται κάμερες ή άλλα οπτικά μέσα. Η φωτογραφική μηχανή σας πιθανόν να έχει μια μικρή οπή με σπείρωμα στο κάτω μέρος μέσα στο οποίο μπορεί να εισαχθεί μια βίδα από την κεφαλή του τρίποδα. Παρέχει έτσι έναν τρόπο για να κρατηθεί η κάμερα σταθερά στοχεύοντας ακριβώς την ίδια θέση του ουρανού, χωρίς να υπόκειται σε δόνηση (όπως οι μικροκινήσεις των χεριών σας). Ο περιορισμός είναι ότι τα άστρα κινούνται στον ουρανό κατά τη διάρκεια της νύχτας, κάτι που οφείλεται στην περιστροφή της Γης. Αυτό είναι αποδεκτό, αλλά θα περιορίσει τους χρόνους έκθεσης που μπορείτε να χρησιμοποιήσετε έτσι ώστε τα είδωλα των αστέρων να μη δημιουργούν ίχνη πέρα από τα όρια που μπορεί να μετρήσει το λογισμικό σας.

2.3.2 Ισημερινή στήριξη

Μία ισημερινή στήριξη έχει σχεδιαστεί για να παρακολουθεί την κίνηση του ουρανού. Μια τέτοια βάση αντικαθιστά συνήθως τη σταθερή κεφαλή του τρίποδα. Οι ισημερινές στηρίξεις χρησιμοποιούνται συχνά με τηλεσκόπια, δίνοντάς τους τη δυνατότητα να ακολουθούν την κίνηση του ουρανού και παρακολουθούν το ίδιο αντικείμενο κατά τη διάρκεια της νύχτας χωρίς να χρειάζεται να διορθώνεται συνεχώς η θέση του τηλεσκοπίου με το χέρι. Μπορείτε επίσης να τοποθετήσετε μια ψηφιακή φωτογραφική μηχανή ή άλλο οπτικό μέσο στην ισημερινή στήριξη. Οι ισημερινές στηρίξεις έχουν πρόσθετες απαιτήσεις: χρειάζεστε μια πηγή ενέργειας για την οδηγήσετε και θα πρέπει να γίνει πολικός προσανατολισμός της με το βόρειο (ή νότιο) πόλο του ουρανού, έτσι ώστε να μπορεί να παρακολουθεί σωστά. Κατ'αρχήν, μια καλά ευθυγραμμισμένη ισημερινή βάση σας επιτρέπει να χρησιμοποιείτε μεγαλύτερους χρόνους έκθεσης από ένα σταθερό τρίποδο. Κάτι τέτοιο θα σας επιτρέψει να παρατηρήσετε πιο αμυδρά αστέρια, επειδή όσο μεγαλύτερος ο χρόνος έκθεσης σας, τόσο περισσότερο φως μπορείτε να συλλέξετε. Ο Πίνακας 2.4 δίνει παραδείγματα εκθέσεων για οδηγούμενες στηρίξεις.

2.3.3 Ανάρτηση piggy-back

Η ανάρτηση piggy-back απλά στερεώνει τη φωτογραφική μηχανή σε ένα υπάρχον οπτικό όργανο, συνήθως ένα τηλεσκόπιο σε ισημερινή βάση. Στην περίπτωση αυτή, το κύριο μέλημά σας είναι πώς να προσαρμόσετε τη φωτογραφική μηχανή σας στο όργανο αντί στην στήριξη. Μερικά τηλεσκόπια έχουν προβλέψει τέτοια τοποθέτηση υλικού είτε άμεσα, ή με με εξαρτήματα που διατίθεται στο εμπόριο. Άλλα όμως μπορεί να απαιτούν να σχεδιάσετε και να δημιουργήσετε το δικό σας υλικό στερέωσης. Σε κάθε περίπτωση, οι κύριες απαιτήσεις είναι ότι η κάμερα θα είναι σωστά και με ασφάλεια συνδεδεμένη με το τηλεσκόπιο και ότι παραμένει στη θέση της χωρίς ολίσθηση ή μετατόπιση, καθώς το τηλεσκόπιο κινείται. Θα πρέπει επίσης να γνωρίζετε ότι η προσθήκη μιας κάμερας σε ένα τηλεσκόπιο θα αλλάξει το βάρος και την ισορροπία του φορτίου και θα πρέπει να ξαναζυγίσετε τη στήριξη σας.

2.3.4 Μικρές στηρίξεις με οδήγηση στην Ορθή Αναφορά

Υπάρχουν επίσης μικρές συσκευές ειδικά για φωτογραφικές μηχανές DSLR. Δεν έχουν άξονα Απόκλισης, αλλά μόνο ένα κινητήρα στον άξονα Ορθής Αναφοράς που ακολουθεί την κίνηση του ουρανού. Η κάμερα με το φακό της είναι τοποθετημένη σ'αυτή την πλατφόρμα χρησιμοποιώντας ένα σφαιρικό σύνδεσμο (ball head). Η διάταξη μπορεί να σκοπεύσει σε οποιαδήποτε κατεύθυνση του ουρανού και στη συνέχεια ακολουθεί την κίνηση του. Αυτή η συσκευή δεν έχει δικό της τρίποδο και συνήθως τοποθετείται πάνω σε ένα αρκετά ισχυρό φωτογραφικό τρίποδο. Είναι λύση που λειτουργεί καλά για μερικά λεπτά έκθεσης με ένα φακό κι όχι με ένα τηλεσκόπιο. Το κόστος είναι πολύ χαμηλότερο από ό, τι μια στήριξη καλού επιπέδου και ο εξοπλισμός είναι ελαφρύς και πολύ πιο εύκολο να μεταφερθεί και να στηθεί. Μια λύση με πολύ χαμηλό κόστος θα ήταν να κατασκευαστεί μια παραδοσιακή στήριξη "barn-door". Κατασκευάζεται από δύο πλάκες κόντρα πλακέ που ενώνονται με ένα μεντεσέ πόρτας ο οποίος ελέγχεται από ένα κοχλία που περιστρέφεται είτε με το χέρι ή με τη χρήση ενός μικρού κινητήρα / μειωτήρα. Η κάμερα είναι τοποθετημένη σε μία από τις πλάκες μέσω ενός σφαιρικού συνδέσμου. Ο άξονας της άρθρωσης είναι στραμμένος προς το Βόρειο (Νότιο) Πόλο. Μια τελευταία λύση είναι να χρησιμοποιήσετε μια οικονομική ισημερινή στήριξη σαν την EQ1 και να την εξοπλίσετε με ένα βηματικό κινητήρα. Αυτός ο τρόπος λειτουργεί μέχρι 60-90 δευτερόλεπτα με ένα φακό εστιακής απόστασης 200 mm. Συνολικά το κόστος θα πρέπει να είναι περίπου 200 ευρώ. Αυτή η διάταξη είναι ελαφριά, πολύ εύκολη στη μεταφορά, και μπορεί να ρυθμιστεί σε μερικά λεπτά.

2.3.5. Περιορισμοί

Οποιαδήποτε από αυτές τις βάσεις θα σας επιτρέψει να πάρετε καλά επιστημονικά δεδομένα, αλλά χρησιμοποιώντας μια μη-οδηγούμενη στήριξη - είτε τρίποδο ή ισημερινή στήριξη χωρίς κινητήρες ή καλή πολική ευθυγράμμιση - θα πρέπει να λάβετε συντομότερες εκθέσεις, συνήθως λιγότερο από 5-20 δευτερόλεπτα (Πίνακας 2.3). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο ουρανός θα περιστραφεί ελαφρώς στο οπτικό πεδίο της κάμερας κατά τη διάρκεια της έκθεσης, με αποτέλεσμα εικόνες με επιμήκη ή καμπύλα αστρικά είδωλα.

Εάν τα ίχνη είναι πάρα πολύ μεγάλα, τα επιπλέον pixels του υπόβαθρου στην φωτομετρική περιοχή θα αυξήσουν το θόρυβο και θα μειώσουν το SNR (λόγος σήματος προς θόρυβο). Ωστόσο, υπάρχει λογισμικό που παρέχει μια επιμήκη φωτομετρική περιοχή που θα μπορούσε να χωρέσει το ίχνος και να δώσει καλύτερα αποτελέσματα εάν το αστέρι είναι αρκετά φωτεινό. Ένας άλλος περιορισμός των μακρών ιχνών (ή της αφεστίασης) είναι ο κίνδυνος της ανάμειξης των άστρων, ιδίως εάν χρησιμοποιείται φακός μικρού εστιακού μήκους.

Η επόμενη ενότητα θα παράσχει κατευθυντήριες γραμμές για χρόνους έκθεσης που βασίζονται στα οπτικά της φωτογραφικής σας μηχανής και επίσης αν χρησιμοποιείτε σταθερή στήριξη (χωρίς οδήγηση) ή ισημερινή βάση με οδήγηση.

2.4 Ρυθμίσεις της κάμερας

Υπάρχουν πολλές ρυθμίσεις της DSLR φωτογραφικής σας μηχανής, οι περισσότερες εκ των οποίων δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται. Υπάρχουν επίσης πολλές διαφορετικές φωτογραφικές μηχανές κι έτσι θα πρέπει να ανατρέξετε στο εγχειρίδιο χρήσης για να βρείτε τις σχετικές ρυθμίσεις, πολλές από τις οποίες ενεργοποιούνται μέσα από μια σειρά μενού. Ο στόχος σας είναι να απλοποιήσετε τη λειτουργία της φωτογραφικής μηχανής, απενεργοποιώντας όλες τις ευκολίες ώστε να μείνουν μόνο αυτές που συλλέγουν την πρωτογενή (RAW) εικόνα. Το πρώτο σας βήμα είναι να περιστρέψετε τον επιλογέα λειτουργίας στη θέση «M» για την απόκτηση χειροκίνητου ελέγχου του χρόνου έκθεσης και των f-stop, όπως περιγράφονται παρακάτω.

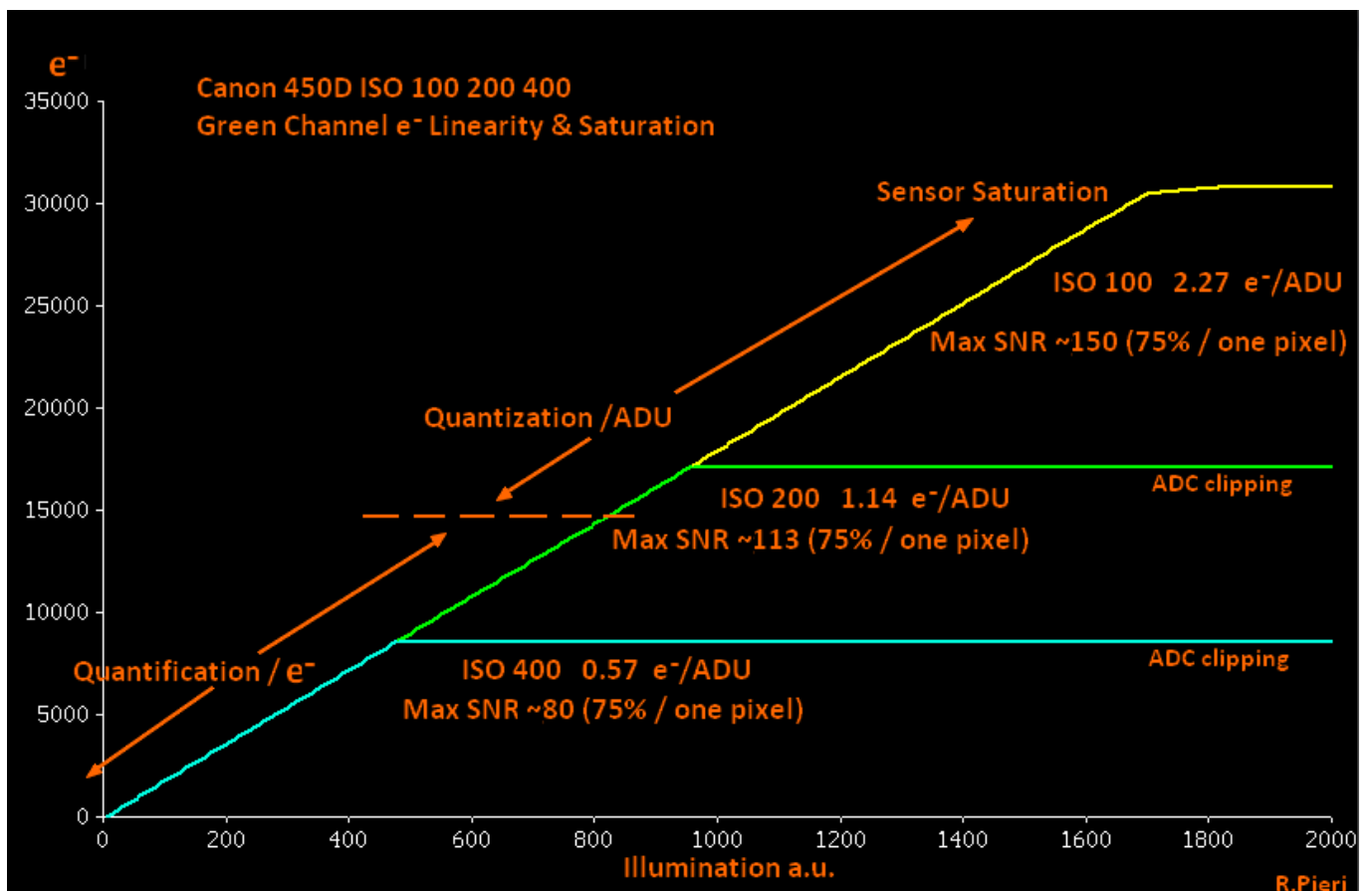
Το επόμενο βήμα είναι να επιλέξετε το κατάλληλο f-stop. Το f-stop είναι ένας αριθμός ίσος με το εστιακό μήκος του φακού διαιρούμενο με τη διάμετρο του φακού, το άνοιγμα που επιτρέπει στο φως να εισέρχεται στη φωτογραφική μηχανή. Όσο χαμηλότερο είναι το f-stop, τόσο περισσότερο φως μπαίνει, αλλά μερικές φορές υπάρχουν παραμορφώσεις από τον φακό που μπορεί να ελαχιστοποιηθούν με την αποφυγή των χαμηλότερων f-stop. Ο γενικός κανόνας είναι: αν θέλετε να συλλέξετε περισσότερο φως, τότε το f-stop θα είναι μικρός αριθμός, όπως f/2 ή f/4. Αν πάτε πάνω από f/7, έχετε πιθανώς κλείσει το διάφραγμα πάρα πολύ.

Επίσης, θα βρείτε τη ρύθμιση ISO της φωτογραφικής μηχανής σας. Αυτή η ρύθμιση καθορίζει την ενίσχυση εξόδου του αισθητήρα. Υψηλότερη ευαισθησία ISO είναι χρήσιμη όταν απεικονίζετε αμυδρά αστέρια, αλλά με ένα φωτεινό αστέρι, το υψηλό ISO αυξάνει τον κίνδυνο κορεσμού, ο οποίος συμβαίνει όταν ένα pixel του αισθητήρα λαμβάνει περισσότερα φωτόνια από όσα μπορεί να μετρήσει. Από την άλλη πλευρά, ένας χαμηλός αριθμός ISO αποφεύγει το πρόβλημα κορεσμού και επιτρέπει να μετρηθεί ευρύτερο φάσμα λαμπρότητας. Ρύθμιση ISO από 100 έως 200 συνιστάται συνήθως για λαμπρά άστρα. Υψηλότερη ευαισθησία ISO μπορεί να είναι απαραίτητη για αμυδρούς αστέρες, ανάλογα με το άνοιγμα, τον χρόνο έκθεσης, και τον αριθμό των εικονοστοιχείων που φωτίζονται από το φως τους.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η ποσότητα ADU του αναλογικο-ψηφιακού μετατροπέα (ADC) είναι ανάλογη με τον αριθμό των ηλεκτρονίων που συλλέγονται από τη φωτοδίοδο του κάθε pixel. Ο συντελεστής βαθμονόμησης e/ADU είναι αντιστρόφως ανάλογος προς τον αριθμό ISO. Για τις πιο κοινές APS-C DSLR κάμερες που έχουν ADC 14-bit, ο ιδανικός παράγοντας βαθμονόμησης ενός ηλεκτρονίου ανά ADU επιτυγχάνεται μεταξύ ISO 100 και 300, ανάλογα με το μέγεθος των εικονοστοιχείων. Κάτω από αυτό το εύρος ISO, η ελάχιστη αύξηση τιμών των δεδομένων (κβαντοποίηση) είναι μόνο ένα bit για τον ADC ενώ έχουν ανιχνευθεί αρκετά ηλεκτρόνια κι έτσι η ευαισθησία χάνεται. Αυτές οι συνθήκες κβαντοποίησης επιτρέπουν την υψηλότερη δυνατή φωτομετρική ακρίβεια και δυναμική περιοχή κάτω από υψηλή ροή ακτινοβολίας (όπου ο πυκνωτής μπορεί να γεμίσει από τα ηλεκτρόνια), αλλά η ανιχνευσιμότητα περιορίζεται σε ένα ζευγάρι ηλεκτρονίων. Στις σύγχρονες κάμερες, ο μετατροπέας είναι συνήθως 14-bit, το οποίο όμως μπορεί να περιλαμβάνει κάποιο συντελεστή κωδικοποίησης (π.χ., 1024 ή 2048 για κάμερες Canon). Έτσι, από τις 16384 πιθανές τιμές που αντιπροσωπεύονται από έναν αριθμό 14-bit, μόνο 14000 περίπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Από το ISO 400 και πάνω, η έξοδος του ADC θα καταγράφει κάθε ηλεκτρόνιο που συλλέγεται από τη φωτοδίοδο.

Έτσι, ο συνολικός αριθμός των ανιχνεύσιμων ηλεκτρονίων μεταβάλλεται (αναλογικά με τον αριθμό ISO) με τον τρόπο που μεταβάλλονται το πιθανό δυναμικό εύρος και ο SNR. Το σχήμα 2.7 δείχνει τη γραμμικότητα ηλεκτρονίων και τον κορεσμό για την Canon 450D στο πράσινο κανάλι και σε διάφορες ρυθμίσεις ISO.

Μέχρι τώρα έχουμε υποθέσει ότι μόνο αστρικά φωτόνια μετρώνται από την κάμερα, αλλά αυτό στην πραγματικότητα είναι υπεραπλοΐστευση. Η πρωτογενής έξοδος, μετρούμενη ως ADU είναι ανάλογη με την καταμέτρηση των φωτονίων του άστρου αλλά και του υποβάθρου του ουρανού, καθώς και από διάφορες πηγές θορύβου. Ο θόρυβος προέρχεται από εγγενείς διακυμάνσεις της πηγής, από στίλβη της ατμόσφαιρας και το ηλεκτρονικό κύκλωμα της φωτογραφικής μηχανής. Ειδικότερα, μερικά από τα ADU που μετρώνται, στην πραγματικότητα είναι ρεύμα σκότους που προκαλείται από θερμικώς παραγόμενα ηλεκτρόνια στην φωτοδίοδο. Τις περισσότερες φορές, η επίδραση του ρεύματος σκότους μπορεί να μετριαστεί με τη λήψη μιας σειράς εικόνων σκότους (dark frames - εικόνες όπου δεν εισέρχεται φως στο σύστημα) και που θα αφαιρούνται από τις πρωτογενείς εικόνες. Τυχαίος θόρυβος από την ενίσχυση και θόρυβος έκθεσης από το μέσο ρεύμα σκότους επιδρούν επίσης στην μετρούμενο σήμα. Οι όροι αυτοί εξετάζονται στο κεφάλαιο 4.



Εικόνα 2.7. Γραμμικότητα και κορεσμός για το πράσινο κανάλι της Canon 450D και διάφορες ρυθμίσεις ISO (Με την άδεια του Roger Pieri)

Θα ρυθμίσετε τώρα το χρόνο έκθεσης, έτσι ώστε να μπορείτε να τραβήξετε εκθέσεις τουλάχιστον μερικών δευτερολέπτων. Η διάρκεια του χρόνου που θα επιλέξετε θα εξαρτηθεί από διάφορους παράγοντες, όπως τη φωτεινότητα του άστρου, το f-stop, τη ρύθμιση ISO και το αν θέλετε να αποφύγετε τη δημιουργία ιχνών των αστερών. Εάν το αστέρι είναι αμυδρό, πρέπει να εκθέσετε για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα ώστε να μετρηθεί με ακρίβεια η φωτεινότητα. Εάν το αστέρι είναι φωτεινό, μια μεγάλη έκθεση ενέχει κίνδυνο κορεσμού. Αφού χαμηλότερο f-stop επιτρέπει να περάσει περισσότερο φως, θα επιτρέπει επίσης μικρότερη έκθεση και αντίστροφα, για υψηλότερη ρύθμιση ISO απαιτείται αύξηση του χρόνου έκθεσης. Εάν η κάμερα είναι τοποθετημένη σε ένα τρίποδο, οι χρόνοι έκθεσης σας περιορίζονται περίπου στα 5-20 δευτερόλεπτα (Πίνακας 2.3), για να αποφευχθούν μακρά είδωλα αστερών.

Αν η φωτογραφική μηχανή σας είναι σε μια οδηγούμενη στήριξη, μπορείτε να πάτε μέχρι περίπου 60 δευτερόλεπτα πριν να ανησυχείτε για την φωτεινότητα του υποβάθρου του ουρανού ή την ακρίβεια της κίνησης. Για μεγάλους χρόνους έκθεσης, ίσως χρειαστεί να ρυθμίσετε το χρόνο έκθεσης σε "BULB" και να χρησιμοποιήσετε ένα καλώδιο απελευθέρωσης για να λειτουργήσει το κλείστρο. Μπορείτε να επιλέξετε να πάρετε πολλαπλές εικόνες με τον ίδιο χρόνο έκθεσης και να τις συνδυάσετε με μια διαδικασία λογισμικού που ονομάζεται στοιβάξη ή άθροιση (stacking). Η συνδυασμένη έκθεση της σωρευμένης εικόνας θα πρέπει να ανέρχεται τουλάχιστον σε 60 δευτερόλεπτα κατά μέσο όρο για να αποσβέσει σωστά τη μεταβλητότητα του σήματος λόγω της στίλβης. Ο χρόνος έκθεσης είναι συνάρτηση του επιπέδου της επιθυμητής φωτομετρικής ακρίβειας, του "seeing" και της διαμέτρου του οργάνου. Η στίλβη είναι ισχυρή σε μικρές διαμέτρους και γίνεται πιο αδύναμη σε μεγαλύτερες. Είναι μια άλλη επίδραση του "seeing" - των αναταράξεων της ατμόσφαιρας.

Οι πίνακες που ακολουθούν δίνουν το αμυδρότερο μέγεθος, εφικτό σε εξαιρετικό ουρανό, στο ζενίθ και ρύθμιση ISO 400, χρησιμοποιώντας διάφορα οπτικά στο μέγιστο διάφραγμα, με και χωρίς οδήγηση στην ορθή αναφορά. Το αντίστοιχο χρονικό διάστημα έκθεσης και το επίπεδο κορεσμού παρέχονται για φωτομετρικό άνοιγμα των 25 rixels σε ISO 400 και ISO 100. Μπορεί να επιτευχθεί πολύ μεγαλύτερο δυναμικό εύρος χρησιμοποιώντας μεγαλύτερη αφεστίαση.

Πίνακας 2.3. Παραδείγματα εκθέσεων για μη οδηγούμενη στήριξη

Οπτικά Μη οδηγ. στήριξη	Εστιακό Μήκος mm	f-stop	Εμβαδόν Φακού mm ²	Μέγιστος Χρόνος Έκθεσης*	Οριακό μέγεθος	Μέγεθος Κορεσμού ISO 400	Μέγεθος Κορεσμού ISO 100	Οπτικό Πεδίο** (μοίρες)
Zoom 18-55 / 3.5-5.6	55	5.6	76	20	8	5.1	3.7	15.3 x 22.8
Zoom 70-300 / 4-5.6	70	4	240	16	9	6.2	4.8	12 x 18
Tele 200mm F4	200	4	1963	5.5	10	7.3	5.9	4.24 x 6.36
Zoom 70-300 / 4-5.6	300	5.6	2254	3.7	10	7.1	5.7	2.8 x 4.2
Διοπτρικό 400mm F5	400	5	5026	2.7	10.5	7.6	6.2	2.1 x 3.2

* Ίχνος 15 rixels των 5.2 μm σε απόκλιση 0°. Η εξομάλυνση της στίλβης των άστρων απαιτεί τουλάχιστον 60 δευτερόλεπτα έκθεσης. Έτσι, πρέπει να αθροιστούν αρκετές εκθέσεις που να έχουν συνολικό χρόνο άνω του ενός λεπτού. Κάνοντας λοιπόν αρκετές – 5 ή περισσότερες – παρέχεται ικανό στατιστικό δείγμα, ενώ είναι σημαντικό να έχετε βελτιστοποιήσει τις ρυθμίσεις.

**Αισθητήρας μεγέθους APS-C

“Οριακό Μέγεθος” είναι το μέγεθος του αμυδρότερου άστρου που μπορεί να μετρηθεί με περιθώριο σφάλματος 0.05 μεγεθών και φωτομετρική διάμετρο σε μια εικόνα, τουλάχιστον 25 rixels. Ανάλογα με τις συνθήκες του ουρανού, το συνολικό σφάλμα ενδέχεται να είναι μεγαλύτερο.

“Μέγεθος Κορεσμού” είναι το μέγεθος στο οποίο ένα τουλάχιστον rixel έχει φτάσει το 75% της στάθμης κόρου.

Πίνακας 2.4. Παραδείγματα εκθέσεων για οδηγούμενη στήριξη

Οπτικά Οδηγούμενη στήριξη	Εστιακό Μήκος mm	f-stop	Εμβαδόν Φακού mm ²	Μέγιστος Χρόνος Έκθεσης*	Οριακό μέγεθος	Μέγεθος Κορεσμού ISO 400	Μέγεθος Κορεσμού ISO 100	Οπτικό Πεδίο** (μοίρες)
Tele 200mm F4	200	4	1963	60	13	9.9	8.5	4.24 x 6.36
Zoom 70-300 / 4-5.6	300	5.6	2254	60	13	10	8.6	2.8 x 4.2
Διοπτρικό 400mm F5	400	5	5026	60	14	10.9	9.5	2.1 x 3.2
Νευτώνιο 800mm F4	800	4	31416	60	16	12.9	11.5	1 x 1.6

Σημειώσεις όπως και στον Πίνακα 2.3

Η φωτογραφική μηχανή DSLR προσφέρει ποικιλία από μορφές αρχείων. Αυτά που απαιτούνται για τη φωτομετρία είναι τα RAW, τα οποία καταγράφουν άμεσα ό,τι έχει εντοπίσει ο αισθητήρας και δεν περιλαμβάνουν καμία επεξεργασία ή συμπίεση από την κάμερα. Τα αρχεία μορφής RAW απαιτούν ένα τεράστιο μέγεθος αποθηκευτικής μνήμης, αλλά όλες αυτές οι πληροφορίες είναι απαραίτητες για την ακριβή φωτομετρία. Ενώ τα JPG είναι μια πιο κοινή μορφή για τους φωτογράφους, εν τούτοις δεν διατηρεί τις πληροφορίες που με κόπο το σύμπαν παραδίδει στον αισθητήρα της κάμερας σας. Συνιστάται να αποφεύγεται η συνδυασμένη λειτουργία RAW + JPG που υπάρχει σε πολλές φωτογραφικές μηχανές DSLR. Η έξοδος JPG απαιτεί πολλή δουλειά του επεξεργαστή (μείωση θορύβου, διάφορες εσωτερικές διορθώσεις της φωτογραφικής μηχανής, de-Bayer, sRGB ...). Χρησιμοποιεί πολλή ενέργεια από τη μπαταρία και παράγει θερμότητα που αυξάνει το θόρυβο σκότους (dark noise).

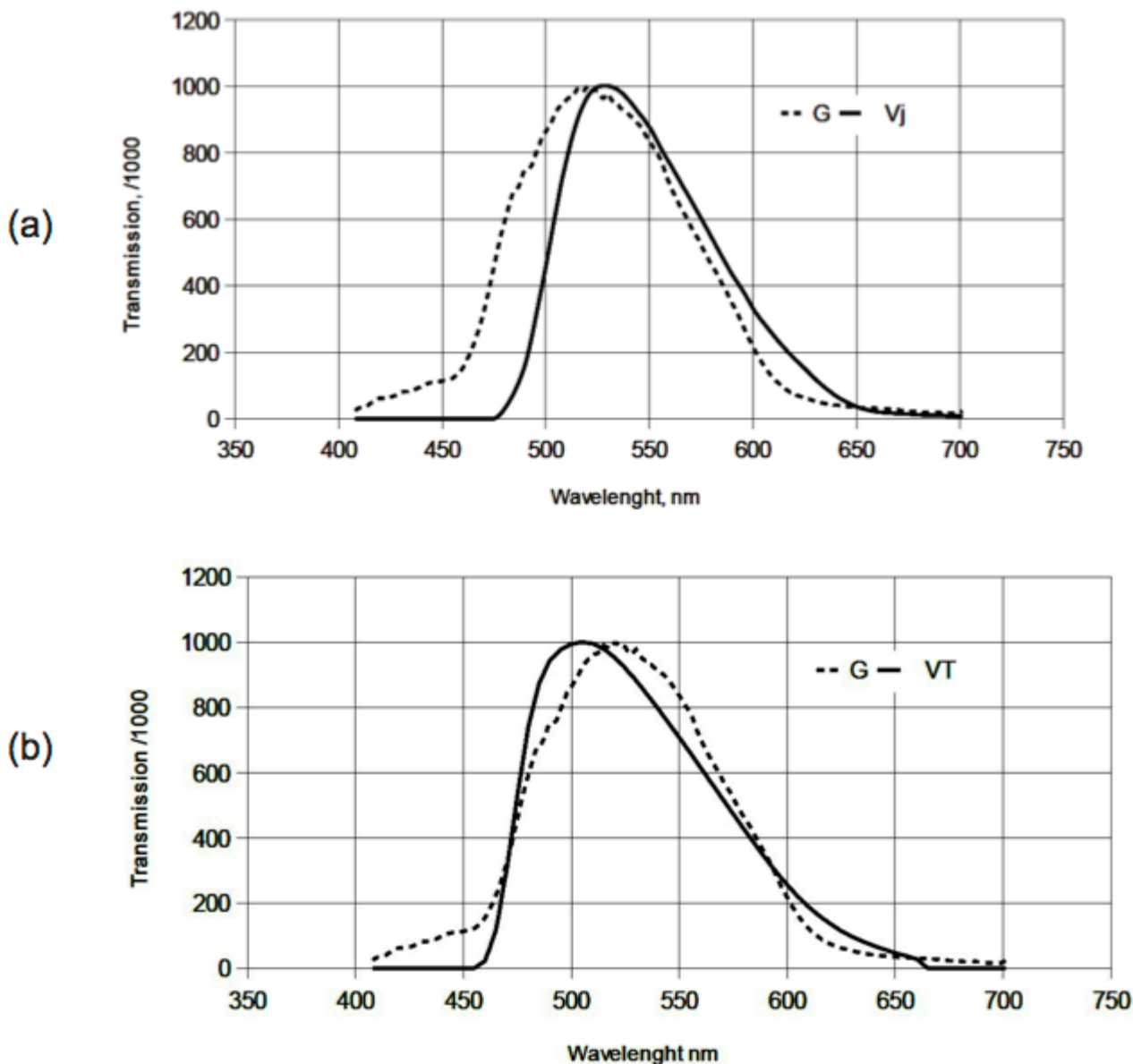
Υπάρχει μια σειρά από άλλες ρυθμίσεις της φωτογραφικής μηχανής σας που είναι ανεπιθύμητες στην φωτομετρία. Κάθε λειτουργία που περιλαμβάνει επεξεργασία της εικόνας από την κάμερα, όπως μείωση του θορύβου, πρέπει να αποφεύγεται. Θα πρέπει επίσης να χαμηλώσετε τη φωτεινότητα της οθόνης LCD (ακόμα και να την απενεργοποιήσετε) για να διατηρήσετε τη νυχτερινή σας όραση και τη διάρκεια της μπαταρίας σας. Οι συγγραφείς αυτού του εγχειριδίου δεν μπορούν να γνωρίζουν όλες τις ρυθμίσεις που ενδέχεται να είναι διαθέσιμες στη μηχανή σας, αλλά σε περίπτωση αμφιβολίας, να επιλέξετε αυτό που ακούγεται σαν κάτι που δεν θα κάνει τίποτα φανταχτερό.

2.5 Φίλτρα και φασματική απόκριση

2.5.1 DSLR χωρίς τροποποίηση (unmodified)

Τα φίλτρα Κόκκινο, Πράσινο και Μπλε της διάταξης Bayer (στην πραγματικότητα RGGB pixels) κατασκευάζονται από χρωστικές ουσίες που εναποτίθενται στην άνω επιφάνεια των εικονοστοιχείων του αισθητήρα CMOS, και δεν μπορούν να καθαριστούν ή να αφαιρεθούν. Αποτελούν ένα μοτίβο σκακιέρας του κόκκινου, πράσινου και μπλε φίλτρων που τοποθετείται πάνω από τον αισθητήρα (βλέπε σχήμα 2.3). Κάθε ρixel επομένως είναι ευαίσθητο μόνο για το δικό του χρώμα. Μια σειρά μικροφακών (κολλημένων πάνω στον ανιχνευτή) εστιάζουν το φως που πέφτει σε κάθε εικονοστοιχείο στο πιο ευαίσθητο μέρος του, βελτιώνοντας τον συντελεστή πλήρωσης των ρixel σε ένα επίπεδο που πλησιάζει το 100%. Σε μικρή απόσταση μπροστά από τον ίδιο τον αισθητήρα είναι μια στοιβάδα φίλτρων που εκτελούν διάφορες λειτουργίες, μεταξύ των οποίων:

- Επίστρωση IR που μειώνει την υπερβολική ευαισθησία στο βαθύ κόκκινο και υπέρυθρο φως - δεν μπορεί να αφαιρεθεί από μια σύγχρονη φωτογραφική μηχανή χωρίς να αφαιρέσετε όλες τις λειτουργίες της στοιβάδας φίλτρων
- IR cut (διηλεκτρικό φίλτρο) που εξαλείφει το υπέρυθρο φως πάνω από 700 nm
- UV cut (διηλεκτρικό φίλτρο) που εξαλείφει το υπεριώδες φως κάτω από τα 400 nm
- Αντι-Moiré που μειώνει την επίδραση υφής λόγω της δομής Bayer (ένα χαμηλοπερατό φίλτρο χώρου που μειώνει ελαφρώς την ανάλυση, και μειώνει προβλήματα υποδειγματοληψίας στη φωτομετρία)



Εικόνα 2.8. Η φασματική απόκριση του πράσινου φίλτρου μιας DSLR σε σχέση με τις πρότυπες ζώνες διελεύσεως των φίλτρων: (a) Johnson V και (b) Tycho VT (Brian Kloppenborg et al., *JAAVSO*, 40, 815 (2012))

Η απόκριση μήκους κύματος των συνδυασμένων καναλιών G + G της DSLR δεν είναι μακριά από τον πρότυπο ορισμό του φίλτρου Johnson V και αποδίδει ορθό μέγεθος V μετά από ένα κλασικό μετασχηματισμό. Η τεχνική VSF (V synthetic filter. R. Pieri, *JAAVSO*, 40, 2, 834 (2012)), που συνδυάζει τα κανάλια RGGB, λειτουργεί κάπως καλύτερα. Το σήμα του καναλιού B μπορεί να μετατραπεί σε Johnson B για τους περισσότερους αστρικούς τύπους, αν και αυτό παραμένει ένα θέμα για πειραματισμό. Το κανάλι R είναι πάρα πολύ μακριά από το Cousins R (Rc) για να μετασχηματιστεί. Δεδομένου ότι η τυπική απόκριση μιας DSLR στα μπλε και πράσινο μπορεί να μετασχηματιστεί αποτελεσματικά στο σύστημα Johnson, δεν είναι απαραίτητο να προστεθούν επιπλέον φίλτρα στη διαδρομή του φωτός πορεία μιας μη τροποποιημένης DSLR.

2.5.2. Τροποποιώντας μια DSLR

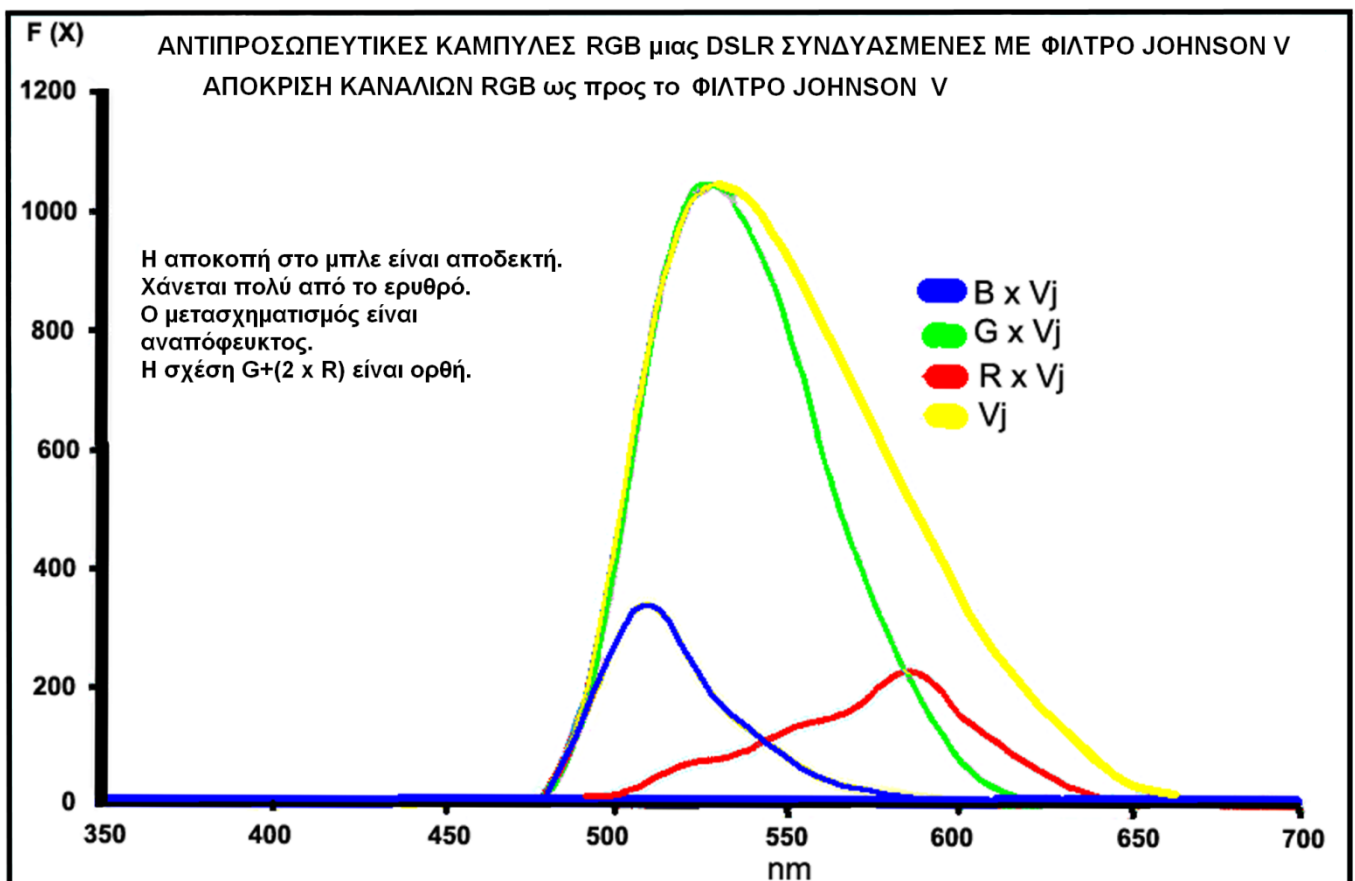
Η στοιβάδα φίλτρων πολλών φωτογραφικών μηχανών DSLR μπορεί να αφαιρεθεί (με κάποιο κίνδυνο) από ειδικούς. Κάτι τέτοιο αυξάνει την απόκριση στο κόκκινο και εγγύς υπέρυθρο (Halrha, κλπ). Η ολική αφαίρεση της στοιβάδας φίλτρων είναι ενδιαφέρουσα για τη φασματοσκοπία.

Στην κλασική απεικόνιση όμως, χρειάζεται να αντικατασταθούν οι λειτουργίες αποκοπής των IR και UV για από ένα παρόμοιο εξωτερικό φίλτρο (οι λειτουργίες αυτές απομακρύνονται με την επίστρωση IR). Αυτά τα εξωτερικά φίλτρα IR και UV χρειάζονται επίσης για την φωτομετρία V και B (και ενδεχομένως, R). Η απομάκρυνση της επίστρωσης IR βελτιώνει κάπως την απόκριση στο ερυθρό του καναλιού G και παρέχει καλύτερη προσέγγιση του φίλτρου V με μειωμένους μετασχηματισμούς. Μπορεί να βοηθήσει να επιτευχθεί μια τιμή Cousins R, αλλά αυτό μένει να επιβεβαιωθεί. Τα αποτελέσματα για το B είναι αμετάβλητα. Η εξάλειψη του αντι-Moiré (αναπόφευκτη όταν αφαιρείται το στρώμα IR cut) καθιστά το πρόβλημα υποδειγματοληψίας της διάταξης Bayer, πιο κρίσιμο (απαιτείται περισσότερη αφεσίαση).

Αν δεν αφαιρεθεί η στοιβάδα φίλτρων, η προσθήκη ενός φίλτρου Johnson V μπροστά από τον φακό, είτε με τη χρήση R + G + B ή μόνο G + G, εξακολουθεί να απαιτεί ένα μεγάλο μετασχηματισμό και μειώνει το λόγο σήματος προς θόρυβο. Για τους αστρικούς φασματικούς τύπους K και M παραμένουν μεγάλα λάθη μετά τη μετατροπή. Ως εκ τούτου, η προσθήκη αυτή δεν συνιστάται. Το σχήμα 2.9 δείχνει τη φασματική απόκριση μήκους κύματος για μια μη τροποποιημένη Canon 450D όπου το κόκκινο, πράσινο και μπλε κανάλι συσχετίζονται με το Johnson V.

Η προσθήκη ενός φωτογραφικού φίλτρου Y50 (αποκοπής μπλε) σε μια μη τροποποιημένη DSLR και χρησιμοποιώντας την τεχνική VSF σε G + 0,05 x R αποδίδει ένα πολύ καλό V χωρίς να μειώνεται ο SNR πάρα πολύ. Παρέχει τα καλύτερα αποτελέσματα όλων των τεχνικών για τους φασματικούς τύπους K και M.

Εν κατακλείδι, η μη τροποποιημένη DSLR χωρίς πρόσθετα φίλτρα συνιστάται για κανονική φωτομετρία στο V. Η αφαίρεση της επίστρωσης IR θα μπορούσε να είναι ενδιαφέρουσα για συγκεκριμένα έργα.



Εικόνα 2.9. Φασματική απόκριση μη τροποποιημένης Canon 450D στην οποία τα κόκκινο, πράσινο και μπλε φίλτρα έχουν συνδυαστεί με φίλτρο Johnson V. (Με την άδεια του Roger Pieri)

Κεφάλαιο 3: Επισκόπηση Λογισμικού

Με την εξαίρεση του εξοπλισμού απεικόνισης, οι υπολογιστές και το λογισμικό σας είναι τα πιο σημαντικά πράγματα στη φωτομετρία με DSLR. Πολλές πτυχές του σχεδιασμού των παρατηρήσεων, η λήψη και η βαθμονόμηση των εικόνων, η μέτρηση, η ανάλυση και αναφορά των αποτελεσμάτων υποβοηθούνται από τη χρήση του κατάλληλου λογισμικού. Υπάρχουν διαθέσιμες πολλές επιλογές, δωρεάν ή μη, με νέες προσφορές να εμφανίζονται κατά καιρούς στην αγορά. Μερικά προγράμματα εκτελούν πολλαπλές εργασίες, ενώ άλλα είναι πιο εξειδικευμένα. Κανένα πακέτο λογισμικού δεν κάνει τα πάντα κι έτσι μάλλον θα καταλήξετε με μια μικρή σουίτα προγραμμάτων, καθένα από τα οποία θα είναι αφιερωμένο σε ένα συγκεκριμένο έργο εντός της ροής εργασίας σας.

Επειδή το λογισμικό αλλάζει συνεχώς, αυτός ο οδηγός δεν παρέχει οδηγίες για κάθε μεμονωμένο πακέτο προγραμμάτων. Αντ' αυτού, θα παρέχει μια επισκόπηση υψηλού επιπέδου από τα χαρακτηριστικά που χρειάζεστε, πιθανόν να θέλετε και ίσως είστε σε θέση να χρησιμοποιήσετε σε μια σουίτα φωτομετρικής επεξεργασίας. Αν χρειάζεστε οδηγίες βήμα-βήμα για ένα συγκεκριμένο πακέτο λογισμικού, ανατρέξτε σε αντίστοιχα θέματα φωτομετρίας DSLR στον ιστοχώρο της AAVSO.

3.1 Ελάχιστες απαιτήσεις λογισμικού για φωτομετρία DSLR

Κατά την εξέταση του λογισμικού για DSLR φωτομετρία, υπάρχουν τέσσερις βασικές λειτουργίες που πρέπει να εκτελεί το λογισμικό: να ανοίγει εικόνες RAW, να εφαρμόζει bias/flat/dark frames, να εξάγει μεμονωμένα κανάλια χρώματος, και να εκτελεί φωτομετρική ανάλυση. Δεν υπάρχει κάποιο μοναδικό «σωστό» πρόγραμμα για να χρησιμοποιήσετε και μπορεί ακόμα να προτιμάτε τη χρήση διαφορετικών προγραμμάτων για να κάνετε αυτά τα βήματα. Στις επόμενες παραγράφους θα συζητήσουμε κάθε ένα από αυτά τα βήματα με μεγαλύτερη λεπτομέρεια.

3.1.1 Υποστήριξη μορφοποίησης RAW της φωτογραφικής σας μηχανής

Όπως περιγράφεται στο προηγούμενο κεφάλαιο, προκειμένου να εξαχθούν ακριβείς φωτομετρικές μετρήσεις από τις εικόνες σας, είναι επιτακτική ανάγκη ότι οι πρωτογενείς τιμές δεδομένων από την κάμερα παραμένουν αναλλοίωτες από οποιαδήποτε ενσωματωμένη επεξεργασία. Κατά συνέπεια, το λογισμικό φωτομετρίας σας πρέπει να είναι σε θέση να διαβάσει και να χειριστεί αρχεία μορφής RAW τα οποία παράγονται στη φωτογραφική σας μηχανή. Δεν υπάρχει καθολική μορφή RAW: η Canon χρησιμοποιεί CRW και CR2 αρχεία, ενώ η Nikon χρησιμοποιεί αρχεία NEF. Άλλοι κατασκευαστές χρησιμοποιούν κάτι διαφορετικό.

Όταν αγοράζετε λογισμικό (ή μια νέα φωτογραφική μηχανή), να έχετε κατά νου ότι, όταν παρουσιάζεται ένα νέο μοντέλο, μπορεί να χρειαστούν αρκετές εβδομάδες έως μήνες πριν ενημερωθεί το λογισμικό επεξεργασίας και φωτομετρίας για να διαβάσει τη νέα μορφή RAW. Θα πρέπει να επαληθεύσετε ότι η υποστήριξη για την κάμερά σας είναι ενεργή ερευνώντας την ιστοσελίδα του εκδότη του λογισμικού.

3.1.2 Ενσωματωμένη βαθμονόμηση εικόνας (εφαρμογή εικόνων bias, flat και dark)

Όπως θα εξηγηθεί στο επόμενο κεφάλαιο, πρέπει να λαμβάνεται μια σειρά από εικόνων βαθμονόμησης εκτός από τις επιστημονικές εικόνες σας. Αυτές οι εικόνες bias, flat και dark χαρακτηρίζουν σταθερές μετατοπίσεις, άνισο φωτισμό που προκαλείται από τα οπτικά σας, και hot pixels (ή άλλες μη γραμμικότητες) στον αισθητήρα της φωτογραφικής σας μηχανής. Για να αποκτήσετε μια ακριβή εκτίμηση της λαμπρότητας των άστρων, αυτές οι επιδράσεις πρέπει να αφαιρεθούν. Έτσι, το λογισμικό σας θα πρέπει όχι μόνο να διαβάσει και να εμφανίσει τις εικόνες, αλλά και να είναι σε θέση να εφαρμόσει αυτές τις εικόνες βαθμονόμησης στις επιστημονικές εικόνες σας.

3.1.3 Εξαγωγή μεμονωμένων καναλιών χρωμάτων

Όπως περιγράφεται στο προηγούμενο κεφάλαιο, η συστοιχία φίλτρων χρώματος Bayer για αισθητήρες DSLR επιτρέπει να καταγράφονται ταυτόχρονα οι πληροφορίες κόκκινου, πράσινου και μπλε χρώματος στην ίδια εικόνα. Κάθε χρώμα βρίσκεται σε ένα ξεχωριστό κανάλι ή επίπεδο. Το λογισμικό φωτομετρίας πρέπει να είναι σε θέση να διαχωρίσει τις RAW εικόνες σε μεμονωμένες κόκκινου, πράσινου και μπλε. Υπάρχουν στην πραγματικότητα δύο πράσινα κανάλια και κάποιο λογισμικό, π.χ., AIP4Win, τα συνδυάζει σε μία εικόνα. Άλλο λογισμικό, π.χ., το MaxIm DL, αντιμετωπίζει κάθε πράσινο κανάλι ξεχωριστά. Προς το παρόν τα περισσότερα προγράμματα εξάγουν μόνο ένα κανάλι χρώματος σε μια στιγμή, έτσι ώστε να μπορείτε να επαναλάβετε τη διαδικασία εξαγωγής, αν και τα τρία χρώματα είναι ενδιαφέροντα.

Πολλά από τα δημοφιλή προγράμματα φωτομετρίας περιλαμβάνουν τη δυνατότητα να εξαγάγετε τα κανάλια χρώματος από το αρχείο RAW εικόνας (π.χ., MuniWin, IRIS, AIP4Win, MaxIm DL). Με αυτά, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε ένα ενιαίο πρόγραμμα για να εξάγετε το πράσινο κανάλι, να πραγματοποιήσετε βαθμονόμηση της εικόνας, και να εκτελέσετε φωτομετρική ανάλυση. Μερικά δημοφιλή προγράμματα φωτομετρίας δεν χειρίζονται αρχεία εικόνας RAW μηχανών DSLR (π.χ., MPO Canopus, VPhot), ή δεν έχουν τη δυνατότητα να εξάγουν μεμονωμένα κανάλια χρώματος από τις πρωτογενείς εικόνες σας. Αν σας αρέσει κάποιο από αυτά τα εργαλεία φωτομετρίας, τότε θα πρέπει πρώτα να εξάγετε τα πράσινα κανάλια και να μετατρέψετε την μονόχρωμη εικόνα στη μορφή FITS που αναγνωρίζουν τα MPO Canopus και VPhot.

Τα περισσότερα προγράμματα δημιουργούν έγχρωμες εικόνες που είναι μικρότερες από την εικόνα RAW (π.χ., 5200 x 3460 pixel εικόνας RAW θα οδηγήσει σε εξαχθείσα πράσινη εικόνα 2600 x 1730 pixel εικόνα). Το AIP4Win, ωστόσο, παρεμβάλλει πόσο κόκκινο, πράσινο και μπλε φως θα είχε πέσει σε κάθε pixel της εικόνας. Αυτό επιτυγχάνεται με την εξέταση, για παράδειγμα, των πράσινων pixels και με παρεμβολή να εκτιμήσει πόσο πράσινο φως θα πρέπει να είχε πέσει στα κόκκινα και μπλε pixels. Έτσι οι εξαχθείσες εικόνες έχουν το ίδιο μέγεθος όπως η RAW εικόνα. Είναι διαθέσιμες αρκετές μέθοδοι παρεμβολής και είναι σημαντικό να επιλέξετε τη διγραμμική (bi-linear) επιλογή για μεγαλύτερη ακρίβεια.

Σημείωση: Ανάλογα με το λογισμικό που χρησιμοποιείτε, τα κανάλια χρώματος μπορεί να χρειαστεί να εξαχθούν πριν από την βαθμονόμηση. Είναι πολύ σημαντικό να μην αναμιχθούν οι εικόνες βαθμονόμησης για διαφορετικά επίπεδα χρώματος.

3.1.4 Φωτομετρική Ανάλυση

Φωτομετρική ανάλυση είναι η μέτρηση του αριθμού των φωτονίων που προέρχονται από ένα αστέρι και ανιχνεύθηκαν από τον αισθητήρα. Κάθε πρόγραμμα έχει τη δική του συγκεκριμένη μέθοδο για τη λήψη αυτής της μέτρησης, αλλά όλα απαιτούν από το χρήστη να επιλέξει την ακτίνα (σε εικονοστοιχεία) ενός κύκλου που θα τοποθετείται γύρω από το στόχο και τα άστρα σύγκρισης. Κάθε πρόγραμμα έχει δικές του εντολές για την λήψη αυτής της μέτρησης, αλλά όλα χρησιμοποιούν ένα «διάφραγμα μέτρησης – measuring aperture» και ένα «διάφραγμα ουρανού – sky aperture». Το διάφραγμα μέτρησης είναι μια μικρή κυκλική (ή τετράγωνη) περιοχή γύρω από το αστέρι. Το λογισμικό θα μετρήσει το συνολικό σήμα μέσα στην οπή μέτρησης. Το σύνολο αυτό θα περιλαμβάνει φωτόνια από το αστέρι, συν φωτόνια από το υπόβαθρο του ουρανού. Το διάφραγμα ουρανού είναι συνήθως μια στεφάνη που περιβάλλει το διάφραγμα μέτρησης και δεν περιέχει αστέρια. Το λογισμικό χρησιμοποιεί το σήμα που μετράται στην στεφάνη για να αφαιρέσει το υπόβαθρο του ουρανού από το συνολικό σήμα εντός του διαφράγματος μέτρησης. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται "φωτομετρία διαφράγματος». Πολλά προγράμματα επιτρέπουν τη ομαδική επεξεργασία (βλέπε παρακάτω θέματα σχετικά με τη ομαδική επεξεργασία και scripting), η οποία θα απλοποιήσει σε μεγάλο βαθμό και θα επιταχύνει την ανάλυση αν εμπλέκονται πολλαπλές εικόνες.

3.2 Χρήσιμες λειτουργίες του λογισμικού

Παρακάτω θα βρείτε μερικές πρόσθετες επιλογές που υπάρχουν σε κάποια προγράμματα φωτομετρίας, τα οποία θα κάνουν την επεξεργασία εικόνας πολύ πιο αποδοτική. Καμμία δεν είναι απαραίτητη, θα κάνουν όμως την εργασία σας ευκολότερη.

3.2.1 Ομαδική επεξεργασία εικόνων

Για να αποφύγουν την αγγαρεία της χειροκίνητης επεξεργασίας κάθε εικόνας ξεχωριστά, οι περισσότεροι παρατηρητές DSLR θέλουν να επεξεργαστούν γρήγορα ολόκληρες ομάδες εικόνων με μία κίνηση. Ανάλογα με την τεχνική λήψης σας και τις ιδιότητες του αστέρα στόχου, ίσως να θέλετε να πάρετε δεκάδες ή εκατοντάδες εικόνες του ίδιου πεδίου. Θα πρέπει επίσης να λάβετε πολλαπλές εικόνες βαθμονόμησης. Η επεξεργασία τόσων πολλών αρχείων ένα προς ένα θα καταστρέψει γρήγορα όλη τη απόλαυση της φωτομετρίας με DSLR, έτσι αυτό που θέλετε είναι η ομαδική επεξεργασία: εκτέλεση κάποιας λειτουργίας επεξεργασίας εικόνας σε μια ομάδα αρχείων.

3.2.2 Δυνατότητα δημιουργίας script

Ακόμα καλύτερα από την ομαδική επεξεργασία, το scripting σας επιτρέπει να συνδυάζετε διάφορες λειτουργίες σε μια προκαθορισμένη ροή εργασίας. Μερικά πακέτα λογισμικού ορίζουν μια απλή «γλώσσα προγραμματισμού» για να επιτρέπουν στο χρήστη να γράφει script (π.χ., IRIS), άλλα χρησιμοποιούν μια γραφική διεπαφή χρήστη (GUI) για τον καθορισμό της ροής διαδραστικά και στη συνέχεια να την εφαρμόσουν σε σύνολα αρχείων (π.χ., Fitswork). Αυτό είναι ένα προηγμένο χαρακτηριστικό που προσφέρεται μόνο από ορισμένα πακέτα λογισμικού, ειδικά εκείνα που χρησιμοποιούνται επίσης από επιστήμονες αστρονόμους. Οι αρχάριοι δεν θα πρέπει να ανησυχείτε πάρα πολύ για το scripting και ασκηθείτε στις ροές εργασίας πρώτα με το χέρι. Οι έμπειροι παρατηρητές όμως, θα βρουν αυτό το χαρακτηριστικό πολύ χρήσιμο στην αύξηση της παραγωγικότητας και αποφεύγουν την απογοήτευση της εκτέλεσης κάποιων βαρετών διαδικασιών ξανά και ξανά. Όταν επιλέγετε αρχικά ένα πακέτο λογισμικού, μπορεί να θέλετε να βεβαιωθείτε ότι έχετε τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσετε αργότερα scripting, ακόμα κι αν αρχικά δεν μπορείτε επειδή μαθαίνετε τη διαδικασία.

3.2.3 Στοιχισμός και άθροιση (*alignment & stacking*)

Ένας εύκολος τρόπος για να βελτιωθεί ο λόγος σήματος προς θόρυβο (SNR) των εικόνων σας ή / και να φτάσετε πιο αμυδρούς στόχους είναι η ευθυγράμμιση και στοίβαξη (π.χ., να προσθέσετε ή να πάρετε το μέσο όρο) των εικόνων. Πολλά πακέτα λογισμικού φωτομετρίας μπορούν να κάνουν αυτές τις λειτουργίες, αν και η διαδικασία βήμα-βήμα θα είναι λίγο διαφορετική για το καθένα. Σε γενικές γραμμές, το λογισμικό θα πρέπει πρώτα να επεξεργαστεί κάθε εικόνα, εντοπίζοντας πολλά αστέρια κοινά σε κάθε μια. Στη φάση ευθυγράμμισης οι εικόνες στη συνέχεια περιστρέφονται και μετακινούνται για να εξασφαλιστεί ότι τα αστέρια σε όλες τις εικόνες είναι ευθυγραμμισμένα. Η φάση στοίβαξης υπολογίζει τις ενδιάμεσες ή μέσες τιμές του κάθε pixel από τις εικόνες στην ομάδα. Η τελική εικόνα είναι το αποτέλεσμα αυτών των παράγωγων τιμών pixel.

Ο θόρυβος του περιεχομένου του κάθε pixel δεν είναι σταθερός αλλά κυμαίνεται γύρω από μια μέση τιμή και μπορεί να αλλάξει από τη μία εικόνα στην επόμενη. Με τη στοίβαξη των εικόνων, ο λόγος σήματος προς θόρυβο τείνει να βελτιωθεί. Αυτό συμβαίνει επειδή η προσθήκη αρκετών μετρήσεων έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση τόσο του σήματος όσο και του θορύβου σε απόλυτους όρους. Ο θόρυβος, όντας τυχαίος, αυξάνεται πιο αργά από ό, τι το σήμα. Για τις περιοχές στη σύνθετη εικόνα χωρίς αστέρες, το αποτέλεσμα θα είναι τιμές εικονοστοιχείων κοντά σε ένα σταθερό επίπεδο υποβάθρου του ουρανού (κοντά στο μηδέν για σύντομες εκθέσεις από ένα σκοτεινό χώρο) και μειώνεται η διασπορά σε σύγκριση με τις μεμονωμένες εικόνες. Στην περίπτωση των άστρων τα pixel δεν θα αλλάξει πολύ από τη μία εικόνα στην άλλη, έτσι το αποτέλεσμα της διαδικασίας ευθυγράμμισης και στοίβαξης θα μειώσει το θόρυβο, ενώ αφήνει τα αστέρια ως επί το πλείστον αμετάβλητα.

Επειδή κάθε πρόγραμμα έχει ένα συγκεκριμένο σύνολο από βήματα για να γίνει η διαδικασία ευθυγράμμισης και στοίβαξης εικόνων (και διότι οι νέες εκδόσεις του λογισμικού μπορεί να έχουν μια ελαφρώς διαφορετική διαδικασία) οι συγκεκριμένες ενέργειες δεν έχουν συμπεριληφθεί σε αυτό το εγχειρίδιο, αλλά τα παραδείγματα μπορούν να βρεθούν στο τμήμα DSLR του ιστοχώρου της AAVSO.

3.2.4 Έλεγχος εστίασης και λήψης εικόνων μέσω υπολογιστή

Η λήψη εικόνας μπορεί να ελέγχεται από το λογισμικό, όταν η μηχανή είναι συνδεδεμένη σε υπολογιστή μέσω καλωδίου USB (που χρησιμοποιείται συνήθως για τη μεταφορά εικόνων από την κάρτα μνήμης της φωτογραφικής μηχανής). Η Canon παρέχει το πρόγραμμα EOS Utility με κάθε DSLR τους. Άλλοι κατασκευαστές φωτογραφικών μηχανών θα πρέπει να παρέχουν παρόμοιο λογισμικό, είτε δωρεάν είτε με επιπλέον κόστος. Λογισμικό τρίτων είναι επίσης διαθέσιμο, συμπεριλαμβανομένων των Backyard EOS και Maxim DL, μεταξύ άλλων.

Τέτοιο λογισμικό διευκολύνει σε μεγάλο βαθμό τη σκόπευση του στόχου, ρυθμίζοντας την κατάλληλη αφεστίαση και τη διάρκεια της έκθεσης. Μπορείτε να ελέγξετε γρήγορα την τοποθέτηση του μεταβλητού και των αστέρων συγκρίσεως λαμβάνοντας μια εικόνα και εμφανίζοντας την στον υπολογιστή. Εάν είναι απαραίτητο, η στόχευση της κάμερας μπορεί να ρυθμιστεί πριν ληφθούν οι επιστημονικές εικόνες. Η εικόνα μπορεί επίσης να μετρηθεί για να εξασφαλιστεί πως τα αστέρια που μας ενδιαφέρουν δεν υπερ- ή υποεκτίθενται, αφού θα προσαρμοστεί αναλόγως η διάρκεια της έκθεσης.

Η αυτόματη εστίαση δεν θα λειτουργήσει στο νυχτερινό ουρανό και θα πρέπει να απενεργοποιηθεί. Στην πραγματικότητα, για τη φωτομετρία πρέπει η εικόνα να βρίσκεται ελαφρώς εκτός εστίας (βλέπε κεφάλαιο 4-Λήψη Εικόνας). Ρύθμιση του δείκτη του φακού στο άπειρο (∞) είναι απίθανο να είναι κατάλληλη, ειδικά αν χρησιμοποιείτε ένα φακό ζουμ. Η χειροκίνητη εστίαση μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα και περίπλοκη, έτσι το λογισμικό ελέγχου εστίασης είναι επιθυμητό. Το Backyard EOS είναι ένα πρόγραμμα που το κάνει με τους ηλεκτρονικούς φακούς της Canon. Άλλο λογισμικό μπορεί να είναι διαθέσιμο για συγκεκριμένες φωτογραφικές μηχανές.

Το Backyard EOS αυτοματοποιεί επίσης τη λήψη εικόνων, όπως κάνουν κι άλλα προγράμματα. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο όταν απαιτούνται πολλαπλές εικόνες από ένα πεδίο οι οποίες αργότερα θα αθροιστούν ή όταν καταγράφονται σχετικά γρήγορα μεταβαλλόμενα άστρα, π.χ., διπλοί εκλειπτικοί. Το λογισμικό μπορεί να προγραμματιστεί για να λάβετε έναν συγκεκριμένο αριθμό εικόνων σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα.

Το Maxim DL είναι ένα ισχυρό πακέτο λήψης και ανάλυσης δημοφιλές για συσκευές CCD και DSLR. Ωστόσο, σε αντίθεση με τα περισσότερα άλλα λογισμικά λήψης το Maxim DL αποθηκεύει τις εικόνες σε μορφή FITS [βλέπε παράγραφο 3.2.6], κι όχι στην εγγενή μορφή RAW της φωτογραφικής μηχανής. Αυτό δεν είναι πρόβλημα, αφού τα FITS είναι η συνηθισμένη μορφή αρχείου για λογισμικό φωτομετρίας.

3.2.5 Αυτόματη αστρομετρική επίλυση

Αστρομετρική επίλυση είναι η διαδικασία της αυτόματης αναγνώρισης αστέρων ανιχνεύσιμων σε μια εικόνα, με διασταύρωση των δεδομένων θέσης ως προς κάποιο κατάλογο αστέρων. Εάν έχετε ετοιμάσει τη βραδιά παρατήρησης εξετάζοντας πρώτα ερευνητικούς χάρτες (όπως θα έπρεπε), θα μάθετε σύντομα πώς να εντοπίζετε το μεταβλητό και τους αστέρες συγκρίσεως, χωρίς τη βοήθεια αυτής της λειτουργίας. Υπάρχουν όμως ορισμένες προηγμένες τεχνικές όπως η αυτόματη φωτομετρία ή όταν νομίζετε ότι παρατηρήσατε αλλαγή της φωτεινότητας σε ένα από τους αστέρες του πεδίου σας που μπορεί να μην είναι καν μέρος της αρχικής παρατήρησης, όπου η αστρομετρική επίλυση μπορεί να είναι χρήσιμη. Ορισμένα προηγμένα προγράμματα όπως το MPO Canopus (<http://www.minorplanetobserver.com/MPOSoftware/MPOCanopus.htm>) τη χρησιμοποιούν για να εντοπίσουν αυτόματα μεταβλητούς αστέρες (ή αστεροειδείς κ.α.). Μια λύση μέσω διαδικτύου είναι το astrometry.net, το οποίο προσφέρει επίσης αυτόνομο λογισμικό σε Linux, που μπορείτε να κατεβάσετε και να χρησιμοποιήσετε κι όταν είστε εκτός σύνδεσης.

3.2.6 Μετατρέποντας τις εικόνες σε μορφή FITS

Το "ευέλικτο σύστημα μεταφοράς εικόνας" (Flexible Image Transport System - FITS) είναι ένα ανοιχτό πρότυπο για εικόνες (και μερικά άλλα αστρονομικά σύνολα δεδομένων, όπως πληροφορίες σε μορφή πίνακα), και είναι πολύ δημοφιλές στην αστρονομική κοινότητα. Επιτρέπει την μη απωλεστική αποθήκευση (το αποθηκευμένο αρχείο περιέχει όλες τις πληροφορίες που ήταν παρούσες στο αρχικό αρχείο εικόνας RAW), η οποία είναι απαραίτητη για τη φωτομετρία. Υπενθυμίζεται ότι το JPG είναι μια συμπιεσμένη απωλεστική μορφή αρχείου. Επειδή τα FITS υποστηρίζονται από σχεδόν όλα τα σοβαρά προγράμματα αστρονομίας, είναι μια πολύ καλή επιλογή όταν θέλετε να ανταλλάσσονται δεδομένα εικόνας μεταξύ των διαφόρων πακέτων λογισμικού. Ένα άλλο μεγάλο πλεονέκτημα της μορφής FITS είναι ότι επιτρέπει την αποθήκευση των μεταδεδομένων εικόνας (π.χ., χρόνος παρατήρησης, τοποθεσία παρατήρησης, η διάρκεια της έκθεσης, οι συντεταγμένες του πεδίου στον ουρανό, κ.λπ.) με τυποποιημένο τρόπο ώστε κάποιο άλλο λογισμικό να μπορεί να καταλάβει. Επίσης, για την αρχειοθέτηση των εικόνων σας η μορφή FITS είναι η καλύτερη επιλογή. Υπάρχουν, ωστόσο, αρκετές υποκατηγορίες μορφοποίησης των FITS και ίσως χρειαστεί να πειραματιστείτε λίγο για να βρεθεί μια κοινή μορφή που να υποστηρίζεται από όλα τα αγαπημένα σας προγράμματα.

Το λογισμικό Fitswork [http://www.fitswork.de/software/softw_en.php] είναι ένα παράδειγμα του λογισμικού που εργάζεται με αρχεία FITS και υποστηρίζει ακόμη κάποια λειτουργία scripting.

3.2.7 Διαφορικές διορθώσεις σκέδασης και μετασχηματισμών

Όπως θα εξηγηθεί λεπτομερέστερα στο επόμενο κεφάλαιο, η διαφορική απόσβεση (η σκέδαση που υφίσταται το φως των άστρων καθώς περνά μέσα από την ατμόσφαιρα) και οι διορθώσεις μετασχηματισμού (για να γίνει το πράσινο κανάλι της DSLR σύμφωνο με το πρότυπο αστρονομικό φίλτρο V, κ.λπ.) εκτελούνται συχνά κατά τη διάρκεια του σταδίου ανάλυσης δεδομένων. Τα περισσότερα λογισμικά φωτομετρίας δεν εκτελούν αυτή την διαδικασία, ωστόσο, μερικά προγράμματα την κάνουν (π.χ. το VPhot της AAVSO). Εάν πρόκειται να ακολουθήσετε αυτό το προχωρημένο στάδιο της ανάλυσης των δεδομένων σας, μπορείτε είτε να χρησιμοποιήσετε ένα πρόγραμμα (όπως τα VPhot ή MPO Canopus) που το περιλαμβάνουν ή να χρησιμοποιήσετε υπολογιστικά φύλλα (όπως αυτά που είναι διαθέσιμα από το τμήμα DSLR της AAVSO).

3.2.8 Δημιουργία αναφοράς και υποβολή μέσω διαδικτύου

Οι παρατηρήσεις πρέπει να υποβληθούν στη διεθνή βάση δεδομένων της AAVSO μέσω της ιστοσελίδας WebObs (<http://www.aavso.org/webobs>). Αρκετά προγράμματα φωτομετρίας (π.χ., AIP4Win, MaxIm DL, VPhot, και MPO Canopus) μπορούν να δημιουργήσουν κατάλληλες αναφορές με τη μορφή αρχείου κειμένου.

Εναλλακτικά, οι παρατηρήσεις μπορούν να καταγράφονται σε κατάλληλα διαμορφωμένο υπολογιστικό φύλλο (<http://www.aavso.org/aavsoextended-file-format>) για μετέπειτα αποστολή στο WebObs.

3.3 Προαιρετικές λειτουργίες

3.3.1 Συγχρονισμός ρολογιού

Η μη αυτόματη ρύθμιση της ημερομηνίας και ώρας της κάμερας σε σχέση με ένα ραδιοφωνικό σήμα χρόνου κατά την έναρξη της παρατηρησιακής συνεδρίας είναι συνήθως επαρκής όταν παρατηρούμε μακροπερίοδους μεταβλητούς. Σε άλλες περιπτώσεις είναι σημαντική η ακριβής χρονοσήμανση των εικόνων, για παράδειγμα, σε σειρές παρατηρήσεων των εκλειπτικών αστείων για να καθοριστεί η ακριβής ώρα του ελαχίστου φωτός. Οι φωτογραφικές μηχανές της Canon, και πιθανώς άλλες, μπορούν να ρυθμιστούν ώστε να συγχρονίζονται με το ρολόι του υπολογιστή όταν συνδέονται μέσω καλωδίου USB. Το ρολόι του υπολογιστή μπορεί να συγχρονιστεί αυτόματα σε τακτά χρονικά διαστήματα με ένα διακομιστή ώρας του Internet.

Πολλά σύγχρονα λειτουργικά συστήματα εκτελούν αυτόματα αυτό το έργο, ωστόσο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα ειδικό λογισμικό όπως το Dimension 4 (<http://www.thinkman.com/>). Το λογισμικό ελέγχου της DSLR (βλέπε παρακάτω) επιτρέπει έναν άνετο τρόπο για να διασφαλιστεί πως το ρολόι της φωτογραφικής μηχανής είναι σωστά ρυθμισμένο πριν από τη λήψη κάθε εικόνας.

3.4 Συγκριτικός πίνακας δυνατοτήτων λογισμικού

Οι πιο κοινές λύσεις λογισμικού που χρησιμοποιείται για την παρατήρηση μεταβλητών αστέρων βασίζεται στα Windows ή το Linux. Στον πίνακα 3.1 παρακάτω συγκρίνονται τέσσερα δημοφιλή πακέτα λογισμικού φωτομετρίας. Σημείωση: Υπάρχουν διάφορες διαθέσιμες εκδόσεις του MaxIm DL. Για να γίνει φωτομετρία DSLR θα χρειαστείτε την έκδοση MaxIm DL Pro. Χαρακτηριστικά και τιμές ισχύων στις αρχές του 2013.

Πίνακας 3.1. Σύγκριση προγραμμάτων

Λειτουργίες	IRIS ⁴	Muniwin ⁵	AIP4WIN ⁷	MaxIm DL Pro ⁸
Φωτομετρική ανάλυση	x	x	x	x
Χρήση εικόνων RAW	x	X ¹	x	x
Εφαρμογή bias/flat/dark	x	x	x	x
Διαχωρισμός χρωμάτων	x	x	x	x
Ομαδική επεξεργασία	x	x	x	x
Alignment & stacking	x		x	x
Οθόνη λήψης εικόνας	x			x
Έλεγχος εστίας & κάμερας	x			x
Μετατροπή σε FITS	x	x	x	x
Δυνατότητα δημιουργίας script	x	x		x
Έλεγχος τηλεσκοπίου & στήριξης	x			x
Αstromετρική επίλυση	x		x	x
Δημιουργία αναφορών			x	x
Κόστος	Δωρεάν	Δωρεάν	\$99 ²	\$499 ³

Σημειώσεις:

1. Περιορισμένη υποστήριξη μορφών εικόνας. Συμβουλευτείτε τον συγγραφέα για την κάμερα σας.
2. Η τιμή των \$99 περιλαμβάνει το βιβλίο *The Handbook of Astronomical Image Processing*
3. Μόνο οι εκδόσεις MaxIm DL Pro και Suite έχουν όλες τις λειτουργίες που απαιτούνται για φωτομετρία DSLR.
4. <http://www.astrosurf.com/buil/us/iris/iris.htm>
5. <http://c-munipack.sourceforge.net/>
6. <http://www.willbell.com/aip/Index.htm>
7. http://www.cyanogen.com/maxim_main.php

3.5 Άλλο χρήσιμο λογισμικό

3.5.1 Αστρικοί χάρτες και πλανηταριακό λογισμικό

Τυπωμένοι αστρικοί χάρτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό της περιοχής του ουρανού που πρόκειται να απεικονιστεί. Τυπωμένοι δεν συνεπάγεται κατ' ανάγκην χάρτες έντυποι, αφού μπορούν να αποθηκευτούν ως αρχεία μιας ψηφιακής συσκευής. Χάρτες οι οποίοι επιτρέπουν ειδικά την εύρεση μεταβλητών αστέρων μπορούν να δημιουργηθούν online μέσω του <http://www.aavso.org/vsp>.

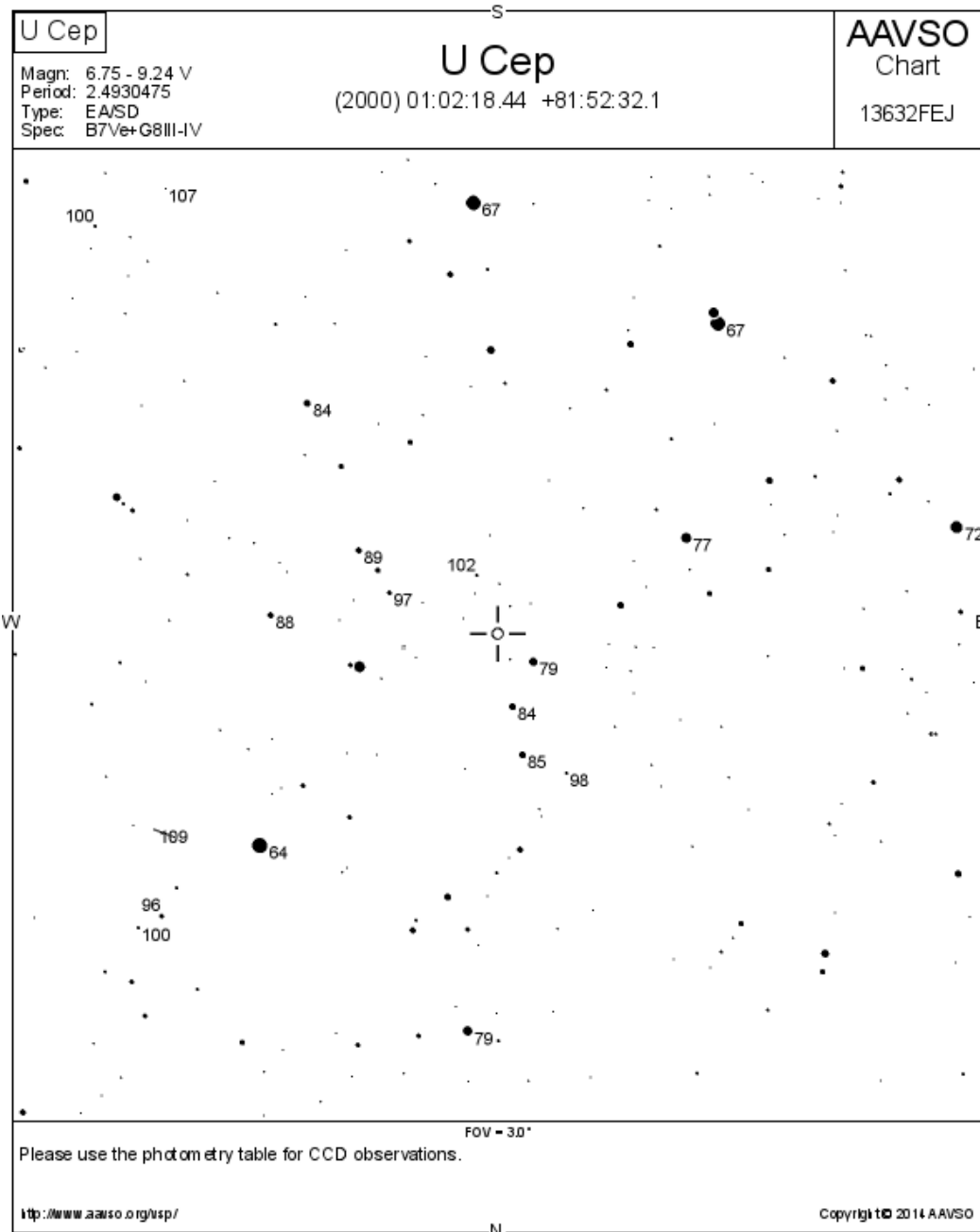
Αυτή η σελίδα της AAVSO " Variable Star Plotter ", Σχήμα 3.1, μπορεί να δημιουργήσει χάρτες σε διάφορα μεγέθη από το όνομα του μεταβλητού αστέρα. (Η χρήση του περιγράφεται λεπτομερώς στο Κεφάλαιο 7.) Το οπτικό πεδίο της κάμερας DSLR με ένα τυπικό φακό αντιπροσωπεύεται συνήθως καλά από ένα χάρτη κλίμακας "B" και ο προσανατολισμός από τη ρύθμιση "CCD".

The screenshot shows the AAVSO Variable Star Plotter (VSP) website. At the top, there is a navigation menu with links: About Us, Community, Variable Stars, Observing, Data, and Getting Started. Below this is a header with the AAVSO logo and the text "American Association of Variable Star Observers". A secondary navigation bar includes Home, Contact Us, FAQ, Donate, and Amazon. The main content area is titled "Variable Star Plotter (VSP)". On the left, there is a "VARIABLE STAR PLOTTER" section with "WHAT IS THIS?" and "WHAT CAN I DO?". The main form area is titled "PLOT A QUICK CHART..." and includes fields for "WHAT IS THE NAME, DESIGNATION, OR AUID OF THE OBJECT?" (containing "U CEP"), "CHOOSE A PREDEFINED CHART SCALE" (containing "B"), and "CHOOSE A CHART ORIENTATION" (with radio buttons for Visual, Reversed, and CCD, where CCD is selected). There is also a "DO YOU WANT A CHART OR A LIST OF FIELD PHOTOMETRY?" section with radio buttons for Chart and Photometry Table. A "PLOT CHART" button is located at the bottom right of the form. To the right of the form, there are two sidebars: "Popular Web Tools" with links to WebObs, VSP, LCG, and VSX, and "Binocular Charts" with a note about plotting binocular charts.

Εικόνα 3.1 Η ιστοσελίδα Variable Star Plotter (VSP)

Ο προκύπτων χάρτης έχει τον μεταβλητό αστέρα σημειωμένο στο κέντρο, Εικόνα 3.2. Κατά την προετοιμασία και την εστίαση, αυτοί οι χάρτες είναι χρήσιμοι για να βεβαιωθείτε ότι ο μεταβλητός βρίσκεται σε καλή θέση στις εικόνες σας. Υποδεικνύονται επίσης τα μεγέθη μερικών γειτονικών αστέρων και θα πρέπει να διασφαλιστεί ότι ορισμένοι με μεγέθη παρόμοια με τον μεταβλητό περιλαμβάνονται στο οπτικό πεδίο, έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αστέρια σύγκρισης στη φωτομετρική ανάλυση. Τα μεγέθη επισημαίνονται χωρίς δεκαδικά ψηφία (που μπορεί να προκαλέσει σύγχυση με την απεικόνιση ενός αμυδρού άστρου), έτσι, το μέγεθος 7.1 θα επισημαίνεται ως 71.

Τα μεγέθη αστέρων σύγκρισης στα διαγράμματα VSP δίνονται μόνο με ένα δεκαδικό ψηφίο. Αυτό είναι γενικά αποδεκτό για τους οπτικούς παρατηρητές, αλλά δεν είναι επαρκές για την ανάλυση των DSLR. Επιλέξτε το " Πίνακας Φωτομετρίας – Photometry Table " στο VSP για να δημιουργηθεί λεπτομερής κατάλογος των αστέρων σύγκρισης του πεδίου. Τα μεγέθη και το εκτιμώμενο σφάλμα δίνονται με 3 δεκαδικά ψηφία.



Εικόνα 3.2. Χάρτης VSP του πεδίου γύρω από τον U Κηφέα που δείχνει αστέρες σύγκρισης με μεγάλη ακριβείας ενός δεκαδικού (χωρίς να φαίνεται η υποδιαστολή)

Εάν χρησιμοποιείτε μια καλά προσανατολισμένη ισημερινή βάση, οι συντεταγμένες του αστεριού που σημειώνονται στο διάγραμμα θα σας βοηθήσουν να κινηθείτε γρήγορα στο ορθό πεδίο.

Εάν χρησιμοποιείτε απλά ένα τρίποδο, ο χάρτης που δείχνει μεγαλύτερη περιοχή στον ουρανό μπορεί να είναι χρήσιμος για να στοχεύσετε τη φωτογραφική μηχανή σας. Έντυποι χάρτες που δείχνουν μεγάλες περιοχές του ουρανού, ή άπλαντες του ουρανού, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το σκοπό αυτό. Ωστόσο, το πλανηταριακό λογισμικό είναι πιο βολικό γιατί το γράφημα που εμφανίζεται μπορεί να αλλάξει μέγεθος και να προσανατολιστεί ώστε να ταιριάζει με το σύστημα απεικόνισης και τους στόχους εύκολα σημειωμένους στο κέντρο. Πολλά πλανηταριακά προγράμματα μπορεί επίσης να ελέγξουν την στήριξη του τηλεσκοπίου (βλέπε " Έλεγχος Τηλεσκοπίου και / ή στήριξης " παρακάτω). Υπάρχουν διαθέσιμες πολλές δωρεάν και μη επιλογές, όπως το Stellarium, Cartes du Ciel, και TheSky. Μερικά πλανηταριακά προγράμματα για φορητές συσκευές μπορούν να εντοπίσουν την κατεύθυνση που είναι στραμμένα και ρυθμίζουν την προβολή αυτόματα για να δείξει τα αστέρια σε αυτή την κατεύθυνση, κάτι που μπορεί να είναι πολύ βολικό.

Ένα σημείο που πρέπει να έχουμε κατά νου όταν χρησιμοποιούμε λογισμικό είναι ότι ο μεταβλητός αστέρας μπορεί να εμφανίζεται σε μια διαφορετική φωτεινότητα από ό, τι θα το δείτε στην βραδυνή σας παρατήρηση, επειδή βεβαίως είναι μεταβλητός!

3.5.2 Έλεγχος Τηλεσκοπίου και / ή στήριξης

Πολλές στηρίξεις τηλεσκοπίων με "GoTo" δυνατότητες μπορούν να ελεγχθούν χρησιμοποιώντας ειδικό λογισμικό στον υπολογιστή σας. Αυτοί οι τύποι των στηρίξεων έρχονται συχνά με τους drivers ή τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που γίνονται αντιληπτά από το πλανηταρικό λογισμικό, όπως το Stellarium ή το TheSky. Υπάρχουν τουλάχιστον δύο σημαντικά πλεονεκτήματα για την ανάληψη του ελέγχου από το λογισμικό. Το ένα είναι ότι ένας «στόχος» μπορεί να εντοπιστεί εύκολα και γρήγορα (με την προϋπόθεση ότι είναι ορατός στον ουρανό κατά το χρόνο παρατήρησης). Ένα δεύτερο είναι ότι μια οδηγούμενη στήριξη θα επιτρέψει στη φωτογραφική μηχανή να βλέπει τον ίδιο στόχο, αφού θα αντισταθμίζει την περιστροφή της Γης. Αυτό επιτρέπει μεγαλύτερες εκθέσεις και την ανίχνευση αμυδρότερων αστέρων. Στην ιδανική περίπτωση, η φωτογραφική μηχανή θα πρέπει να τοποθετηθεί σε ισημερινή βάση, αλλά πολλές στηρίξεις GoTo είναι αλταζιμουθιακές, οι οποίες είναι πιο εύκολο να ρυθμιστούν και ελέγχονται εύκολα από τους σύγχρονους υπολογιστές (που μπορεί να είναι στο εσωτερικό τους) για να παρακολουθούν τα αστέρια. Για να κυριολεκτήσουμε, η χρήση μιας αλταζιμουθιακής στήριξης (χωρίς ένα ακριβό περιστροφέα κάμερας) προκαλεί ελαφρά περιστροφή της εικόνας. Τα περισσότερα λογισμικά που ασχολούνται με ακολουθίες εικόνων μπορεί να το αντισταθμίσουν, ενώ για σύντομες εκθέσεις δεν είναι ένα σοβαρό ζήτημα στο πλαίσιο των επιμέρους εικόνων.

Κεφάλαιο 4: Λήψη εικόνας

4.1 Επισκόπηση τεχνικής λήψεων

Η φωτομετρία με DSLR είναι, κατ' αρχήν, μια πολύ απλή διαδικασία: παίρνετε εικόνες του ουρανού, εξάγετε τα φωτομετρικά στοιχεία, βαθμονομείτε / αναλύετε τα δεδομένα, και υποβάλλετε τις μετρήσεις σας για μόνιμη αρχειοθέτηση. Το στάδιο λήψης της εικόνας είναι ουσιαστικά το πιο σημαντικό από αυτές τις διαδικασίες γιατί αν τα αρχικά δεδομένα είναι κακής ποιότητας, το ίδιο θα είναι το τελικό αποτέλεσμα.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα εμβαθύνουμε σε λεπτομέρειες για τις προπαρασκευαστικές εργασίες που πρέπει να κάνετε πριν λάβετε το πρώτο σετ δεδομένων σας, πώς να πάρετε εικόνες βαθμονόμησης, πώς να βρείτε το αστρικό σας πεδίο με ένα μικρό σκόπευτρο, πώς να λάβετε εικόνες και να αξιολογήσετε την ποιότητά τους και, τέλος, κάποιες τεχνικές από έμπειρους φωτομέτρους με DSLR.

4.2 Προπαρασκευαστικές εργασίες

4.2.1 Σημειωματάρια

Ίσως μια από τις πιο σημαντικές πτυχές της επιστημονικής μεθοδολογίας είναι η τήρηση καλών αρχείων για το τι έχει γίνει. Αυτό μπορεί να ακούγεται σαν μια υπερβολικά απλή εργασία, αλλά ένα ημερολόγιο των ρυθμίσεων του εξοπλισμού παρατήρησης και των συνεδριών σας όχι μόνο θα σας βοηθήσει να διαπιστώσετε προβλήματα με τα δεδομένα σας ή τις διαδικασίες παρατήρησης, αλλά και θα επιτρέψετε σε άλλους παρατηρητές να επαναλάβουν τις ενέργειες σας αν πρέπει να το κάνουν.

Κατ' ελάχιστον, τα αρχεία σας θα πρέπει να αναφέρουν την ημερομηνία και την ώρα των εικόνων σας, τους στόχους για τους οποίους λαμβάνονται τα επιστημονικά δεδομένα, τις καιρικές συνθήκες και οτιδήποτε δεν πάει καλά κατά τη διάρκεια της παρατήρησης σας. Είναι επίσης καλή ιδέα να σημειώνετε περιοδικά τη θερμοκρασία, την υγρασία και τις συνθήκες του ουρανού, καθώς αυτές μπορούν να μεταβάλλουν την ποιότητα των εικόνων σας. Μην ξεχάσετε να σημειώσετε κάτι ασυνήθιστο για την παρατήρηση ή τον εξοπλισμό σας. Είναι το φως του γκαράζ του γείτονά σας αναμμένο απόψε, όταν δεν ήταν χθες το βράδυ; Μήπως τρέξατε για αλλαγή μπαταρίας στο μέσον της παρατήρησης;

4.2.2 Τοποθεσία παρατήρησης, στηρίξεις και έλεγχος κάμερας

Όπως και με κάθε παρατηρησιακή συνεδρία, το μεγαλύτερο μέρος της εργασίας γίνεται στο σκοτάδι. Θα πρέπει να βρείτε μια θέση για την οποία θα διαπιστώσετε ότι είναι ελεύθερη από εμπόδια τόσο στον ουρανό όσο και στο έδαφος. Είτε χρησιμοποιείτε ένα τρίποδο, είτε στήριξη τηλεσκοπίου, εξοικειωθείτε με τη θέση και λειτουργία των χειριστηρίων και εξαρτημάτων, που μπορεί να είναι χρήσιμα. Για παράδειγμα, πώς επεκτείνονται τα πόδια του τρίποδα σας; Πώς ασφαλίζουν; Πώς λειτουργούν τα στοπ / οι ασφάλειες στην κεφαλή; Μήπως η κεφαλή διαθέτει ένα μηχανισμό γρήγορης απελευθέρωσης; Δοκιμάστε να συνδέσετε τη φωτογραφική σας μηχανή στη στήριξη κατά τη διάρκεια της ημέρας και μετακινήστε τη σε ακραίες θέσεις (π.χ., ζενίθ) για να βεβαιωθείτε πως τίποτα δεν περιορίζει την κίνηση, δεν μπερδεύεται, ή προκαλεί κάποια ζημιά κατά τη διάρκεια της παρατήρησης.

Σχετικά με τη φωτογραφική σας μηχανή, θα πρέπει να μπορείτε να βρείτε και να χειριστείτε τις ακόλουθες λειτουργίες:

- Δακτύλιους εστίασης και ζουμ
- Χειροκίνητη εστίαση (π.χ. να απενεργοποιήσετε την αυτόματη εστίαση)
- Να απενεργοποιήσετε το σταθεροποιητή εικόνας
- Να θέσετε χρόνο έκθεσης
- Να θέσετε τα f-stop
- Να ρυθμίσετε το ISO
- Να θέσετε την επιλογή αποθήκευσης των εικόνων στο RAW

4.2.3 Ηλεκτρική ισχύς κάμερας

Ίσως μια από τις πιο άβολες καταστάσεις στη φωτομετρία DSLR συμβαίνει όταν η κάμερα είτε χάνει την ηλεκτρική ισχύ της ή η στάθμη της μπαταρίας είναι πολύ χαμηλά. Ορισμένοι παρατηρητές έχουν δηλώσει στο παρελθόν ότι ο θόρυβος υποβάθρου στις φωτογραφικές μηχανές DSLR αυξήθηκε δραματικά καθώς η φόρτιση της μπαταρίας μειωνόταν ή όταν άλλαζαν τη μπαταρία. Αυτό δεν φαίνεται να είναι ένα ζήτημα με νεότερες κάμερες, αλλά είναι κάτι που πρέπει να θυμάστε όταν χρησιμοποιείτε παλαιότερο εξοπλισμό. Αν σχεδιάζετε να κάνετε μακρές παρατηρήσεις (π.χ., κοντά στο χρονικό διάστημα που διαρκεί η μπαταρία σας), θα ήταν σκόπιμο να χρησιμοποιήσετε εξωτερική τροφοδοσία ή να έχετε μια δεύτερη μπαταρία αν κάποια εξωτερική παροχή δεν είναι διαθέσιμη στην τοποθεσία σας.

4.2.4 Χάρτες εύρεσης

Ο εντοπισμός ενός μεταβλητού αστέρα και των αστερών σύγκρισης του χωρίς χάρτες εύρεσης καλής ποιότητας είναι συχνά μια άσκηση στην ματαιότητα, άρα να είστε σίγουροι ότι έχετε φέρει κάποιους μαζί σας. Είναι συχνά ιδιαίτερα χρήσιμο να φέρνετε χάρτες εύρεσης που έχουν διαφορετικά οπτικά πεδία, ειδικά με αυτά που είναι μεγαλύτερα από ό, τι της φωτογραφικής μηχανής.

4.2.5 Σχέδιο παρατήρησης

Μια καλή παρατήρηση ξεκινά με ένα καλά καθορισμένο σχέδιο. Προτείνουμε τη δημιουργία ενός καταλόγου ελέγχου των δράσεων που απαιτούνται για τη λήψη εικόνων επιστημονικής ποιότητας, ειδικά αν αυτή είναι η πρώτη σας προσπάθεια στη φωτομετρία DSLR. Ποια πεδία σκοπεύετε να παρατηρήσετε; Που βρίσκονται οι αστέρες σύγκρισης; Ποιες ρυθμίσεις της φωτογραφικής μηχανής θα απαιτηθούν; Πόσες εικόνες χρειάζονται; Αυτά τα στοιχεία πρέπει να καταγράφονται όλα στο ημερολόγιο παρατηρήσεων σας.

4.3 Πηγές θορύβου και συστηματική πόλωση

Θα περίμενε κανείς όλα τα pixel σε μια εικόνα για να έχουν ακριβώς την ίδια τιμή ADU εάν η φωτογραφική μηχανή φωτιζόταν από μια εντελώς ομοιόμορφη πηγή φωτός. Ωστόσο, αυτό δεν συμβαίνει ποτέ. Το σήμα που ανιχνεύεται επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων του βινιεταρίσματος από τον φακό ή το τηλεσκόπιο, διακυμάνσεων ευαισθησίας του αισθητήρα από pixel σε pixel, σκόνη στις διάφορες οπτικές επιφάνειες, στατιστικών σφαλμάτων καταμέτρησης εξ αιτίας της άφιξης των φωτονίων σε τυχαίους χρόνους και ηλεκτρονικό θόρυβο που παράγεται στην κάμερα.



Εικόνα 4.1. Εικόνα υψηλού stretch από τον Mark Blackford ενός ομοιόμορφα φωτισμένου φωτοκυτίου (light box)

Στην εικόνα 4.1 μπορούμε να δούμε αρκετά από τα προαναφερθέντα προβλήματα. Οι κυκλικές κηλίδες προκαλούνται από σκόνη στις οπτικές επιφάνειες, η μειωμένη ένταση στις γωνίες οφείλεται σε βινιετάρισμα και οι κατακόρυφες και οριζόντιες γραμμές οφείλονται σε ανομοιομορφία ευαισθησίας των εικονοστοιχείων και σε ηλεκτρονικό θόρυβο. Αν και δεν είναι πάντα εμφανείς στο μάτι, αυτές οι ατέλειες είναι παρούσες στις επιστημονικές εικόνες και θα πρέπει να απομακρύνονται πριν γίνει φωτομετρία.

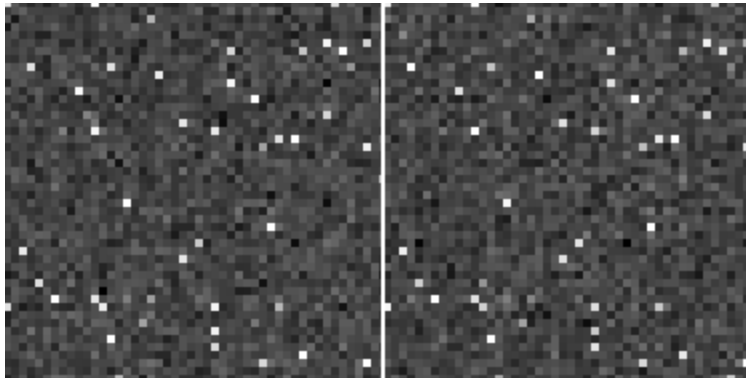
Για τη σωστή αντιμετώπιση αυτών των επιδράσεων, θα πρέπει να λάβετε μια σειρά από εικόνες βαθμονόμησης και να εκτελέσετε μια ακολουθία μαθηματικών πράξεων στις εικόνες σας, συμπεριλαμβανομένης της αφαίρεσης του bias και εικόνων σκότους για να αφαιρέσετε το σταθερό συστατικό του θορύβου και της διαίρεσης της εικόνας που προκύπτει με ένα flat frame για να αφαιρέσετε τις επιδράσεις του βινιετάρισματος, τις διακυμάνσεις ευαισθησίας του αισθητήρα από pixel σε pixel, καθώς και τις σκιές της σκόνης. Λεπτομέρειες για το πώς να εκτελέσετε τις εργασίες αυτές μπορούν να βρεθούν στο εγχειρίδιο του λογισμικού φωτομετρίας σας. Αυτό το τμήμα (που θα μπορούσε να έχει ένα κεφάλαιο από μόνο του) παρέχει λεπτομερή εξήγηση των διαφόρων επιδράσεων που επιχειρούν να μετριάσουν αυτά τα βήματα βαθμονόμησης. Για περαιτέρω ανάγνωση, παραπέμπουμε τον αναγνώστη στο Εγχειρίδιο Αστρονομικής Επεξεργασίας Εικόνας (*Handbook of Astronomical Image Processing*) των Berry και Burnell, ή παρόμοιες πηγές από το διαδίκτυο.

4.3.1 Τυχαίος θόρυβος

Από τα προβλήματα των εικόνων, το πιο εύκολο να κατανοηθεί είναι ο τυχαίος θόρυβος. Ο τυχαίος θόρυβος είναι τελείως ανεξάρτητος από το θόρυβο εικονοστοιχείου-προς-εικονοστοιχείο και από εικόνα σε εικόνα. Σε κάθε μια εικόνα η μορφή του τυχαίου θορύβου είναι διαφορετική. Η κοκκώδης όψη των εικόνων (σχήμα 4.2) που λαμβάνονται σε υψηλές ρυθμίσεις ISO οφείλεται σε αυτό το θόρυβο που παράγει ένα θετικό ή αρνητικό σφάλμα στη μέτρηση μεγέθους μας.

Υπάρχουν δύο κύριες πηγές τυχαίου θορύβου στις εικόνες DSLR. Η πρώτη είναι ο θόρυβος Johnson-Nyquist. Παράγεται στα ηλεκτρονικά κυκλώματα της κάμερας και προκαλείται από θερμική διέγερση των ηλεκτρονίων. Αυτός αναφέρεται συχνά ως "θόρυβος ανάγνωσης – read noise".

Η δεύτερη πηγή θορύβου είναι ο θόρυβος λήψης – shot noise, ο οποίος σχετίζεται με τον αριθμό N των φωτονίων, που ανιχνεύονται και προκύπτει από τη στατιστική φύση της εκπομπής φωτονίων στην πηγή. Ο θόρυβος λήψης είναι απλά η τετραγωνική ρίζα του αριθμού των φωτονίων που ανιχνεύονται.



Εικόνα 4.2. Δύο εκθέσεις των 120 δευτερολέπτων με ISO 400, στους 20° C. Παρουσιάζονται οι ίδιες περιοχές εικονοστοιχείων από τις πρωτογενείς εικόνες. Τα φωτεινά εικονοστοιχεία είναι το αποτύπωμα του ρεύματος σκότους (dark current) και είναι το ίδιο και στις δύο εικόνες. Το κοκκώδες υπόβαθρο είναι τυχαίος θόρυβος και διαφέρει μεταξύ των δύο εικόνων. (από τον Roger Pieri)

Ο τυχαίος θόρυβος είναι παρών στις εικόνες βαθμονόμησης καθώς και στις επιστημονικές εικόνες και δεν μπορεί να εξαλειφθεί. Ο μόνος τρόπος για να μειωθεί ο αντίκτυπός του είναι να αυξηθεί το σήμα (φωτόνια), χρησιμοποιώντας μεγαλύτερες εκθέσεις, είτε σε μια ενιαία έκθεση ή, εάν υπάρχει κίνδυνος κορεσμού, μέσω της πρόσθεσης (stacking) αρκετών συντομότερων εκθέσεων.

Πολλές φωτογραφικές μηχανές έχουν ενσωματωμένα φίλτρα λογισμικού που μειώνουν την αποτύπωση του θορύβου στις εικόνες. Αν και χρήσιμο στην καθημερινή φωτογραφία, τα φίλτρα αυτά μεταβάλλουν τα αρχικά δεδομένα της εικόνας και δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται στη φωτομετρία. Έτσι, οποιεσδήποτε επιλογές μείωσης του θορύβου της μηχανής πρέπει να είναι απενεργοποιημένες κατά την εκτέλεση φωτομετρίας.

4.3.2 Σταθερό μοτίβο θορύβου – Fixed Pattern Noise (FPN)

Σε αντίθεση με το θόρυβο Johnson-Nyquist και το θόρυβο λήψεων, ο θόρυβος σταθερού μοτίβου (FPN) δεν είναι τυχαίος και οφείλεται σε τεχνολογικά ελαττώματα μόνιμου χαρακτήρα. Όταν τα συγκεκριμένα εικονοστοιχεία επηρεάζονται από τέτοια ελαττώματα σχηματίζουν ένα μοτίβο το οποίο είναι επαναλαμβανόμενο από εικόνα σε εικόνα. Σε αντίθεση με τον τυχαίο θόρυβο, ο FPN μπορεί να εντοπίζεται και να απομακρύνεται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας βαθμονόμησης.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι θορύβων σταθερού μοτίβου συμπεριλαμβανομένων του bias και συστηματικών offset, καμμένων / hot pixels, ρεύματος σκότους και ριπών ρεύματος σκότους. Στις επόμενες παραγράφους θα περιγράψουμε κάθε ένα από αυτούς με μεγαλύτερη λεπτομέρεια.

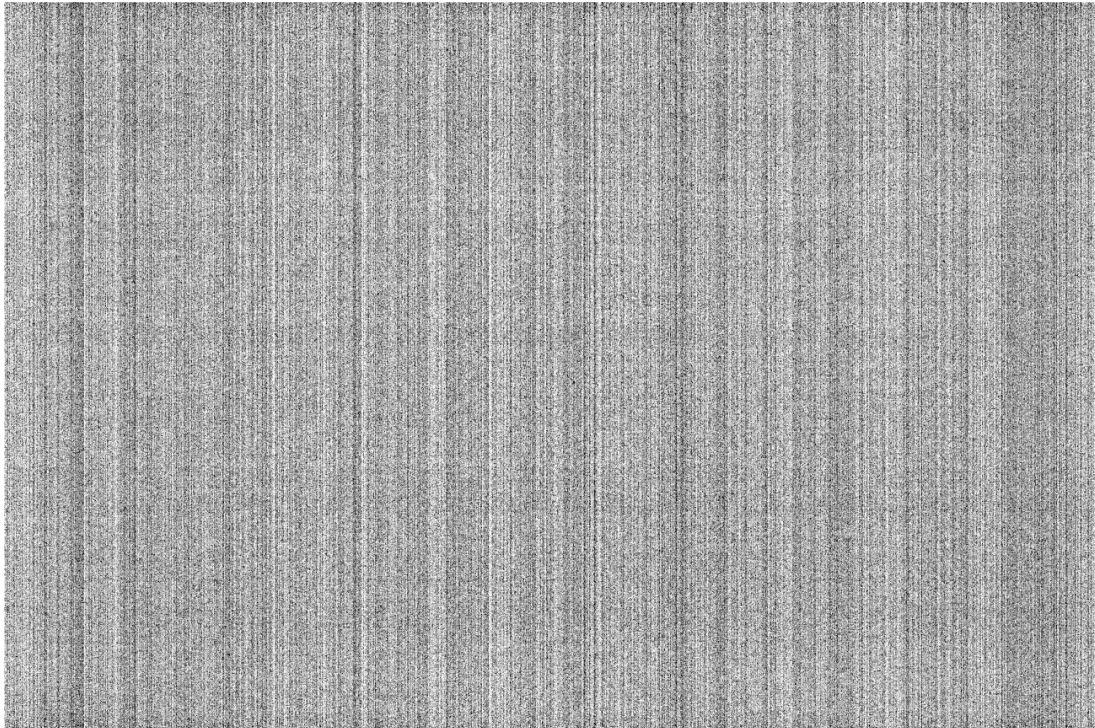
Bias και συστηματικό offset

Το bias είναι μια μικροσκοπική μετατόπιση της στάθμης του μαύρου κάθε pixel, που συχνά σχετίζεται με την οργάνωσή τους σε σειρές/στήλες. Μπορεί να είναι ενιαία για όλα τα εικονοστοιχεία, ή να σχηματίζει ταινίες στο επίπεδο του μαύρου των εικόνων (βλέπε σχήμα 4.3). Το εύρος του είναι εξαιρετικά χαμηλό στους σημερινούς αισθητήρες, συνήθως μόνο λίγα ADU.

Σημείωση: Υπάρχουν παρόμοια μοτίβα λωρίδων σε εικόνες DSLR που δεν είναι επαναλαμβανόμενα από εικόνα σε εικόνα, και δεν μπορούν να αφαιρεθούν από τη βαθμονόμηση της εικόνας. Αυτό συνήθως οφείλεται σε ψευδή σήματα που προκαλούνται από τα ψηφιακά ηλεκτρονικά κυκλώματα σε ιδιαίτερα ευαίσθητα αναλογικά ηλεκτρονικά. Ωστόσο, είναι σε πολύ χαμηλά επίπεδα ADU και δεν αποτελούν πολύ μεγάλο πρόβλημα.

Ορισμένες κάμερες έχουν ένα συστηματικό offset από το σχεδιασμό τους. Αυτό είναι μια απολύτως καθορισμένη μετατόπιση της κωδικοποίησης της στάθμης του μαύρου στο αρχείο εικόνας. Στις σύγχρονες φωτογραφικές μηχανές είναι συνήθως 1024 ή 2048 ADU. Αυτή η απόκλιση προβλέπεται για τη δυνατότητα να καταγράφονται αρνητικές τιμές του θορύβου και για κάποια ολίσθηση της στάθμης του μαύρου. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι σημαντικό για τη φωτομετρική επεξεργασία, διότι πρέπει να αφαιρείται πριν από οποιοσδήποτε μη προσθετικές μαθηματικές πράξεις, όπως η εφαρμογή των εικόνων flat field.

Το Bias και το συστηματικό offset βρίσκονται μέσα σε όλες τις εικόνες δεδομένων. Απομακρύνονται με την αφαίρεση ενός master bias (θα συζητηθεί αργότερα σ' αυτό το κεφάλαιο)



Εικόνα 4.3. Ένα master bias με υψηλό stretch για να δείξει το θόρυβο σταθερού μοτίβου με εύρος λίγων ADU (ISO 200). Η εικόνα αυτή έχει ομοιόμορφο offset από τα 0 ADU και λωρίδες που σχετίζονται με την οργάνωση γραμμών/στηλών των αντίστοιχων ηλεκτρονικών μερών. (από τον Mark Blackford)

4.3.3 Καμμένα και hot pixels

Τα καμμένα και τα hot pixels είναι εικονοστοιχεία που δεν λειτουργούν σωστά. Τα καμμένα pixels δεν αντιδρούν στο φως και έχουν συνήθως τιμές ADU κοντά στο επίπεδο του συστηματικού offset. Τα hot pixels έχουν πάρα πολύ ρεύμα σκότους (βλέπε παρακάτω) και υψηλές τιμές ADU σε σύγκριση με τα συνήθη pixel στην εικόνα. Αποτελούν ελαττώματα του αισθητήρα: συνήθως μερικά είναι ανεκτά στην περιφέρεια του αισθητήρα, αλλά δεν θα πρέπει να υπάρχει κανένα ή έστω να υπάρχουν πολύ λίγα στην κεντρική περιοχή.

Το μοτίβο των ελαττωματικών pixel είναι επαναλαμβανόμενο από εικόνα σε εικόνα και μπορεί να διορθωθεί με την πρώτη καταγραφή των συντεταγμένων τους σε ένα αρχείο (που ονομάζεται χάρτης ελαττωμάτων – defect map) και στη συνέχεια την αντικατάσταση των τιμών ADU αυτών των pixels στις εικόνες δεδομένων και βαθμονόμησης με τιμή εκ παρεμβολής από τα περιβάλλοντα φυσιολογικά pixels. Αυτή η διορθωτική διαδικασία εφαρμόζεται πριν από κάθε άλλη ενέργεια βαθμονόμησης.

Τα hot pixels ανιχνεύονται σε εικόνες σκότους και τα καμμένα pixels σε flat frames. Το όριο ADU που θέτει ο χρήστης καθορίζει ποια εικονοστοιχεία περιλαμβάνονται. Στο ISO 100 ένα όριο 500 ~ 1000 ADU πάνω από τη στάθμη του μαύρου μιας εικόνας σκότους, είναι ένα καλό σημείο εκκίνησης. Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο φωτομετρίας του λογισμικού σας για την ακριβή μέθοδο δημιουργίας του χάρτη ελαττωμάτων.

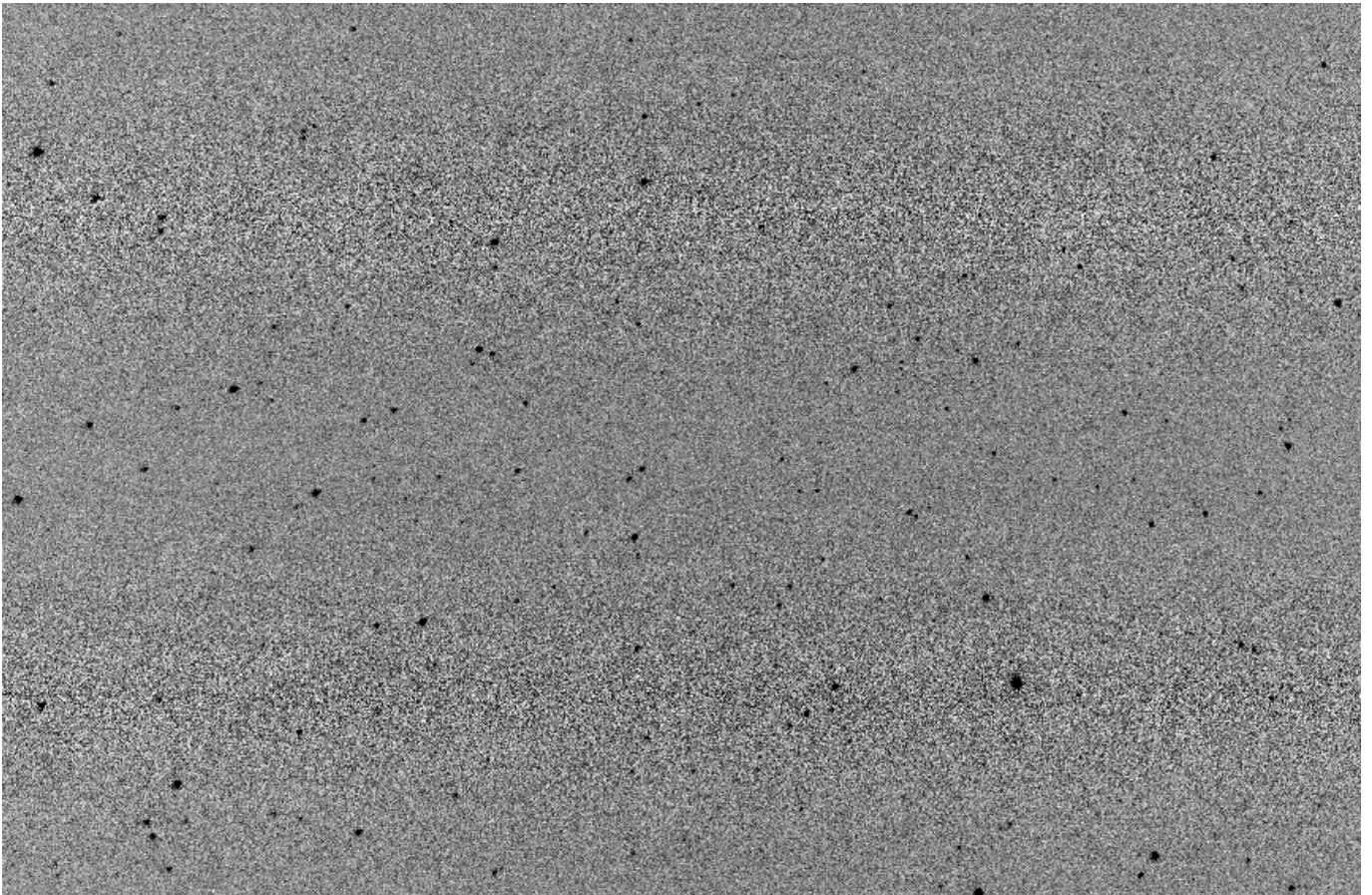
Η διαδικασία δημιουργίας χάρτη ελαττωμάτων είναι πολύ αποτελεσματική, παίρνει πολύ λίγο χρόνο επεξεργασίας και δεν κοστίζει σε χρόνο παρατήρησης για να προετοιμάσετε το αρχείο. Αν είναι διαθέσιμη στο λογισμικό φωτομετρίας σας, συνιστάται να χρησιμοποιηθεί. Οι χάρτες ελαττωμάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αρκετούς μήνες. Η ισχύς τους περιορίζεται από την διαδικασία γήρανσης του αισθητήρα.

Σημαντική σημείωση: η αντικατάσταση ελαττωματικών pixels πρέπει να γίνεται μόνο αν κάνετε έντονη υπερδειγματοληψία (όταν αφεσιδιάζετε αρκετά). Αν ένα ελάττωμα παρουσιαστεί μέσα σε προφίλ αστέρων, θα πρέπει να κάνετε υποθέσεις ως προς το ποια είναι η σωστή τιμή εκ παρεμβολής και αυτές οι υποθέσεις θα αποτύχουν, εάν τα γειτονικά pixels διαφέρουν πολύ σε ένταση.

4.3.4 Ρεύμα σκότους και ριπές ρεύματος σκότους

Κανονικό Ρεύμα Σκότους

Στους αισθητήρες εικόνας CMOS η φωτοδίοδος λειτουργεί υπό λειτουργία αντίστροφης πόλωσης. Αυτό σημαίνει ότι μια θετική τάση εφαρμόζεται στην κάθοδο σε σχέση με την άνοδο. Το ρεύμα από την πηγή είναι αποκλεισμένο. Το υπόλοιπο ρεύμα οφείλεται σε ηλεκτρόνια που απελευθερώθηκαν από τα φωτόνια που προσπίπτουν στην φωτοδίοδο. Υπάρχει όμως ένα άλλο μικρής έντασης ρεύμα σε κάθε δίοδο, το αντίστροφο ρεύμα, που είναι ένα είδος διαρροής του τρόπου δέσμησης. Αυτό το σήμα είναι μικρό, περίπου 0,1-1,0 ηλεκτρόνια ανά δευτερόλεπτο και το αποτέλεσμα είναι μια μικρή αύξηση της στάθμης εξόδου ADU του πίξελ.



Εικόνα 4.4. Οριζόντιες λωρίδες ή γραμμές μπορεί να παρουσιαστούν συχνά σε εικόνες των DSLR της Canon. Οι λωρίδες αυτές είναι συνήθως σε πολύ χαμηλή στάθμη (ελάχιστα ADU) και προκαλούνται από θόρυβο στα ψηφιακά κυκλώματα του αισθητήρα πριν από τον ADC. Υπάρχουν αλγόριθμοι για την εξάλειψη αυτού του φαινομένου, αλλά δεν συνηθίζεται σε αστρονομικό λογισμικό. Αν η αφαίρεση του υποβάθρου εφαρμοστεί σωστά, τείνει να περιορίσει την εν λόγω πηγή θορύβου.

Το κανονικό αντίστροφο ρεύμα καθορίζεται από τον σχεδιασμό του αισθητήρα και σε αυτό οφείλεται πως όλα τα εικονοστοιχεία έχουν την ίδια θετική μετατόπιση. Η αντίστοιχη συσσώρευση των ηλεκτρονίων στο pixel είναι ανάλογη με το χρόνο έκθεσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα κάποια αύξηση της συνολικής στάθμης του μαύρου (περισσότερο ή λιγότερο, όπως και το φόντο του ουρανού). Στην πραγματικότητα αυτό δεν είναι ορατό στις εικόνες μας αφού αντισταθμίζεται από τα ηλεκτρονικά της DSLR. Το μόνο αποτέλεσμα που απομένει είναι ο αντίστοιχος θόρυβος λήψεων, ο οποίος αυξάνει το επίπεδο τυχαίου θορύβου των μακρών εκθέσεων.

Το αντίστροφο ρεύμα των διόδων είναι επίσης πολύ ευαίσθητο στην θερμοκρασία της διόδου. Τυπικά διπλασιάζεται κάθε 5 έως 10 ° C. Ως εκ τούτου, η αύξηση φορτίου του ηλεκτρονίου είναι ανάλογη με το χρόνο έκθεσης και μια εκθετική συνάρτηση της θερμοκρασίας του αισθητήρα. Αν και ο ίδιος ο αισθητήρας CMOS δημιουργεί συχνά πολύ λίγη θερμότητα (δηλαδή, έχει χαμηλή κατανάλωση ισχύος), ο επεξεργαστής της φωτογραφικής μηχανής θα ανυψώσει τη θερμοκρασία της κάμερας. Συνήθως, μια φωτογραφική μηχανή, θα θερμανθεί κατά 10 ° C μετά από περίπου μία ώρα χρήσης. Αυτό είναι πολύ λιγότερο από τις κάμερες CCD οι οποίες απαιτούν ψύξη. Έτσι το κανονικό ρεύμα σκότους είναι λιγότερο σημαντικό στις φωτογραφικές μηχανές DSLR από ό, τι σε κάμερες CCD.

Dark current impulses

Η αστροφωτογράφηση με DSLR συχνά μαστίζεται από λίγα (~ 3%) αποκλίνοντα pixels που έχουν σημαντικά υψηλότερο ρεύμα σκότους από το κανονικό. Αυτά τα αποκλίνοντα pixel εμφανίζονται πολύ πιο φωτεινά στην εικόνα και συχνά ονομάζονται hot pixel ή dark impulses (π.χ., τα φωτεινά pixel στην εικόνα 4.2). Το φαινόμενο αυτό δεν είναι μετρήσιμο σε πολύ σύντομες εκθέσεις επειδή είναι μέσα στο εύρος του τυχαίου θορύβου από των πιο σύγχρονων φωτογραφικών μηχανών DSLR, ωστόσο, γίνεται σημαντικό σε μεγαλύτερες εκθέσεις.

Αν και είναι μια πραγματικά ενοχλητική ανωμαλία στην αστροφωτογράφηση, έχει μικρότερο αντίκτυπο στην φωτομετρία όπου το φως είναι (σκόπιμα) διασκορπισμένο σε μερικές εκατοντάδες pixels. Η αφαίρεση του υποβάθρου και η άθροιση μειώνει επίσης τον αντίκτυπο των dark impulses.

4.3.5 Master Calibration Frames

Η δημιουργία Master Calibration Frames (που θα εξετάσουμε αργότερα σε αυτό το κεφάλαιο) εισάγει επίσης πρόσθετο τυχαίο θόρυβο στις εικόνες δεδομένων, αν και αυτό το γεγονός συχνά παραβλέπεται. Για την ελαχιστοποίηση αυτού του επιπλέον θορύβου χρησιμοποιούμε master bias, dark και flat frames από τουλάχιστον 16 μεμονωμένα καρέ, όσο περισσότερα όμως τόσο το καλύτερο. Το σήμα της εικόνας αυξάνεται γραμμικά με τον αριθμό των καρέ, αλλά ο τυχαίος θόρυβος αυξάνεται με την τετραγωνική ρίζα του αριθμού των εκθέσεων κι έτσι ο λόγος σήματος προς θόρυβο (SNR) βελτιώνεται καθώς προστίθενται περισσότερα καρέ.

4.4 Εικόνες βαθμονόμησης (bias, dark και flat)

4.4.1 Εικόνες Bias

Κλασσική διόρθωση bias

Ο θόρυβος σταθερού μοτίβου που οφείλεται στο bias και κάθε συστηματικό offset, συνήθως αφαιρείται από τις εικόνες δεδομένων αφαιρώντας μία εικόνα master bias. Το master bias γίνεται με τη άθροιση μιας σειράς εικόνων που ελήφθησαν σε απόλυτο σκοτάδι, με πολύ μικρή έκθεση, στην τιμή ISO που χρησιμοποιείται για τις εικόνες δεδομένων.

Τα bias μπορεί να συλλεχθούν ανά πάσα στιγμή επειδή η θερμοκρασία του αισθητήρα και η ρύθμιση εστίας δεν αποτελούν σημαντικούς παράγοντες. Έτσι οι συννεφιασμένες νύχτες είναι ιδανικές για την προετοιμασία του master bias. Ρυθμίστε την ταχύτητα κλείστρου στην ελάχιστη διαθέσιμη της DSLR σας (συνήθως 1 / 4000^{ov} δευτερόλεπτο), εξασφαλίζοντας πως δεν μπορεί να φτάσει καθόλου φως στον αισθητήρα (καπάκι τοποθετημένο στο φακό, μπλοκαρισμένο το σκόπευτρο, λήψεις σε σκοτεινό δωμάτιο) τότε λαμβάνετε από τουλάχιστον 16 εικόνες ως αρκετές εκατοντάδες. Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο του λογισμικού φωτομετρίας για οδηγίες σχετικά με το πώς προετοιμάζει το master bias από αυτά τα μεμονωμένα καρέ.

Πρέπει να δημιουργηθεί ξεχωριστό master bias για κάθε ρύθμιση ISO που χρησιμοποιείτε στις εικόνες δεδομένων σας. Μπορεί να χρησιμοποιείται για αρκετούς μήνες με πιθανό όριο τη γήρανση του αισθητήρα.

Τεχνητή διόρθωση bias

Η αφαίρεση ενός master bias προσθέτει αναπόφευκτα κάποια ποσότητα τυχαίου θορύβου (ακόμη και όταν αρκετές εκατοντάδες καρέ μεμονωμένων bias χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του master bias). Αντ' αυτού, μερικοί παρατηρητές αφαιρούν μια τεχνητή εικόνα με την οποία όλα τα εικονοστοιχεία έχουν την ίδια αξία με τη συστηματική μετατόπιση, δηλαδή, 1024 ή 2048 ADU. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αφαίρεση του συστηματικού offset από τις εικόνες δεδομένων και βαθμονόμησης χωρίς την προσθήκη επιπλέον τυχαίου θορύβου, αλλά εις βάρος της διατήρησης του FPN λόγω bias.

4.4.2 Εικόνες σκότους (dark frames)

Υπάρχουν πολλές τεχνικές για τη διόρθωση του θορύβου σκότους. Η επιλογή για το ποιά θα χρησιμοποιήσετε θα εξαρτηθεί από τα ειδικά χαρακτηριστικά των εικόνων που θα βαθμονομηθούν και από τις επιλογές του λογισμικού φωτομετρίας.

Χωρίς διόρθωση θορύβου σκότους

Εικόνες που έχουν ληφθεί με χρόνους έκθεσης κάτω από 30 δευτερόλεπτα σε χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος μπορεί να μην παρουσιάζουν σημαντικό ρεύμα σκότους ή ριπές θερμικού θορύβου. Αυτό συμβαίνει συνήθως σε εικόνες flat field όπου οι εκθέσεις είναι συνήθως λίγων δευτερολέπτων. Σε αυτήν την περίπτωση δεν είναι απαραίτητη η διόρθωση θορύβου σκότους αφού στην πραγματικότητα θα προσθέσει τυχαίο θόρυβο, χωρίς σημαντική βελτίωση στη φωτομετρική ακρίβεια. Είναι επιβεβλημένο να ελέγξετε τα χαρακτηριστικά της φωτογραφικής σας μηχανής υπό διάφορες ρυθμίσεις θερμοκρασίας και έκθεσης πριν επιλέξετε να μη γίνει διόρθωση θορύβου σκότους.

Διόρθωση θορύβου σκότους μέσω της κάμερας

Πολλές φωτογραφικές μηχανές DSLR έχουν τη δυνατότητα για εσωτερική μείωση θορύβου σε μακρές εκθέσεις. Αμέσως μετά τη λήψη μιας εικόνας δεδομένων η κάμερα καταγράφει αυτόματα μια άλλη με ακριβώς την ίδια έκθεση, αλλά χωρίς να ανοίγει το κλείστρο. Η δεύτερη εικόνα αφαιρείται από την πρώτη πριν αποθηκεύσετε το διορθωμένο αρχείο εικόνας στην κάρτα μνήμης ή σε υπολογιστή. Ούτε η αρχική εικόνα δεδομένων ούτε οι εικόνες σκότους αποθηκεύονται.

Κατ' αρχήν, αυτό φαίνεται σαν μια καλή ιδέα, όμως, στην πράξη δεν είναι. Η φωτογραφική μηχανή θα χρησιμοποιήσει μία εικόνα σκότους ανά μία εικόνα δεδομένων, έτσι ο τυχαίος θόρυβος που προστίθεται είναι πολύ μεγαλύτερος από ό,τι με χρήση μιας εικόνας master dark (αυτό μετριάζεται κάπως, αν αθροίζονται μερικές εικόνες δεδομένων). Πιο σημαντικό είναι πως το ήμισυ του χρόνου παρατήρησης δαπανάται στη λήψη dark frames έτσι ώστε ο αριθμός των εικόνων δεδομένων μειώνεται σημαντικά. Το μόνο πλεονέκτημα της διαδικασίας επί της μηχανής είναι ότι η θερμοκρασία των δύο εικόνων θα είναι σχεδόν ίδια, αλλά αυτό δεν είναι αρκετό για αντιστάθμιση των μειονεκτημάτων.

Σε γενικές γραμμές, η μείωση του θορύβου μακράς έκθεσης επί της φωτογραφικής μηχανής ή άλλες παρόμοιες επιλογές θα πρέπει να απενεργοποιηθούν.

Κλασική διόρθωση θορύβου σκότους

Στην κλασική διαδικασία λαμβάνονται τουλάχιστον 16 εικόνες σκότους κατά τη διάρκεια της συνόδου παρατήρησης, με τις ίδιες ρυθμίσεις και συνθήκες των εικόνων δεδομένων (ISO, χρόνος έκθεσης, θερμοκρασία). Πρέπει να αποκλειστεί οποιαδήποτε πιθανή διαρροή του φωτός στην κάμερα (να καλύπτεται το σκόπευτρο και να τοποθετείται το καπάκι στο φακό). Ένα master dark frame γίνεται στη συνέχεια με χρήση αυτών των επιμέρους dark frames. Συμβουλευτείτε το λογισμικό φωτομετρίας σας για συγκεκριμένες οδηγίες.

Είναι δύσκολο να κάνετε μια σειρά από εικόνες σκότους που θα έχουν το ίδιο επίπεδο θερμικού θορύβου με τις εικόνες δεδομένων, επειδή η θερμοκρασία του αισθητήρα της DSLR δεν σταθεροποιείται. Για να περιορίσετε αυτό το πρόβλημα, κάποιιοι συλλέγουν τις μισές από τις εικόνες σκότους πριν από την έναρξη της καταγραφής και τις άλλες μισές στη συνέχεια. Αυτό τείνει να περικλείει το εύρος θερμοκρασιών των εικόνων που έχουν ληφθεί και μπορεί να οδηγήσει σε βελτίωση της διόρθωσης θορύβου σκότους.

Διόρθωση θορύβου σκότους για διάφορους χρόνους έκθεσης

Μπορεί να χρειαστεί να χρησιμοποιήσετε διαφορετικούς χρόνους έκθεσης για διαφορετικούς στόχους ανάλογα με τη φωτεινότητα τους. Με την κλασική διόρθωση θορύβου σκότους, θα ήταν απαραίτητο να δημιουργηθεί ένα master dark frame για κάθε χρόνο έκθεσης που χρησιμοποιήθηκε, με αποτέλεσμα την επιβάρυνση του χρόνου που θα απαιτηθεί για την καταγραφή μεμονωμένων dark frames.

Μερικά προγράμματα φωτομετρίας έχουν μια επιλογή για την κλιμάκωση μιας μακράς έκθεσης master dark frame έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θόρυβο σκότους συντομότερων εκθέσεων συλλογής δεδομένων. Αυτό μπορεί να λειτουργήσει ικανοποιητικά όσο η θερμοκρασία δεν είναι σημαντικά διαφορετική.

Βελτιστοποιημένη διόρθωση θορύβου σκότους

Μια πιο εξελιγμένη διαδικασία διαθέσιμη σε διάφορα προγράμματα φωτομετρίας (π.χ., IRIS και MaxIm DL) κλιμακώνει το master dark frame για την ελαχιστοποίηση του θορύβου RMS της τελικής εικόνας. Αυτή η διαδικασία μπορεί να αντιμετωπίσει διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ των εικόνων σκότους και των εικόνων δεδομένων, ακόμη και την αλλαγή της θερμοκρασίας του αισθητήρα σε ολόκληρη την περίοδο παρατήρησης.

Τα master dark μπορεί να γίνουν ανά πάσα στιγμή, δεν χρειάζεται να το κάνουμε κατά τη διάρκεια της παρατήρησης. Θα είναι χρήσιμα για αρκετούς μήνες, το όριο είναι η πιθανή γήρανση του αισθητήρα.

4.4.3 Εικόνες Flat Field

Τα flat field είναι εικόνες μιας ομοιόμορφα φωτισμένης πηγής που αποκαλύπτουν τις ασυμμετρίες ή ξένα αντικείμενα στην οπτική διαδρομή της φωτογραφικής μηχανής σας. Σε αντίθεση με τη διόρθωση θορύβου σκότους, η διόρθωση flat field είναι υποχρεωτική για όλες τις εικόνες που προορίζονται για φωτομετρία. Τα flat field πρέπει να καταγράφονται με την κάμερα και τηλεσκόπιο / φακό στην ίδια διάταξη (εστίαση, f-stop, ISO, κλπ) που χρησιμοποιείται για τις εικόνες δεδομένων. Οι χρόνοι έκθεσης πρέπει να προσαρμοστούν ώστε να αποφευχθεί κορεσμός.

Η εύρεση ή η δημιουργία μιας ομοιόμορφα φωτισμένης πηγής είναι απρόσμενα δύσκολη και έχει οδηγήσει σε πολλές ενδιαφέρουσες συζητήσεις σε συνέδρια της AAVSO. Έτσι δεν μπορούμε (και δεν τολμούμε) να συνηγορήσουμε σε μια συγκεκριμένη τεχνική. Πριν από την παρουσίαση μερικών δημοφιλών επιλογών, ας δούμε μερικές γενικές συμβουλές:

Θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα ώστε να διασφαλιστεί πως κάθε ένα από τα κανάλια RGB λαμβάνει επαρκή ένταση σε μια εικόνα. Ιδανικά, αυτό θα πρέπει να είναι περίπου στα $\frac{2}{3}$ του «ορίου κορεσμού» της φωτογραφικής μηχανής σας. Επειδή θα πρέπει να παρατηρείτε μια πολύ πιο φωτεινή πηγή από ό, τι όταν κάνετε φωτομετρία, θα χρειαστεί να χρησιμοποιήσετε μικρότερους χρόνους έκθεσης (τυπικά 1-2 δευτερόλεπτα) από ό, τι στις εικόνες δεδομένων.

Ακόμα κι αν εκθέσεις είναι σύντομες και δεν υπάρχει αξιόλογο ρεύμα σκότους, τα σήματα bias και offset εξακολουθούν να υπάρχουν. Βεβαιωθείτε να εφαρμόσετε το master bias στο master flat πριν από την εφαρμογή οποιασδήποτε διόρθωσης flat στις εικόνες δεδομένων.

Επειδή τα flat υποτίθεται ότι είναι εικόνες μίας ομοιόμορφα φωτισμένης πηγής, θα διορθώσουν οποιαδήποτε βινιετάρισμα και μεταβολές της ευαισθησίας ρixel-προς-ρixel που είναι παρόντα (με την προϋπόθεση πως δεν μεταβλήθηκε η διαμόρφωση της κάμερας και τηλεσκοπίου / φακού). Ωστόσο, σκιές σκόνης μπορεί να αλλάξουν θέση λόγω της κίνησης της σκόνης επί των οπτικών επιφανειών ή και αλλαγών στις ρυθμίσεις εστίασης. Για να ελαχιστοποιηθεί αυτό το φαινόμενο, απενεργοποιείτε οποιοσδήποτε επιλογές καθαρισμού μέσω υπερήχων στην κάμερά σας. Οι εικόνες Flat θα πρέπει να προετοιμάζονται τακτικά, αλλά όχι κατ' ανάγκη κάθε βράδυ.

Όπως συμβαίνει με όλα τα βήματα βαθμονόμησης, η διόρθωση flat προσθέτει θόρυβο στη βαθμονομημένη εικόνα. Για να ελαχιστοποιηθεί η ποσότητα του προστιθέμενου θορύβου οι εικόνες master flat δημιουργούνται από πολλαπλά μεμονωμένα flat. Θα πρέπει να ληφθούν τουλάχιστον 16, ή περισσότερα εφόσον επιτρέπει ο χρόνος. Το λογισμικό φωτομετρίας σας θα έχει επιλογή για να γίνει το master flat από μεμονωμένα καρέ χρησιμοποιώντας αλγόριθμους είτε μέσου όρου (average) ή μέσης τιμής (median). Η επιλογή median προτιμάται συνήθως επειδή οι εικόνες αστέρων σε επιμέρους flat ουρανού ή τα ίχνη κοσμικών ακτίνων δεν θα επηρεάσουν αρνητικά το master flat.

Flat ουρανού (στο λυκόφως ή το λυκαυγές)

Κατά τη φωτογράφιση μέσα από ένα τηλεσκόπιο, το οπτικό πεδίο είναι συνήθως αρκετά μικρό ώστε οι εικόνες του ουρανού κατά το λυκόφως (οι οποίες είναι σχετικά ομοιογενείς σε κλίμακα μίας μοίρας περίπου) μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως flat. Υπάρχει περιορισμένο χρονικό διάστημα στο οποίο να ληφθούν τα flat ουρανού κατά τη διάρκεια του λυκόφωτος και του λυκαυγούς, και μπορεί να είναι απαραίτητο να ποικίλει η διάρκεια της κάθε λήψης για να διασφαλίζεται η επαρκής έκθεση με βάση τα επίπεδα του φωτός.

Αν κάνετε flat ουρανού, το καλύτερο είναι να σταματήσετε την οδήγηση του τηλεσκοπίου σας, έτσι ώστε τυχόν είδωλα αστέρων στην εικόνα σας να δημιουργούν ίχνη σε διαφορετικές θέσεις κάθε flat. Η επιλογή «μέση τιμή» (και όχι "μέσος όρος") στο λογισμικό φωτομετρίας σας, θα τα εξαλείψει από το master flat.

Για ευρύτερα πεδία που αποκτώνται με κανονικό φακό ή τηλεφακό, πρέπει να χρησιμοποιούνται έμμεσες τεχνικές φωτισμού.

Flat Θόλου

Εδώ χρησιμοποιείται μια ματ επιφάνεια που φωτίζεται από τον ουρανό ή από διάχυτο τεχνητό φως. Πρέπει να είστε βέβαιοι πως η επιφάνεια αυτή είναι αρκετά μεγάλη ώστε να καλύπτει όλη την εικόνα.

Flat με φωτοκυτίο (light-box)

Εναλλακτικά, μπορεί να κατασκευαστεί ένα φωτοκυτίο και να τοποθετηθεί πάνω από το μπροστινό μέρος του φακού της κάμερας για την απόκτηση εικόνων flat. Αυτό επιτρέπει τον έλεγχο των επιπέδων φωτισμού και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανά πάσα στιγμή, αντί να χρειάζεται να περιμένετε για τις κατάλληλες συνθήκες στο λυκόφως ή το λυκαυγές. Οδηγίες για κατασκευή φωτοκυτίου είναι άμεσα διαθέσιμες στο διαδίκτυο. Ένας απλός αλλά αποτελεσματικός σχεδιασμός περιγράφεται στο εγχειρίδιο της Αστρονομικής Επεξεργασίας Εικόνας από τους Richard Berry και James Burnell.

Flat με πάνελ ηλεκτροφωταύγειας (electroluminescent)

Τα τελευταία χρόνια διατίθενται πάνελ ηλεκτροφωταύγειας (EL) και αρκετοί τα χρησιμοποιούν με επιτυχία για δημιουργία εικόνων flat. Είναι λιγότερο ογκώδη από τα παραδοσιακά κουτιά και πιο εύκολα στη χρήση, αλλά είναι σχετικά ακριβά.

4.5 ISO και Χρόνοι Έκθεσης

Αν υπήρχε μια λίστα top-10 των ερωτήσεων για φωτομετρία DSLR, τότε εκείνες που αφορούν χρόνους έκθεσης, ρυθμίσεις ISO, και την εξασφάλιση πως οι εικόνες είναι φωτομετρικής ποιότητας θα καταλάμβαναν σίγουρα τις κορυφαίες θέσεις. Η επιλογή αυτών των ρυθμίσεων απαιτεί προσεκτική εξέταση τόσο των χαρακτηριστικών του θορύβου της μηχανής σας, όσο και τον αντικειμενικό στόχο που θέλετε να πετύχετε. Σε αυτή την ενότητα θα εξηγήσουμε την προσεκτική εξισορρόπηση μεταξύ ευαισθησίας και ακρίβειας καθώς και μερικές κατευθυντήριες γραμμές για τις βέλτιστες ρυθμίσεις.

4.5.1 Ρύθμιση ISO, σφάλμα κβαντισμού, και δυναμικό εύρος

Θέτοντας τη σωστή ρύθμιση ISO μοιάζει με επιλογή μεταξύ δύο κακών. Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 2, η ρύθμιση ISO προσαρμόζει απλώς τη ρύθμιση απολαβής του ενισχυτή που χρησιμοποιείται για να διαβάσει τις τιμές των pixels. Θα περίμενε κανείς πως ρύθμιση σε υψηλό ISO θα είναι ιδανική για τη φωτομετρία, αλλά αυτό δεν συμβαίνει πάντα. Σε υψηλό ISO, η κάμερα θα αποτυπώσει πιο αμυδρές πηγές, αλλά αυτό θα ενισχύσει όχι μόνο το φως των άστρων, αλλά και το θόρυβο. Επιπλέον, ένα υψηλό ISO θα μειώσει το δυναμικό εύρος της κάμερας (το εύρος της φωτεινότητας που περιέχεται σε μια εικόνα). Έτσι, οι υψηλές ταχύτητες ISO περιορίζουν το εύρος των διαφορών μεγέθους που η φωτογραφική μηχανή σας θα είναι σε θέση να ανιχνεύσει.

Αντιστρόφως, με χαμηλές τιμές ISO, μικρές διαφορές σε ηλεκτρικό φορτίο, θα αποκτήσουν την ίδια τιμή από τον ADC (Analog-to-Digital Converter) κι έτσι η ακρίβεια του αισθητήρα θα χαθεί. Η τελευταία αυτή κατάσταση ονομάζεται "σφάλμα κβαντισμού". Σφάλμα κβαντισμού μπορεί εύκολα να απεικονισθεί με ένα μη τεχνικό τρόπο στην παρακάτω εικόνα ενός καθαρού μπλε του ουρανού σε μια παραλία (βλέπε σχήμα 4.6). Γνωρίζουμε από την καθημερινή εμπειρία πως η φωτεινότητα του καθαρού ουρανού μεταβάλλεται ομαλά (gradient). Ωστόσο, μια φωτογραφική μηχανή δεν μπορεί να διακρίνει ανεπαίσθητες διαφορές στη φωτεινότητα και θα παράξει μια παράξενη εικόνα στην οποία ο ουρανός παρουσιάζει κλιμακωτή φωτεινότητα, όπως συμβαίνει εδώ.



Σχήμα 4.6. Μια κατά τα άλλα ομαλή κλιμάκωση του μπλε του ουρανού σε αυτήν την εικόνα χωρίζεται σε μια σειρά από διακριτές περιοχές λόγω σφάλματος κβαντισμού.

Αυτό το μειονέκτημα είναι κάτι περισσότερο από απλά άσχημο. Στο πλαίσιο της φωτομετρίας με DSLR, υποβιβάζει τη φωτομετρική αξία της εικόνας. Η εικόνα της παραλίας θα έπρεπε να χρησιμοποιήσει εκατοντάδες διαφορετικές εντάσεις για να αναπαραστήσει τον ουρανό, αλλά εδώ, χρησιμοποιεί μόνο πέντε, το οποίο είναι ο λόγος που ο ουρανός χωρίζεται σε πέντε μη-ρεαλιστικής εμφάνισης ζώνες. (Στην πραγματικότητα, σφάλμα κβαντισμού εμφανίζεται επίσης σε υψηλό ISO, αλλά σε αυτή την περίπτωση προκύπτει επειδή η απολαβή (gain) είναι τόσο υψηλή που η προσθήκη ενός μόνο ηλεκτρονίου έχει ως αποτέλεσμα πολλές τιμές ADU).

Μέσα από κάποιες δοκιμές, βρήκαμε πως σε ρύθμιση ISO 200-400 επιτυγχάνεται καλή ισορροπία μεταξύ ακρίβειας και θορύβου, ενώ χαμηλότερες τιμές ISO (π.χ., 100) είναι καλύτερες για φωτεινότερα αστέρια. Έτσι, αν το αντικείμενο έρευνας περιλαμβάνει ευρύ φάσμα μεγεθών, μάλλον θα πρέπει να επιμενείτε στο χαμηλό άκρο αυτής της περιοχής. Ομοίως, εάν παρατηρείτε ένα πεδίο με πολλά αντικείμενα παρόμοιου μεγέθους, μια υψηλότερη ρύθμιση ISO μπορεί να είναι αποδεκτή, εφ' όσον δεν προκαλεί κορεσμό των άστρων.

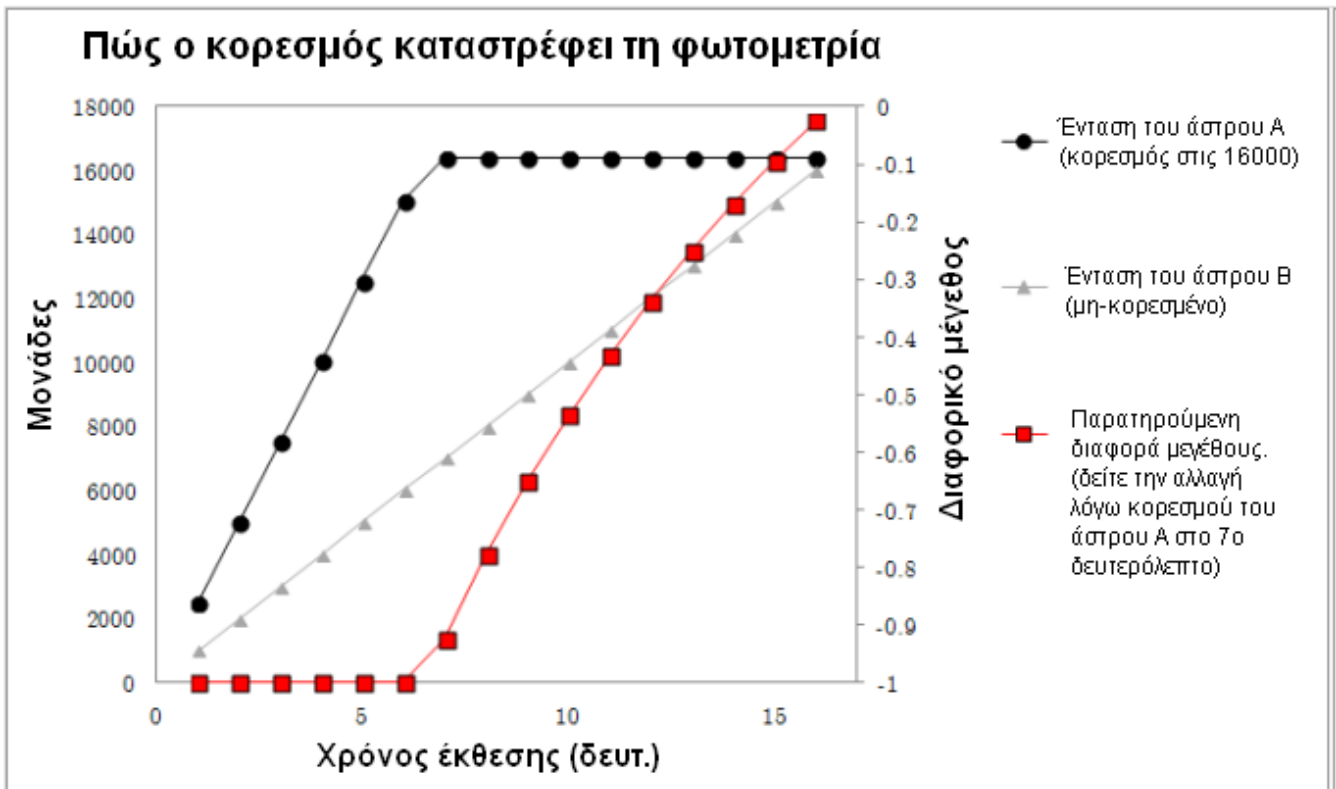
4.5.2 Χρόνοι έκθεσης, κορεσμός και έλλειψη γραμμικότητας

Στη φωτομετρία DSLR, ο παρατηρητής πρέπει να είναι προσεκτικός για να εξασφαλίσει ότι οι εικόνες της κάμερας είναι φωτομετρικής ποιότητας. Υπάρχουν πολλές παγίδες που μπορούν να έχουν ως αποτέλεσμα ακόμη και μια εικόνα καλής εμφάνισης να είναι επιστημονικά άχρηστη. Είναι σημαντικό ότι ο φωτομέτρης πρέπει να είναι σε θέση να αναγνωρίζει αμέσως αυτά τα ζητήματα, ενώ συλλέγονται τα δεδομένα. Ένα από τα θέματα αυτά είναι να ξέρει πώς να ρυθμίσει την κατάλληλη έκθεση, προκειμένου να αποφευχθούν προβλήματα με τον κορεσμό και την μη γραμμικότητα, δύο έννοιες που περιγράψουμε στις επόμενες παραγράφους.

Η κατανόηση της έννοιας της γραμμικότητας απαιτεί μια σύντομη, ελάχιστη τεχνική αναφορά σχετικά με το πώς ανιχνεύουν το φως οι μηχανές DSLR. Όταν το φως χτυπά ένα pixel στον αισθητήρα, δημιουργεί ένα ηλεκτρικό φορτίο στο pixel το οποίο είναι ανάλογο προς την ένταση του φωτός. Έτσι, εάν το αστέρι A είναι 2 φορές λαμπρότερο από το αστέρι B, θα πρέπει να δημιουργήσει ένα ηλεκτρικό φορτίο δύο φορές μεγαλύτερο στα εικονοστοιχεία που φωτίζει. Ωστόσο, υπάρχει ένα μέγιστο ποσό φορτίου που μπορεί να κρατήσει κάθε εικονοστοιχείο. Μόλις φτάσει σ' αυτό το όριο, δεν μπορεί να διατηρήσει οποιοδήποτε επιπλέον φορτίο, έτσι ώστε το πρόσθετο φως που πέφτει πάνω του δεν θα παράξει αντίστοιχη αύξηση φορτίου. Αυτό ονομάζεται κορεσμός. Κατά μία έννοια, αφού κορεστεί ένα εικονοστοιχείο έχει καταστεί «τυφλό» για την υπόλοιπη έκθεση και δεν θα έχει πλέον γραμμική απόκριση στο φως. Αυτό δεν βλάπτει την κάμερα, αλλά σημαίνει ότι είναι αδύνατο να επιτευχθεί ουσιαστική φωτομετρία του κορεσμένου αστέρα. (Η φωτομετρία μη κορεσμένων άστρων σε αυτήν την εικόνα δεν θα επηρεαστεί.) Στην πράξη, λοιπόν, είναι απολύτως απαραίτητο να διασφαλιστεί ότι ούτε το αστέρι-στόχος ούτε κανένα από τα αστέρια αναφοράς είναι κορεσμένα.

Η έννοια της μη γραμμικότητας είναι στενά συνδεδεμένη με τον κορεσμό. Κανονικά, όταν το φως από μια σταθερή πηγή πέφτει σε ένα pixel, θα υπάρξει μια άμεση γραμμική σχέση μεταξύ του χρόνου έκθεσης (παρίσταται γραφικώς επί του άξονα X) και του ηλεκτρικού φορτίου (η ένταση παρίσταται γραφικώς επί του άξονα Y). Για παράδειγμα, διπλασιάζοντας τον χρόνο έκθεσης πρέπει να διπλασιαστεί η ένταση σε ένα δεδομένο pixel. Ωστόσο, για ανιχνευτές τύπου CCD, καθώς ένα pixel πλησιάζει τον κορεσμό, η πρώην γραμμική σχέση θα γίνει έντονα μη-γραμμική. Με μια εικόνα σχεδόν κορεσμένων αστέρων, για παράδειγμα, η αύξηση του χρόνου έκθεσης κατά 10% θα μπορούσε να οδηγήσει μόνο σε μια αύξηση 5% σε φορτίο (και όχι από το αναμενόμενο 10%). Η μη-γραμμικότητα είναι ακόμα πιο επικίνδυνη για τη φωτομετρία, επειδή εντοπίζεται δυσκολότερα από τον κορεσμό. Ευτυχώς, οι φωτογραφικές μηχανές DSLR χρησιμοποιούν πλέον αποκλειστικά αισθητήρες CMOS που δεν έχουν το πρόβλημα της μη-γραμμικότητας των αισθητήρων CCD.

Γιατί θα πρέπει κάποιος να νοιάζεται για τον κορεσμό και τη μη γραμμικότητα; Η φωτομετρία στηρίζεται επάνω σε μια διαισθητική υπόθεση ότι υπάρχει μια άμεση, γραμμική σχέση μεταξύ (α) πόσο φωτεινό φαίνεται ένα αστέρι σε μια εικόνα και (β) την πραγματική φωτεινότητα του. Μόλις ένα εικονοστοιχείο χάνει τη γραμμική απόκριση του στο φως, η υπόθεση αυτή δεν ευσταθεί διότι τα ηλεκτρικά φορτία που διακρατούνται από μη γραμμικά / κορεσμένα pixels δεν αντιστοιχούν με την πραγματική φωτεινότητα του αστεριού. Στο Σχήμα 4.7, το άστρο A είναι ένα μέγεθος φωτεινότερο από τον αστέρα B, αλλά από τη στιγμή που ο αστέρας A κορεστεί, η διαφορά μεγέθους πηγαίνει από -1 προς το 0 - ακόμα κι αν δεν έχει μεταβληθεί η πραγματική φωτεινότητα κανενός αστέρα. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό να γνωρίζετε το επίπεδο έντασης στο οποίο τα pixels της κάμερας σας αρχίζουν να γίνονται κορεσμένα. Ο ευκολότερος τρόπος για να αποφύγετε προβλήματα κορεσμού είναι να κρατήσετε απλά το ανώτατο όριο έντασης για τους μεταβλητούς και τα αστέρια αναφοράς κάτω από το 75% της μέγιστης τιμής για την κάμερά σας. Εάν έχετε μια παλαιότερη φωτογραφική μηχανή 12-bit που η μέγιστη ένταση είναι 2^{12} ή 4096 μονάδες, θα πρέπει να κρατήσετε την ένταση κάτω από 3072 μονάδες για να είναι ασφαλής η λήψη. Για μια φωτογραφική μηχανή 14-bit, το όριο θα είναι 12288 μονάδες. Αυτοί οι αριθμοί είναι πολύ συντηρητικοί, αλλά επιτρέπουν αλλαγές στις συνθήκες παρατήρησης, όπως το seeing ή η διαφάνεια, που θα μπορούσαν να ωθήσουν ένα αστέρι σε κορεσμό.



Σχήμα 4.7. Η υπόθεση ότι φωτεινότητα ενός άστρου σχετίζεται με τις μετρούμενες μονάδες παραβιάζεται όταν το άστρο οδηγεί τον ανιχνευτή στον κόρο. Εδώ μπορούμε να δούμε αυτό το αποτέλεσμα του κορεσμού των μετρήσεων από τον αστέρα Α.

Η επιλογή ρυθμίσεων ISO και χρόνων έκθεσης μπορεί να είναι μια χρονοβόρα διαδικασία. Στην αρχή, θα πρέπει να συμβουλευτείτε τους Πίνακες 3 και 4 του Κεφαλαίου 2 για κάποιες κατευθυντήριες γραμμές, αλλά οι πρώτες σας βραδιές στη φωτομετρία DSLR καλύτερα να δαπανηθούν για να πάρετε μια ιδέα των βέλτιστων ρυθμίσεων της φωτογραφικής μηχανής για τους στόχους που σας ενδιαφέρουν.

4.6 Εύρεση και τη διαμόρφωση του πεδίου

Αρχικά, πρόκειται για ένα από τα πιο απογοητευτικά τμήματα της καμπύλης μάθησης, ειδικά αν χρησιμοποιείτε τρίποδο. Είναι επίσης το σημείο που αποζημιώνει η εμπειρία στη διεξαγωγή οπτικών παρατηρήσεων. Οι ίδιες δυσκολίες που υπάρχουν στο να βρείτε ένα πεδίο οπτικά, θα ισχύει για τη φωτομετρία DSLR. Η διαφορά είναι ότι το οπτικό πεδίο θα είναι μικρότερο. Διαβάστε μερικές προτάσεις:

- Μάθετε να χρησιμοποιείτε χάρτες για να βρίσκετε οπτικά ή / και με κιάλια τα πεδία.
- Εξασκηθείτε με πεδία που είναι εύκολο να αναγνωρίσετε και να κεντράρετε.
- Εντοπίστε το πλησιέστερο φωτεινό αστέρι ($V < 4-5$) στην περιοχή-στόχο σας. Χρησιμοποιήστε το για πρόχειρο προσανατολισμό.
- Είναι δύσκολο για πολλούς ανθρώπους να κοιτάζουν μέσα από μια φωτογραφική μηχανή που είναι στραμμένη ψηλά στον ουρανό. Σκεφτείτε την αγορά ερευνητή ορθής γωνίας για τη φωτογραφική μηχανή.
- Πάρτε μία δοκιμαστική έκθεση και ελέγξτε τη στην κάμερα σας. Χρησιμοποιήστε τη λειτουργία zoom-in της φωτογραφικής μηχανής σας για να εντοπίσετε σχηματισμούς άστρων που μπορεί να σας βοηθήσουν με την περαιτέρω σκόπευση.

4.7 Η λήψη επιστημονικών δεδομένων και τα τεχνάσματα της

Πριν κλείσουμε αυτό το κεφάλαιο, θα θέλαμε να επαναλάβουμε μερικά από τα κύρια σημεία που είδαμε ότι θα σας βοηθήσουν να έχετε την πλέον παραγωγική παρατήρηση με καλά (δηλαδή, επιστημονικά χρήσιμα) αποτελέσματα.

Κατά τη λήψη των επιστημονικών δεδομένων, να είστε βέβαιος ότι:

- Ρυθμίστε τη φωτογραφική σας μηχανή με μορμά RAW (π.χ., .nef ή .nrw της Nikon και .cr2 ή .crw της Canon).
- Βεβαιωθείτε πως η ημερομηνία και ώρα της φωτογραφικής μηχανής σας είναι σωστές. Αν είναι δυνατόν, ρυθμίστε τη φωτογραφική μηχανή σε UTC κι όχι σε τοπική ώρα. Εάν πρέπει να αφήνετε τη μηχανή σε τοπικό χρόνο, βεβαιωθείτε ότι είναι όσο το δυνατόν ακριβής (κατά προτίμηση στο πλησιέστερο δευτερόλεπτο) και σημειώστε με σαφήνεια τη διαφορά μεταξύ του χρόνου της κάμερας και του χρόνου UTC στο ημερολόγιο σας.
- Αφεσιάστε ελαφρώς τα αστέρια έως το σημείο που είναι στρογγυλά και καταλαμβάνουν αρκετά pixels. Τα αστέρια πρέπει να είναι στρογγυλά και πλήρως γεμάτα. Αν αρχίζουν να μοιάζουν με ντόνατς, έχετε αφεσιάσει πολύ. Τα είδωλα των άστρων μπορεί να είναι αρκετά διαφορετικά σε κάθε πλευρά της εστίασης. Πειραματιστείτε για να διαπιστώσετε ποιά πλευρά της εστίας είναι καλύτερη για το φακό σας.
- Χρησιμοποιείτε τη λειτουργία ζωντανής προβολής (live view) για να ελέγξετε την εστίαση και το καδράρισμα, αλλά την απενεργοποιείτε όταν δεν χρειάζεται. Η θερμότητα της οθόνης μπορεί να αυξήσει το θόρυβο του αισθητήρα, ενώ το παραγόμενο φως μπορεί να μειώσει τη νυχτερινή όρασή σας και να αυξήσει άσκοπα την κατανάλωση, ειδικά αν χρησιμοποιείτε μπαταρίες.
- Λαμβάνετε τις εικόνες σε χαμηλή ρύθμιση ISO (συνήθως 100-200). Παρά το γεγονός ότι τα υψηλότερα επίπεδα ISO είναι πιο ευαίσθητα, υποφέρουν από απώλεια της ακρίβειας.
- Απενεργοποιήσατε οποιαδήποτε μείωση θορύβου ή ενσωματωμένες δυνατότητες επεξεργασίας εικόνας στη φωτογραφική μηχανή σας.
- Απενεργοποιήσατε τυχόν επιλογή αυτόματου καθαρισμού των οπτικών της φωτογραφικής μηχανής.
- Να έχετε εξασκηθεί στη χρήση της φωτογραφικής σας μηχανής σε κλειστό χώρο πριν από τη λήψη έξω στο σκοτάδι.

Κεφάλαιο 5: Αξιολόγηση και επεξεργασία εικόνας – Φωτομετρία διαφράγματος

5.1 Επισκόπηση

Αυτό το κεφάλαιο περιγράφει γενικά πώς να μετατρέψετε τις επιστημονικές σας εικόνες σε φωτομετρία ακριβείας, μια βαθμονομημένη μέτρηση της φωτεινότητας ενός μεταβλητού αστέρα σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Τα κύρια στάδια της διαδικασίας μετά την λήψη της εικόνας είναι (1) έλεγχος ότι το σύνολο των εικόνων βαθμονόμησης και δεδομένων είναι κατάλληλες για φωτομετρία, (2) την εφαρμογή εικόνων βαθμονόμησης, ευθυγράμμιση και άθροιση των εικόνων για αύξηση του SNR, (3) εξαγωγή των επιμέρους καναλιών RGB από την εικόνα/(ες), (4) την εκτέλεση φωτομετρίας διαφράγματος στο άστρο-στόχο και τα αστέρια βαθμονόμησης και (5) εκτέλεση τελικών ελέγχων ποιότητας. Παρακαλούμε σημειώστε ότι τα βήματα 2 και 3 εξαρτώνται από τις δυνατότητες του λογισμικού φωτομετρίας σας και μπορεί να χρειαστεί να αντιστραφούν.

Πριν ξεκινήσετε, θα υποθέσουμε ότι έχετε ακολουθήσει τις οδηγίες για τη λήψη εικόνων του Κεφαλαίου 4, και εκτός από τις εικόνες δεδομένων, έχετε μια πλήρη σειρά εικόνων βαθμονόμησης. Για να συνοψίσουμε το τι θα πρέπει να διαθέτετε, βεβαιωθείτε ότι έχετε τα ακόλουθα:

- Πλήρη σειρά εικόνων bias (μηδενικού χρόνου έκθεσης), που θα μετατραπούν σε Master Bias (πρέπει να έχετε 16 ή περισσότερες)
- Πλήρης σειρά εικόνων σκότους (dark frames), η οποία θα μετατραπεί σε Master Dark (10-20 ανά χρόνο έκθεσης και ρύθμιση ISO)
- Ένα πλήρες σετ από flat frames, το οποίο θα μετατραπεί σε Master Flat (5 ή περισσότερα)
- Όλες τις εικόνες δεδομένων.

Θα υποθέσουμε πως όταν λάβατε τις εικόνες δεδομένων και βαθμονόμησης, χρησιμοποιήσατε κατάλληλους χρόνους έκθεσης που παρέχουν επαρκές σήμα, αλλά ταυτόχρονα έχει αποφευχθεί ο κορεσμός των αστέρων που σας ενδιαφέρουν. Σ' αυτό το κεφάλαιο θα ελέγξουμε αν αυτό όντως συμβαίνει, αλλά δεν θα συζητήσουμε εδώ για το πώς αλλιώς θα λάβετε εικόνες. Ανατρέξτε στο Παράρτημα Α για τη διαδικασία προσδιορισμού βέλτιστων χρόνων έκθεσης, και στο Παράρτημα Β για τον τρόπο ελέγχου της κάμερας ως προς τη γραμμικότητα πριν από την πρώτη παρατήρησή σας. Τόσο η αξιολόγηση των χρόνων έκθεσης, όσο και ο έλεγχος γραμμικότητας της φωτογραφικής σας μηχανής θα πρέπει να γίνουν προτού να είστε έτοιμοι να αρχίσετε να παίρνετε τακτικά δεδομένα - είναι κάτι που μάλλον θα κάνετε μία φορά για κάθε κάμερα που χρησιμοποιείτε και στη συνέχεια θα έχετε τις σημειώσεις των αποτελεσμάτων για μελλοντικές παρατηρήσεις. Θα πρέπει επίσης να κάνετε τις δοκιμές που περιγράφονται στα Παραρτήματα Γ και Δ για να εξετάσετε τα χαρακτηριστικά του θορύβου της φωτογραφικής μηχανής σας, και να αξιολογήσετε εάν έχετε κατάλληλες εικόνες flat field.

5.2 Προκαταρκτικά της επεξεργασίας και αξιολόγηση της εικόνας

Πριν γίνει επεξεργασία των δεδομένων, το καλύτερο είναι να ελέγξετε μερικές εικόνες για να βεβαιωθείτε ότι είναι κατάλληλες για φωτομετρία. Το πρώτο πράγμα που πρέπει να κάνουμε είναι απλό: βεβαιωθείτε ότι οι εικόνες σας έχουν το σωστό τύπο εικόνας και πληροφοριών κεφαλίδας.

Η κεφαλίδα της εικόνας: Πριν λάβετε τις εικόνες σας, είχατε επιλέξει τις ρυθμίσεις της φωτογραφικής μηχανής που σκοπεύατε να χρησιμοποιήσετε (διάρκεια έκθεσης, ρύθμιση ISO, ρύθμιση της ισορροπίας χρωμάτων, τύπος αρχείου). Εξετάστε την κεφαλίδα της εικόνας σας και να επιβεβαιώσετε ότι πράγματι, θα πάρετε αυτό για το οποίο προορίζεται. (Δεν είναι ασυνήθιστο να έχει κάποιος την πρόθεση να λάβει εικόνα 30 δευτερολέπτων, αλλά μέσα στο κρύο και το σκοτάδι να λάβει κατά λάθος μια έκθεση 3 δευτ.)

Η αρχική μορφή εικόνας: Επιβεβαιώστε ότι η αρχική εικόνα είναι σε "ακατέργαστη" μορφή (η επέκταση του αρχείου είναι συνήθως *.CR2 για φωτογραφικές μηχανές της Canon, και *.NEF για φωτογραφικές μηχανές Nikon). Δεν μπορείτε να κάνετε χρήσιμη φωτομετρία με τη συμπιεσμένη μορφή αρχείου "JPEG" (*.jpg). Το λογισμικό επεξεργασίας εικόνας σας μπορεί να μετατρέψει το αρχείο RAW σε μορφή FITS. Αυτό πρέπει να γίνεται οπωσδήποτε και είναι μια πλήρους πιστότητας μετατροπή που διατηρεί όλες τις πληροφορίες της αρχικής εικόνας.

Ημερομηνία και ώρα εικόνας: Επιβεβαιώστε ότι η χρονική σήμανση στην κεφαλίδα της εικόνας σας είναι σωστή. Η πρώτη εικόνα θα πρέπει να έχει χρονική σήμανση που καταγράφει με ακρίβεια το χρόνο λήψης της εικόνας. Προσοχή σε σφάλματα κατά τη ρύθμιση του ρολογιού της φωτογραφικής μηχανής σας: θερινή ώρα και αλλαγή ημερομηνίας τα μεσάνυχτα. Οι περισσότερες κάμερες καταγράφουν την ώρα που ενεργοποιείται το κλείστρο, δηλαδή, την αρχή της εικόνας. Το πρόγραμμα επεξεργασίας εικόνας μπορεί να ρυθμίσει το χρόνο της εικόνας, ή να προσθέτει ένα άλλο πεδίο-κλειδί (keyword), έτσι ώστε ο χρόνος που αναγράφεται στην κεφαλίδα της βαθμονομημένης εικόνας να είναι το μέσον της έκθεσης (δηλαδή, Τβαθμον = Τεναρξης + 0,5 * Τεκθεσης). Τα περισσότερα αστρονομικά προγράμματα επεξεργασίας εικόνας και φωτομετρικής ανάλυσης, προσπαθούν επίσης να μετατρέψουν το χρόνο της εικόνας σε UT (Universal Time) με βάση τις πληροφορίες που τους έχετε δώσει σχετικά με τη ζώνη ώρας σας. Αξίζει ο διπλός έλεγχος ότι αυτό έχει γίνει σωστά, τουλάχιστον τις πρώτες φορές που θα χρησιμοποιήσετε το πρόγραμμα, για να βεβαιωθείτε ότι ο καταγεγραμμένος χρόνος εικόνας σε UT είναι ορθός. Τα περισσότερα αστρονομικά προγράμματα επεξεργασίας εικόνας υπολογίζουν επίσης την Ιουλιανή Ημερομηνία που αντιστοιχεί στο μέσον της έκθεσης. Αυτή είναι η προτιμώμενη μορφή για την αναφορά της φωτομετρίας σας και την υποβολή των δεδομένων σας στην AAVSO. Και πάλι, πρέπει να βεβαιωθείτε ότι το πρόγραμμα σας το κάνει αυτό σωστά τις πρώτες φορές που θα το χρησιμοποιήσετε, ή αν αλλάξετε κάποιες ρυθμίσεις χρόνου που σχετίζονται με το λογισμικό ή τη φωτογραφική μηχανή σας.

5.3 Εφαρμογή των εικόνων βαθμονόμησης, co-registration, stacking και binning

Για την αντιμετώπιση μερικώς άνισου φωτισμού του αισθητήρα και των πηγών του θορύβου, θα πρέπει να εφαρμόσετε τις εικόνες βαθμονόμησης στις εικόνες δεδομένων σας. Οι εικόνες βαθμονόμησης πρέπει να εφαρμόζονται με την ακόλουθη σειρά προκειμένου να διασφαλιστεί πως έχουν αφαιρεθεί κατάλληλα τυχόν συστηματικές επιδράσεις:

1. Εφαρμόστε τα bias σε όλες τις εικόνες δεδομένων, καθώς και στα dark και flat.
2. Εφαρμόστε τα dark σε όλες τις εικόνες δεδομένων, καθώς και στα flat.
3. Εφαρμόστε τα flat σε όλες τις εικόνες δεδομένων.

Η σημασία για κάθε μια από αυτές τις εικόνες βαθμονόμησης εξηγήθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Το λογισμικό επεξεργασίας εικόνας θα έχει κάποια ενσωματωμένη μέθοδο για την εφαρμογή των εικόνων βαθμονόμησης στις εικόνες δεδομένων. Σε απλή γλώσσα, τα bias και dark αφαιρούνται από μια εικόνα (επειδή τα αποτελέσματα τους προσθέτουν υπόβαθρο στο σήμα) και έτσι το λογισμικό θα αφαιρεί την τιμή bias και dark κάθε εικονοστοιχείου από το αντίστοιχο εικονοστοιχείο της εικόνας στην οποία εφαρμόζεται η διόρθωση. Το Flat Fielding, από την άλλη πλευρά, είναι μια πολλαπλασιαστική διόρθωση, επειδή οι διαφορές στον φωτισμό του πεδίου προκαλούν την εκπομπή ενός ποσοστού της μέσης ροής ακτινοβολίας ανά μονάδα χρόνου, με το ποσοστό αυτό να κυμαίνεται ανάλογα με τη θέση στο εστιακό επίπεδο. Το λογισμικό θα ομαλοποιήσει το flat field, έτσι ώστε η μέση τιμή pixel να είναι 1.000, και στη συνέχεια, η αξία κάθε pixel των εικόνων δεδομένων διαιρείται με την αντίστοιχη ομαλοποιημένη τιμή του flat. Για παράδειγμα, εάν ένα δεδομένο pixel σε ένα flat είναι 97% της μέσης τιμής, το λογισμικό θα διαιρέσει το εικονοστοιχείο στην εικόνα δεδομένων με 0,97. Όλα αυτά γίνονται αυτόματα στο παρασκήνιο και το μόνο που χρειάζεται είναι να ενημερώσετε το πρόγραμμα για τα ονόματα των εικόνων bias, dark και flat και στη συνέχεια να ακολουθήσετε τις οδηγίες που παρέχονται από το λογισμικό σας για να εφαρμοστούν όλες οι διορθώσεις.

Στοίχιση και άθροιση εικόνων (alignment & stacking)

Για τις περισσότερες εργασίες φωτομετρίας με DSLR, τα αστέρια-στόχοι έχουν επαρκή φωτεινότητα ώστε να καταγράφονται εύκολα σε κάθε έκθεση, ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις (π.χ., αμυδρές πηγές) ίσως να είναι απαραίτητο πρώτα να στοιχηθούν (alignment) και στη συνέχεια να προστεθούν (stacking) οι εικόνες σας για να αυξηθεί ο λόγος σήματος προς θόρυβος (SNR) κάθε πηγής. Τα σύγχρονα λογισμικά φωτομετρίας έχει κάποιες λειτουργίες για να εκτελείτε αυτές τις διαδικασίες (σχεδόν) αυτόματα.

Αν αθροίσετε τις εικόνες σας, βεβαιωθείτε να εξετάσετε τις εικόνες που προκύπτουν με ιδιαίτερη προσοχή. Επαληθεύστε πως οι εικόνες είναι σωστά ευθυγραμμισμένες πριν τις αθροίσετε. Μετά τη διαδικασία αυτή, εξετάστε την κεφαλίδα της εικόνας και βεβαιωθείτε ότι ο χρόνος έχει νόημα. Ιδανικά θα πρέπει να προσαρμόζεται αυτόματα στο μέσο χρόνο της ομάδας των εικόνων.

Binning

Όπως η άθροιση, το binning είναι μια προαιρετική διαδικασία. Συνθέτει το σήμα διάφορων παρακείμενων εικονοστοιχείων για να δημιουργήσει μια εικόνα που είναι μικρότερη σε μέγεθος, αλλά με ελαφρώς υψηλότερο SNR σε κάθε pixel. Τα περισσότερα λογισμικά φωτομετρίας έχουν ενσωματωμένη αυτή τη δυνατότητα, κάποια όμως δεν τη διαχειρίζονται σωστά για τη διάταξη Bayer των δεδομένων από DSLR. Για παράδειγμα, όταν το AIP4Win 2.4.0 εξάγει το πράσινο κανάλι από τα δεδομένα DSLR, τα κανάλια κόκκινο και μπλε μπορούν είτε να υπολογιστούν από πολλαπλασιαστικούς συντελεστές (για την ισοροπία χρωμάτων στην απεικόνιση) ή να τεθούν στο μηδέν (το οποίο απλώς παρεμβάλλει σε όλα τα κόκκινα και μπλε pixels χρησιμοποιώντας τις τιμές του πράσινου). Θα πρέπει να ελέγξετε την τεκμηρίωση του λογισμικού σας πριν από το binning, και να κατανοήσετε τι πρέπει να κάνετε για την αποφυγή ανεπιθύμητης συμπεριφοράς.

5.4 Διαχωρισμός καναλιών RGB

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2, οι φωτογραφικές μηχανές DSLR έχουν μια σειρά από pixel που είναι καλυμμένα με κόκκινες, πράσινες και μπλε χρωστικές ουσίες. Αυτό το σταθερό μοτίβο, που ονομάζεται συστοιχία Bayer, είναι μια θεμελιώδης ιδιότητα τους. Για φωτομετρική ανάλυση, είναι πιο κοινό να εξαγάγετε τις εικόνες μεμονωμένων καναλιών χρώματος και να επεξεργάζεστε, ένα κάθε φορά. Συχνά μόνο το πράσινο κανάλι χρησιμοποιείται στη φωτομετρία DSLR επειδή ανταποκρίνεται καλύτερα στο αστρονομικό φίλτρο V.

Η διαδικασία απομόνωσης των πράσινων εικονοστοιχείων από τα κόκκινα και μπλε pixels μερικές φορές ονομάζεται "de-Bayering" (δεδομένου ότι διαχωρίζεται η συστοιχία Bayer και επιλέγονται pixel από ένα μόνο χρώμα). Πολλά σύγχρονα πακέτα λογισμικού φωτομετρίας είναι σε θέση να εξάγουν το πράσινο κανάλι από εικόνες RAW, αν και κάθε ένα κάνει αυτή τη διαδικασία με διαφορετικό τρόπο. Για παράδειγμα, το AIP4Win μπορεί να ρυθμιστεί να εξάγει και τα δύο πράσινα κανάλια και να τα εμφανίσει ως μια ενιαία εικόνα του ίδιου μεγέθους με την αρχική εικόνα, με παρεμβολή μεταξύ των εικονοστοιχείων. Αντίθετα, το Maxim DL απαιτεί από εσάς να καθορίσετε ποια στοιχεία του πίνακα Bayer θέλετε να εξαγάγετε. Η καλύτερη μέθοδος είναι να εξάγετε τα δύο πράσινα κανάλια, να τα προσθέσετε και να εκτελέσετε φωτομετρία επί του αποτελέσματος. Βεβαιωθείτε να ελέγξετε ότι ο μεταβλητός και οι αστέρες συγκρίσεως δεν έχουν κορεστεί στην αρχική ή την τελική εικόνα.

Μπορείτε να διαχωρίσετε τα κανάλια RGB των εικόνων σας πριν ή μετά το calibration. Δεν έχει σημασία πότε θα επιλέξετε να το κάνετε, εάν όλα τα δεδομένα (εικόνες βαθμονόμησης και δεδομένων) επεξεργαστούν με τον ίδιο ακριβώς τρόπο.

5.5 Αξιολόγηση εικόνων μετά τη βαθμονόμηση

Τώρα που έχετε πάρει τις εικόνες σας και τις βαθμονομήσατε (όπως περιγράφεται παραπάνω), είναι καλή ιδέα να εξετάσετε προσεκτικά μερικές για να βεβαιωθείτε ότι είναι σε θέση να δώσουν καλή φωτομετρία. Αρκετά χαρακτηριστικά των τελικών εικόνων σας μπορεί να εξεταστούν για να επιβεβαιωθεί ότι είναι κατάλληλες για φωτομετρική ανάλυση και να σας παράσχουν κάποια καθοδήγηση σχετικά με ορισμένες ρυθμίσεις που θα χρησιμοποιήσετε κατά τη διάρκεια της φωτομετρικής ανάλυσης. Το πρόγραμμα επεξεργασίας εικόνας θα έχει συγκεκριμένες οδηγίες για το πώς να διαχειριστείτε τις εικόνες σας, προκειμένου να επιτευχθεί αυτή η αξιολόγηση. Τα σημεία ελέγχου είναι τα εξής:

Η στάθμη σήματος και ο λόγος σήματος-προς-θόρυβο των άστρων σας: Οι εικόνες του στόχου σας, του αστέρα σύγκρισης και του αστέρα ελέγχου πρέπει να είναι αρκετά φωτεινές για να παρουσιάσουν ένα καλό λόγο σήματος προς θόρυβο, όχι όμως υπερβολικά φωτεινές - πρέπει να βρίσκονται κάτω από το σημείο κορεσμού της φωτογραφικής μηχανής σας. Τοποθετήστε το διάφραγμα των φωτομετρικών μετρήσεων επάνω από κάθε αστέρι (στόχος, σύγκρισης και ελέγχου) με τη σειρά, και εξετάστε δύο παραμέτρους: τη μέγιστη τιμή pixel, και το λόγο σήματος προς θόρυβο. Η υψηλότερη τιμή pixel πρέπει να είναι κάτω από το σημείο κορεσμού της φωτογραφικής μηχανής σας. Αν τα είδωλα των άστρων είναι κορεσμένα, τότε η μόνη λύση είναι να λάβετε εκ νέου τις εικόνες, αφού κάνετε προσαρμογή για να μειωθεί η μέγιστη τιμή pixel. (Οι πιθανές προσαρμογές περιλαμβάνουν μικρότερη έκθεση ή περαιτέρω αφεστίαση να γίνει μεγαλύτερο το προφίλ των αστέρων).

Με την ευκαιρία, αυτή η απαίτηση της παραμονής εντός του ορίου κορεσμού του αισθητήρα της φωτογραφικής σας μηχανής είναι μία από τις πιο βασικές διαφορές μεταξύ της λήψης εικόνων για αστροφωτογραφία των ουράνιων αντικειμένων και λήψη εικόνων για επιστημονικές μετρήσεις: οι εικόνες για φωτομετρία θα εμφανίζονται συνήθως άτονες σε σύγκριση με τις όμορφες εικόνες (που τα αστέρια γενικά έχουν κορεστεί για να γίνει το αποτέλεσμα πιο ευχάριστο οπτικά).

Το μέγεθος και το σχήμα των εικόνων: Το πρόγραμμα επεξεργασίας εικόνων σας, θα είναι σε θέση να σας δείξει το προφίλ έντασης των αστέρων (ως γράφημα). Θέλετε να μην είναι πολύ στενό ούτε πολύ μεγάλο. Η βασική μέτρηση του πλάτους του αστρικού προφίλ είναι η τιμή του Full Width at Half Maximum (FWHM). Το FWHM των άστρων στη RAW εικόνα σας (πριν από τη βαθμονόμηση και το de-Bayering) δεν πρέπει να είναι μικρότερο από περίπου 10-12 εικονοστοιχεία. Ο λόγος για αυτό είναι να εξασφαλιστεί ότι η αστρική εικόνα έχει ικανοποιητική δειγματοληψία. Αν το προφίλ ενός αστεριού είναι πολύ στενό, τότε η προκύπτουσα φωτομετρία μπορεί να επηρεαστεί αρνητικά από γεωμετρικά αποτελέσματα της δειγματοληψίας. Για παράδειγμα, φανταστείτε ότι η εικόνα του αστεριού καλύπτει μόνο 1 pixel: αν το αστέρι βρίσκεται σε ένα πράσινο pixel, θα δείτε ένα συγκεκριμένο σήμα ADU, εάν το αστέρι κινηθεί σε ένα κόκκινο pixel (για παράδειγμα, λόγω σφαλμάτων οδήγησης του τηλεσκοπίου), θα δείτε διαφορετικό σήμα ADU στην εικόνα RAW, και (ανάλογα με το πώς το λογισμικό σας κάνει de-Bayering) το αστέρι μπορεί να εξαφανιστεί εντελώς από την εικόνα. Με ένα αρκετά μεγάλο είδωλο, το αστέρι καλύπτει πολλά pixels, και έτσι η τιμή των ADU που αθροίζονται σε όλο το αστέρι δεν θα αλλάξει, καθώς αυτό διατρέχει τον αισθητήρα.

Μπορεί τα είδωλα των αστέρων να είναι πολύ μεγάλα; Σε γενικές γραμμές, αστέρια πολύ μεγαλύτερα από περίπου 30 pixel μπορεί να είναι δύσκολο να χειριστούν από το πρόγραμμα φωτομετρίας σας. Επίσης, καθώς τα είδωλα των αστέρων γίνονται ευρύτερα, μπορεί να υπάρχει υψηλότερος κίνδυνος το φως από ένα αστέρι να εξαπλώνεται και να αλλοιώνει την εκτίμηση της φωτεινότητας για τα γειτονικά του. Έτσι, ελέγξτε το FWHM των άστρων στόχου, σύγκρισης και ελέγχου και επιβεβαιώστε ότι είναι αρκετά μεγάλο για να είναι καλή η δειγματοληψία, αλλά και αρκετά μικρό για να τοποθετήσετε αξιόπιστα το φωτομετρικό διάφραγμα γύρω από το άστρο ώστε να συγκεντρώσει όλο το φως του. Διαλέξτε ένα φωτομετρικό διάφραγμα που έχει κατάλληλο μέγεθος για τα αστέρια σας. Το λογισμικό φωτομετρίας σας μπορεί να έχει ένα εργαλείο για να ελέγχεται η επίδραση της προσαρμογής του μεγέθους του διαφράγματος τόσο στη μετρούμενη ροή ακτινοβολίας, όσο και στο λόγο σήματος προς θόρυβο (για παράδειγμα, το εργαλείο φωτομετρίας του AIP4Win: MMT). Για να ξεκινήσετε, μπορείτε να ορίσετε την διάμετρο 2,5-3 φορές το FWHM ώστε να αρχίσετε γρήγορα τη φωτομετρία, αλλά σημειώστε ότι για απαιτητική εργασία, υπάρχει συγκεκριμένη διαδικασία για την επιλογή του ιδανικού διαφράγματος μέτρησης. Δείτε την ενότητα 5.6.2 παρακάτω.

Ανάμειξη με αστέρες υποβάθρου: Η φωτομετρική σας ανάλυση θα χρησιμοποιήσει φωτομετρία διαφράγματος, η οποία προσθέτει το σύνολο των ADU μέσα σε ένα κυκλικό άνοιγμα μέτρησης που περιέχει το είδωλο του αστεριού σας. Προφανώς, εάν υπάρχει ένα αστέρι στο υπόβαθρο που είναι τόσο κοντά στο μεταβλητό σας (ή αστέρα σύγκρισης / ελέγχου) και βρίσκεται εν όλω ή εν μέρει εντός του διαφράγματος, το φως από το αστέρι υποβάθρου θα αλλοιώσει τη φωτομετρία σας. Έτσι, εξετάστε προσεκτικά την περιοχή κοντά στους αστέρες στόχο, σύγκρισης και ελέγχου για τυχόν αστέρια υποβάθρου - ακόμα και πολύ αμυδρά. Σημειώστε τη θέση όσων δυνητικά μπορούν να παρέμβουν στη μέτρηση και προσπαθήστε να επιλέξετε μια διάμετρο διαφράγματος που θα τους αποκλείσει.

Είναι επίσης χρήσιμο να εξετάσετε ένα χάρτη (ή πλανηταριακό πρόγραμμα) του πεδίου της εικόνας σας για να δείτε αν υπάρχουν τυχόν αστέρια υποβάθρου έως και 5 μεγέθη αμυδρότερα ή λαμπρότερα από τα 3 άστρα που σας ενδιαφέρουν και που δυνητικά θα επηρεάσουν τις μετρήσεις. Μπορεί να μην είστε σε θέση να τα εντοπίσετε στην εικόνα σας, αλλά αν κάποιος είναι εκεί, θα προσθέσει φως στο άνοιγμα μέτρησης σας. Η προτιμώμενη προσέγγιση για την αντιμετώπισή τους είναι να τα κρατήσετε έξω από την οπή μέτρησης. Αν αυτό δεν είναι πρακτικό, σημειώστε στην αναφορά σας την ύπαρξη του αστέρα υποβάθρου μέσα στο άνοιγμα του διαφράγματος.

Το πρόβλημα των άστρων υποβάθρου είναι πιθανότερο να συμβεί σε περίπτωση εκ προθέσεως αφεστιασμένων εικόνων (που είναι μια εκ των «βέλτιστων πρακτικών» για να έχετε αρκετά ευρύ FWHM) αλλά και στην περίπτωση των μη οδηγούμενων λήψεων (που δίνουν βραχεία αστρικά ίχνη αντί του συνήθους κυκλικού σχήματος του ειδώλου). Αν ένα αστέρι υποβάθρου διαχωρίζεται από το στόχο σας (ή τον αστέρα σύγκρισης / ελέγχου), αλλά μέρος του ίχνους του βρίσκεται μέσα στην οπή μέτρησης, ίσως να είστε σε θέση να το αποφύγετε με τη χρήση μικρότερων εκθέσεων και την άθροισή τους μετά τη βαθμονόμηση (για να ανακτήσετε το λόγο σήματος προς θόρυβο που χάθηκε με τη χρήση σύντομης έκθεσης).

Η ομοιομορφία του φόντου: Εξετάστε ολόκληρη την κανονικοποιημένη εικόνα για δύο υποκειμενικά θέματα ποιότητας: επιπεδότητα και θύσανοι. Εάν χρησιμοποιείτε το πρόγραμμα επεξεργασίας εικόνας για να κάνετε stretch ώστε να τονίσετε πολύ μικρές διαφορές φωτεινότητας, βλέπετε ενδείξεις σκόνης (οι δακτύλιοι που εμφανίζονται στην εικόνα σας λόγω της σκόνης στις οπτικές επιφάνειες) ή σημαντικό μη-διορθωμένο βινιτάρισμα (που υπονοεί ότι κάτι συνέβη με το flat fielding); Εάν η επίδραση αυτή είναι εμφανής, και η διακύμανση των ADU είναι μεγαλύτερη από μερικές ποσοστιαίες μονάδες του αστέρα - στόχου / σύγκρισης / ελέγχου της υψηλότερης ένδειξης ADU των pixel, τότε μάλλον θα πρέπει να διερευνήσετε την αιτία και να λάβετε εκ νέου εικόνες flat field.

Η άλλη ανομοιομορφία εικόνων που πρέπει να αναζητήσουμε είναι στο ίδιο τον ουρανό. Λεπτά νέφη θυσάνων και ίχνη συμπίκνωσης καυσαερίων των αεροσκαφών (contrails) που δεν ήταν ορατά με γυμνό μάτι μπορεί να εμφανιστούν ως μια μορφή μεταβαλλόμενης διαφάνειας του ουρανού σε όλη την εικόνα σας. Αυτή η επίδραση είναι πιο πιθανό να φανεί, και να είναι πρόβλημα, σε εικόνες ευρέως πεδίου, όπως εκείνες που λαμβάνονται με χρήση τυποποιημένων φακών (π.χ., εστιακά μήκη λιγότερο από μερικές εκατοντάδες χιλιοστά). Σε λήψεις μέσα από τηλεσκόπιο, το FOV είναι πιθανό να είναι τόσο περιορισμένο που η διακύμανση της διαφάνειας και της απορρόφησης σε όλη την εικόνα, είναι αμελητέα. Αν το πρόβλημα είναι ένα contrail που δεν βρίσκεται κοντά σε κάποιο από τα αστέρια που είναι σημαντικά για εσάς (δηλαδή αστέρας - στόχος / σύγκρισης / ελέγχου), μπορείτε να το αγνοήσετε. Αν το πρόβλημα είναι θύσανος (Cirrus), αναμένουμε κάποια επίδραση στη φωτομετρία σας. Ανάλογα με το στόχο και την εργασία σας, η παρουσία θυσάνων, ενδέχεται να αποτελέσει πρόβλημα και έτσι εξετάστε προσεκτικά τα αποτελέσματα της φωτομετρίας σας με το δεδομένο των άστατων συνθηκών του ουρανού ή - ως η χειρότερη περίπτωση - διαγράψτε τις εικόνες σας και προσπαθήστε ξανά την επόμενη νύχτα.

Πόσες εικόνες θα πρέπει να εξετάσετε για αυτά τα χαρακτηριστικά που κάνουν την εικόνα κατάλληλη για φωτομετρία; Αυτό εξαρτάται σε κάποιο βαθμό από το προγράμμα σας. Αν μελετάτε ένα αστέρι του οποίου η φωτεινότητα αλλάζει πολύ αργά (ας πούμε ένα αστέρι Mira οποιού η χαρακτηριστική περίοδος είναι αρκετοί μήνες), τότε μπορεί να παίρνετε μόνο ένα ζευγάρι εικόνων κάποια στιγμή κατά τη διάρκεια της νύχτας. Σε αυτή την περίπτωση, εξετάζετε κριτικά μόνο μία εικόνα. Στο άλλο άκρο, ας υποθέσουμε ότι μελετάτε ένα διπλό εκλειπτικό σύστημα του οποίου η περίοδος είναι λίγες ώρες. Τότε, θα παίρνετε εικόνες κάθε λίγα λεπτά, όλη τη νύχτα. Κατά τη διάρκεια μιας ολονύκτιας συνόδου παρατήρησης, εκτός από την φωτεινότητα του στόχου σας μπορεί να αλλάξουν όλες οι άλλες παράμετροι. Έτσι, επιλέξτε να εξετάσετε προσεκτικά τρεις εικόνες - μια κοντά στην αρχή της βραδιάς, μια κοντά στο μέσον και μια κοντά στο τέλος της παρατήρησης. Η κριτική αξιολόγηση σας θα σας δείξει αν το σύνολο των εικόνων είναι εντάξει, και - αν κάτι έχει αλλάξει δραματικά κατά τη διάρκεια της νύχτας - θα σας δώσει κάποιες ενδείξεις για το τι συνέβη και γιατί, έτσι ώστε να μπορείτε να πάρετε προληπτικά μέτρα την επόμενη νύχτα. (Για παράδειγμα, αν τα αστέρια σας αφεστιάζονται κατά τη διάρκεια της νύχτας, μπορεί η εστία του φακού σας να αλλάζει με τη θέση στόχευσης ή με τη θερμοκρασία).

Στις πρώτες βραδιές και τις πρώτες εργασίες, κάνοντας αυτή την προσεκτική αξιολόγηση των εικόνων σας, θα μάθετε αρκετά για τη φωτογραφική σας μηχανή, τις ρυθμίσεις και τις επιλογές απεικόνισης που είναι πιο κατάλληλες για το αστέρι στόχο (-ους) και την εργασία. Θα πρέπει να έχετε ένα σημειωματάριο με τις ρυθμίσεις της φωτογραφικής μηχανής, το φακό που χρησιμοποιείται και άλλους παράγοντες, καθώς και σημειώσεις σχετικά με την ποιότητα της εικόνας. Σε μικρό χρονικό διάστημα, θα είστε σε θέση να ρυθμίζετε το καλύτερο σύνολο παραμέτρων (ειδικότερα το χρόνο έκθεσης) για κάθε στόχο, με βάση τη λαμπρότητα του μεταβλητού (ή σύγκρισης / ελέγχου), το φακό ή το τηλεσκόπιο που θα χρησιμοποιηθεί και τις τυπικές συνθήκες στο χώρο παρατήρησης.

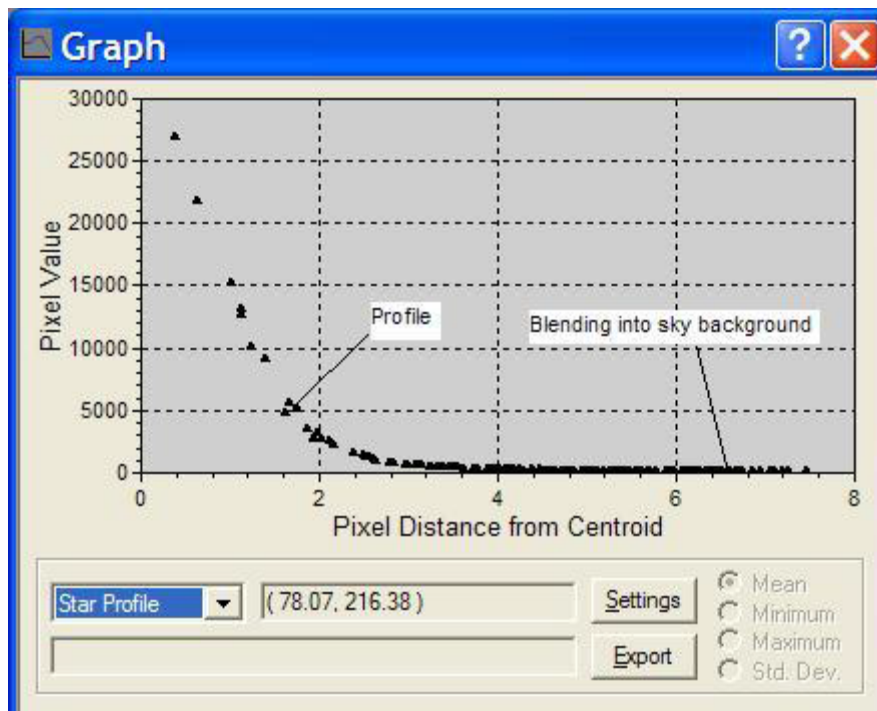
5.6 Φωτομετρία διαφράγματος

Τώρα που οι εικόνες έχουν βαθμονομηθεί σωστά, θα πρέπει να μετρηθεί το σήμα που ελήφθη από τα άστρα. Ο ευκολότερος τρόπος για να γίνει αυτό είναι να μετρηθεί η ποσότητα του σήματος που περιέχεται εντός ενός διαφράγματος (ανοίγματος) με κέντρο ένα αστέρι. Το λογισμικό φωτομετρίας σας, περιέχει έναν αλγόριθμο που δημιουργεί ένα κυκλικό διάφραγμα γύρω από τους στόχους που θα επιλέξετε και στη συνέχεια προσθέτει απλά τις τιμές των εικονοστοιχείων που περιέχονται σε αυτόν τον κύκλο. Ορισμένα λογισμικά φωτομετρίας μπορούν επίσης να παρέχουν ορθογώνια ή καμπύλα διαφράγματα, πιο κατάλληλα για μη οδηγούμενες λήψεις με DSLR. Το μέγεθος του διαφράγματος ρυθμίζεται έτσι ώστε να περιέχει τη συντριπτική πλειοψηφία του σήματος από το ίδιο το άστρο, ενώ ταυτόχρονα ελαχιστοποιεί την ποσότητα του σήματος που προέρχεται από άλλες πηγές, όπως το υπόβαθρο του ουρανού.

Επειδή οι εικόνες είναι εκτός εστίασης και πιθανόν λαμβάνονται χωρίς οδήγηση, κάθε αστρικό είδωλο θα καταλαμβάνει πολλά εικονοστοιχεία. Η ακτίνα διαφράγματος ορίζεται συνήθως σε pixels, έτσι ώστε το περισσότερο από το φως του άστρου να περιέχεται στην ακτίνα. Μια πρόσθετη βελτίωση αυτού είναι να εμφανίσει ένα δεύτερο δακτύλιο γύρω από κάθε άστρο – πάντα με επίκεντρο το αστέρι, αλλά αρκετά μακριά ώστε να υπάρχει ελάχιστο φως από το άστρο εντός της στεφάνης. Αυτή η στεφάνη σας δίνει ένα μέτρο του πόσο φωτεινός είναι ο ουρανός γύρω από το αστέρι σας και θα επιτρέψει έτσι να μπορέσετε να αφαιρέσετε το σήμα του ουρανού από το σήμα στο διάφραγμα. Το λογισμικό σας θα ενεργήσει αυτόματα, από τη στιγμή που θα του πείτε πού είναι το κέντρο του διαφράγματος και πόσο ευρύ θέλετε να είναι. Όλη αυτή η διαδικασία είναι γνωστή ως φωτομετρία διαφράγματος και είναι μακράν το πιο απλό και πιο κοινό μέσο εκτέλεσης φωτομετρίας σε μη πολυπληθή αστρικά πεδία.

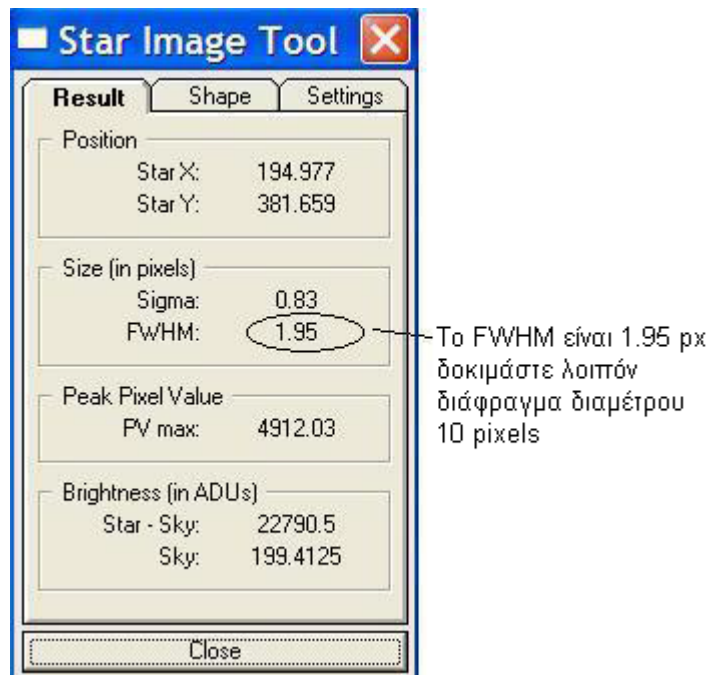
5.6.1 Επιλογή μεγέθους διαφράγματος

Το μέγεθος του διαφράγματος που θα επιλέξετε πρέπει να είναι το ίδιο για όλα τα αστέρια που μετράτε στην εικόνα σας. Μια μέθοδος για την επιλογή ενός κατάλληλου διαφράγματος είναι να χρησιμοποιήσετε το λογισμικό σας για να καθορίσει γραφικά το μέγεθος του μεγαλύτερου αστρικού ειδώλου και να ρυθμίσει το μέγεθος του ανοίγματος, όπως είδαμε παραπάνω, αρκετά μεγάλο ώστε να περιλαμβάνει την περιοχή όπου το αστέρι αναμιγνύεται με το υπόβαθρο του ουρανού. Είναι καλύτερο να δείτε γραφικά ένα προφίλ αστέρα-στόχου σας για να καθορίσετε το εύρος του κι όχι απλά να χρησιμοποιήσετε την προβαλλόμενη εικόνα, επειδή η οθόνη μπορεί να τροποποιηθεί (μέσω stretching) ώστε να παρουσιάσει μια πιο ευχάριστη εικόνα στην οθόνη του υπολογιστή, αλλά να δώσει ταυτόχρονα μια λανθασμένη εντύπωση του πραγματικού εύρους του ειδώλου. Δείτε το σχήμα 5.1 παρακάτω για ένα διάγραμμα προφίλ αστέρα.



Εικόνα 5.1. Παράδειγμα γραφικής απεικόνισης αστρικού προφίλ.

Εάν το λογισμικό σας δεν μπορεί να παράγει διάγραμμα προφίλ του αστέρα, μπορείτε να προσδιορίσετε το μέγεθος του αστρικού ειδώλου με το λογισμικό που έχει υπολογίσει το FWHM. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ένας καλός εμπειρικός κανόνας είναι να ορίσετε διάμετρο ανοίγματος ίση με 2,5 έως 3 φορές το FWHM του μεγαλύτερου αστρικού ειδώλου. Είναι καλύτερα να δεχθείτε το μεγαλύτερο μέγεθος (βλέπε σχήμα 5.2) αν δεν είστε σίγουροι, ειδικά εάν παίρνετε τις εικόνες σας με μη-οδηγούμενη στήριξη όπως ένα απλό τρίποδο κάμερας. Μπορείτε να κάνετε μια αρκετά απλή διαδικασία για το ποιό πρέπει να είναι το βέλτιστο διάφραγμα με την επανάληψη μετρήσεων ενός συνόλου αστέρων από μία εικόνα χρησιμοποιώντας διάφορες διαμέτρους. Το μεγαλύτερο που θα χρησιμοποιήσετε είναι αυτό, που ενώ δεν θα δείτε αισθητή αύξηση στη ροή, το SNR είναι μέγιστο. (Αν χρησιμοποιείτε μεγαλύτερα διαφράγματα, δεν κερδίζετε κάποια πρόσθετη ροή ακτινοβολίας, αλλά αυξάνετε το θόρυβο που υπάρχει στα επιπλέον pixels).



Εικόνα 5.2. Παράδειγμα υπολογισμού τιμής FWHM και συνιστώμενης διαμέτρου διαφράγματος.

5.6.2 Επιλογή μεγέθους και θέσης της στεφάνης

Η στεφάνη (annulus) χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της τιμής του υποβάθρου του ουρανού. Υπάρχει κάποια ελευθερία στην επιλογή της τοποθέτησης και του μεγέθους του, αλλά είναι χρήσιμοι και μερικοί κανόνες. Δεδομένου ότι το υπόβαθρο του ουρανού υπολογίζεται από το μέσο όρο ενός αριθμού εικονοστοιχείων στην στεφάνη, θα πρέπει να συμπεριληφθεί ένας σημαντικός αριθμός pixels στο δακτύλιο. Τι είναι σημαντικό; Κατ' ελάχιστο, θα πρέπει να περιέχουν τον ίδιο αριθμό εικονοστοιχείων με αυτόν του αστέρα (κατά προτίμηση περισσότερα). Μπορείτε να το κάνετε αυτό με την αύξηση του μεγέθους (διάμετρου) ή του πάχους του δακτυλίου. Όπου είναι δυνατόν, θα πρέπει επίσης να προσπαθήσετε να αποφύγετε να περιέχονται στο δακτύλιο πάρα πολλά άστρα υποβάθρου. Τα περισσότερα καλά προγράμματα φωτομετρίας θα αντισταθμίσουν την παρουσία τους, αλλά η καλύτερη πρακτική είναι να τα αποφύγετε αν είναι δυνατόν.

Η έκταση της εσωτερικής ακτίνας του δακτυλίου είναι συνήθως μερικά εικονοστοιχεία έξω από το άκρο του αστρικού ειδώλου. Μπορείτε να μεταβάλλετε αυτό το μέγεθος για να αποφευχθούν τα πολλά άστρα υποβάθρου στο δακτύλιο εφ' όσον βέβαια έχετε επαρκή αριθμό εικονοστοιχείων στη στεφάνη για να υπολογίσει το λογισμικό μια ικανοποιητική μέση τιμή για το φόντο του ουρανού και τουλάχιστον ίσο αριθμό pixels όπως στο διάφραγμα του αστέρα.

5.6.3 Έλεγχος κορεσμού στις βαθμονομημένες εικόνες δεδομένων

Η κάμερα μπορεί να καταγράψει με ακρίβεια το εισερχόμενο φως μόνο σε ένα καθορισμένο εύρος, που περιορίζεται από το ποσό του φορτίου που μπορούν να συλλέξουν τα εικονοστοιχεία πριν κορεστούν. Το Παράρτημα Α περιγράφει μια διαδικασία μέσω της οποίας μπορείτε να καθορίσετε κατά προσέγγιση τα όρια κορεσμού για την DSLR σας και με τον τρόπο αυτό να σας επιτρέψει να θεσπίσετε κατευθυντήριες γραμμές για τις ρυθμίσεις του χρόνου έκθεσης για ένα ευρύ φάσμα μεγεθών στόχου. Ακόμα και αν έχετε δημιουργήσει ένα σύνολο κατευθυντήριων γραμμών του χρόνου έκθεσης, η ορθή διαδικασία είναι να επαληθεύετε πως οι εικόνες δεδομένων δεν πάσχουν από κορεσμό. Ο απλούστερος τρόπος για να το ελέγξετε γίνεται με τη μέτρηση κάθε αστέρα με το διάφραγμα, όπως συζητήθηκε παραπάνω, αλλά να κάνετε και τα δύο από τα παρακάτω βήματα. Πρώτον, σχεδιάσετε ένα ακτινικό προφίλ της αστρικής εικόνας, και αν είναι δυνατόν, δείτε αν φαίνεται η κορυφή επίπεδη και όχι στρογγυλεμένη. Αυτό δεν είναι πάντα εφικτό, αλλά σίγουρα μπορεί να είναι προφανές, όταν τα άστρα είναι ιδιαίτερα κορεσμένα. Δεύτερον, εξετάστε τις τιμές των εικονοστοιχείων εντός του ακτινικού προφίλ. Αυτές θα πρέπει οπωσδήποτε να είναι κάτω από το όριο κορεσμού, αλλά θα πρέπει επίσης να είναι κάτω από το όριο γραμμικότητας. Η δημιουργία τέτοιων γραφημάτων συζητήθηκε παραπάνω.

5.6.4 Φωτομετρία: μέτρηση των άστρων και υπολογισμός μεγεθών οργάνου

Όλα τα σύγχρονα προγράμματα επεξεργασίας εικόνας και φωτομετρίας σας επιτρέπουν να επιλέξετε έναν ή περισσότερους στόχους, ένα ή περισσότερα αστέρια σύγκρισης, ένα ή περισσότερα αστέρια ελέγχου σε κάθε εικόνα και εκτελούν όλους τους σχετικούς υπολογισμούς. Τα αποτελέσματα της φωτομετρίας διαφράγματος είναι κανονικοποιημένες αλλά όχι βαθμονομημένες μετρήσεις της φωτεινότητας του κάθε αντικείμενου στον τομέα για τον οποίο έγινε στατιστικά σημαντική ανίχνευση. Ο αριθμός που βγαίνει είναι απλά μια μέτρηση του πόσες ADU παρήχθησαν από τα εισερχόμενα φωτόνια. Τα βήματα που περιγράφονται στο 5.6.1 και 5.6.2, επιτρέπουν στο λογισμικό σας να επεξεργαστεί τις πληροφορίες από τις εικόνες δεδομένων σας και να τις μετατρέψει σε κάτι πιο χρήσιμο.

Αυτό που πρέπει να κάνετε σε αυτό το σημείο είναι να μετρηθεί (α) ο μεταβλητός αστέρας, και (β) δύο ή περισσότερα επιπλέον σταθερά αστέρια στην περιοχή που χρησιμεύουν τόσο για τη βαθμονόμηση της ποσότητας του φωτός από το μεταβλητό, όσο και να ελέγξετε πόσο σταθερές είναι οι μετρήσεις σας. Η AAVSO έχει προκαθορίσει αστέρες σύγκρισης για πολλούς μεταβλητούς και έτσι η επιλογή των άστρων που θα μετρήσετε πρέπει να είναι απλή διαδικασία, αν έχετε ένα χάρτη με σημειωμένα τα αστέρια σύγκρισης. Μέχρι το τέλος αυτής της διαδικασίας, θα έχετε έναν πίνακα για κάθε εικόνα που μετράτε, ο οποίος περιέχει κατάλογο των αστερών που ερευνώνται. Είναι πιθανό ότι το λογισμικό φωτομετρίας σας θα κάνει ένα επιπλέον βήμα, που είναι η μετατροπή των μονάδων της μέτρησης από τις γραμμικές μονάδες (ADU) σε λογαριθμικές μονάδες που ονομάζονται μεγέθη οργάνου. Ο λόγος για αυτό είναι ότι οι μονάδες μεγέθους είναι η παραδοσιακή μονάδα αστρικής φωτεινότητας και σχεδόν όλα τα οπτικά δεδομένα μεταβλητών αστερών εκφράζονται σε τέτοια μεγέθη. Ο προσδιορισμός 'οργάνου' χρησιμοποιείται επειδή το μέγεθος έχει σχέση με κάποιο όργανο βαθμονόμησης που δεν γνωρίζετε (ακόμη) σε αυτό το βήμα. Και πάλι, πώς γίνεται αυτό το βήμα μπορεί να εξαρτάται από το λογισμικό σας, οπότε συμβουλευτείτε την τεκμηρίωση του λογισμικού για να δείτε αν οι μετρήσεις των αστερών εκφράζονται ως ροές ακτινοβολίας, μεγέθη οργάνου, ή και τα δύο.

Αυτές οι μετρήσεις των αστερών - μαζί με το χρόνο λήψης της εικόνας - σας παρέχουν όλες τις πληροφορίες που θα πρέπει τελικά να μετατρέψουν τα μεγέθη οργάνου σε παρατήρηση που θα υποβάλλετε στην AAVSO, έχετε όμως ένα ακόμα βήμα να κάνετε. Ο φυσικά σημαντικός αριθμός είναι το πόσο φωτεινά είναι τα αντικείμενα του πεδίου σε κάποιο κοινό σύστημα μέτρησης. Στην Ενότητα 5.7, εξηγούμε πώς να πάτε από αυτές τα μεγέθη οργάνου σε ένα πραγματικό μέγεθος που μπορείτε να υποβάλλετε στην AAVSO και να συγκριθεί με δεδομένα από άλλους παρατηρητές εκτελώντας διαφορική φωτομετρία.

Προσθήκη:

Υπάρχουν και άλλοι τρόποι για να εκτελέσει φωτομετρία από τη φωτομετρία διαφράγματος. Δύο που μπορεί να ακούσετε είναι «point-spread fitting -PSF" και "αφαίρεση εικόνας", αμφότερα σπάνιο να περιλαμβάνονται σε εμπορικά προγράμματα φωτομετρικής ανάλυσης, αλλά χρησιμοποιούνται στην επιστημονική κοινότητα. Για παράδειγμα, μπορείτε να διαβάσετε αναφορά φωτομετρίας που εκτελείται με ένα πακέτο που ονομάζεται "DAOPhot". Αυτό είναι ένα πολύ ισχυρό (αλλά πολύ περίπλοκο) πακέτο PSF που αναπτύχθηκε πριν από δύο δεκαετίες στο Αστεροσκοπείο Dominion Astrophysical. Τα οφέλη των μεθόδων όπως αυτά, είναι ότι εφαρμόζονται με επιτυχία σε περιοχές του ουρανού με μεγάλο πλήθος αστερών όπου τα είδωλα των αστερών-στόχων σας μπορεί να αναμιχθούν με αυτά γειτονικών αστερών, ή που είναι δύσκολο ή αδύνατο να μετρηθεί το υπόβαθρο του ουρανού, χωρίς να βρεθεί κοντά ένα αμυδρό άστρο. Και πάλι, οι δύο αυτές μέθοδοι είναι πέρα από το σκοπό αυτού του εγχειριδίου, αλλά καθώς γίνεστε πιο έμπειροι, μπορεί να θέλετε να τις διερευνήσετε από μόνος σας. Για αρχή, η φωτομετρία διαφράγματος θα λειτουργήσει θαυμάσια σχεδόν σε όλους τους μεταβλητούς που θα παρατηρήσετε.

5.7 Διαφορική φωτομετρία

Η τεχνική που χρησιμοποιείται πιο συχνά για τη μέτρηση της φωτεινότητας ενός μεταβλητού αστέρα ονομάζεται διαφορική φωτομετρία. Δηλαδή, υπολογίζουμε τη φωτεινότητα του μεταβλητού με τον καθορισμό της διαφοράς φωτεινότητας μεταξύ αυτού και ενός αστέρα γνωστής (σταθεράς) φωτεινότητας κάπου στην εικόνα σας. Το πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι ότι σε γενικές γραμμές οι ατμοσφαιρικές συνθήκες θα είναι οι ίδιες για όλα τα αστέρια στην εικόνα, ειδικά αν η εικόνα έχει ληφθεί κοντά στο ζενίθ (σε χαμηλές αέριες μάζες). Σε ορισμένες περιπτώσεις, όπως για τις εικόνες που λαμβάνονται χαμηλότερα στον ουρανό ή όταν εμφανίζονται στην εικόνα σύννεφα, ομίχλη, ή ίχνη συμπύκνωσης καυσαερίων των αεροσκαφών, αυτό δεν θα ισχύει γι' αυτό είναι σημαντικό να προσέχετε τις συνθήκες κάτω από τις οποίες λαμβάνονται οι εικόνες σας. Σε περιπτώσεις όπου το πεδίο σας είναι σε χαμηλό υψόμετρο (υψηλής αέριας μάζας-high airmass) και θέλετε να χρησιμοποιήσετε ευρύ οπτικό πεδίο, το πάχος της ατμόσφαιρας μπορεί να είναι διαφορετικό για διαφορετικά άστρα στην εικόνα σας και να επηρεάσει τη φαινόμενη λαμπρότητα τους. Υπάρχουν υπολογισμοί που όταν γίνουν, διορθώνουν αυτό το αποτέλεσμα, αλλά, αν είναι δυνατόν, είναι προτιμότερο να πάρετε τις εικόνες σας με τον στόχο ψηλά στον ουρανό για να ελαχιστοποιηθεί αυτό το πρόβλημα.

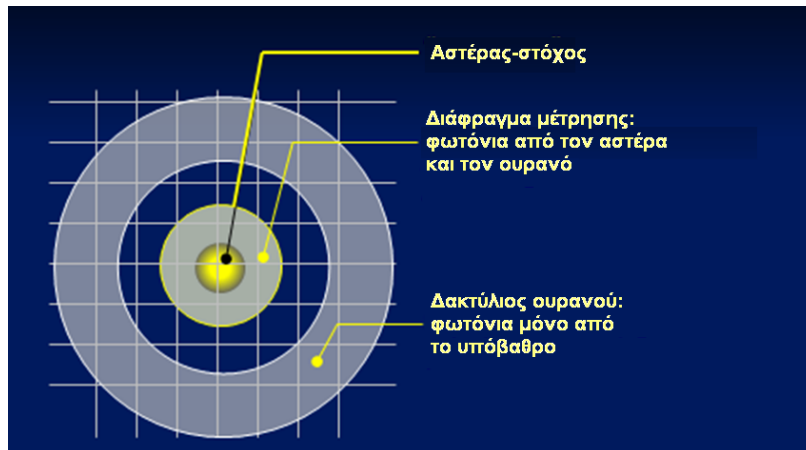
Για τον προσδιορισμό της φωτεινότητας του μεταβλητού αστέρα-στόχου σας, συγκρίνουμε τη φωτεινότητα της με τις γνωστές λαμπρότητας μη μεταβλητών αστέρων στην εικόνα σας. Ουσιαστικά, το άθροισμα των τιμών των εικονοστοιχείων στο είδωλο του μεταβλητού αστέρα (var) είναι ανάλογο με το άθροισμα των τιμών εικονοστοιχείων σε ένα αστέρι γνωστής φωτεινότητας, τον αστέρα σύγκρισης (comp). Επιπλέον, ως έλεγχος της ποιότητας των τιμών που εξάγουμε για τον αστέρα σύγκρισης ή μερικές φορές για την επαλήθευση της μη-μεταβλητότητάς του, μπορούμε επίσης να αθροίσουμε τα εικονοστοιχεία ενός άλλου αστέρα γνωστής φωτεινότητας στην εικόνα για να χρησιμοποιηθεί ως αστέρα ελέγχου (chk).

Τις διαφορές αυτές μπορεί να δει κανείς στα αποτελέσματα του λογισμικού ως ποσότητες εικονοστοιχείων ή κατά προτίμηση ως μεγέθη. Για ορισμένες παρατηρήσεις (π.χ.. τον προσδιορισμό του χρόνου του ελάχιστου για διπλό εκλειπτικό σύστημα), τα αποτελέσματα αυτά είναι επαρκή. Σε άλλα είδη παρατηρήσεων όμως, είναι το πρώτο βήμα προς τον υπολογισμό της φωτεινότητας του στόχου που παρατηρήθηκε.

5.7.1 Οι λεπτομέρειες: ποιές είναι οι εσωτερικές διαδικασίες του λογισμικού;

Η φωτομετρική ρουτίνα του λογισμικού σας χρησιμοποιείται για να αναλύσει τη φωτεινότητα του αστεριού-στόχου σας, ενός αστέρα σύγκρισης («comp»), και ενός αστέρα ελέγχου («check») της βαθμονομημένης εικόνας δεδομένων. Οι οδηγίες του λογισμικού σας θα σας πουν πώς να εκκινήσετε τη ρουτίνα Φωτομετρίας. Ο βασικός σκοπός της είναι να καθοριστεί ο συνολικός αριθμός ADU λπου ελήφθησαν από κάθε άστρο - που είναι το άθροισμα των ADU σε όλα τα pixels που έλαβαν το φως των από το επιλεγμένο αστέρι - και να συγκρίνει δύο ή περισσότερα αστέρια για να προσδιορίσει τη διαφορά μεγέθους ανάμεσα τους.

Από την βαθμονομημένη εικόνα, κάθε εικονοστοιχείο περιέχει (μόνο) ADU «αστέρα + ουρανού». Η πρόκληση για τη διαδικασία φωτομετρίας είναι να αφαιρέσουμε την επίδραση του «ουρανού» και στη συνέχεια να προσθέσουμε μόνο τις μετρήσεις από το "αστέρι". Σχεδόν όλα τα εμπορικά προγράμματα επεξεργασίας εικόνας / φωτομετρίας το κάνουν με τον ίδιο τρόπο. Η ρουτίνα φωτομετρίας θα τοποθετήσει τρεις ομόκεντρους κύκλους γύρω από ένα αστέρι που επιλέγουμε (όπως απεικονίζεται στο σχήμα 5.3). Ο εσωτερικός κύκλος είναι το άνοιγμα μέτρησης. Το λογισμικό θα προσθέσει τα ADU όλων των εικονοστοιχείων μέσα στην οπή μέτρησης, με το άθροισμα να είναι ανάλογο με τα συνολικά φωτόνια που ελήφθησαν από «αστέρι + ουρανό». Επειδή όμως θέλετε να ξέρετε το συνολικό αριθμό των φωτονίων που ελήφθησαν μόνο από το αστέρι, κάνετε την διάμετρο του ανοίγματος αυτής της μέτρησης αρκετά μεγάλη ώστε να περιλαμβάνει την πλήρη εικόνα του αστεριού.



Εικόνα 5.3. Διάγραμμα ενός τυπικού σετ διαφράγματος και δακτυλίου μέτρησης που δείχνει το κεντρικό διάφραγμα για τον αστέρα και τον δακτύλιο ουρανού που επιτρέπει να προσδιοριστεί η τοπική ακτινοβολία από τον ουρανό γύρω από το άστρο. (από τον Robert Buchheim)

Οι δύο εξωτερικοί κύκλοι σχηματίζουν ένα δακτύλιο (στεφάνη). Τα εικονοστοιχεία σε αυτό το δακτύλιο περιέχουν φωτόνια μόνο από τη λάμψη του ουρανού, (ιδανικά) χωρίς το φως αστέρων πεδίου. Το άθροισμα των ADU όλων των εικονοστοιχείων σε αυτή τη στεφάνη υποδεικνύει τη φωτεινότητα του ουρανού. Το λογισμικό σας θα πάρει το σύνολο "αστέρας + ουρανός" από το διάφραγμα μέτρησης και θα αφαιρέσει μόνο ότι προέρχεται από την ακτινοβολία του ουρανού, ένδειξη που προέρχεται από τον δακτύλιο ουρανού (κατάλληλα κλιμακωμένου κατά τον αριθμό των ριχέλς σε κάθε άνοιγμα). Αυτό αφήνει μια τιμή που είναι ίση με τον αριθμό των ADU του αστέρα μόνο. Αυτή η φωτομετρική προσέγγιση μερικές φορές ονομάζεται φωτομετρία διαφράγματος και είναι μακράν η πιο κοινώς χρησιμοποιούμενη μέθοδος.

Τώρα, έχετε την τιμή των ADU για το (ένα μόνο) αστέρι που επιλέξατε. Αυτό από μόνο του έχει περιορισμένη αξία, δεδομένου ότι ο αριθμός θα αλλάξει με διαφορετικές ρυθμίσεις της φωτογραφικής μηχανής, διαφορετικές συνθήκες του ουρανού, κλπ. Ας υποθέσουμε, όμως, ότι τρέχετε την ίδια ρουτίνα και καθορίζετε τις τιμές για ένα άλλο αστέρι στην εικόνα. Καλέστε το πρώτο σας αστέρι "tgt = target -στόχος" και το δεύτερο αστέρι "comp". Η διαφορά μεγέθους μεταξύ αυτών των δύο είναι:

$$\Delta mag = -2.5 \log(ADU_{tgt}/ADU_{comp}) = mag(tgt) - mag(comp)$$

Επειδή μετρήσατε και τα δύο άστρα σε εικόνες που ελήφθησαν από τα πράσινα εικονοστοιχεία της κάμερας, θα ονομάσουμε αυτή τη διαφορά λαμπρότητας στο πράσινο φως:

$$[G_{tgt} - G_{comp}] = -2.5 \log(ADU_{tgt}/ADU_{comp})$$

Δεδομένου ότι αυτό είναι το μέτρο της διαφοράς μεγέθους μεταξύ των δύο αστέρων, η ανάλυση αυτή ονομάζεται «διαφορική φωτομετρία». Το θαυμάσιο γεγονός της διαφορικής φωτομετρίας που χρησιμοποιεί δύο αστέρες στην ίδια εικόνα, είναι ότι η διαφορά είναι σχεδόν εντελώς ανεπηρέαστη από τις αλλαγές στις ρυθμίσεις της κάμερας, τη διαφάνεια του ουρανού, κ.λπ. Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι υπολογίσατε το Δmag από μια εικόνα, και στη συνέχεια πήρατε μια άλλη εικόνα με διπλάσιο χρόνο έκθεσης. Διπλάσια η έκθεση, θα διπλασιαστεί ο αριθμός των ADU σε κάθε αστέρι, αλλά η υπολογιζόμενη Δmag θα παραμείνει αμετάβλητη, διότι είναι μια συνάρτηση του λόγου του αριθμού των ADU από τα δύο αστέρια.

Εάν η φωτεινότητα του άστρου σύγκρισης (G_{comp}) είναι σταθερή, τότε οποιαδήποτε αλλαγή σε $\Delta \text{mag} = [G_{\text{tgt}} - G_{\text{comp}}]$ σας λέει την αλλαγή της φωτεινότητας του αστέρα-στόχου σας. Για πολλούς μεταβλητούς αστέρες που αξίζουν φωτομετρική παρακολούθηση, οι χάρτες της AAVSO υποδεικνύουν υποψηφίους αστέρες συγκρίσεως και ελέγχου και τα αστέρια που έχουν επιβεβαιωθεί ότι είναι σταθερής λαμπρότητας και των οποίων τα μεγέθη και τα χρώματα έχουν μετρηθεί με ακρίβεια. Πώς μπορείτε να επιβεβαιώσετε ότι ο αστέρας συγκρίσεως είναι, πράγματι, σταθερός κατά το χρονικό διάστημα από τις παρατηρήσεις σας; Αυτός είναι ο σκοπός του αστέρα ελέγχου. Αν και οι δύο τα αστέρια είναι μη μεταβαλλόμενης λαμπρότητας, τότε η διαφορά μεγέθους μεταξύ συγκρίσεως και ελέγχου θα πρέπει να είναι αμετάβλητη:

$$[G_{\text{check}} - G_{\text{comp}}] = -2.5 \log (ADU_{\text{check}} / ADU_{\text{comp}}) = \text{σταθερά}$$

Αν δείτε τη διαφορά μεγέθους "ελέγχου μείον συγκρίσεως" να αλλάζει, τότε το ένα ή το άλλο από αυτά τα αστέρια είναι μεταβλητό. Θα πρέπει να αποφασίσετε ποιό (μέσω, για παράδειγμα, της σύγκρισης και των δύο σε ένα άλλο αστέρι ελέγχου) και να το αντικαταστήσει στην ανάλυση της διαφορικής φωτομετρίας σας.

Κεφάλαιο 6: Φωτομετρική βαθμονόμηση

6.1 Κανονικοποιημένη φωτομετρία

Η διαφορική φωτομετρία (βλέπε παραπάνω) σας έχει δώσει ένα θεμελιώδες φωτομετρικό αποτέλεσμα: τη φωτεινότητα του στόχου σας σε σχέση με τον αστέρα συγκρίσεως. Ανάλογα με το λογισμικό σας, η διαφορά φωτεινότητας μπορεί να εκφράζεται ως αναλογία των εντάσεων $[I_{tgt} / I_{comp}]$ ή - κατά προτίμηση - ως διαφορά μεγέθους:

$$\Delta mag = mag_{tgt} - mag_{comp} = -2.5 \log[I_{tgt}/I_{comp}] \quad \text{Εξίσωση 1}$$

Για ορισμένες εργασίες, αυτό μπορεί να είναι και η ολοκλήρωση της φωτομετρικής ανάλυσης. (Παραδείγματα εργασιών που μπορεί να χρησιμοποιούμε μόνο διαφορική φωτομετρία είναι η εύρεση του «χρόνου ελάχιστου» ενός εκλειπτικού διπλού αστέρα, ή η καμπύλη φωτός της περιστροφής ενός αστεροειδούς.)

Για πολλές άλλες εργασίες, μπορεί να θέλετε να καθορίσετε την "πραγματική" λαμπρότητα του άστρου-στόχου, αναφορικά με μια πρότυπη κλίμακα. Για παράδειγμα, μπορεί να θέλετε να αναφέρετε ότι το άστρο-στόχος σας ήταν (φαινομένου) μεγέθους 8.4 τη στιγμή που τον παρατηρήσατε. Τα τυποποιημένα συστήματα φωτομετρίας βασίζονται σε: (α) μια πρότυπη κλίμακα φωτεινότητας και (β) ένα σύνολο τυποποιημένων φασματικών ζωνών (χρώματα, ή συναρτήσεις φασματικής απόκρισης). Το "πρότυπη κλίμακα φωτεινότητας" σημαίνει ότι για κάποια "πρότυπα άστρα" δίνονται τα μεγέθη λαμπρότητας, και τα μεγέθη όλων των άλλων αστερών προσδιορίζονται με αναφορά σε αυτούς τους πρότυπους. Η πρότυπη φασματική ζώνη σημαίνει ότι η φωτεινότητα ενός αστεριού μετράται χρησιμοποιώντας έναν αισθητήρα που έχει μια ειδικά καθορισμένη απόκριση σε διαφορετικά μήκη κύματος. Οι αστρονόμοι έχουν προσδιορίσει διάφορα πρότυπα φωτομετρικά συστήματα, για διαφορετικές τεχνικές ή ιστορικούς λόγους. Προς το παρόν -ως αρκετά καλή προσέγγιση η οποία είναι απολύτως επαρκής για πολλές περιπτώσεις- θα αξιοποιήσουμε τα μεμονωμένα δεδομένα εικόνας του καναλιού "G" και θα αναβάλλουμε τη συζήτηση των φασματικών ζωνών για μια επόμενη ενότητα.

Με την παραδοχή πως τα είδωλα των άστρων δεν έχουν κορεστεί και πως η εικόνα έχει βαθμονομηθεί κατάλληλα, υπάρχει μια απλή σχέση μεταξύ των διαφορικών φωτομετρικών μεγεθών που μετρήθηκαν και των πραγματικών λαμπροτήτων του στόχου και του αστέρα συγκρίσεως:

$$[G_{tgt} - G_{comp}] \approx V_{tgt} - V_{comp} \quad \text{Εξίσωση 2}$$

Όπου, η παράσταση $[G_{tgt} - G_{comp}]$ είναι η διαφορά μεγέθους μεταξύ στόχου και συγκρίσεως όπως υπολογίστηκε από τη διαφορική φωτομετρία, ενώ τα V_{tgt} και V_{comp} είναι τα φαινόμενα μεγέθη των άστρων αυτών στο τυποποιημένο φωτομετρικό σύστημα της φασματικής περιοχής του φίλτρου V. Το σύμβολο \approx "σημαίνει "περίπου ίσο".

Η σημασία της σχέσης 2 είναι η ακόλουθη: Ας υποθέσουμε πως γνωρίζετε το φαινόμενο μέγεθος του αστέρα συγκρίσεως από κάποια πηγή αναφοράς. Η σχέση τότε μπορεί να αναδιαταχθεί, ώστε να δώσει το φαινόμενο μέγεθος του μεταβλητού στη φασματική περιοχή του φίλτρου V:

$$V_{tgt} \approx [G_{tgt} - G_{comp}] + V_{comp} \quad \text{Εξίσωση 3}$$

Έτσι, αν ο στόχος είναι 0.4 μεγέθη αμυδρότερος από τον αστέρα συγκρίσεως (δηλαδή, $[G_{tgt} - G_{comp}] = 0.4$) και ξέρετε ότι το $V_{comp} = 8.0$, τότε μπορείτε να αναφέρετε ότι ο μεταβλητός έχει μέγεθος $V_{tgt} \approx 8.4$. Πού θα βρείτε το μέγεθος V του αστέρα συγκρίσεως; Αν ο μεταβλητός σας έχει χάρτη AAVSO ή και φωτομετρική ακολουθία, τότε και τα δυο αναφέρουν μεγέθη στο V για αρκετά αστέρια στο πεδίο. Επιλέξτε ένα από αυτά τα ως αστέρι συγκρίσεως. Αν περισσότερα από ένα άστρα της ακολουθίας περιέχεται στην εικόνα σας, επιλέξτε ένα δεύτερο ως αστέρα ελέγχου.

Εάν ο στόχος σας δεν έχει χάρτη AAVSO ή ακολουθία, τότε οι πιο κατάλληλες πηγές των τυποποιημένων μεγεθών είναι η βάση δεδομένων APASS ή η βάση δεδομένων Homogeneous Means in the UBV System (Mermilliod 1991). Η βάση δεδομένων APASS είναι ελεύθερα διαθέσιμη και με δυνατότητα αναζήτησης από την ιστοσελίδα της AAVSO. Για να τη χρησιμοποιήσετε, το μόνο που χρειάζεται είναι να γνωρίζετε τις ουρανογραφικές συντεταγμένες του μεταβλητού σας. Η κύρια σελίδα APASS είναι:

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

όπου εκεί μπορείτε να βρείτε τη φόρμα πρόσβασης.

Η βάση δεδομένων "Homogeneous Means in the UBV System ..." είναι διαθέσιμη μέσω διαδικτύου στο Vizier:

<http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR>

Εκεί, εισάγετε τις συντεταγμένες στο πλαίσιο "Search by Position" και πατήστε "go". Στη σελίδα με τα αποτελέσματα, κάντε scroll έως ότου βρείτε τον πίνακα Homogeneous Means in the UBV System (Mermilliod 1991).

Τα περισσότερα προγράμματα φωτομετρικής ανάλυσης παρέχουν έναν τρόπο για να εισάγετε τα μεγέθη V των αστέρων συγκρίσεως και στη συνέχεια κάνουν τους απαραίτητους υπολογισμούς για να υπολογίσουν το μέγεθος V του μεταβλητού, με βάση τα δεδομένα της εικόνας σας (πράγμα που σημαίνει στην πραγματικότητα, ότι ποτέ δεν θα χρησιμοποιήσετε τη σχέση 3).

Τα προσεγγιστικά αποτελέσματα στην παραπάνω ανάλυση και τις εξισώσεις, είναι αρκετά ικανοποιητικά για να μπορούν να υποβάλλονται στην AAVSO και να περιληφθούν στη βάση δεδομένων των παρατηρήσεων μεταβλητών αστέρων. Όταν τα υποβάλλετε, θα πρέπει να προσδιορίζονται ως φωτομετρία στο φίλτρο "TG". ["TG» σημαίνει ότι η φωτομετρία αντιπροσωπεύει "μετρήσεις με τη χρήση (μόνο) G rixels από ένα ψηφιακό αισθητήρα τριών χρωμάτων, και βασίζεται στο πρότυπο μέγεθος V του αστέρα συγκρίσεως]. Αυτός ο προσδιορισμός φίλτρου χρησιμοποιείται στα έντυπα υποβολής της AAVSO για να διακρίνει την DSLR (και deepsky τρίχρωμη) φωτομετρία από διάφορα άλλα συστήματα φίλτρων.

Τα μεγέθη TG είναι πολύτιμη και χρήσιμη συμβολή στην ανάλυση πολλών βραχυπερίοδων και μακροπερίοδων μεταβλητών, καινοφανών και υπερκαινοφανών.

Αυτή η ανάλυση έχει κάποιες αδυναμίες, οι οποίες είναι ο λόγος που χρησιμοποιείται το σύμβολο "≈" ("περίπου ίσο») αντί για το απόλυτο "ίσον". Οι αδυναμίες αυτές συνδέονται με τη φασματική απόκριση του αισθητήρα, και την ατμοσφαιρική απορρόφηση. Το πρόβλημα της φασματικής απόκρισης είναι ότι η φασματική περιοχή του "G" της φωτογραφικής μηχανής σας δεν είναι ακριβώς ίδια με την πρότυπη αστρονομική περιοχή V και δεν έχει γίνει προσαρμογή για τη διαφορά αυτή. Υπάρχουν μέθοδοι για να προσδιοριστεί η επίδραση αυτής της φασματικής διαφοράς και να τροποποιηθεί τις μετρήσεις σας για την εξάλειψη της επίδρασης. Αυτό ονομάζεται φωτομετρικός μετασχηματισμός στο καθιερωμένο σύστημα και το θέμα θα καλυφθεί στην επόμενη ενότητα.

Η αδυναμία που σχετίζεται με επιπτώσεις της ατμόσφαιρας είναι ότι κάνουμε τη σιωπηρή παραδοχή πως η ατμοσφαιρική απορρόφηση είναι η ίδια για το στόχο και τον αστέρα συγκρίσεως. Μέχρι στιγμής, δεν έχουμε προσπαθήσει να προσεγγίσουμε αυτό το πρόβλημα, ούτε γίνεται κάποια προσαρμογή για τις διαφορές της ατμοσφαιρικής απορρόφησης μεταξύ του στόχου και του αστέρα συγκρίσεως. Όταν όμως λαμβάνετε εικόνες σχετικά ευρέως οπτικού πεδίου με φακούς μικρής εστιακής απόστασης, οι οποίοι είναι κατάλληλοι για πολλές εργασίες φωτομετρίας με DSLR, είναι πιθανό να υπάρξει κάποια διαφορά ατμοσφαιρικής απορρόφησης μεταξύ του στόχου και του αστέρα συγκρίσεως. Υπάρχουν τρόποι για την εκτίμηση και διόρθωση αυτής της διαφοράς, οι οποίοι επίσης περιγράφονται στην επόμενη ενότητα.

6.2 Μετασχηματισμοί

Η αντιμετώπιση των "G" pixels της DSLR ως "σχεδόν V" είναι μια προσέγγιση, αν και δεν είναι κακό για πολλές εργασίες, αστέρια, και καταστάσεις. Όμως, ακριβώς όπως τα "R" (κόκκινα) pixel έχουν μια διαφορετική φασματική απόκριση από ό, τι τα pixels "G", έτσι και η απόκριση των "G" είναι διαφορετική από την πρότυπη αστρονομική φασματική απόκριση του V. Αυτή η διαφορά στην φασματική απόκριση μπορεί να μεταφραστεί σε μια διαφορά στο εκτιμώμενο μέγεθος του μεταβλητού, ανάλογα με το χρώμα του και το χρώμα των αστέρων συγκρίσεως.

Αυτή η διαφορά είναι ιδιαίτερα σημαντική όταν οι μετρήσεις σας θα πρέπει να συσχετίζονται με μετρήσεις άλλων παρατηρητών, των οποίων η φασματική απόκριση του συστήματος είναι διαφορετική από τη δική σας. Η τεχνική για την αντιστοίχιση της φωτομετρίας σας με το πρότυπο φωτομετρικό σύστημα V ονομάζεται «μετασχηματισμός».

Υπάρχουν δύο καταστάσεις απεικόνισης που μπορεί να χρησιμοποιήσουν ελαφρώς διαφορετικές προσεγγίσεις μετασχηματισμού: (1) όταν χρησιμοποιείτε την DSLR σας μέσα από ένα τηλεσκόπιο και ως εκ τούτου έχετε ένα αρκετά στενό οπτικό πεδίο (για παράδειγμα, λίγες μόνο μοίρες), μπορείτε να αγνοήσετε συνήθως τη διαφορική ατμοσφαιρική απορρόφηση. Επίσης, με ένα ευρύτερο οπτικό πεδίο, αν ο στόχος σας είναι ψηλά στον ουρανό (ας πούμε, όχι περισσότερο από περίπου 30 μοίρες από το ζενίθ), μπορείτε να χρησιμοποιείτε με ασφάλεια την προηγούμενη προσέγγιση. Από την άλλη πλευρά, (2) όταν χρησιμοποιείτε την DSLR σας με ένα συνηθισμένο φακό ή τηλεφακό και έχετε οπτικό πεδίο περισσότερο από μερικές μοίρες ή/και ο μεταβλητός σας είναι περισσότερο από 30 μοίρες από το ζενίθ, πιθανώς πρέπει να ληφθεί υπόψη η επίδραση της διαφορικής ατμοσφαιρικής απορρόφησης (επειδή βλέπετε τον μεταβλητό σας μέσα από μια ατμοσφαιρική διαδρομή που είναι μετρήσιμα διαφορετική από τη διαδρομή του αστέρα συγκρίσεως). Αυτές οι δύο προσεγγίσεις για το μετασχηματισμό των μετρήσεων σας στο καθιερωμένο σύστημα εξετάζονται χωριστά παρακάτω.

6.2.1 Στενό οπτικό πεδίο ή παρατήρηση κοντά στο ζενίθ

Στην προηγούμενη ενότητα, χρησιμοποιήσαμε μια προσέγγιση για τον προσδιορισμό του μεγέθους V του άστρου-στόχου που διαφέρει από το "αληθινό" (θυμηθείτε το σύμβολο "≈" στις εξισώσεις 2 και 3) και την υποβολή του στην AAVSO ως ένα μέγεθος «TG». Μια πληρέστερη εξίσωση έχει έναν πρόσθετο όρο που λαμβάνει υπ' όψη το γεγονός ότι η φασματική απόκριση της φωτογραφικής μηχανής σας είναι διαφορετική από την πρότυπη των αστρονομικών μεγεθών V. Αυτή η εξίσωση είναι:

$$V_{tgt} = V_{comp} + [G_{tgt} - G_{comp}] + T [CI_{tgt} - CI_{comp}] \quad \text{Εξίσωση 4}$$

όπου V_{comp} είναι το πρότυπο μέγεθος V του αστέρα συγκρίσεως, $[G_{tgt} - G_{comp}]$ είναι η μετρούμενη διαφορά μεγέθους (δηλαδή η διαφορά μεγέθους G μεταξύ του στόχου και του συγκρίσεως), T είναι ένας «συντελεστής μετατροπής» του συστήματός σας, και $CI_{tgt} = (B-V)_{tgt}$ και $CI_{comp} = (B-V)_{comp}$ είναι οι δείκτες χρώματος του μεταβλητού και του αστέρα συγκρίσεως αντίστοιχα [$CI = \text{Color Index}$]. Αυτούς, μπορείτε να τους προσδιορίσετε εξετάζοντας τον πίνακα φωτομετρίας της AAVSO για το συγκεκριμένο πεδίο, ή σε μια βάση δεδομένων όπως η APASS. (Ο δείκτης χρώματος για το μεταβλητό μπορεί να είναι μία συνάρτηση της φάσης της καμπύλης φωτός του, ειδικά για παλλόμενα άστρα. Για απλουστευμένο μετασχηματισμό, υποθέτουμε μια μέση τιμή για το χρώμα, η οποία καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της διόρθωσης στο πρότυπο σύστημα. Για αληθινή πληρότητα, πρέπει να καθορίσετε βαθμονομημένο δείκτη χρώματος του μεταβλητού ταυτόχρονα με το μέγεθος G, κάτι που είναι πέρα από το πεδίο του παρόντος εγχειριδίου). Σημειώνεται ότι από την δεξιά πλευρά αυτής της εξίσωσης, έχετε μετρήσει το $[G_{tgt} - G_{comp}]$, και θα ψάξετε το V_{comp} και τους δείκτες χρώματος CI_{tgt} και CI_{comp} σε μια πηγή αναφοράς (όπως το APASS). Για να χρησιμοποιήσετε αυτή την εξίσωση που θα μεταφέρει τα δεδομένα σας πάνω στο πρότυπο σύστημα, πρέπει να γνωρίζετε το συντελεστή μετατροπής T. Μπορείτε να προσδιορίσετε το T για το σύστημά σας με τη διεξαγωγή μιας εξειδικευμένης μεθόδου που περιγράφεται παρακάτω.

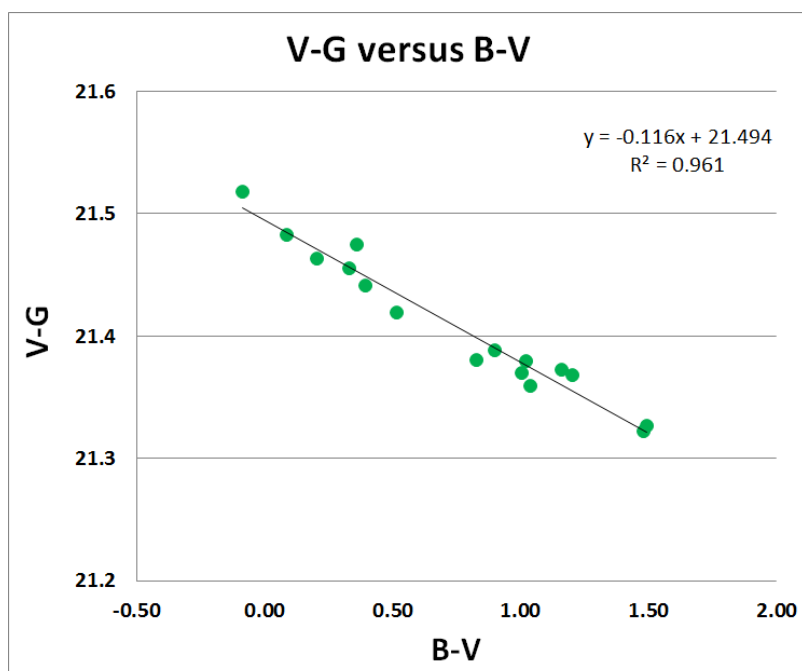
Υπάρχουν πολλά πεδία στον ουρανό, όπου ένας μεγάλος αριθμός των αστερών έχει βαθμονομηθεί με ακρίβεια στα μεγέθη V και τους δείκτες χρώματος [B-V]. Παραδείγματα είναι τα τυπικά πεδία Landolt και πολλά, καλά μελετημένα πεδία από την AAVSO, τα οποία μπορούν να βρεθούν στην ιστοσελίδα της. Για παρατηρητές στο νότιο ημισφαίριο συνιστώνται επίσης οι περιοχές των τυπικών πεδίων Cousins E με αστέρες απόκλισης ως τις -45 μοίρες. Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε ένα τέτοιο πεδίο για τον υπολογισμό του συντελεστή μετατροπής του συστήματός σας, T. Η βασική ιδέα είναι να βρούμε τη διαφορά (V-G) για ένα μεγάλο αριθμό αστερών με τη γνωστή φωτομετρική διαδικασία και να καθορίσουμε το (V-G) ως συνάρτηση του δείκτη χρώματος του αστερά.

Στις εικόνες ενός καλά βαθμονομημένου πεδίου αστερών, χρησιμοποιήστε το λογισμικό φωτομετρίας σας για να καθορίσετε το μέσο όρο μεγέθους οργάνου (instrumental magnitude) στο G για μια ντουζίνα ή περισσότερα αστέρια. Κάντε μια προσπάθεια να επιλέξετε αστέρες που καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα χρωμάτων (ιδανικά από $B-V \approx -0,5$ έως $B-V \approx 2$, αλλά αν δεν είστε σε θέση να πάρετε αυτό το πλήρες εύρος, κάνετε το καλύτερο που είναι πρακτικό). Για κάθε αστέρα, υπολογίστε το μέγεθος οργάνου από το σύνολο των ADU του (το λογισμικό φωτομετρίας σας θα αθροίσει σωστά τις μονάδες του αστερά μέσα στο διάφραγμα μέτρησης και αφαιρέσει το υπόβαθρο του ουρανού). Η εξίσωση για το μέγεθος οργάνου είναι:

$$G_{star} = -2,5 \log (ADU_{star}) \quad \text{Εξίσωση 5}$$

όπου ADU_{star} είναι το άθροισμα όλων των εικονοστοιχείων μέσα στο άνοιγμα μέτρησης σας, μείον το υπόβαθρο του ουρανού (όπως καθορίζεται από τα pixels του δακτυλίου ουρανού - sky annulus). Τα περισσότερα φωτομετρικά προγράμματα θα κάνουν τον υπολογισμό για λογαριασμό σας, όταν κάνετε κλικ πάνω στο αστέρι και θα αναφέρουν το αποτέλεσμα ως μέγεθος οργάνου του άστρου.

Τώρα χρησιμοποιήστε ένα πρόγραμμα υπολογιστικών φύλλων (π.χ. Excel) για να κάνετε την ανάλυση που οδηγεί στο μετασχηματισμό του συστήματός σας. Για κάθε αστέρι, εισαγάγετε τον αριθμό των ADU (ή το μέγεθος οργάνου G_{star} αν παρέχεται από το λογισμικό σας), υπολογίστε το G_{star} αν χρειαστεί, και εισαγάγετε το πρότυπο μέγεθος V και τον πρότυπο δείκτη χρώματος [B-V] του άστρου στο φύλλο εργασίας σας (μία σειρά ανά αστέρι). Κάντε τη γραφική παράσταση "V-G" ως προς το δείκτη χρώματος. Το αποτέλεσμα θα πρέπει να είναι σημεία που πέφτουν πολύ κοντά σε μια ευθεία γραμμή. Χρησιμοποιήστε τη γραμμική λειτουργία τάσης (linear trend) του προγράμματος για να βρείτε την καλύτερη γραμμική προσαρμογή και εμφανίστε την εξίσωση που την περιγράφει. Ο συντελεστής μετατροπής, T, είναι ακριβώς η κλίση αυτής της ευθείας που ταιριάζει καλύτερα. (Η τομή της γραμμής με τον άξονα Y ονομάζεται το "μηδενικό σημείο" - zero point - από τους φωτομέτρους, αλλά μπορείτε να το αγνοήσετε για τώρα).



Εικόνα 6.1. Η βέλτιστη ευθεία που περνά από τα υπολλειματικά σημεία V-G vs B-V και χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει το συντελεστή μετατροπής T_v , που εδώ είναι -0.116. (από τον Mark Blackford)

Αν τίποτα δεν άλλαζε ποτέ, τότε αυτή η διαδικασία καθορισμού του συντελεστή μετασχηματισμού του συστήματός σας θα μπορούσε να γίνει μόνο μία φορά επειδή το "T" είναι παράμετρος που σχετίζεται με τον εξοπλισμό σας (τηλεσκόπιο και φωτογραφική μηχανή) κι όχι με τα μεμονωμένα άστρα. Δυστυχώς, τα πράγματα αλλάζουν ... σκόνη συσσωρεύεται, οι οπτικές επιστρώσεις υποβαθμίζονται με τη γήρανση και τη χρήση και (δεδομένου ότι η ατμόσφαιρα είναι ένα μέρος του οπτικού συστήματός σας) τόσο ο καιρός, όσο και η διεύθυνση σκόπευσης ενδέχεται να έχουν επίδραση στο "T" για την περιοχή σας. Ο μόνος τρόπος να γνωρίζουμε αν τα πράγματα αλλάζουν στο σύστημά σας είναι να ελέγχετε περιστασιακά και να υπολογίζετε εκ νέου το "T" (τηρώντας αρχείο με τα αποτελέσματα). Πόσο συχνά πρέπει να το κάνετε αυτό; Οι γνώμες δίστανται. Σίγουρα είναι μια καλή ιδέα να χρησιμοποιήσετε δεδομένα από περισσότερες από μία νύχτες και περισσότερα από ένα πεδία προτύπων αστείων, την πρώτη φορά που θα καθορίσετε το "T" (για να πάρετε μια ιδέα της μεταβλητότητας στο αποτέλεσμά σας). Είναι επίσης επιβεβλημένο να ελέγχετε εκ νέου το συντελεστή μετατροπής σας κάθε χρόνο περίπου. Αν για κάποιο λόγο χρειάζεται να μελετήσετε ένα στόχο που είναι σε ασυνήθιστα υψηλή μάζα αέρα (δηλαδή χαμηλά προς τον ορίζοντα), θα είστε περισσότερο βέβαιοι για το αποτέλεσμα ελέγχοντας επίσης το συντελεστή μετατροπής, με χρήση ενός πεδίου προτύπων αστείων σε ανάλογα υψηλή μάζα αέρα.

Θα πρέπει επίσης να καθορίσετε ένα μοναδικό T για κάθε ξεχωριστό σύστημα παρατήρησης. Για παράδειγμα, εάν έχετε δύο τηλεσκόπια, τότε κάθε συνδυασμός "φωτογραφική μηχανή + τηλεσκόπιο" θα έχει το δικό του μοναδικό συντελεστή μετασχηματισμού. Και αν αλλάξετε κάτι στην οπτική διαδρομή (π.χ., προσθέσετε ή να αφαιρέσετε κάτι, ή αγοράσετε νέο φακό της κάμερας), τότε θα πρέπει να καθορίσετε ένα νέο συντελεστή μετατροπής για την πρόσφατη αλλαγή του συστήματος. Επίσης, συνιστούμε να χρησιμοποιείτε πολλές τέτοιες εικόνες, να υπολογίζετε το συντελεστή μετατροπής σας για κάθε μια και στη συνέχεια να υπολογίζετε το μέσο όρο των τιμών να μειώσετε τα σφάλματα που ενυπάρχουν σε κάθε ανάλυση.

Τώρα που ξέρετε το συντελεστή μετασχηματισμού του συστήματός σας, μπορείτε να αντιστοιχίσετε τις μετρήσεις σας (που λαμβάνονται στο G) σε ένα πρότυπο μεγέθους V, χρησιμοποιώντας την εξίσωση 4 που δόθηκε πριν και επαναλαμβάνεται παρακάτω:

$$V_{tgt} = V_{comp} + [G_{tgt} - G_{comp}] + T [C_{tgt} - C_{comp}] \quad \text{Εξ. 6}$$

Σημειώστε ότι σε αυτή την εξίσωση, χρειάζεται να εξετάσετε το δείκτη χρώματος του μεταβλητού σας σε κάποιο κατάλογο. Αυτό σημαίνει ότι θα έχει εισαχθεί μια μικρή ασάφεια ακόμη και στη μετασχηματισμένη τιμή V_{tgt} , αν ο δείκτης χρώματος του μεταβλητού αλλάζει με την πάροδο του χρόνου. Αυτό δεν είναι ασυνήθιστο σε μακροπερίόδους παλλόμενους μεταβλητούς και μερικές φορές είναι αισθητό σε διάφορους τύπους αστείων με διακυμάνσεις μικρής περιόδου. Ακόμη όμως και με αυτή τη μικρή ασάφεια, η χρήση μετασχηματισμένων μεγεθών είναι πιο ακριβής από ό, τι των μη-μετασχηματισμένων και μετατρέποντας τα αποτελέσματά σας στο πρότυπο V, καθιστά ευκολότερο να συσχετισθούν οι μετρήσεις σας με αυτές άλλων παρατηρητών.

6.2.2 Περίπτωση ευρέως πεδίου

Η μέθοδος που δόθηκε παραπάνω για το μετασχηματισμό των παρατηρήσεων σας είναι κατάλληλη μόνο για εικόνες σχετικά στενού οπτικού πεδίου (όπως εκείνες που αποκτήθηκαν με τη φωτογραφική μηχανή DSLR να βλέπει μέσα από το τηλεσκόπιό σας). Ο περιορισμός "στενό οπτικό πεδίο" σχετίζεται με ένα φαινόμενο που μέχρι τώρα έχουμε αγνοήσει: τη διαφορική ατμοσφαιρική απορρόφηση. Γνωρίζετε από την καθημερινή εμπειρία ότι η ατμόσφαιρα απορροφά και διαχέει το φως και ως εκ τούτου έχει επίδραση στο αστρικό φως. Ένα από τα πλεονεκτήματα της διαφορικής φωτομετρίας είναι ότι όσο οι στόχοι και οι αστέρες συγκρίσεως είναι σε εγγύτητα στον ουρανό και δεν βρίσκονται πολύ χαμηλά στον ορίζοντα - το φως και από τα δύο άστρα περνά ουσιαστικά μέσα από το ίδιο ατμοσφαιρικό μονοπάτι και ως εκ τούτου αντιμετωπίζει πρακτικά την ίδια επίδραση.

Ωστόσο, όταν χρησιμοποιείτε τη φωτογραφική μηχανή DSLR με ένα κανονικό φακό της κάμερας, έχετε πιθανώς ένα αρκετά ευρύ οπτικό πεδίο - αρκετές μοίρες ίσως και μεγαλύτερο από 30°. Για ορισμένες παρατηρήσεις που αφορούν φωτεινά άστρα, είναι αναγκαίο να υπάρχει αυτό το ευρύ οπτικό πεδίο, γιατί ο μεταβλητός σας και ο κατάλληλος αστέρας συγκρίσεως μπορεί να βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση μεταξύ τους. Εάν είναι περισσότερο από μερικές μοίρες, τότε το φως τους περνά μέσα από διαφορετικές διαδρομές στην ατμόσφαιρα και ως εκ τούτου η διαφορική ατμοσφαιρική απορρόφηση μπορεί να είναι σημαντική. Η σημασία αυτής της επίδρασης μεγαλώνει καθώς: (α) ο διαχωρισμός μεταξύ των δύο αστέρων αυξάνει και (β) αυξάνεται η απόσταση ενός ή και των δυο από το ζενίθ. Σημειώστε ότι παραλείπουμε την άλλη επίδραση που ονομάζεται απορρόφηση δεύτερη τάξης, η οποία εξαρτάται από το χρώμα του κάθε αστέρα, αλλά η οποία έχει συνήθως πολύ μικρότερη επίδραση από ό, τι η κανονική διαφορική απορρόφηση.

Σε αυτήν την κατάσταση, ο μετασχηματισμός πρέπει να περιλαμβάνει την επίδραση των διαφορών φασματικής απόκρισης (όπως παραπάνω) συν την επίδραση της διαφορικής ατμοσφαιρικής απορρόφησης. Αυτό γίνεται με την προσθήκη ενός ακόμη όρου στη διαφορική εξίσωση φωτομετρίας:

$$V_{tgt} = V_{comp} + [G_{tgt} - G_{comp}] + T [C_{tgt} - C_{comp}] - k [X_{tgt} - X_{comp}] \quad \text{Εξίσωση 7}$$

Στην Εξ. 7, k είναι ο συντελεστής ατμοσφαιρικής απορρόφησης (μετρούμενος σε μεγέθη ανά μάζα αέρα), και X_{tgt} και X_{comp} είναι η μάζα αέρα του στόχου και του αστέρα συγκρίσεως, αντίστοιχα. Η αέρια μάζα εκφράζει πόσο μακριά είναι η διαδρομή φωτός του άστρου μέσα από την ατμόσφαιρα κατά την πορεία της προς το μάτι ή τη φωτογραφική μηχανή σας. Για τις μικρές αέριες μάζες (ας πούμε, $X < 2$), η αέρια μάζα υπολογίζεται από το $X = \sec(z)$ όπου z είναι η γωνιώδης απόσταση του άστρου από το ζενίθ. Η παράσταση $X = \sec(z)$, σημαίνει την τέμνουσα της ζενίθειας απόστασης z , ή αλλιώς το αντίστροφο του συνημιτόνου της. Τα περισσότερα προγράμματα φωτομετρίας θα υπολογίσουν για σας τις αέριες μάζες, αν τους δώσετε την τοποθεσία και τη ζώνη ώρας σας, το χρόνο της εικόνας, και τις ισημερινές συντεταγμένες του αστέρα. Οι άλλοι όροι στην Εξ. 7 είναι οι ίδιοι όπως για την Εξ. 4. Η ανάλυση που ακολουθεί εξηγεί ένα τρόπο για τον ταυτόχρονο καθορισμό του συντελεστή μετασχηματισμού και του συντελεστή ατμοσφαιρικής απορρόφησης, όταν λαμβάνονται εικόνες ευρέως πεδίου. Αρκετά αστρικά πεδία έχουν βαθμονομηθεί ειδικά για το πρόβλημα των εικόνων ευρέως πεδίου: το ανοιχτό σμήνος Μεσιέ 67 (M67), το IC4665 και το σμήνος της Κόμης της Βερενίκης. Πότε πρέπει να χρησιμοποιήσετε την Εξ. 7, και τη μαθηματικά-έντονη διαδικασία που περιγράφεται παρακάτω για τον προσδιορισμό του συντελεστή ατμοσφαιρικής απορρόφησης; Αν το οπτικό πεδίο σας βρίσκεται σε απόσταση περίπου 20 μοιρών από το ζενίθ και είναι εύρους λιγότερο από περίπου 20 μοίρες, συνήθως μπορείτε να χρησιμοποιήσετε με ασφάλεια την απλούστερη προσέγγιση μετασχηματισμού που περιγράφεται παραπάνω για την Εξ. 4. Αν το πεδίο σας είναι μεγαλύτερο, ή αν ο μεταβλητός ή / και ο αστέρας συγκρίσεως απέχουν περισσότερο από περίπου 30 μοίρες από το ζενίθ, τότε η σημασία της διαφοράς της ατμοσφαιρικής απορρόφησης μεγαλώνει και είναι σημαντικό να χρησιμοποιήσετε την Εξ. 7 αν πρόκειται να μετατρέψετε τα μεγέθη σας στο πρότυπο V .

Οι διορθώσεις αέριας μάζας πρώτης τάξεως μπορούν να εφαρμοστούν σε εικόνες DSLR χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση (Henden και Kaitchuck 1982):

$$(V-v) = -kx + T (B-V) + ZP \quad \text{Εξ. 8}$$

όπου η νεοεισαχθείσα μεταβλητή, k , είναι ο συντελεστής απορρόφησης και το X είναι η αέρια μάζα. Η εξίσωση αυτή έχει την ίδια λειτουργική μορφή όπως ένα γεωμετρικό επίπεδο σε τρεις διαστάσεις: $z = ax + by + C$. Οι Kloppenborg et al. (2012) δίνουν μια μέθοδο για την επίλυση αυτής της εξίσωσης. Αν υποθέσουμε ότι το μέγεθος οργάνου, v , εξαρτάται μόνο από την δεξιά πλευρά της παραπάνω εξίσωσης, τότε μπορούμε να επιλύσουμε ως προς τους συντελεστές k , T , και ZP , χρησιμοποιώντας κατ' ελάχιστο τρία άστρα βαθμονόμησης στο οπτικό πεδίο. Ωστόσο, αν ένα αστέρι βαθμονόμησης είναι «κακό», είτε αναγνωρίζεται εσφαλμένα ή το μέγεθος ή η αέρια μάζα του δεν υπολογίζονται σωστά, οι συντελεστές θα είναι λανθασμένοι. Για το λόγο αυτό, συνήθως λαμβάνονται πολλά περισσότερα αστέρια και γίνεται γραμμική επίλυση ελαχίστων τετραγώνων για την απομάκρυνση τυχόν ακραίων τιμών και τη βελτίωση των προκυπτών συντελεστών.

Μια προσαρμογή ελαχίστων τετραγώνων n άστρων βαθμονόμησης στο επίπεδο που ορίζεται από την εξίσωση $z = ax + by + C$, βρίσκεται επιλύοντας τη μήτρα συντελεστών ως προς X , στην ακόλουθη παράσταση, χρησιμοποιώντας το αντίστροφο του A :

$$AX=B \quad \text{Εξίσωση 9}$$

Ή σε πλήρη ανάπτυξη (αντικαθιστώντας το T με το ϵ και το ZP με το ζ):

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i y_i & \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n x_i y_i & \sum_{i=1}^n y_i^2 & \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n y_i & \sum_{i=1}^n 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -k'_v \\ \epsilon \\ \zeta_v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n x_i z_i \\ \sum_{i=1}^n y_i z_i \\ \sum_{i=1}^n z_i \end{bmatrix}$$

Δεν είναι απαραίτητο να γράψετε λογισμικό για την επίλυση τέτοιων εξισώσεων, καθώς τα προγράμματα λογιστικών φύλλων και οι γλώσσες προγραμματισμού έχουν ενσωματωμένες τέτοιες ρουτίνες. Για παράδειγμα, το Excel έχει τη συνάρτηση "linest". Αν όμως επιθυμείτε να γράψετε το δικό σας αλγόριθμο, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τη συνάρτηση "scipy.optimize.leastsq" σε Python.

6.3 Υποβολή των αποτελεσμάτων σας

Καμία επιστημονική μέτρηση δεν έχει αξία εάν δεν δημοσιεύεται, έτσι ώστε να μπορεί να μοιραστεί με την ερευνητική κοινότητα. "Δημοσίευση" των περισσότερων φωτομετρικών μετρήσεων μεταβλητών αστέρων σημαίνει την προσθήκη τους σε μια πολύ γνωστή βάση δεδομένων, όπως η Διεθνής Βάση Δεδομένων της AAVSO. Οι ερευνητές τότε έχουν συνεχή πρόσβαση στα δεδομένα σας, μαζί με εκείνα από όλους τους άλλους, ερωτώντας για ένα συγκεκριμένο αστέρα και χρονικό διάστημα. Για να είναι χρήσιμη η μέτρηση σας, θα πρέπει να συνοδεύεται από πληροφορίες που περιγράφουν τι είναι, πώς αναπτύχθηκε και άλλες πληροφορίες που σχετίζονται με το περιεχόμενο και την ποιότητα της. Η φόρμα εισαγωγής δεδομένων της AAVSO βρίσκεται στο "WebObs" κάτω από την καρτέλα "Data" στην αρχική σελίδα. Οι πληροφορίες που ζητούνται από το WebObs είναι μάλλον αυτονόητες, αλλά για κάθε περίπτωση, εδώ είναι οι έννοιες μερικών από τα πεδία που θα τοποθετήσετε τις μετρήσεις σας, αν τις εισάγετε μεμονωμένα:

- "Obstype": Αν υποθέσουμε ότι το μέσον ήταν μια DSLR, ο τύπος δεδομένων σας είναι "DSLR».
- "Magnitude" είναι το μέγεθος V_{tgt} , όπως προσδιορίστηκε με μία από τις μεθόδους που περιγράφονται παραπάνω.
- «Mag Error" είτε προέρχεται από το λογισμικό σας ή μπορεί να καθοριστεί με τη λήψη 3 ή περισσότερων εικόνων από κάθε πεδίο, εύρεση του μέσου όρου των παραγώγων μεγεθών και τον προσδιορισμό της τυπικής απόκλισης.

Εάν χρησιμοποιήσατε την απλή εξίσωση φωτομετρίας (Εξ. 4) για την εκτίμηση του μεγέθους V του μεταβλητού, μην τσεκάρτε κανένα από τα πλαίσια επιλογών.

Εάν χρησιμοποιείτε μία από τις μεθόδους μετασχηματισμού των εξισώσεων 7 ή 8, τσεκάρτε το πλαίσιο "transformed".

Επιλέξτε το πλαίσιο "differential" μόνο αν υποβάλλετε τιμές [Gtgt -Gcomp], χωρίς προσδιορισμό του μεγέθους V για τον αστέρα συγκρίσεως. Σημειώστε ότι AAVSO αποθαρρύνει αυτή τη μορφή των δεδομένων, εκτός εάν για κάποιο λόγο είναι η μόνη εφικτή προσέγγιση.

- "Filter": Αν χρησιμοποιείται η Εξ. 4 (δηλαδή, δεν έχετε μετασχηματισμένα δεδομένα από το "G" προς το πρότυπο V), τότε επιλέξτε ως φίλτρο το «TG». Αν κάνατε μετασχηματισμό στο πρότυπο V (δηλαδή, χρησιμοποιήσατε την εξίσωση 2 ή 3), τότε επιλέξτε το "V" (και επίσης τσεκάρτε το "transformed" στο παραπάνω πλαίσιο).

- "Chart ID ": Αν είναι δυνατόν, χρησιμοποιήστε ένα χάρτη της AAVSO. Επειδή οι DSLR τείνουν να έχουν μεγάλο πεδίο και ο VSP δε δημιουργεί ωραίους χάρτες ευρέως πεδίου, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε μια άλλη μέθοδο, αλλά να είστε βέβαιος να προσδιορίσετε τον χάρτη όσο το δυνατόν πληρέστερα.
- "Comp, check stars": Χρησιμοποιήστε τα μεγέθη οργάνου όπως καθορίζεται ανωτέρω.
- "Airmass": Χρησιμοποιήστε τις μέσες τιμές αέριας μάζας μεταξύ των αστέρων στόχου και συγκρίσεως.
- "Group": Αν υποβάλλετε B, G, R μεγέθη από μια ενιαία εικόνα, υποδηλώστε το δίνοντας στις τρεις μετρήσεις τον ίδιο αριθμό ομάδας. Βοηθά στην ταυτοποίηση ότι τα μεγέθη λήφθηκαν από την ίδια εικόνα. Σημειώστε ότι αυτό το εγχειρίδιο περιγράφει τη διαδικασία μόνο για το κανάλι του πράσινου, προκειμένου να απλοποιηθεί η εξήγηση. Τα B και R κανάλια δεν ανταποκρίνονται καλά σε τυπικές ζώνες Johnson-Cousins B και R.

Αφού πατήσετε το Submit Observation (Υποβολή Παρατηρήσεων), θα σας δοθεί η ευκαιρία να εξετάσετε την υποβολή σας και να επιβεβαιώσετε ότι είναι σωστή.

Η άλλη μέθοδος της υποβολής των δεδομένων είναι πιο περίπλοκη και περιλαμβάνει την υποβολή ενός αρχείου παρατηρήσεων αντί για μια κάθε φορά. Τα περισσότερα πακέτα λογισμικού παρέχουν μια μορφοποίηση δεδομένων που ονομάζεται "AAVSO Extended Format", που είναι ό, τι πρέπει να χρησιμοποιήσετε ως είδος αρχείου. Να είστε βέβαιος ότι το "obstype" σε αυτό το αρχείο εξόδου έχει οριστεί σε DSLR. Υπάρχει μια επιλογή στο WebObs για να αναζητήσετε το αρχείο σας και στη συνέχεια να το υποβάλετε, με μια διαδικασία ελέγχου και άδειας παρόμοια με εκείνη για μεμονωμένες παρατηρήσεις.

Θα πρέπει να πάτε στο Light Curve Generator μετά την υποβολή και να δείτε πώς συγκρίνονται τα δεδομένα σας με αυτά από άλλους παρατηρητές. Είναι διασκεδαστικό να βλέπετε μια καμπύλη φωτός που δημιουργείται σε πραγματικό χρόνο!

Κεφάλαιο 7: Διαμόρφωση προγράμματος παρατηρήσεων με DSLR

7.1 Αποφασίζοντας τι να παρατηρήσετε

Μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις που αντιμετωπίζει ένας νέος παρατηρητής είναι να αποφασίσει ποιούς από τις εκατοντάδες χιλιάδες των γνωστών μεταβλητών αστερών θα παρατηρήσει. Πού θα βρείτε καταλόγους των άστρων; Πώς μπορείτε να αποφασίσετε ποια αστέρια είναι κατάλληλα για τον εξοπλισμό σας; Πώς θα αποκτήσετε χάρτες που δείχνουν το μεταβλητό και τα γύρω άστρα και πώς θα αποφασίσετε ποια θα χρησιμοποιηθούν ως αστέρες συγκρίσεως;

Σε μια προσπάθεια να απλουστευθεί η διαδικασία λήψης αποφάσεων, παρέχουμε μια λίστα με 10 αστέρες για παρατηρητές στο βόρειο ημισφαίριο και 10 αστέρες για όσους είναι στο νότιο, που θεωρούμε ότι είναι κατάλληλα για τους νεοεισερχόμενους.

7.1.1 Σχετικά με τον εξοπλισμό

Η γνώση των περιορισμών και των δυνατοτήτων του εξοπλισμού σας είναι σημαντική. Τι μεγέθους είναι τα πιο αμυδρά άστρα που μπορείτε να εντοπίσετε με τον εξοπλισμό σας; Ποια είναι τα λαμπρότερα άστρα που θα πρέπει να προσπαθήσετε να παρατηρήσετε με το τηλεσκόπιό σας; Υπάρχει ένα όριο εκεί; Δεν χρειάζεται να γνωρίζετε τα πάντα για τις φωτογραφικές μηχανές DSLR. Απλά πρέπει να ξέρετε ό, τι μπορείτε για αυτές.

7.1.2 Σχετικά με την παρατήρηση

Το τι θα είστε σε θέση να παρατηρήσετε καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από την τοποθεσία παρατήρησης, τις συνθήκες του ουρανού, το πόσο συχνά μπορείτε να παρατηρείτε, πόσο χρόνο θα αφιερώνετε στην παρατήρηση και από τον τύπο του εξοπλισμού που χρησιμοποιείτε. Η εμπειρία σας έχει επίσης σημασία εδώ. Είσαι οργανωμένος και προετοιμασμένος; Ξέρετε τα πεδία των αστερών; Μπορείτε να σκοπεύσετε αποτελεσματικά το στόχο με τη φωτογραφική μηχανή σας; Ξέρετε πώς να πάρετε την υψηλότερη ακρίβεια μετρήσεων από τον εξοπλισμό σας;

7.1.3 Επιστημονική Αξία

Αργότερα, όταν αποφασίσετε να επεκτείνετε το πρόγραμμα παρατήρησης σας, υπάρχουν διάφορα κριτήρια που θα θέλετε να ληφθούν υπόψη.

Είναι σημαντικό να κατανοήσετε την αξία των παρατηρήσεων με DSLR και ποιοί αστέρες ή ποιοί τομείς έρευνας είναι πιο κατάλληλοι ώστε οι παρατηρητές με DSLR να προσφέρουν πολύτιμη συμβολή στην επιστήμη. Χρειάζεται ένας τρόπος για να αξιολογήσετε το τρέχον και το πιθανό μελλοντικό τοπίο της έρευνας μεταβλητών αστερών για να βρείτε τις απαντήσεις σε αυτά τα ερωτήματα. Ένας εύκολος τρόπος είναι να εξετάσετε τα προγράμματα παρατήρησης, τις ευκαιρίες και τις καμπάνιες που διοργανώνονται ή συνιστώνται από την AAVSO και άλλους οργανισμούς μεταβλητών αστερών.

7.1.4 Η παράμετρος «Διασκέδαση»

Εάν δεν θεωρείτε ότι αυτό είναι διασκέδαση, μην το κάνετε. Τι είναι διασκεδαστικό για σας; Είναι η πρόκληση; Είναι να βρίσκεστε έξω, σε επαφή με το Σύμπαν; Υπάρχουν κάποια αστέρια που θα θέλατε να μελετήσετε μόνο για τη χαρά της παρατήρησης; Πόσο σοβαροί πρέπει να είστε; Είναι κάποιο από αυτά σημαντικό; Μπορούμε να το λάβουμε σοβαρά υπόψη, να συνεισφέρουμε στην επιστήμη και ταυτόχρονα να εξακολουθήσουμε να διασκεδάζουμε;

Είτε το πιστεύετε είτε όχι, αυτό κάνει τη διαφορά. Θέλουμε να είστε επιτυχείς, ευτυχισμένοι και παραγωγικοί. Αν για σας η φωτομετρία δεν είναι διασκεδαστική, δεν θα είστε.

7.2 Ποιοί είναι κατάλληλοι αστέρες για να ξεκινήσουμε;

7.2.1 Λίστα στόχων

Έχουμε επιλέξει μερικούς στόχους για παρατηρητές και των δύο ημισφαιρίων (παρατίθενται παρακάτω στον Πίνακα 7.1) που βασίζονται σε μια σειρά κριτηρίων, τα οποία πιστεύουμε ότι τους καθιστούν χρήσιμους ως αστέρες εκμάθησης.

Είναι επιθυμητό για τους νεοφερμένους στη φωτομετρία DSLR, το εύρος μεταβολής του στόχου να είναι περισσότερο από 0,3 μεγέθη. Εάν είναι μικρότερο, είναι δύσκολο να πάρετε ακριβείς μετρήσεις εκτός αν οι συνθήκες του ουρανού είναι καλές. Για να δώσουμε στους καινούργιους μια πρόκληση, έχουμε επιλέξει ένα αστέρι – τον βήτα Κηφέως - το οποίο έχει μικρό εύρος. Υπέρ αυτού του αστέρα είναι πως βρίσκεται ψηλά στο βόρειο ημισφαίριο. Καθώς το φως από αυτό τον μεταβλητό δεν πρέπει να ταξιδέψει μέσα από όσο πάχος ατμόσφαιρας θα ήταν αν βρισκόταν κοντά στον ορίζοντα, είναι δυνατόν να επιτευχθεί μεγαλύτερη ακρίβεια. Έχουμε προσδιορίσει πως απαιτούνται 30 εικόνες για τον βήτα Cηρηί ώστε να καταστεί δυνατό να επιτευχθεί η αναγκαία ακρίβεια.

Δεν έχουμε επιλέξει αστέρες μεγέθους μικρότερου από 9 επειδή συνιστούμε ό, τι είναι εφικτό με τη χρήση μη-οδηγούμενης φωτογραφικής μηχανής σε ένα τρίποδο. Συνήθεις φακοί για DSLR είναι ο 85 mm, 100 mm, και 200 mm. Ο τελευταίος συγκεντρώνει περισσότερο φως και μπορεί να επιτρέψει φωτομετρία ακρίβεια έως το μέγεθος 9. Οι φακοί 85 mm και 100 mm, είναι καλό να χρησιμοποιούνται μέχρι περίπου το μέγεθος 8.

Πιστεύουμε ότι όλα τα αστέρια στην προτεινόμενη λίστα μας είναι εύκολο να βρεθούν με κοινά πλανηταρικά προγράμματα ή με βασική γνώση των φωτεινότερων άστρων στον ουρανό. Για πολλά από αυτά, έχουμε διευκολύνει την αναζήτηση με χάρτες που δείχνουν ολόκληρο τον αστερισμό για να προσανατολιστεί ο παρατηρητής, λαμβάνοντας υπόψη το πιθανό οπτικό πεδίο μιας DSLR με κοινό φακό. Αστέρες με τέτοιους χάρτες επισημαίνονται με διπλό αστερίσκο (**) στον Πίνακα 7.1. Αυτοί οι χάρτες είναι διαθέσιμοι να τους κατεβάσετε με τους οδηγούς εκμάθησης από το: <http://www.aavso.org/10-star-training>. Επιλέξτε τον κατάλληλο οδηγό για το δικό σας ημισφαίριο.

Για φωτομετρία ακριβείας απαιτείται ένας αριθμός αστέρων σύγκρισης και ένας αστέρας ελέγχου. Αυτό ονομάζεται **ensemble photometry**. Οι αστέρες συγκρίσεως και ελέγχου πρέπει να είναι κοντά στο μεταβλητό, έτσι ώστε το φως όλων να περνά κατά το μάλλον ή ήττον μέσα από το ίδιο πάχος της ατμόσφαιρας. Αν δε συμβαίνει αυτό, θα δημιουργηθούν σφάλματα, τα οποία θα καταστήσουν δύσκολη τη φωτομετρία ακριβείας. Αν μάλιστα τα άστρα είναι πολύ απομακρυσμένα μεταξύ τους, εργασία ακριβείας είναι αδύνατη.

Όλα τα άστρα που έχουμε επιλέξει είναι ενδιαφέροντα ή / και «διάσημα». Όλα είναι ενδιαφέροντα για τους επιστήμονες αστρονόμους. Όλα αποτυπώνουν σημαντικά στάδια στην εξέλιξη των άστρων. Ο Mira ανακαλύφθηκε το 1596 ως ο πρώτος μεταβλητός αστέρας. Ο μ Κηφέως (το μ γράφεται μιυ στον πίνακα, διότι αυτό είναι η επίσημη διεθνής αστρονομική ορθογραφία του εν λόγω ελληνικού γράμματος) είναι ένα μεγάλο αστέρι στα τελικά στάδια της εξέλιξης και σύντομα να γίνει σουπερνόβα. Θεωρούμε ότι ορισμένοι από τους συνιστώμενους αστέρες μας, είναι κατάλληλοι για λυκειακές εργασίες. Πολλοί από αυτούς έχουν εκτενείς αναφορές στο διαδίκτυο που είναι χρήσιμες για φοιτητικές εργασίες.

Μερικά από τα αστέρια που έχουμε επιλέξει έχουν κανονικές μεταβολές (όπως οι Κηφείδες και οι διπλοί εκλειπτικοί) και τρεις έχουν έναν κύκλο δραστηριότητας που συμπληρώνεται πλήρως σε πέντε ώρες. Μια μελέτη του κύκλου λοιπόν, μπορεί να ολοκληρωθεί σε ένα βράδυ.

Πίνακας 7.1. Συνιστώμενοι λαμπροί μεταβλητοί βορείου και νοτίου ημισφαιρίου για νεοεισερχόμενους.

ΒΟΡΕΙΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ					
Όνομα	Εποχή Παρατήρησης	Εύρος Λαμπρότητας	Τύπος Μεταβλητού	Περίοδος (ημέρες)	Σημειώσεις
Z UMa	Όλο το έτος	6.2 -9.4	Ημικανονικός μεταβλητός	195.5	Μπορεί να παρατηρείται κάθε 5 ημέρες. Ενδέχεται να χρειαστεί αλλαγή ρυθμίσεων για να αντιμετωπίσετε το μεγάλο εύρος λαμπρότητας
δ Κηφέως **	Όλο το έτος	3.49 – 4,36	Κλασικός Κηφείδης	5.366266	Μπορεί να παρατηρείται δύο φορές κάθε νύχτα ή πριν κάθε μεσάνυχτα. Ιστορικής σημασίας μεταβλητός με διακριτή καμπύλη φωτός. Οι αναφορές να γίνονται ως del Cep.
Algol β Περσέως	Αύγουστος έως Μάιος	2.09 – 3.30	Διπλός Εκλειπτικός	2.86736	Η έκλειψη διαρκεί πάνω από 8 ώρες. Οι μετρήσεις πρέπει να εκτείνονται τουλάχιστον 2 ώρες πριν και μετά το προβλεπόμενο ελάχιστο. Χρειάζονται πάνω από 10 μετρήσεις ανά 15 λεπτά για αξιόλογη καμπύλη φωτός. Οι αναφορές να γίνονται ως bet Per.
β Λύρας **	Απρίλιος έως Νοέμβριος	3.30 – 4.35	Διπλός Εκλειπτικός	12.94061713	Ημι-διαχωρισμένος εκλειπτικός (σε διαρκή έκλειψη). Το μεγαλύτερο μέρος του κύκλου απαιτεί 1 μέτρηση κάθε νύχτα. Κοντά στο πρωτεύον ελάχιστο (1.5 ημέρες), μπορούν να λαμβάνονται μετρήσεις κάθε ώρα. Οι αναφορές να γίνονται ως bet Lyr.
miu Cep **	Όλο το έτος	3.43 – 5.1	Ημικανονικός μεταβλητός	835	Μια μέτρηση κάθε νύχτα είναι αρκετή. Οι αναφορές να γίνονται ως miu Cep κι όχι ως mu Cep
η Αετού **	Απρίλιος έως Νοέμβριος	3.49 – 4.30	Κλασικός Κηφείδης	7,1769	Μπορεί να παρατηρείται δύο φορές κάθε νύχτα ή πριν κάθε μεσάνυχτα. Ιστορικής σημασίας μεταβλητός με διακριτή καμπύλη φωτός. Οι αναφορές να γίνονται ως eta Aql.
Mira * ο Κήτους	Αύγουστος ως Φεβρουάριος	2 – 10.1	Mira	331.96	Μετρήσεις για 100 ημέρες πριν και μετά το ελάχιστο. Οι αναφορές να γίνονται ως omi Cet.
R Lyr* **	Απρίλιος έως Νοέμβριος	3.81 – 4.44	Ημικανονικός μεταβλητός	46	Μια μέτρηση κάθε νύχτα είναι αρκετή
β Κηφέως	Όλο το έτος	3.16 – 3.27	Παλλόμενος μεταβλητός τύπου β Cep	0.1904881	Έχει πολύ μικρό εύρος που απαιτεί 30 εικόνες για κάθε μέτρηση σε καλές συνθήκες ουρανού. Έχει κανονική περίοδο και αλλάζει συνεχώς. Ένας πλήρης κύκλος μπορεί να παρατηρηθεί σε μία νύχτα με μετρήσεις κάθε 5 λεπτά. Οι αναφορές να γίνονται ως bet Cep.
BE Lyn	Οκτώβριος έως Απρίλιος	8.57 – 8.97	δ Scuti υψηλού εύρους (HADS)	0.09586954	Έχει σύντομη κανονική περίοδο που μπορεί να μελετηθεί σε μια νύχτα με 10 μετρήσεις ανά 5 λεπτά.
V474 Mon	Νοέμβριος έως Μάρτιος	5.94 – 6.31	δ Scuti υψηλού εύρους (HADS)	0.136126	Έχει σύντομη κανονική περίοδο που μπορεί να μελετηθεί σε μια νύχτα με 10 μετρήσεις ανά 5 λεπτά.

ΝΟΤΙΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ					
W Sgr **	Μάρτιος έως Οκτώβριος	4.29 – 5.14	Κλασικός Κηφείδης	7.59503	Τριπλό σύστημα αποτελούμενο από τον Κηφείδη, ένα κοντινό νάνο F5 και έναν απομακρυσμένο αστέρα A0.
κ Ταώ ** (Παγωνιού)	Απρίλιος έως Νοέμβριος	3.91 – 4.78	Παλλόμενος μεταβλητός τύπου W Virginis	9.083	Μακράν ο λαμπρότερος Κηφείδης του Πληθυσμού II. Μικρότερης μάζας και χαμηλότερης λαμπρότητας από τους κλασικούς Κηφείδες. Παρουσιάζει απότομες αλλαγές της περιόδου που απαιτούν συνεχείς καταγραφές. Οι αναφορές να γίνονται ως καρ Pav.
β Δοράδος **	Σεπτέμβριος έως Απρίλιος	3.41 – 4.08	Κλασικός Κηφείδης	9.8426	Μόνο 0.1 μεγέθη αμυδρότερος του I Τρόπιδος παρακάτω. Οι κλασικοί Κηφείδες είναι μεγάλης μάζας νεαρά άστρα του πληθυσμού I. Οι αναφορές να γίνονται ως bet Dor.
I Τρόπιδος **	Δεκέμβριος έως Ιούλιος	3.22 – 4.12	Κλασικός Κηφείδης	35.562	Ο λαμπρότερος Κηφείδης στον ουρανό, μετά τον Πολικό σε σχέση με το φαινόμενο μέγεθος. Σημειώστε πως το I είναι το L μικρό. Οι αναφορές να γίνονται ως I Car.
R Car* **	Δεκέμβριος έως Αύγουστος	3.9 – 10.5	Mira	307	Χρειάζεται προσαρμογή ρυθμίσεων για να αντιμετωπίσετε το μεγάλο εύρος λαμπρότητας.
V Πρύμνης **	Οκτώβριος έως Μάιος	4.35 – 4.92	Διπλός εκλειπτικός	1.4544859	Εκλειπτικός τύπου β Λύρας. Η λαμπρότητα αλλάζει διαρκώς λόγω του ελλειψοειδούς σχήματος των άστρων. Οι αναφορές να γίνονται ως V Pup.
R Dor * **	Οκτώβριος έως Μάιος	4.78 – 6.32	Ημικανονικός μεταβλητός	172	Ημικανονικός μεταβλητός που παρουσιάζει δύο μέγιστα και έντονες αλλαγές εύρους από κύκλο σε κύκλο. Ένα από τα μεγαλύτερα άστρα του οποίου η διάμετρος μετρήθηκε συμβολομετρικά.
ζ Φοίνικος **	Ιούλιος έως Φεβρουάριος	3.94 – 4.42	Διπλός εκλειπτικός	1.6697671	Εκλειπτικός τύπου Algol. Τον περισσότερο χρόνο βρίσκεται σε κατάσταση μεγίστου φωτός κι έτσι η καταγραφή του ελαχίστου απαιτεί υπομονή. Οι αναφορές να γίνονται ως zeta Phe.
RY Λαγού	Οκτώβριος έως Μάιος	8.05 – 8.46	δ Scuti υψηλού εύρους (HADS)	0.2251475	Ένας πλήρης κύκλος μπορεί να μελετηθεί σε μια νύχτα με μετρήσεις ανά 5 λεπτά. Οι αναφορές να γίνονται ως RY Lep.
RS Γερανού	Ιούνιος έως Ιανουάριος	7.94 – 8.48	δ Scuti υψηλού εύρους (HADS)	0.1470117	Έχει σύντομη κανονική περίοδο που μπορεί να μελετηθεί σε μια νύχτα με 10 μετρήσεις ανά 5 λεπτά. Οι αναφορές να γίνονται ως RS Gru.

*. Σημείωση: Ερυθρός μεταβλητός. Ενδέχεται σε μη-μετασχηματισμένα μεγέθη DSLR, να αποδοθεί ως υπερβολικά λαμπρός.

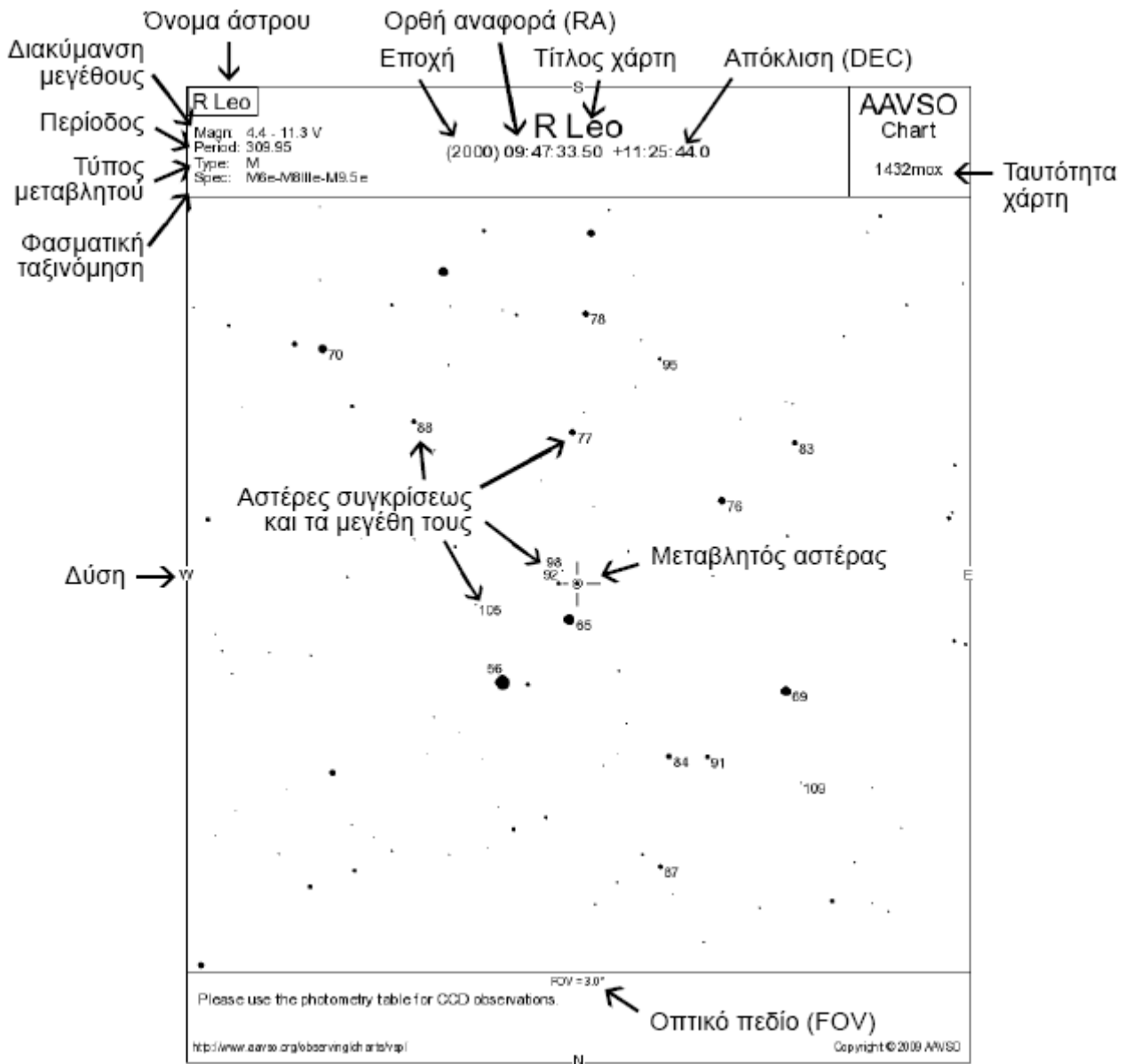
** Σημείωση: Υπάρχει χάρτης γι αυτό τον μεταβλητό στον οδηγό εκμάθησης 10 αστέρων (βόρειο ημισφαίριο) ή 11 αστέρων (νότιο ημισφαίριο).

7.2.2 Προγραμματισμός παρατήρησης

Μια σειρά από παράγοντες συμβάλλουν στον σχεδιασμό μιας βραδιάς παρατήρησης. Θα πρέπει να γίνει εκτίμηση του αριθμού των ωρών που θα είναι διαθέσιμες για την παρατήρηση. Μπορεί να έχετε μία ώρα, λίγες ώρες ή μια ολόκληρη νύχτα. Αν έχετε μια ώρα, τότε δεν θα είστε σε θέση να παρατηρήσετε ένα διπλό εκλειπτικό που θα απαιτήσει μετρήσεις πάνω από τέσσερις ή περισσότερες ώρες. Αλλά σε μία ώρα μπορεί να είστε σε θέση να μετρήσετε πέντε αστέρες που χρειάζονται μόνο μία μέτρηση ανά νύχτα. Μπορεί η πρόγνωση του καιρού να είναι ξάστερος για όλη τη νύχτα, αλλά δεν θα παρατηρήσετε ένα διπλό εκλειπτικό επειδή δεν προβλέπεται έκλειψη για εκείνη τη νύχτα. Ένα κατάλληλο άστρο μπορεί να δύει πολύ σύντομα για μέτρηση ή δεν έχει ανέβει αρκετά ψηλά μέχρι μετά τα μεσάνυχτα. Μερικά αστέρια παρατηρούνται μόνο συγκεκριμένες εποχές. Άλλες φορές είναι κάτω από τον ορίζοντα ή πολύ κοντά στον ήλιο. Ωστόσο, μερικά αστέρια θα είναι πάντα εν δυνάμει βόρειοι στόχοι, όπως οι δέλτα και βήτα Κηφέως. Μερικές φορές μια ενδιαφέρουσα και αποδοτική βραδινή εργασία μπορεί να αφορά δοκιμές και ρυθμίσεις του εξοπλισμού. Μπορείτε να ελέγξετε την διαφορά μεγέθους δύο αμετάβλητων αστέρων. Ένα άλλο αξιόλογο πείραμα είναι να ελέγξετε την ακρίβεια των μετρήσεων κατά τη λήψη δέκα, είκοσι ή τριάντα εικόνων. Αν σκοπεύετε να παρατηρήσετε κάμποσα άστρα σε μια νύχτα, φροντίστε να σημειώσετε προσεκτικά τις αλλαγές που πρέπει να κάνετε στις ρυθμίσεις καθώς κινείστε από το ένα άστρο στο άλλο. Είναι πολύ εύκολο να ξεχάσετε να αλλάξετε τις ρυθμίσεις, όταν είστε κουρασμένοι αργά το βράδυ. Εάν είστε οπτικός παρατηρητής μεταβλητών αστέρων μπορείτε φυσικά, να επιλέξετε να μελετήσετε ένα αγαπημένο αστέρι εφαρμόζοντας τις αρχές του παρόντος εγχειριδίου.

7.2.3 Ερευνητικοί χάρτες και Χάρτες αστέρων συγκρίσεως με φωτομετρικούς πίνακες

Ο εντοπισμός ενός μεταβλητού αστέρα είναι δεξιότητα που μαθαίνεται. Πρέπει να χρησιμοποιούνται ερευνητικοί χάρτες με ορθά καθορισμένη ακολουθία οπτικών μεγεθών των αστέρων συγκρίσεως. Προτρέπουμε τους παρατηρητές να χρησιμοποιούν τους συγκεκριμένους χάρτες για να αποφεύγεται η ασυμφωνία που μπορεί να προκύψει όταν αντλούνται μεγέθη για τον ίδιο αστέρα συγκρίσεως από διαφορετικές ομάδες χαρτών. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα να καταγραφούν δύο διαφορετικές τιμές μεταβολής για το ίδιο άστρο, την ίδια νύχτα.



Εικόνα 7.1. Παράδειγμα χάρτη της AAVSO για τον R Λέοντος με επεξήγηση των πληροφοριών που περιέχονται σ' αυτόν. Δημιουργήθηκε με το VSP (βλέπε παρακάτω)

AAVSO Variable Star Plotter (VSP)

Οι τυπικοί χάρτες της AAVSO δημιουργούνται τώρα με την on-line εφαρμογή Variable Star Plotter (VSP). Αυτοί έχουν αντικαταστήσει πλήρως τους παλιούς, προκατασκευασμένους έντυπους ή ηλεκτρονικούς χάρτες. Όταν πηγαίνετε στην σελίδα VSP (<http://www.aavso.org/vsp>), εμφανίζεται μια φόρμα που ζητά παραμέτρους για το χάρτη μαζί με κάποια επεξήγηση του VSP εν γένει και ένα σύνδεσμο για ένα γρήγορο οδηγό (στην ενότητα How Can I Get Help) (βλέπε παρακάτω).

Σύντομος οδηγός VSP

Ένα απλό τυπικό παράδειγμα (για τον R Λέοντος) θα δείξει πόσο εύκολο είναι να δημιουργηθεί ένας χάρτης.

Πηγαίνετε στη σελίδα του VSP (www.aavso.org/vsp). Χρησιμοποιήστε την ενότητα "Plot a Quick Chart..." στην κορυφή της φόρμας:

1. Εισάγετε το όνομα του άστρου π.χ. "R Leo", χωρίς τα εισαγωγικά, στο πλαίσιο "What is the name, designation or AUID of the object?". Πεζά ή κεφαλαία δεν έχει σημασία.
2. Επιλέξτε την κλίμακα του χάρτη από το καταδυόμενο μενού στο "Choose a predefined chart scale". Στο παράδειγμά μας επιλέγουμε κλίμακα "B" που αντιστοιχεί σε οπτικό πεδίο 3°.
3. Δεχόμαστε τις προκαθορισμένες επιλογές για το υπόλοιπο της φόρμας.
4. Πατάμε το κουμπί "Plot Chart".

Θα ανοίξει ένα νέο παράθυρο με το χάρτη με μορφοποίηση γραφικών .png. Δείτε στην εικόνα 7.1 το χάρτη που δημιουργήθηκε με την παραπάνω διαδικασία.

Ακολουθεί επεξήγηση της online φόρμας του VSP:

WHAT IS THE NAME, DESIGNATION OR AUID OF THE OBJECT?

Εισάγετε είτε το όνομα του αστέρα ή άλλο αναγνωριστικό του σ'αυτό το πεδίο. Εναλλακτικά, μπορείτε να εισάγετε την Ορθή Αναφορά (RA) και την Απόκλιση (DEC) του κέντρου που επιθυμείτε να έχει ο χάρτης στα αντίστοιχα κουτιά κάτω από την κεφαλίδα "PLOT ON COORDINATES".

CHOOSE A PREDEFINED CHART SCALE

Αυτό το καταδυόμενο μενού σας επιτρέπει να θέσετε το οπτικό πεδίο σε συμφωνία με την κλίμακα των παλαιότερων ερευνητικών χαρτών. Στο μενού θα δείτε τις επιλογές 'A', 'AB', 'B', 'C' κλπ. Για παράδειγμα, ο χάρτης κλίμακας 'A' απεικονίζει περιοχή 15° στον ουρανό με αστέρες έως το 9ο μέγεθος. Ο χάρτης κλίμακας 'B' απεικονίζει 3° στον ουρανό και αστρα έως (ή σειρά χαρτών) που καλύπτουν την κλίμακα μεγεθών του μεταβλητού που παρατηρείτε, κάτι που επίσης καθορίζεται από τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείτε. Ο πίνακας 7.2 δίνει τις προκαθορισμένες κλίμακες χαρτών της AAVSO.

Πίνακας 7.2. Προκαθορισμένες κλίμακες χαρτών της AAVSO

	Γωνία/mm	Επιφάνεια	Κατάλληλος για:
A	5 πρώτα	15 μοίρες	Κιάλια / ερευνητή
AB	2.5 πρώτα	7.5 μοίρες	Κιάλια / ερευνητή
B	1 πρώτο	3 μοίρες	Μικρό τηλεσκόπιο
C	40 δεύτερα	2 μοίρες	Τηλεσκόπιο 3–4"
D	20 δεύτερα	1 μοίρα	Τηλεσκόπιο ≥ 4"
E	10 δεύτερα	30 πρώτα	Μεγάλο τηλεσκόπιο
F	5 δεύτερα	15 πρώτα	
G	2.5 δεύτερα	7.5 πρώτα	

CHOOSE A CHART ORIENTATION

Αυτή η επιλογή θα σας βοηθήσει να δημιουργήσετε ένα χάρτη τον οποίο όταν κοιτάτε σωστά, να δείχνει τα αστρα με τον ίδιο προσανατολισμό που φαίνονται μέσα από τον εξοπλισμό παρατήρησης. Για παράδειγμα, αν το τηλεσκόπιό μας δίνει ανεστραμένο είδωλο – όπως ένα διοπτρικό ή κατοπτρικό χωρίς διαγώνιο – θα επιλέξουμε να χρησιμοποιήσουμε την επιλογή "Visual" που δημιουργεί χάρτη με το Νότο στην κορυφή και τη Δύση στα αριστερά. Αν χρησιμοποιούμε διαγώνιο θα επιλέξουμε τη "Reversed" που δημιουργεί χάρτη με το Βορρά στην κορυφή και την Δύση στα αριστερά. Η επιλογή "CCD" δημιουργεί χάρτη με το Βορρά στην κορυφή και την Ανατολή αριστερά που μπορεί επίσης να είναι χρήσιμος για παρατήρηση με κιάλια ή γυμνό μάτι.

DO YOU WANT A CHART OR A LIST OF FIELD PHOTOMETRY?

Οι οπτικοί παρατηρητές θα επιλέξουν “Chart”. Οι παρατηρητές μέσω CCD ή φωτομέτρων (PEP) που θέλουν πρόσβαση σε φωτομετρία ακριβείας των αστερών συγκρίσεως, μπορεί να θέλουν να επιλέξουν “Photometry Table” και να λάβουν ένα πίνακα με φωτομετρία σε πολλά μήκη κύματος αντί για χάρτη.

DO YOU HAVE A CHART ID?

Κάθε χάρτης ετοιμάζεται με την ταυτότητα χάρτη (chart ID) στην άνω δεξιά γωνία. Αυτός ο αλφαριθμητικός συνδυασμός πρέπει να αναφέρεται με τις παρατηρήσεις σας. Αν θέλετε να ξανατυπώσετε ένα χάρτη που χάσατε, απλώς πληκτρολογήστε εδώ την ταυτότητα χάρτη και αυτός θα δημιουργηθεί χρησιμοποιώντας όλες τις ρυθμίσεις που είχατε όταν τον πρωτοσχεδιάσατε. Αυτό επίσης μπορεί να είναι χρήσιμο αν θέλετε να κοινοποιήσετε τις πληροφορίες που σχετίζονται μ'αυτό το χάρτη, σε άλλους ανθρώπους.

PLOT ON COORDINATES

Αντί να πληκτρολογήσετε το όνομα ενός μεταβλητού, μπορείτε να εισάγετε την Ορθή Αναφορά (RA) και την Απόκλιση (DEC) του κέντρου του χάρτη που δημιουργείτε. Όταν εισάγετε συντεταγμένες πρέπει να χωρίζετε τις ώρες, πρώτα και δεύτερα λεπτά ορθής αναφοράς με κενό διάστημα ή άνω-κάτω τελείες. Το ίδιο ισχύει για τις μοίρες, πρώτα και δεύτερα λεπτά τόξου της απόκλισης.

WHAT WILL THE TITLE FOR THE CHART BE?

Ο τίτλος θα είναι μια λέξη ή φράση που θέλετε να γραφεί στην κορυφή του χάρτη. Δεν είναι απαραίτητο να εισαχθεί κάτι, εντούτοις ένας σύντομος τίτλος μπορεί να φανεί πολύ χρήσιμος. Περιλάβετε το όνομα του αστερά και τον τύπο του χάρτη όπως: “R Leonis Χάρτης Β”. Τα μεγάλα γράμματα φαίνονται ευκολότερα στο σκοτάδι και η κλίμακα του χάρτη θα είναι χρήσιμη. Αν αφήσετε αυτό το πεδίο κενό, εκεί θα εμφανιστεί το όνομα του μεταβλητού.

WHAT COMMENTS SHOULD BE DISPLAYED ON THIS CHART?

Το πεδίο Σχολίων μπορεί επίσης να αφεθεί κενό αλλά αν δημιουργήσετε χάρτη για συγκεκριμένο σκοπό που δε μπορεί να περιέχεται στον τίτλο, εδώ είναι το μέρος που μπορεί να περιληφθεί. Τα σχόλια θα εισαχθούν στο κάτω μέρος της σελίδας.

FIELD OF VIEW

Αυτό είναι το οπτικό πεδίο του χάρτη εκφρασμένο σε πρώτα λεπτά της μοίρας. Αποδεκτές τιμές είναι από 1 έως 1200 πρώτα λεπτά. Αν χρησιμοποιήσετε προκαθορισμένη κλίμακα από το καταδυόμενο μενού, το πεδίο θα συμπληρωθεί αυτόματα.

MAGNITUDE LIMIT

Αυτό είναι το όριο μεγεθών του πεδίου και αστέρες αμυδρότεροι από αυτό δε θα σχεδιαστούν. Προσέξτε να μην θέσετε πολύ αμυδρό όριο. Αν το πεδίο του άστρου που θέλετε να σχεδιάσετε είναι πάνω στο γαλαξιακό επίπεδο, θα καταλήξετε να έχετε ένα χάρτη τελείως μαύρο από τα άστρα!

RESOLUTION

Αυτό αναφέρεται στο μέγεθος του χάρτη όπως φαίνεται στην οθόνη του υπολογιστή. Ανάλυση 75 dpi είναι η προκαθορισμένη τιμή για ιστοσελίδες. Υψηλότερη ανάλυση θα δώσει καλύτερη ποιότητα, αλλά μεγάλες εικόνες ενδέχεται να μη χωρούν σε μία τυπωμένη σελίδα. Αν υπάρχει αμφιβολία, καλύτερα να χρησιμοποιείται η προκαθορισμένη τιμή.

WHAT NORTH - SOUTH ORIENTATION WOULD YOU LIKE? AND WHAT EAST -WEST ORIENTATION WOULD YOU LIKE?

Αυτά τα πεδία επιτρέπουν την περαιτέρω προσαρμογή του προσανατολισμού του χάρτη για να καλύψει ανάγκες του εξοπλισμού στην περίπτωση που χρειάζεστε κάτι διαφορετικό από τις επιλογές του ‘CHOOSE A CHART ORIENTATION’

WOULD YOU LIKE TO DISPLAY A DSS CHART?

Η προεπιλογή είναι να τυπωθεί ασπρόμαυρος χάρτης με κύκλους που αντιπροσωπεύουν τα άστρα. Αν αντίθετα προτιμάτε να έχετε μια αληθινή εικόνα του ουρανού, επιλέξτε “Yes” και θα σχεδιαστεί εικόνα από το Digitized Sky Survey. Οι χάρτες που δημιουργούνται μ'αυτή την επιλογή θα χρειαστούν περισσότερο χρόνο να προετοιμαστούν.

WHAT OTHER VARIABLE STARS SHOULD BE MARKED?

Μερικές φορές μπορεί να υπάρχουν περισσότεροι του ενός μεταβλητοί σε ένα πεδίο. Αν επιθυμείτε να φαίνονται κι αυτοί οι μεταβλητοί αστέρες στο χάρτη, επιλέξτε είτε "GCVS" ή "All". Οι μεταβλητοί του Γενικού Καταλόγου Μεταβλητών Αστέρων (GCVS) είναι πιο γνωστοί. Αν επιλέξετε "All" θα έχετε επιπλέον πολλούς νέους ή και πιθανούς μεταβλητούς που ενδέχεται να κάνουν το πεδίο δυσανάγνωστο από το πλήθος των άστρων.

WOULD YOU LIKE ALL MAGNITUDE LABELS TO HAVE LINES?

Επιλέγοντας "Yes", θα έχει ως αποτέλεσμα να σχεδιαστούν γραμμές από όλες τις ενδείξεις μεγεθών στα άστρα.

HOW WOULD YOU LIKE THE OUTPUT?

Επιλέξτε "Printable" για να δημιουργηθεί χάρτης κατάλληλος για εκτύπωση.

WOULD YOU LIKE A BINOCULAR CHART?

Αυτή την επιλογή παράγει χάρτες που επισημαίνουν μόνο ειδικά επιλεγμένους αστέρες συγκρίσεως χρήσιμους για την παρατήρηση άστρων στο Πρόγραμμα για Κιάλια της AAVSO. Σε γενικές γραμμές, αυτό σημαίνει ότι θα εμφανίζονται μόνο λίγοι αστέρες συγκρίσεως λαμπρότεροι του 9ου μεγέθους κοντά σε αυτά τα φωτεινά μεταβλητά άστρα. Θα ξέρετε όταν είστε σε αυτή την κατάσταση, διότι οι συγκεκριμένοι χάρτες επισημαίνονται σαφώς στην πάνω δεξιά γωνία. Θυμηθείτε να απενεργοποιήσετε αυτό το κουμπί όταν θέλετε να κάνετε ξανά χάρτες για τηλεσκόπιο.

Εφημερίδες για την πρόγνωση του πότε ένας μεταβλητός θα είναι λαμπρός ή αμυδρός

Μια εφημερίδα (ephemeris, πληθυντικός: ephemerides, από την ελληνική λέξη έφημερίς : "ημερολόγιο", "χρονικό") είναι ένας πίνακας τιμών που δίνει τους χρόνους και τις ημερομηνίες του μέσου των πρωτευόντων ελαχίστων ενός διπλού εκλειπτικού μεταβλητού ή, για παλλόμενους αστέρες (Κηφείδες και Mira) την ημερομηνία και την ώρα των μεγίστων. Οι εφημερίδες των άστρων από τη συνιστώμενη λίστα μας μπορούν να βρεθούν στον International Variable Star Index (VSX) της AAVSO <http://www.aavso.org/vsx/>

Πληκτρολογήστε το όνομα του αστεριού που θέλετε να παρατηρήσετε, για παράδειγμα W Sgr, και κάντε κλικ στο κουμπί "Αναζήτηση". Η σελίδα αποτελεσμάτων θα έχει ένα σύνδεσμο που ονομάζεται "Ephemeris" στην 12η γραμμή. Κάντε κλικ σε αυτό και θα εμφανιστούν τα επόμενα αρκετά μέγιστα αυτού του Κηφείδη. Σημείωση: Οι εφημερίδες, θα σας πουν τα επόμενα αρκετά μέγιστα για παλλόμενα άστρα όπως οι Κηφείδες και τα ελάχιστα για εκλειπτικούς μεταβλητούς.

Ύψος του στόχου κατά τη διάρκεια της παρατήρησης

Οι νεοφερμένοι στη φωτομετρία DSLR είναι σκόπιμο να μετρούν αστέρες που είναι τουλάχιστον 40 μοίρες πάνω από τον ορίζοντα. Όταν θα γίνετε πιο έμπειροι, μπορείτε να μάθετε τις τεχνικές που επιτρέπουν μετρήσεις μέχρι 20 μοίρες πάνω από τον ορίζοντα. Ο λόγος που οι μετρήσεις χαμηλού ύψους είναι δύσκολες, είναι ότι το φως πρέπει να ταξιδέψει μέσα από ένα μεγαλύτερο πάχος ατμόσφαιρας. Η διαφορά της διαδρομής του φωτός γίνεται τότε σημαντική ακόμη και όταν τα αστέρια (στόχος και συγκρίσεως) είναι αρκετά κοντά μεταξύ τους. Η μετρούμενη διαφορά σε μέγεθος μεταξύ των δύο άστρων μπορεί να επηρεαστεί σημαντικά από την ατμόσφαιρα, αν απέχουν λιγότερο από 40 μοίρες πάνω από τον ορίζοντα.

Αν ο μεταβλητός και ο αστέρας συγκρίσεως σας πλησιάσουν το ζενίθ κατά τη διάρκεια της νύχτας, τότε θα φαίνεται πιο φωτεινά από ό, τι όταν ήταν πιο κοντά στον ορίζοντα (αν και η διαφορά παραμένει η ίδια). Μπορεί να χρειαστεί να αλλάξετε τις ρυθμίσεις για να διατηρήσει ένα καλό λόγο σήματος προς θόρυβο.

Πρόγνωση καιρού – υγρασία, σημείο δρόσου, θερμοκρασία

Πάντα αξίζει τον κόπο να μελετάτε προσεκτικά την πρόγνωση του καιρού για την ερχόμενη νύχτα. Μπορεί να είναι μια πολλά υποσχόμενη βραδιά, αλλά να υπάρχουν διάσπαρτα νέφη θυσάνων, τα οποία καθίστανται αόρατα στο σκοτάδι και εμποδίζουν την καλή φωτομετρία. Μια φωτογραφική μηχανή DSLR είναι τόσο ευαίσθητη ώστε οι αμυδροί θύσανοι να κάνουν μεγάλη διαφορά. Μερικές φορές έχουμε την χαρά να βιώνουμε ένα διάφανο ουρανό (ανέφελο, χωρίς σκόνη και με χαμηλή υγρασία. Εκμεταλλευτείτε πλήρως μια τέτοια νύχτα, καθώς αυτές εμφανίζονται πολύ σπάνια στα περισσότερα μέρη του κόσμου). Αφήστε όλες τις προσωπικές / οικογενειακές / εργασιακές / κοινωνικές δεσμεύσεις και οργανωθείτε!

Αν προβλέπεται ομίχλη, η κάμερα και ο φακός σας μπορεί να θαμπώσουν. Αυτό μπορεί να συμβεί πριν από εμφανιστεί πραγματικά η ομίχλη, έτσι θα πρέπει να σχεδιάσετε τις μετρήσεις σας να ολοκληρωθούν πριν την άφιξη της ομίχλης. Δεν πρέπει να υπάρξει υγρασία στη φωτογραφική μηχανή σας, έτσι να είστε σε επιφυλακή αν συμβεί αυτό, δεδομένου ότι θα καταστρέψει τις μετρήσεις. Μπορείτε να ελαχιστοποιήσετε το πρόβλημα με τη μεταφορά του εξοπλισμού σας σε ένα δροσερό, αλλά ξηρό περιβάλλον (όπως ένα γκαράζ) μεταξύ των μετρήσεων. Μπορείτε να καλύψετε την κάμερα μεταξύ των μετρήσεων με μια πλαστική σακούλα, η οποία διατηρεί ξηρότερο περιβάλλον.

Εάν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι θερμότερη ή ψυχρότερη από εσωτερική θερμοκρασία του σπιτιού σας, καλό είναι να αφήσετε την κάμερα έξω για είκοσι λεπτά, έτσι ώστε να προσαρμοστεί θερμικά.

Αν ζείτε κοντά στη θάλασσα πρέπει να γνωρίζετε ότι η συμπύκνωση μπορεί να έχει άλατα, τα οποία είναι πολύ επιβλαβή για τη φωτογραφική μηχανή και τους φακούς.

Συνθήκες του ουρανού – φάση της Σελήνης

Παρά το γεγονός ότι το λαμπρό φεγγάρι μπορεί να έχει σημαντικό αντίκτυπο στις οπτικές παρατηρήσεις μεταβλητών αστερών, το αποτέλεσμα στις μετρήσεις με DSLR είναι αμελητέο. Το φως της Σελήνης δεν έχει καμία επίδραση στις μετρήσεις στο 50% του ουρανού αντιδιαμετρικά από τη Σελήνη. Υπό την προϋπόθεση πως φακός της κάμερας προστατεύεται με κάποιο κάλυμμα ή πέτασμα, οι μετρήσεις είναι δυνατόν να γίνουν πολύ κοντά σε ένα λαμπρό φεγγάρι με την προϋπόθεση πως δεν πέφτει το φως του κατευθείαν στο φακό της κάμερας. Ένας γενικός κανόνας θα μπορούσε να είναι ότι οι μόνες μετρήσεις που θα πρέπει να αποκλειστούν, είναι εκείνες των μεταβλητών στον αστερισμό των οποίων τυχαίνει να βρίσκεται η Σελήνη.

Πόσο συχνά πρέπει να παρατηρώ τα άστρα που με ενδιαφέρουν;

Ο Πίνακας 7.3 δίνει τη συνιστώμενη συχνότητα (ρυθμό) παρατήρησης για τους διάφορους τύπους μεταβλητών αστερών.

Πίνακας 7.3. συνιστώμενη συχνότητα παρατήρησης μεταβλητών αστερών.

ΤΥΠΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ (ημέρες)
Ενεργοί Γαλαξίες (AGN)	Οι ενεργοί γαλαξιακοί πυρήνες είναι οπτικώς μεταβλητά εξωγαλαξιακά αντικείμενα και περιλαμβάνονται μόνο για ιστορικούς λόγους ή συγκεκριμένα προγράμματα παρατήρησης. Τύποι κατά GCVS: GAL, BLLac, QSO	1
γ Κασσιόπης (GCAS)	Εκρηκτικοί ακανόνιστοι μεταβλητοί που εμφανίζουν γρήγορη περιστροφή και απώλεια ύλης από την ισημερινή ζώνη. Η δημιουργία ισημερινών δακτυλίων ή δίσκων συνοδεύεται από προσωρινή μεταβολή της λαμπρότητας με εύρος που φτάνει τα 1.5 μεγέθη στο V.	5-10
Ακανόνιστοι (Irregular)	Μεταβάλλονται αργά, χωρίς ή με πολύ ασθενή ένδειξη περιοδικότητας που εκδηλώνεται τυχαία. Συχνά, κάποια άστρα εντάσσονται σ' αυτή την κατηγορία επειδή έχουν μελετηθεί λίγο.	5-10
Mira (LPV) περίοδος <300 ημέρες	Μεταβλητοί κατηγορίας ο Κήτους, μακροπερίοδοι γίγαντες με εύρος από 2.5 έως 11 μεγέθη και περιόδους από 80 έως 1000 ημέρες.	5-7
Mira (LPV) περίοδος 300-400 ημ.		7-10
Mira (LPV) περίοδος >400 ημέρες		14
Καινοφανείς (N)	Στενά διπλά συστήματα με τροχιακές περιόδους από 0.05 έως 230 ημέρες. Το ένα μέλος είναι θερμός λευκός νάνος που ξαφνικά, σε διάστημα από μία έως μερικές εκατοντάδες ημέρες, αυξάνει τη λαμπρότητά του κατά 7-19 μεγέθη στο V. Κατόπιν, επιστρέφει αργά στην αρχική λαμπρότητα σε διάστημα μηνών έως δεκαετιών.	1
R Βορείας Στεφάνου (RCB)	Οι μεταβλητοί τύπου R CrB είναι υψηλής φωτεινότητας, φτωχοί σε υδρογόνο αλλά πλούσιοι	1

	σε άνθρακα και ήλιον. Ανήκουν στους φασματικούς τύπους Bpe-C και είναι ταυτόχρονα εκρηκτικοί και παλλόμενοι. Παρουσιάζουν μη περιοδική μείωση λαμπρότητας από 1-9 μεγέθη στο V, που διαρκούν από ένα μήνα έως αρκετές εκατοντάδες ημερών.	
Επαναληπτικοί καινοφανείς (NR)	Διαφέρουν από τους τυπικούς καινοφανείς στο ότι έχουν συμβεί δύο ή περισσότερες εκρήξεις (κι όχι μία), σε διάστημα 10 έως 100 ετών. Παραδείγματα οι T CrB και T Pyx	1
RV Ταύρου (RV)	Οι μεταβλητοί τύπου RV Ταυ είναι ακτινικά παλλόμενοι υπεργίγαντες. Οι καμπύλες φωτός χαρακτηρίζονται από διπλές αναπάσεις με εναλλασσόμενα πρωτεύοντα και δευτερεύοντα ελάχιστα που μπορεί να ποικίλουν τόσο σε μέγεθος ώστε τα πρωτεύοντα να γίνονται δευτερεύοντα και αντιστρόφως. Το εύρος μεταβολής είναι 3-4 μεγέθη και η περίοδος μεταξύ δυο διαδοχικών πρωτευόντων ελαχίστων (τυπική περίοδος) είναι από 30 έως 150 ημέρες.	2-5
S Δοράδος (SDOR)	Είναι υψηλής φωτεινότητας εκρηκτικοί μεταβλητοί που παρουσιάζουν ακανόνιστες μεταβολές εύρους 1-7 μεγεθών στο V. Είναι μεταξύ των λαμπρότερων μπλε άστρων των γαλαξιών, γενικά συνδέονται με διάχυτα νεφελώματα και περιβάλλονται από επεκτεινόμενα κελύφη. Παραδείγματα: 'P Cyg' και 'η Car'	5-10
Υπερκαινοφανείς (SNe)	Αστέρες που ως αποτέλεσμα της τελικής έκρηξης αυξάνουν τη λαμπρότητά τους κατά 20 ή περισσότερα μεγέθη, την οποία χάνουν με βραδύ ρυθμό και ανάλογα με το σχήμα της καμπύλης φωτός διακρίνονται στις κατηγορίες I και II	1
Ημικανονικοί (SR, SRA, SRB, SRC)	Είναι γίγαντες και υπεργίγαντες ενδιάμεσων και ύστερων φασματικών τύπων που παρουσιάζουν αξιοσημείωτη περιοδικότητα η οποία όμως συνοδεύεται ή διακόπτεται από ακανόνιστες μεταβολές. Οι περίοδοι είναι από 20 έως άνω των 2000 ημερών και το σχήμα των καμπυλών φωτός ποικίλει. Το εύρος μεταβολής μπορεί να είναι από μερικά εκατοστά ως μερικά μεγέθη, συνήθως όμως 1-2 μεγέθη στο V.	5-10
Νάνοι καινοφανείς (NL, UG, UGSS, UGSU, UGWZ, UGZ)	Οι νάνοι καινοφανείς ή μεταβλητοί τύπου U Gem, είναι στενά ζεύγη από ένα νάνο ή υπογίγαντα αστέρα που έχει καταλάβει τον όγκο του εσωτερικού λωβού Roche και ένα λευκό νάνο που περιβάλλεται από δίσκο προσαύξησης. Οι τροχιακές περίοδοι είναι 0.05-0.5 ημέρες. Κάποιες φορές η λαμπρότητα του συστήματος αυξάνεται κατά μερικά μεγέθη, επιστρέφοντας στην κανονική τιμή μετά από διάστημα μερικών ημερών ως ενός μηνός. Ανάλογα με τη μορφή των καμπυλών φωτός, διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: τύπου SS Κύκνου (UGSS), τύπου SU Μεγ. Άρκτου (UGSU) και τύπου Z Καμηλοπάρδαλης(UGZ)	1
Νεαροί αστέρες (YSOs) ενεργό στάδιο	Μεταβλητοί που δεν έχουν εισέλθει ακόμα στην Κύρια Ακολουθία. Μπορεί να είναι T Ταύρου, UXors, FUors ή EXors	1 ή συντομότερα
Νεαροί αστέρες (YSOs) ανενεργό στάδιο		2-5
Συμβιωτικά άστρα (ZAND)	Μεταβλητοί τύπου Z Ανδρομέδας, στενά ζεύγη από ένα θερμό άστρο και ένα άστρο ύστερου φασματικού τύπου, μέσα σε εκτεταμένο κέλυφος που προέρχεται από την ακτινοβολία του θερμού μέλους. Η συνολική λαμπρότητα παρουσιάζει ακανόνιστες μεταβολές έως 4 μεγεθών στο V	1

Εξάσκηση σε σταθερούς αστέρες

Πριν να δοκιμάσετε φωτομετρία σε μεταβλητά αστέρια μια πολύ καλή επιστημονική άσκηση είναι να φωτομετρήσετε μη μεταβλητούς αστέρες. Μπορείτε να επιλέξετε δύο κοντινά σταθερά άστρα και να μετρήσετε τη διαφορά στη φωτεινότητα. Μπορείτε να συγκρίνετε την εκτίμησή σας για τη διαφορά με την προβλεπόμενη. Θα διαπιστώσετε ότι αξιοποιώντας τις πρώτες καθαρές νύχτες σας για να κάνετε αυτές τις ασκήσεις στη φωτομετρία DSLR, θα είστε αποτελεσματικότεροι όταν αντιμετωπίσετε τους πρώτους μεταβλητούς αστέρες σας.

Αυτή είναι μια πολύ καλή μέθοδος για την ανάπτυξη των γνώσεων και των δεξιοτήτων σας με τον εξοπλισμό σας και τις ρυθμίσεις της κάμερας. Μπορείτε να πειραματιστείτε με την επίδραση της αλλαγής της διάρκειας της έκθεσης, το ISO και το f-stop. Μπορείτε να διερευνήσετε ποιες ρυθμίσεις παράγουν την πιο ακριβή μέτρηση. Μπορείτε να πειραματιστείτε με τον αριθμό των εικόνων που απαιτούνται για το καλύτερο αποτέλεσμα από ένα ελάχιστο δέκα ως ανώτατο πενήντα.

Μπορείτε να πειραματιστείτε με ένα ζεύγος άστρων που έχει διαφορά μεγέθους άνω του 0.5, μια διαφορά της τάξης του 0.2 και μια διαφορά της τάξης του 0.1. Μπορείτε να ανακαλύψετε για παράδειγμα, ότι μπορείτε να συγκρίνετε αστέρες με διαφορά της τάξης του 0.1 μεγέθους μόνο αν οι συνθήκες κατά την παρατήρηση είναι πολύ καλές.

Μπορείτε να πειραματιστείτε με ένα ζεύγος άστρων γύρω στο μέγεθος 3 και να συγκρίνετε τα συνολικά αποτελέσματά σας με τα δύο άλλα άστρα γύρω στο 7. Μπορείτε να διερευνήσετε το πρακτικό εύρος του φακού σας στο οποίο κάνει ακριβή φωτομετρία.

Κατά την επιλογή ενός ζεύγους άστρων πρέπει να βρείτε ένα ζευγάρι που είναι περίπου το ίδιο χρώμα. Αυτό συμβαίνει επειδή η προβλεπόμενη διαφορά σε μέγεθος έχει καθοριστεί για το μέγεθος Johnson V. Εκτός εάν τα αστέρια είναι σχεδόν ίδιου χρώματος, η διαφορά που θα βρείτε μπορεί να μην είναι σωστή, παρά την ορθότητα των ρυθμίσεων και των διαδικασιών σας.

Λίστα Ελέγχων

1. Χρησιμοποιήστε ένα ζεύγος άστρων περίπου ίδιου χρώματος.
2. Χρησιμοποιήστε ένα ζεύγος άστρων με διαφορά στο μέγεθος περίπου 0.5.
3. Χρησιμοποιήστε ένα ζεύγος άστρων με διαφορά στο μέγεθος περίπου 0.1.
4. Πειραματιστείτε με τον αριθμό των εικόνων (10 έως 50).
5. Πειραματιστείτε με τους χρόνους έκθεσης.
6. Πειραματιστείτε με τις ρυθμίσεις ISO 100 - 800.
7. Πειραματιστείτε με τις αλλαγές στο f-stop.
8. Πειραματιστείτε με το εύρος του φακού.
9. Πειραματιστείτε με ελαφρώς αφεστιασμένες εικόνες.
10. Πειραματιστείτε συγκρίνοντας την αφεστίαση με την αύξηση του χρόνου των εκθέσεων.

Παράρτημα Α: Καθορισμός Βέλτιστων Χρόνων Έκθεσης και Ορίων Κορεσμού

Η πρώτη σας νύχτες με την ψηφιακή φωτογραφική μηχανή στον ουρανό θα πρέπει να είναι «διασκέδαση». Εξασκηθείτε στη λήψη φωτογραφιών με την κάμερα τοποθετημένη σε ένα τρίποδο με βασικό φακό (π.χ., ό, τι φακό ήρθε με το σώμα της φωτογραφικής μηχανής σας) και λάβετε διάφορες εκθέσεις του ουρανού. Χρησιμοποιήστε χειροκίνητες ρυθμίσεις έκθεσης, ώστε να μπορείτε να πειραματιστείτε με το χρόνο έκθεσης και το διάφραγμα (χρησιμοποιήστε το ευρύτερο άνοιγμα για τις πρώτες σας εικόνες). Πειραματιστείτε για τον εντοπισμό αστερών που δεν μπορείτε να δείτε με γυμνό μάτι, ειδικά αστερισμούς αμυδρούς καθώς και φωτεινούς.

Όταν έρθει η ώρα να κάνετε φωτομετρία σε μεταβλητά άστρα και τη συνεισφορά σας στην επιστήμη, είναι σημαντικό να βρείτε το σωστό χρόνο έκθεσης για να αποφευχθεί ο κορεσμός των εικόνων. Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τη φωτογραφική μηχανή σας τοποθετημένη σε ένα τηλεσκόπιο για αμυδρούς αστέρες (μεγέθη ~ 7-12) ή με φακό (εστιακής απόστασης 55 - 200 χιλιοστών) σε τρίποδο για τα λαμπρότερα άστρα (λαμπρότερα από το 7^ο μέγεθος).

Καθορίστε τη βέλτιστη ταχύτητα κλείστρου

Πριν πάρετε τις εικόνες για να κάνετε φωτομετρικές παρατηρήσεις, θα πρέπει να βρείτε τους χρόνους που απαιτούνται για να μείνουν οι αστέρες σας στην περιοχή της σωστής έκθεσης (επαρκές σήμα, αλλά όχι κορεσμένοι). Επειδή ο βέλτιστος χρόνος της έκθεσής σας θα εξαρτηθεί εν μέρει από το αν η μηχανή σας θα παρακολουθεί την κίνηση του ουρανού, αρχίζουμε με τη συζήτηση πώς να στοχεύσουμε ένα αστρικό πεδίο με τρεις διαφορετικές μεθόδους: σε τρίποδο, με οδήγηση και στην κύρια εστία.

Φωτογραφική μηχανή σε τρίποδο

Με την κάμερα τοποθετημένη σε τρίποδο, θα πρέπει πρώτα να βρείτε το στόχο. Εάν έχετε τηλεφακό zoom αρχίστε τις παρατηρήσεις σας με το zoom ρυθμισμένο στο μικρότερο εστιακό μήκος. Με το συνηθισμένο όμως φακό zoom που έρχεται με το κιτ της DSLR, θα χρησιμοποιήσετε το μεγαλύτερο εστιακό μήκος του (συνήθως 55 χιλιοστά). Εάν επιθυμείτε να χρησιμοποιήσετε μια ενδιάμεση ρύθμιση εστιακού μήκους, προτείνεται να τον ασφαλίσετε με κολλητική ταινία, έτσι ώστε να μην αλλάξει κατά λάθος το zoom στη διάρκεια της νύχτας. Τα λαμπρά άστρα είναι συχνά πάρα πολύ αμυδρά για θέαση με γυμνό μάτι, αλλά πάρα πολύ λαμπρά για τηλεσκόπια εφοδιασμένα με ψυχόμενους αισθητήρες CCD. Η ψηφιακή φωτογραφική μηχανή όμως, ρυθμισμένη στο υψηλότερο ISO μπορεί να δει και να φωτογραφίσει πολλά αστέρια σε ουρανό με σχετική φωτορύπανση, που τα μάτια μας δεν μπορούν. Θα χρειαστείτε επίσης εκτύπωση των πεδίων των αστερών από ένα πλανηταριακό πρόγραμμα (ή χρησιμοποιήστε τους χάρτες της AAVSO εκτυπωμένους για το στόχο σας με οπτικό πεδίο συγκρίσιμο με της φωτογραφικής σας μηχανής). Επειδή οι αστέρες αναφοράς σας μπορεί να μην είναι ορατοί με τον ερευνητή, σας προτείνουμε να λάβετε μια σειρά εκθέσεων επαλήθευσης μόλις νομίζετε ότι έχετε στοχεύσει το πεδίο σας. Χρησιμοποιώντας την οθόνη της φωτογραφικής μηχανής σας για να δείτε την εικόνα, συγκρίνετε τα άστρα που διακρίνετε με τα αντίστοιχα στο χάρτη.

Στήριξη με οδήγηση

Αν έχετε πρόσβαση σε ένα τηλεσκόπιο GoTo, μπορείτε να τοποθετήσετε την κάμερα riggy-back πάνω στο τηλεσκόπιο και να ευθυγραμμίσετε τον άξονα της φωτογραφικής μηχανής κατά το δυνατόν παράλληλο με τον άξονα του τηλεσκοπίου. Τότε, η εύρεση του αστέρα γίνεται πολύ πιο απλή, και θα επωφεληθείτε από τη δυνατότητα να ακολουθείτε το αστρικό πεδίο μέσω του μηχανισμού οδήγησης του τηλεσκοπίου

Τοποθέτηση στην κύρια εστία (Prime focus)

Εάν τοποθετήσετε την κάμερα στην κύρια εστία του τηλεσκοπίου σας, θεωρείται δεδομένο ότι έχετε το τηλεσκόπιο προσανατολισμένο και τον ερευνητή ευθυγραμμισμένο ώστε να μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τη λειτουργία GoTo για να σκοπεύσετε με την κάμερά σας στο σωστό πεδίο. Λάβετε δοκιμαστικές εικόνες (μπορεί να χρειαστούν αρκετές) για να βεβαιωθείτε ότι ο στόχος είναι στο κέντρο της εικόνας σας. Ο τρόπος να ελεγχθεί αυτό, είναι να κατεβάσετε την εικόνα στον υπολογιστή σας και να τη δείτε με το πρόγραμμα φωτομετρίας.

Αφού στοχεύσετε με επιτυχία τη φωτογραφική μηχανή στο πεδίο (με τρίποδο, Piggy-Back, ή prime focus), είστε έτοιμοι να βρείτε το βέλτιστο χρόνο έκθεσης με τη ρύθμιση ISO στο 100 ή 200. Θα πρέπει να χρησιμοποιείτε αυτές τις ρυθμίσεις ISO (100 ή 200) για τη φωτομετρία ώστε να μετρήσει η φωτογραφική μηχανή σας μεγαλύτερο εύρος σημάτων (η "δυναμική περιοχή»), με καλύτερη ακρίβεια. Αν το εστιακό μήκος είναι μεγαλύτερο από περίπου 50 mm, ρυθμίστε το διάφραγμα f-stop σας στη χαμηλότερη τιμή (περισσότερο φως). Πρέπει να πειραματιστείτε με τη λήψη μιας σειράς φωτογραφιών του πεδίου με το ευρύτερο άνοιγμα της μηχανής, με σταθερή ρύθμιση ISO (100 ή 200) και μεταβάλλοντας το χρόνο έκθεσης από 1 δευτερόλεπτο σε 2, 4, 8, κλπ, μέχρι να θεωρήσουμε ότι τα πιο λαμπρά άστρα είναι κορεσμένα.

Εισάγετε αυτή τη σειρά των εικόνων στο πρόγραμμα επεξεργασίας εικόνας σας. [Προσοχή: το λογισμικό επεξεργασίας εικόνων μπορεί να δεσμεύει σημαντικό μέγεθος μνήμης του υπολογιστή αν ανοίξετε περισσότερες από λίγες εικόνες.] Εξάγετε τουλάχιστον ένα από τα πράσινα κανάλια (δείτε το εγχειρίδιο εικόνας για οδηγίες). Μην διορθώσετε με dark ή flat σε αυτό το στάδιο. Απομονώστε το πράσινο κανάλι για κάθε μια από τις εικόνες του πεδίου και ελέγξτε τις τιμές των ρίχει από τους λαμπρότερους αστέρες συγκρίσεως της κάθε εικόνας. Δείτε την κεφαλίδα FITS που δημιουργεί το λογισμικό επεξεργασίας εικόνας και βεβαιωθείτε ότι χρησιμοποιείτε την ακολουθία χρόνων έκθεσης που αναφέρονται παραπάνω και την ορθή ρύθμιση ISO (100 ή 200).

Το πεδίο πρέπει να περιέχει αρκετά άστρα με ικανό εύρος λαμπροτήτων. Φωτομετρείστε αυτούς τους αστέρες όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 5, τοποθετώντας το διάφραγμα μέτρησης πάνω από κάθε ένα και σημειώστε την αντίστοιχη τιμή ADU. Μετρήστε τα ίδια άστρα στην επόμενη εικόνα του ίδιου πεδίου. Θα μπορέσετε τότε να παρατηρήσετε πώς κλιμακώνονται οι τιμές ADU των αστέρων σε σχέση με το χρόνο. Οι τιμές των διαφόρων αστέρων θα πρέπει να αυξάνονται με τον ίδιο ρυθμό, έως ότου το λαμπρότερο άστρο φτάσει στον κόρο. Όταν βρείτε λοιπόν την εικόνα στην οποία οι φωτεινότεροι στόχοι είναι κορεσμένοι, καταγράψτε το χρόνο έκθεσης της αμέσως προηγούμενης, μη κορεσμένης εικόνας ως τον βέλτιστο χρόνο έκθεσης για αυτό το πεδίο ή και για οποιοδήποτε αστέρα έχει την ίδια φωτεινότητα. Μπορείτε να συνεχιστεί αυτή η διαδικασία για άλλα άστρα γνωστής φωτεινότητας μέχρι να κορεστούν πολύ και στη συνέχεια καταγράψτε τις βέλτιστες εκθέσεις με τα ίδια κριτήρια.

Η τήρηση αρχείων είναι πολύ σημαντική, οπότε θα πρέπει να καταγράφετε όχι μόνο το χρόνο έκθεσης, αλλά και τη ρύθμιση ISO, τον εστιακό λόγο που χρησιμοποιήθηκε (καθώς και το εστιακό μήκος του φακού, εάν αυτό μπορεί να αλλάξει). Οι μετρήσεις αυτές που κάνατε, θα παραμείνουν σε ισχύ για όλες σχεδόν τις μελλοντικές παρατηρήσεις εκτός από ειδικές περιστάσεις (π.χ., θολές ή μη φωτομετρικές συνθήκες, ή πιο φωτεινός ουρανός).

Παράρτημα Β: Έλεγχος γραμμικότητας και βαθμονόμηση της DSLR

Είναι σημαντικό στην απεικόνιση με DSLR και CCD, να μην είναι κορεσμένα τα άστρα στις εικόνες. Σκεφτείτε ένα μετρητή που μετρά τη φωτεινότητα ενός αντικειμένου, όπου η απόκριση της βελόνας αντιπροσωπεύει τη φωτεινότητα. Αν η φωτεινότητα είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη θέση της βελόνας, δεν είναι δυνατόν να μετρηθεί πλήρως. Είναι σημαντικό λοιπόν να ρυθμίσετε το χρόνο έκθεσης ή / και την τιμή ISO, έτσι ώστε οι εικόνες να μην είναι κορεσμένες. Ένα κοινό λάθος που κάνουν οι αρχάριοι είναι να υπερεκθέτουν τις εικόνες τους, με αποτέλεσμα να καταστρέφονται όλες οι φωτομετρικές τιμές.

Η κλίμακα γραμμικότητας μπορεί να ελεγχθεί με ένα πολύ απλό πείραμα.

1. Βρείτε μια επιφάνεια διάχυσης (π.χ. τοίχο) χρωματισμένη με ομοιόμορφο παστέλ χρώμα σε δωμάτιο που φωτίζεται από ένα μέτριως αμυδρό λαμπτήρα πυρακτώσεως ή λάμπα LED. Είναι καλύτερο να αποφευχθούν λαμπτήρες φθορισμού λόγω του τρεμοπαίγματος. Ρυθμίστε την DSLR σε χαμηλό ISO (100-200).

2. Φροντίστε να ρυθμίσετε τη DSLR σας σε μορφή RAW.

3. Χρησιμοποιήστε χειροκίνητη ρύθμιση έκθεσης, ώστε μπορείτε να επιλέξετε τόσο τον χρόνο έκθεσης, όσο και το διάφραγμα f-stop του φακού. Κάντε την αρχική έκθεση σας στο 1/20 sec στο f / 4 μέχρι f / 8.

4. Κοιτάξτε τα ιστογράμματα της έκθεσης που μόλις κάνατε χρησιμοποιώντας τη λειτουργία εμφάνισης ιστογράμματος για τη φωτογραφική μηχανή σας. Αν είστε σε μη κορεσμένη περιοχή, το ιστόγραμμα σας θα πρέπει να έχει στρογγυλεμένη κορυφή. Αν το ιστόγραμμα βρίσκεται πολύ προς τα δεξιά, μειώστε το χρόνο έκθεσης ή μειώστε τον αριθμό ISO (αν είναι δυνατόν). Αν το ιστόγραμμα βρίσκεται πολύ προς τα αριστερά, θα πρέπει να αυξήσετε την έκθεση. Είναι σημαντικό να πέφτουν οι έκθέσεις αστρικών πεδίων στη γραμμική περιοχή όπου οι εικόνες δεν εμφανίζουν υπερέκθεση.

5. Μην ξεχάσετε να καταγράψετε το χρόνο έκθεσης, την τιμή ISO και το f-stop ως συνθήκες φωτισμού σε ένα ημερολόγιο για μελλοντική αναφορά.

Μία άλλη μέθοδος ελέγχου της γραμμικότητας των εικόνων είναι να κάνουμε ένα παρόμοιο πείραμα με την εξέταση του μέσου όρου τιμών των εικονοστοιχείων μιας ορισμένης περιοχής της εικόνας της επιφάνειας διάχυσης για διάφορους χρόνους έκθεσης.

1. Ορίστε το άνοιγμα f-stop στην ίδια τιμή που χρησιμοποιήσατε στο προηγούμενο πείραμα, ρυθμίστε το χρόνο έκθεσης σε μια πολύ μικρή τιμή (περίπου το 1/10 της τιμής που διαπιστώθηκε για την "ορθή" έκθεση στο προηγούμενο πείραμα) και προχωρήστε στη λήψη διάφορων εικόνων της επιφάνειας διάχυσης. Κατά προτίμηση τοποθετήστε τη φωτογραφική μηχανή σε ένα τρίποδο και εστιάστε στην επιφάνεια. Για κάθε επόμενη εικόνα διπλασιάζετε το χρόνο έκθεσης και επαναλάβετε μέχρι το ιστόγραμμα στην οθόνη της κάμερας να δείχνει ότι η εικόνα είναι πλήρως κορεσμένη.

2. Τοποθετήστε κάθε RAW εικόνα σε ένα αστρονομικό πρόγραμμα επεξεργασίας εικόνας όπως το AIP4WIN ή το MAXIMDL.

3. Για κάθε μια, εξάγετε το πράσινο κανάλι (1α) των συστοιχιών Bayer. Υπάρχουν δύο πράσινα κανάλια για κάθε συστοιχία Bayer, συνήθως στις θέσεις 2 και 3.

4. Για κάθε πράσινο κανάλι της εικόνας, καταγράψτε τις τιμές των εικονοστοιχείων (ADUs = Αναλογικές Ψηφιακές Μονάδες = οι αριθμοί που αντιπροσωπεύουν τη φωτεινότητα του κάθε pixel) για μια μικρή περιοχή (10 x 10 εικονοστοιχείων, για παράδειγμα) κοντά στο κέντρο της εικόνας (φροντίστε να χρησιμοποιείτε την ίδια περιοχή pixel), καταγράψτε το χρόνο έκθεσης (ονομάζεται επίσης "integration time"), υπολογίστε και σχεδιάστε το γράφημα της μέσης τιμής των pixel σ' αυτή τη μικρή περιοχή (σε ADUs) ως συνάρτηση του χρόνου έκθεσης. Το γράφημα σας θα πρέπει να είναι γραμμικό μέχρι την τιμή κορεσμού, ενώ στη συνέχεια θα σταθεροποιείται. Πρέπει να διαχειρίζεστε άνετα την εισαγωγή δεδομένων σε ένα φύλλο εργασίας για να κάνετε αυτή τη διαδικασία. Αν το γράφημα φαίνεται ακανόνιστο ("θορυβώδες"), τότε δοκιμάστε δειγματοληψία και εξαγωγή μέσου όρου από μια μεγαλύτερη περιοχή των pixels, αλλά μην παραλείψετε να χρησιμοποιείτε τα ίδια pixel από εικόνα σε εικόνα, πριν από τη δημιουργία του γραφήματος. Μια άλλη αιτία της ακανόνιστης εμφάνισης μπορεί να είναι: αυξομειώσεις στην ένταση του φωτισμού μεταξύ των εικόνων, διαφορετική δειγματοληψία pixel από εικόνα σε εικόνα, ανομοιόμορφος φωτισμός, δειγματοληψία που περιλαμβάνει πολύ λίγα εικονοστοιχεία. Αν το γράφημα των pixel ως προς το χρόνο έκθεσης είναι κυρτό, αλλά δεν ακανόνιστο, τότε η εικόνα που κατεβαίνει από την κάμερα δεν είναι σε μορφή RAW ή η απόκριση της κάμερας είναι μη γραμμική. Το πλεονέκτημα των φωτογραφικών μηχανών DSLR είναι ότι οι RAW εικόνες δείχνουν γραμμική απόκριση στην λαμβανόμενη ποσότητα φωτός. Αυτό είναι μια εγγενής ιδιότητα των ανιχνευτών CCD και CMOS. Αν το γράφημα εξακολουθεί να είναι μη γραμμικό όταν χρησιμοποιείται μορφή raw, τότε μπορείτε να εξακολουθήσετε να κάνετε φωτομετρία με την κάμερά σας, κρατώντας τις εκθέσεις μέσα στη γραμμική περιοχή. *Μην ξεχάσετε να καταγράψετε τη ρύθμιση ISO και τη μεγαλύτερη επιτρεπόμενη τιμή ADU ώστε να αποφεύγεται ο κορεσμός. Η μέγιστη τιμή ADU εξαρτάται ελαφρώς από την τιμή ISO.* Επίσης, να θυμάστε ότι αλλάζοντας τη ρύθμιση ISO, θα αλλάξει τη διάρκεια του χρόνου έκθεσης πριν κορεστούν τα pixels για ένα δεδομένο αστέρι. Όταν φωτογραφίζετε αστέρες για φωτομετρία θα πρέπει να εξετάζετε το πράσινο κανάλι για τα λαμπρότερα άστρα που σκοπεύετε να μετρήσετε και να ρυθμίσετε το χρόνο έκθεσης αρκετά χαμηλά ώστε να αποφευχθεί κορεσμός, αρκετά μεγάλο όμως για να κάνει τα αστέρια ανιχνεύσιμα. Θυμηθείτε επίσης, ότι τα λαμπρότερα άστρα θα κορεστούν πριν τα αμυδρά και πριν το υπόβαθρο της εικόνας.

Παράρτημα Γ: Προκαταρκτική αξιολόγηση της βαθμονόμησης:

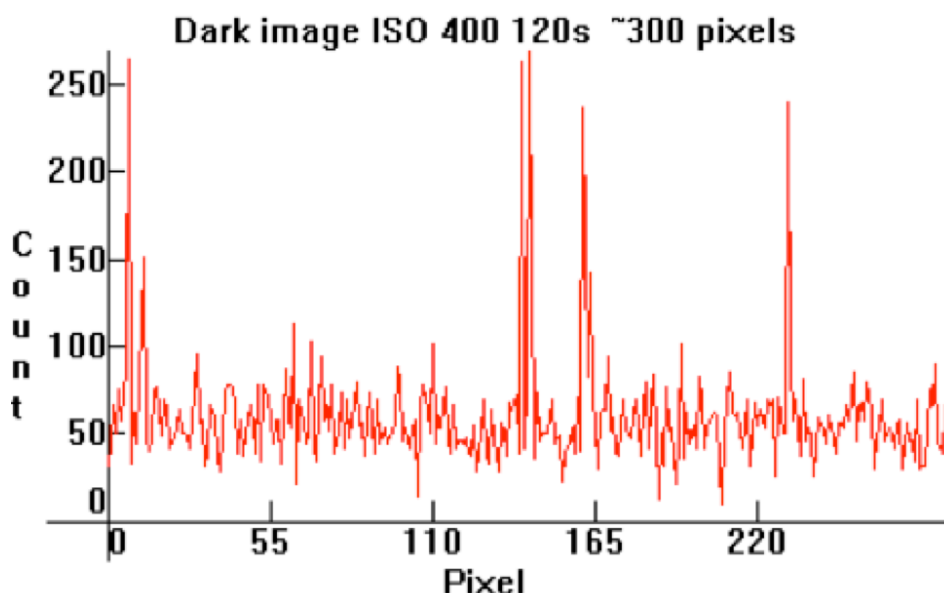
Ελέγχοντας τις εικόνες σκότους για Hot Pixels

Είναι σημαντικό να αξιολογήσετε τις εικόνες σας για διάφορα θέματα, όπως ο κορεσμός, το επίπεδο σήματος, η αφεστίαση, κ.λ.π. για να επιλέξετε τις βέλτιστες ρυθμίσεις για την κάμερά σας. Ενώ κάνετε αυτά τα βήματα, μπορούμε επίσης να καθορίσουμε τη θέση και το επίπεδο των πιθανών ελαττωμάτων του αισθητήρα, όπως τα hot pixel (ή dark impulses στην ορολογία της ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας). Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε αυτές τις πληροφορίες για να αποφασίσετε εάν χρειάζεται μια πιο προχωρημένη διαδικασία βαθμονόμησης με dark frames και να αποφευχθούν τυχόν μειονεκτήματα των διαφόρων τεχνικών.

Μια απλή λύση είναι να επεξεργαστείτε μια σειρά εικόνων με και χωρίς διαδικασία dark. Αν οι διαφορές είναι μόλις λίγα χιλιοστά του μεγέθους (millimagnitudes- mmag), σημαίνει πως τα hot pixel δεν αποτελούν πρόβλημα. Λίγα mmag θα μπορούσαν εύκολα να οφείλονται στην προσθήκη τυχαίου θορύβου από τη διόρθωση με master dark.

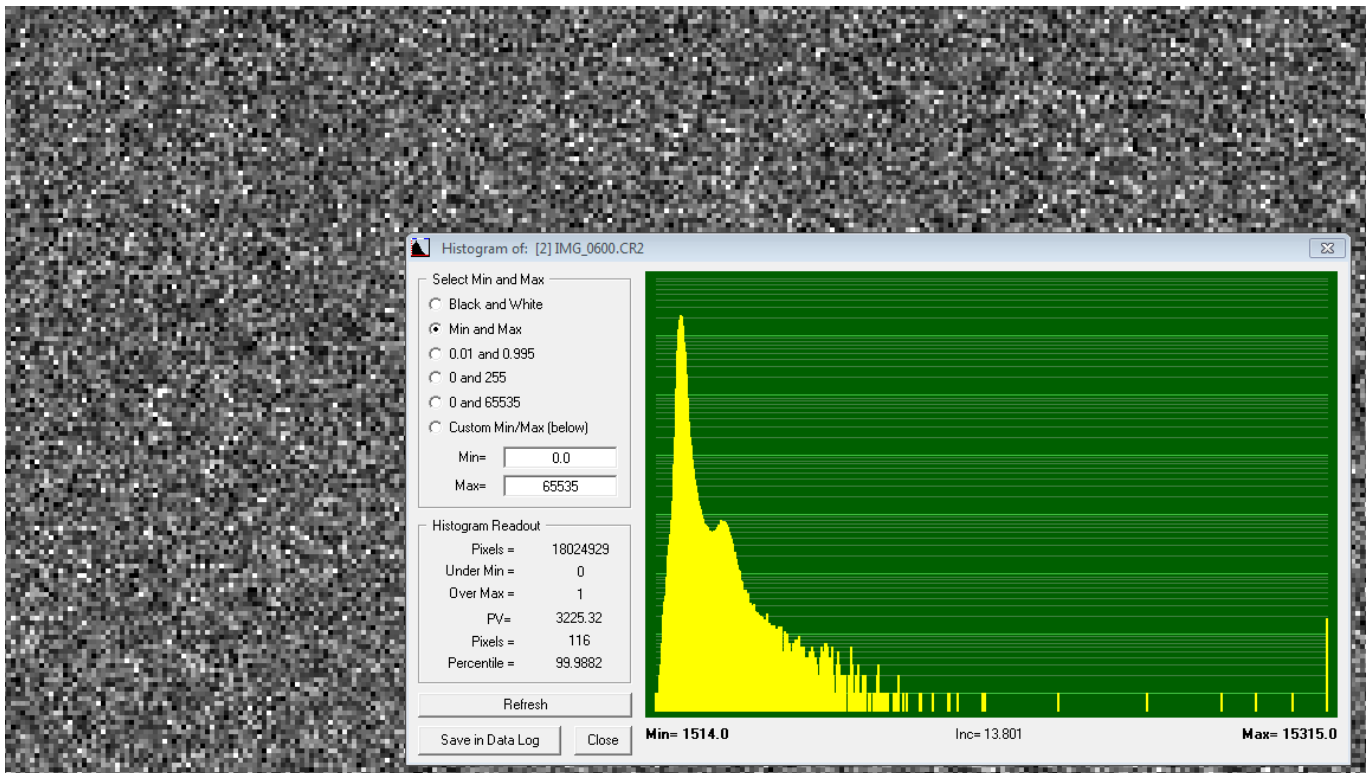
Ένας άλλος τρόπος είναι να δείτε και να μετρήσετε τα hot pixel με εργαλεία διαθέσιμα στα περισσότερα προγράμματα φωτομετρίας. Φορτώστε μια εικόνα dark, επιλέξτε μια μικρή περιοχή και μεγεθύνετε την στο σημείο που μπορείτε να δείτε καθαρά τα pixel σαν μικρά τετράγωνα. Ο τυχαίος θόρυβος είναι το σκούρο κοκκώδες υπόβαθρο. Τα hot pixel είναι ένας μικρός αριθμός φωτεινότερων pixels (π.χ., όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.2). Τα περισσότερα προγράμματα φωτομετρίας, σας επιτρέπουν να τοποθετήσετε το δρομέα πάνω από ένα pixel και να διαβάσετε την τιμή ADU.

Μπορείτε επίσης να χρησιμοποιήσετε τα εργαλεία γραφημάτων για να δείτε στατιστικές πληροφορίες σχετικά με τις εικόνες σας. Για παράδειγμα, στο Σχήμα Γ.1 δείχνουμε μέρος κάποιας γραμμής εικονοστοιχείων μιας εικόνας στην οποία τα hot pixel είναι προφανώς πολύ ισχυρότερα από τον τυχαίο θόρυβο του υποβάθρου. Εάν τα hot pixels δεν ήταν πολύ υψηλότερα από ό, τι το υπόβαθρο, θα μπορούσαμε να τα θεωρήσουμε αμελητέα και δεν θα εφαρμόζαμε τη διαδικασία των dark.



Εικόνα Γ.1. Προφίλ γραμμής που εμφανίζει τιμές ADU κατά μήκος ενός τμήματος περίπου 300 pixel μιας εικόνας μακράς έκθεσης. Οι διακυμάνσεις περίπου ~ 50 μονάδων (ADU) οφείλονται σε τυχαίο θόρυβο. Οι προεξέχουσες αιχμές είναι hot pixel. (εικόνα από τον Roger Pieri)

Αν σας αρέσει η στατιστική, μπορείτε να δημιουργήσετε ένα ιστόγραμμα της εικόνας σας, όπως αυτό που φαίνεται στο Σχήμα Γ.2. Η μεγάλη κορυφή με μέσο όρο ~ 1800 ADU είναι η κατανομή του τυχαίου θορύβου ρεύματος σκότους. Η δευτερεύουσα αιχμή στα ~ 2500 ADU δείχνει ένα ελαφρώς διαφορετικό πληθυσμό pixels που έχουν περισσότερο ρεύμα σκότους. Τα πλάτη αυτών των Γκαουσιανών θα αυξάνονται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία του αισθητήρα. Η ουρά στα δεξιά είναι κλασικά hot pixels, με πολύ μεγαλύτερη απόκριση ρεύματος σκότους από την πλειοψηφία των εικονοστοιχείων του αισθητήρα.

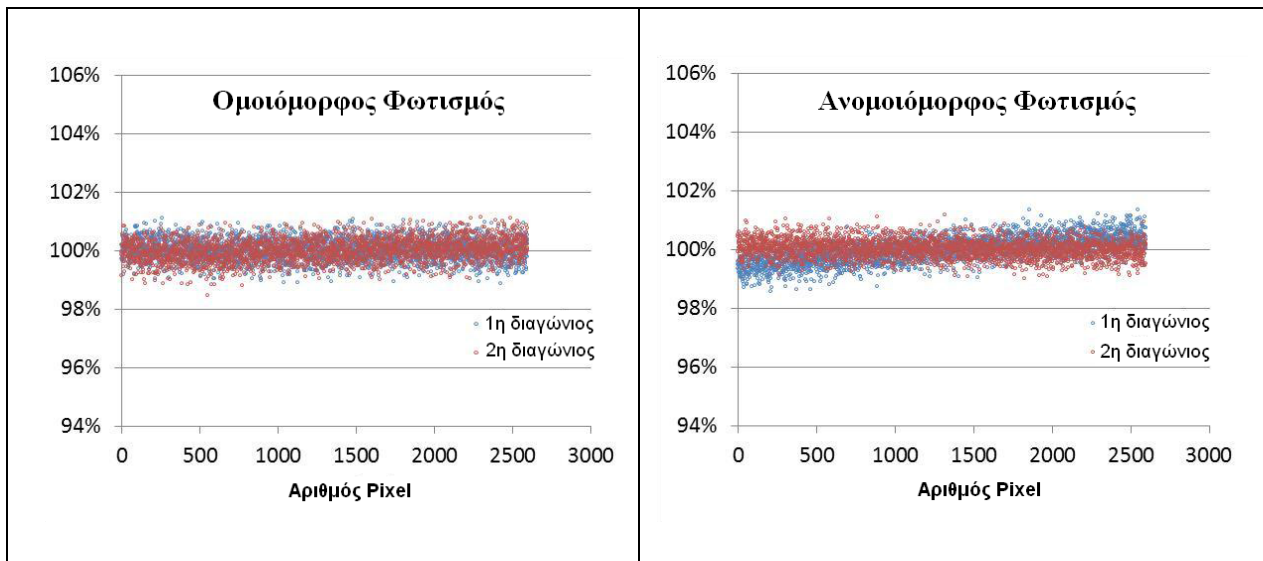


Σχήμα Γ.2. Ιστόγραμμα εικόνας raw dark (600 δευτερόλεπτα σε ISO 1600, $T = 20^{\circ}\text{C}$). Το γράφημα κλιμακώνει λογαριθμικά τον αριθμό των εικονοστοιχείων επί του κατακόρυφου άξονα. Τα πιο πολλά εικονοστοιχεία βρίσκονται εντός της πιο αριστερής κορυφής και μιας δευτερεύουσας στα δεξιά της, ενώ τα κλασικά hot pixels αντιπροσωπεύονται από την ουρά που εκτείνεται προς τα δεξιά. Η κατανομή των hot pixels είναι εδραιωμένη καλά. (εικόνα από τον Richard Berry)

Παράρτημα Δ: Έλεγχος ομοιόμορφου φωτισμού των Flat

Δεν έχει σημασία ποια μέθοδος χρησιμοποιείται για τα flat, το σημαντικό είναι να ελέγχετε πόσο ομοιόμορφος είναι ο φωτισμός. Μεταβολή ένα τοις εκατό κατά μήκος της εικόνας μπορεί να οδηγήσει σε λάθος μέτρηση περίπου 0,01 του μεγέθους.

Ένας εύκολος τρόπος για να ελέγξετε την ομοιομορφία του φωτισμού, είναι να δημιουργήσετε master flat από δύο σειρές εικόνων, με τη δεύτερη ομάδα να καταγράφεται μετά από την περιστροφή της κάμερας (ή του light box) κατά 90 μοίρες. Διαιρέστε το ένα master από το άλλο και μετρήστε τις τιμές ADU των εικονοστοιχείων κατά μήκος των διαγωνίων της προκύπτουσας εικόνας. Θα υπάρξουν τυχαίες διακυμάνσεις λόγω της στατιστικής φύσης των μετρήσεων, αλλά, ιδανικά, δε θα πρέπει να υπάρχει καθόλου συστηματική αύξηση ή μείωση σε ένταση.



Σχήμα Δ.1. Προφίλ γραμμής που λαμβάνεται από τη διαίρεση δύο master flat που δείχνει το αποτέλεσμα ομοιόμορφου (αριστερά) και ανομοιόμορφου (δεξιά) φωτισμού. (γραφήματα από τον Mark Blackford)

Ένα παράδειγμα φαίνεται στο Σχήμα Δ.1 όπου ο άνισος φωτισμός επιτεύχθηκε με την αφαίρεση ενός από τους οκτώ λαμπτήρες πυρακτώσεως από το light box. Το δεξιό γράφημα εμφανίζει 1% συστηματική διακύμανση κατά μήκος της 1^{ης} διαγωνίου (μπλε) και 0.2% κατά μήκος της 2^{ης} διαγωνίου (κόκκινο). Όταν χρησιμοποιήθηκαν και οι οκτώ λαμπτήρες (αριστερό γράφημα), η συστηματική μεταβολή κατά μήκος της 1^{ης} διαγωνίου (μπλε) ήταν λιγότερο από 0,1%, αλλά κατά μήκος της 2^{ης} διαγωνίου (κόκκινη) αυξήθηκε ελαφρά σε 0.3%.

Θα πρέπει να στοχεύετε σε συστηματική διακύμανση της φωτεινότητας λιγότερο από 0.5%, κατά μήκος όλων των master flat.