

Κεφάλαιο 2: Μεταβλητοί αστέρες – τι, γιατί και πώς της φωτομετρίας

Τι μετράμε με τη φωτομετρία;

Μεταβλητοί αστέρες είναι αυτοί των οποίων το φως μεταβάλλεται με μετρήσιμο τρόπο, λόγω των φυσικών διεργασιών μέσα, επάνω ή γύρω από το άστρο. Υπάρχουν πολλές κατηγορίες μεταβλητών αστέρων και καθεμιά αντιπροσωπεύει ένα διαφορετικό τρόπο που μπορεί να συμπεριφέρεται ένας αστέρας: μπορεί να αλλάζει ως προς το μέγεθος, το σχήμα ή τη θερμοκρασία με την πάροδο του χρόνου (παλλόμενοι - pulsators), μπορεί να υποβάλλεται σε ταχείες αλλαγές στο φως εξαιτίας φυσικών διεργασιών γύρω από το άστρο (αστέρες με δίσκο προσαύξησης και εκρηκτικοί) ή μπορεί να υφίσταται εκλείψεις από άλλα αστέρια ή πλανήτες σε τροχιά γύρω τους (διπλά άστρα και εξωπλανήτες). Το κλειδί είναι ότι κάτι φυσικό συμβαίνει στο ίδιο το άστρο ή στο άμεσο περιβάλλον του. Μπορείτε να διακρίνετε το τρεμόπαιγμα των αστεριών στον ουρανό αλλά η διακύμανση αυτή οφείλεται αποκλειστικά στην ατμόσφαιρα της Γης. Οι μεταβλητοί λειτουργούν μόνοι τους, ανεξάρτητα από οτιδήποτε συμβαίνει εδώ στη Γη.

Διαφορετικά είδη αστέρων ποικίλλουν σε διαφορετικές χρονικές κλίμακες. Μερικοί μπορεί να χρειαστούν εβδομάδες, μήνες ή χρόνια για να υποβληθούν σε αλλαγές που μπορούμε να ανιχνεύσουμε. Άλλοι όμως σε ημέρες, ώρες, λεπτά, δευτερόλεπτα ή λιγότερο. Μερικά αστέρια μεταβάλλονται τακτικά και μπορούμε να δούμε τις διακυμάνσεις να επαναλαμβάνονται με την πάροδο του χρόνου. Άλλα αστέρια υποβάλλονται σε χαοτικές αλλαγές που ποτέ δεν μπορεί να προβλεφθούν 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 να εξαφανίζονται, για να μην τα δούμε ποτέ ξανά.

Οι μεταβλητοί παρουσιάζονται επίσης με μια σειρά από φαινόμενες λαμπρότητες (πόσο φωτεινοί φαίνονται σε μας), καθώς και μια σειρά από απόλυτες λαμπρότητες (πόσο φως εκπέμπουν στην πραγματικότητα). Ένα άστρο μπορεί να είναι εγγενώς φωτεινό αλλά αν είναι χιλιάδες έτη φωτός μακριά, θα φαίνεται αμυδρό. Οι μεταβλητοί έχουν επίσης ένα εύρος διακυμάνσεων - πόσο μεταβάλλεται το φως τους με την πάροδο του χρόνου. Μερικοί μπορεί να κυμανθούν κατά δέκα ή περισσότερα μεγέθη, το οποίο αποτελεί παράγοντα δέκα χιλιάδες σε ακτινοβολία, μια τεράστια αλλαγή! Κάποιων άλλων η διακύμανση μετράται σε χιλιοστά του μεγέθους - millimagitude ή ακόμα και λιγότερο, οπότε είναι αδύνατο να ανιχνευθούν οι μεταβολές τους. Με αναρίθμητους μεταβλητούς στο ενδιάμεσο, δεν μπορεί να υπάρχει έλλειψη στόχων με τους οποίους θα είστε σε θέση να κάνετε παραγωγική εργασία, ανεξάρτητα από το μέγεθος του τηλεσκοπίου σας.

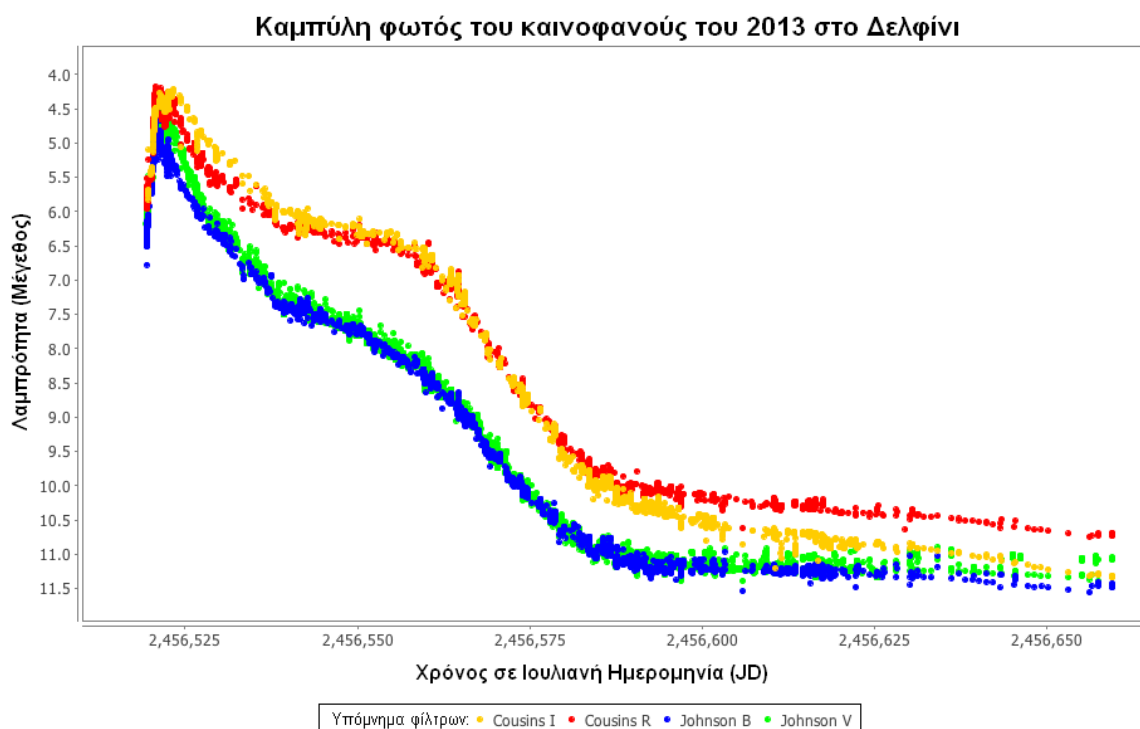
Γιατί κάνετε φωτομετρία;

Οι μεταβλητοί αστέρες είναι ενδιαφέροντες για πολλούς διαφορετικούς λόγους, αλλά τελικά τους μελετούμε, γιατί μοιάζουν με εργαστήρια φυσικής. Δεν μπορούμε να πάμε κοντά σε ένα άστρο ή να το αλλάξουμε με κάποιο τρόπο για να το μελετήσουμε, αλλά αν μπορέσουμε να κατανοήσουμε πώς αλλάζει το φως από ένα μεταβλητό άστρο, μπορούμε να μάθουμε περισσότερα σχετικά με το πώς λειτουργεί το σύμπαν. Οι ίδιες βασικές φυσικές διεργασίες που λειτουργούν εδώ στη Γη - βαρύτητα, μηχανική των ρευστών, ηλεκτρομαγνητισμός, φως και θερμότητα, χημεία, και πυρηνική φυσική - 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. Οι παρατηρήσεις σας παρέχουν την πρώτη ύλη που τροφοδοτεί την επιστημονική έρευνα. Οι επιστήμονες μπορεί 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.

Εδώ είναι που υπεισέρχεται η παρατήρηση και αυτή εδώ είναι η μεγαλύτερη ευκαιρία να έχετε πολύτιμη συνεισφορά στην επιστήμη μεταβλητών αστερών. Αν δώσετε στους ερευνητές έγκυρα και ακριβή στοιχεία, μπορούν να κάνουν ακριβή μοντέλα για το πώς λειτουργεί το σύμπαν και η κατανόησή μας αυξάνεται και βελτιώνεται. Αντίθετα, εάν έχουν κακά δεδομένα, αυτοί οι ίδιοι επιστήμονες μπορεί να κάνουν κακά μοντέλα, τα οποία με τη σειρά τους θα μας παραπλανήσουν και θα εμποδίσουν την πρόοδο στον τομέα αυτό.

Όσον αφορά το ευρύτερο ζήτημα του γιατί ενδιαφέρουν οι μεταβλητοί, είναι πως συχνά μας λένε περισσότερα από το τι κάνει ένα συγκεκριμένο άστρο σε μια δεδομένη στιγμή. Μπορούν επίσης να μας αποκαλύψουν κάτι για τις συνθήκες υπό τις οποίες σχηματίζονται τα άστρα, πώς περνούν τη ζωή τους και τελικά πώς θα εξελιχθούν και θα πεθάνουν. Μαθαίνοντας περισσότερα για το τι είναι τα άστρα και γιατί συμπεριφέρονται με τον τρόπο που το κάνουν, σχηματίζουμε πιο ολοκληρωμένη εικόνα του σύμπαντος που ζούμε, τόσο στο παρόν όσο και στην κοσμική κλίμακα χρόνου, δημιουργώντας ιδέες για τα πάντα: από τους πλανήτες και τους αστέρες, στους γαλαξίες και πέρα από αυτούς. Αυτή είναι τελικά η προσφορά της αστρονομίας μεταβλητών αστερών.

Σ' αυτό το εγχειρίδιο θα ασχοληθούμε κυρίως με τη μεταβλητότητα στα οπτικά μήκη κύματος - φως με μήκη κύματος που αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο μάτι - αλλά να έχετε κατά νου ότι υπάρχει μεγάλος αριθμός άστρων που μεταβάλλονται σε μήκη κύματος του φωτός από ραδιοκύματα έως ακτίνες Χ και ακτίνες γάμμα. Συχνά κάποια άστρα είναι μεταβλητά στα οπτικά και άλλα μήκη κύματος, ακόμα όμως και στο οπτικό φάσμα, κάποιες αλλαγές μπορεί να εμφανίζονται διαφορετικά σε διάφορα μήκη κύματος. Αυτό είναι ένα βασικό στοιχείο που πρέπει να θυμάστε, ειδικά όταν κάνετε φωτομετρία CCD: *συχνά δεν ενδιαφερόμαστε μόνο για το πόσο αλλάζει η συνολική ποσότητα του φωτός, αλλά για τις ιδιότητες της εν λόγω μεταβολής ως συνάρτηση του μήκους κύματος.*



Καμπύλη φωτός του Nova Del 2013 (V339 Del) που δημιουργήθηκε με το VStar. Παρατηρείστε τη συνολική αλλά και τις επιμέρους αλλαγές της λαμπρότητας σε κάθε φίλτρο, καθώς ποικίλες φυσικές διεργασίες κυριαρχούν κατά την εξελικτική πορεία του καινοφανούς.

Η γνώση τόσο της συνολικής μεταβολής, όσο και της σχέσης της με το μήκος κύματος, μπορεί να μας βοηθήσει να κατανοήσουμε το βαθύτερο φυσικό μηχανισμό συμπεριφοράς του αστέρα, το οποίο είναι τελικά ο λόγος που κάνουμε αστρονομία μεταβλητών. Αργότερα σε αυτό τον οδηγό θα αφιερώσουμε λίγο χρόνο μιλώντας για το πώς μπορούμε να μετρήσουμε (προσεγγιστικά τουλάχιστον) τις φασματικές ιδιότητες των άστρων που παρατηρούμε. Με αυτόν τον τρόπο, έχουμε μια πολύ πιο ολοκληρωμένη εικόνα για το πώς και γιατί κάποια αστέρια μεταβάλλονται.

Πώς κάνουμε φωτομετρία;

Οι λεπτομέρειες του εν λόγω ερωτήματος θα αποτελέσουν το μεγαλύτερο μέρος αυτού του οδηγού, αλλά εν συντομία, χρησιμοποιούμε μια ηλεκτρονική συσκευή - μια συσκευή συζευγμένου φορτίου ή κάμερα "CCD" - για τη μέτρηση του αριθμού των φωτονίων που λαμβάνει το τηλεσκόπιό σας από ένα μεταβλητό αστέρα μαζί με ένα σύνολο γνωστών "αστέρων συγκρίσεως" που παρατηρούνται την ίδια στιγμή. Θα πάρετε αυτούς τους αριθμούς μαζί με κάποια πρόσθετα στοιχεία βαθμονόμησης που θα δημιουργήσετε και θα τους μετατρέψετε από τον αριθμό φωτονίων σε μια βαθμονομημένη, φυσική μέτρηση της φωτεινότητας ενός άστρου σε μία χρονική στιγμή. Επαναλαμβάνοντας τη μέτρηση ξανά και ξανά, μπορείτε να αποτυπώσετε την αλλαγή του φωτός από το άστρο με την πάροδο του χρόνου. Αυτή είναι η ουσία της φωτομετρίας, ανεξάρτητα από το είδος του εξοπλισμού που χρησιμοποιείτε για να κάνετε τις μετρήσεις, αξίζει όμως για λίγο για να εξηγήσουμε τι συμβαίνει στο εσωτερικό της κάμερας όταν εκτίθεται στο φως.

Το κύριο εξάρτημα μιας CCD κάμερας είναι ένας ημιαγωγός φτιαγμένος από πυρίτιο που έχει διαιρεθεί σε ένα μεγάλο αριθμό από ηλεκτρικά φορτισμένα και μονωμένα τετράγωνα που ονομάζουμε «pixels». Αυτό αναφέρεται ως "αισθητήρας CCD – CCD chip». Όταν εκτίθεται στο φως, τα φωτόνια χτυπούν κάθε ρίxel και απελευθερώνουν ηλεκτρόνια μέσω του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Κάθε ρίxel και οι αντίστοιχες ηλεκτρονικές πύλες του, δρουν σαν ένας μικρός πυκνωτής που συλλέγει αυτά τα ηλεκτρόνια από τα εικονοστοιχεία πυριτίου καθώς το φως πέφτει πάνω τους. Κάθε εικονοστοιχείο συνδέεται με καλώδιο σε έναν κεντρικό επεξεργαστή και το φορτίο που συλλέγεται, συσσωρεύεται μέχρι να «διαβαστεί» ο αισθητήρας από τα ηλεκτρονικά της κάμερας. Κατά τη διάρκεια της ανάγνωσης, ο κεντρικός επεξεργαστής μετρά το φορτίο που συνέλεξε κάθε ρίxel. Αυτή είναι μια αναλογική ηλεκτρική τάση που μετατρέπεται σε ψηφιακό αριθμό μέσω ενός αναλογικού-προς-ψηφιακό μετατροπέα. Αυτό που στέλνεται από το CCD στον υπολογιστή σας, είναι η θέση των ρίxel στο τσιπ και μια ψηφιακή αναπαράσταση του ποσού του φορτίου που ανιχνεύθηκε κατά τη στιγμή της ανάγνωσης και είναι αυτό που συνθέτει την εικόνα που δημιουργείται από το σύστημά σας.



*Παράδειγμα ενός παλαιότερου τύπου CCD τσιπ. Η περιοχή του αισθητήρα είναι το γκρι ορθογώνιο στο κέντρο. Προσέξτε τη συνδεσμολογία στα άκρα του. Το CCD διαβάζεται μέσω αυτών των αγωγών που συνδέονται με τον αναλογικό-προς-ψηφιακό μετατροπέα, μέσα στην κάμερα.
(με τη άδεια του Arne Henden)*

Αυτό που κάνει την εικόνα χρήσιμη για την αστρονομία μεταβλητών αστέρων, είναι ότι έχει με κάποιο τρόπο σήμανση (συνήθως στην κεφαλίδα της) για το χρόνο που ελήφθη. Έτσι, σε αυτό το σημείο έχετε τα περισσότερα από όσα θέλετε για να κάνετε φωτομετρία: μέτρηση του φωτός σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Ωστόσο, αυτό είναι μόνο το πρώτο βήμα. Υπάρχουν αρκετά πιο σημαντικά πράγματα να κάνετε μεταξύ του ανοίγματος του κλείστρου της κάμερας και της λήψης ενός τελικού συνόλου αριθμών - χρόνου, μεγέθους και αβεβαιότητας για κάθε μέτρηση – που αφορούν κυρίως το πώς η καταμέτρηση των ηλεκτρονίων από το CCD τσιπ αφορά μια φυσική ποσότητα, όπως είναι η ποσότητα του φωτός σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος που εκπέμπει το άστρο. Αυτό το βήμα της βαθμονόμησης είναι μια μακρά αλλά απλή διαδικασία, που μετατρέπει τα δεδομένα του CCD σε φυσική πληροφορία για τον μεταβλητό.

Η διαδικασία βαθμονόμησης θα περιλαμβάνει τη μέτρηση:

- Του θορύβου που συνδέεται με τα ηλεκτρονικά της κάμερας
- Των ιδιαιτεροτήτων των οπτικών του τηλεσκοπίου σας, από τον αντικειμενικό έως το CCD chip
- Την απόκριση του συστήματός σας στα διάφορα μήκη κύματος - πώς καταγράφονται διαφορετικά μήκη κύματος του φωτός, και τελικά ...
- Την απόκριση της ατμόσφαιρας μέσω της οποίας παρατηρήσατε στα μήκη κύματος.

Κάθε ένα από αυτά τα βήματα θα καλυφθεί αργότερα σε αυτόν τον οδηγό, αλλά για τώρα, συνειδητοποιείτε ότι πρέπει να γίνουν περισσότερα από μία απλή παρατήρηση για να κάνουμε φωτομετρία μεταβλητών αστέρων. Τα δεδομένα βαθμονόμησης που θα λάβετε για την παρατήρηση μεταβλητών θα γίνουν τελικά ρουτίνα, αλλά θα σας εξηγήσουμε τι πρέπει να κάνετε και γιατί.

Το σημαντικό που πρέπει να μείνει από αυτό το κεφάλαιο είναι πως ο στόχος της φωτομετρίας δεν είναι οι αριθμοί που παράγονται από την κάμερα CCD και η επεξεργασία των δεδομένων σας, αλλά η επιστήμη που μπορείτε να κάνετε με αυτούς τους αριθμούς. Για να κάνετε επιστημονικό έργο, τα αποτελέσματα πρέπει να αντιπροσωπεύουν κάτι που έχει φυσικό νόημα και πρέπει να παρουσιάζονται με τρόπο που να είναι χρήσιμα για αυστηρή επιστημονική ανάλυση. Αυτός είναι ο στόχος μας και αυτό είναι που στοχεύουμε με αυτόν τον οδηγό.

Στο επόμενο κεφάλαιο, θα καλύψουμε τα πολύ βασικά για τον εξοπλισμό και το λογισμικό που θα χρειαστείτε για να μπορέσετε να ξεκινήσετε φωτομετρία CCD. Κάθε κατασκευαστής τηλεσκοπίου, στήριξης και κάμερας CCD θα έχει τις δικές του ιδιαιτερότητες, αλλά υπάρχει αρκετή επικάλυψη σ' αυτά που κάνουν κι εδώ θα καλύψουμε ό, τι πρέπει να έχετε όταν βγείτε στο αστεροσκοπείο σας για μια νύχτα φωτομετρίας μεταβλητών αστέρων. Πολλές από τις παραμέτρους του συστήματός σας είναι σχετικές με το τι είστε σε θέση να παρατηρήσετε αποτελεσματικά για να πάρετε καλά δεδομένα. Δεν είναι δυνατόν να αποκτηθούν αξιολογικά δεδομένα για κάθε μεταβλητό στον ουρανό με ένα μόνο σύστημα, ανεξάρτητα από το μέγεθος ή το κόστος του. Ωστόσο, θα υπάρξουν πολλά αντικείμενα που μπορούν να παρατηρηθούν εύκολα και αποτελεσματικά με τον εξοπλισμό σας—χρειάζεται μόνο να συνειδητοποιήσετε *ποια* είναι αυτά τα αντικείμενα πριν φτάσετε στο τηλεσκόπιο.