



ΟΙ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ

και πώς παρέχουν σημαντική γνώση για το σύμπαν

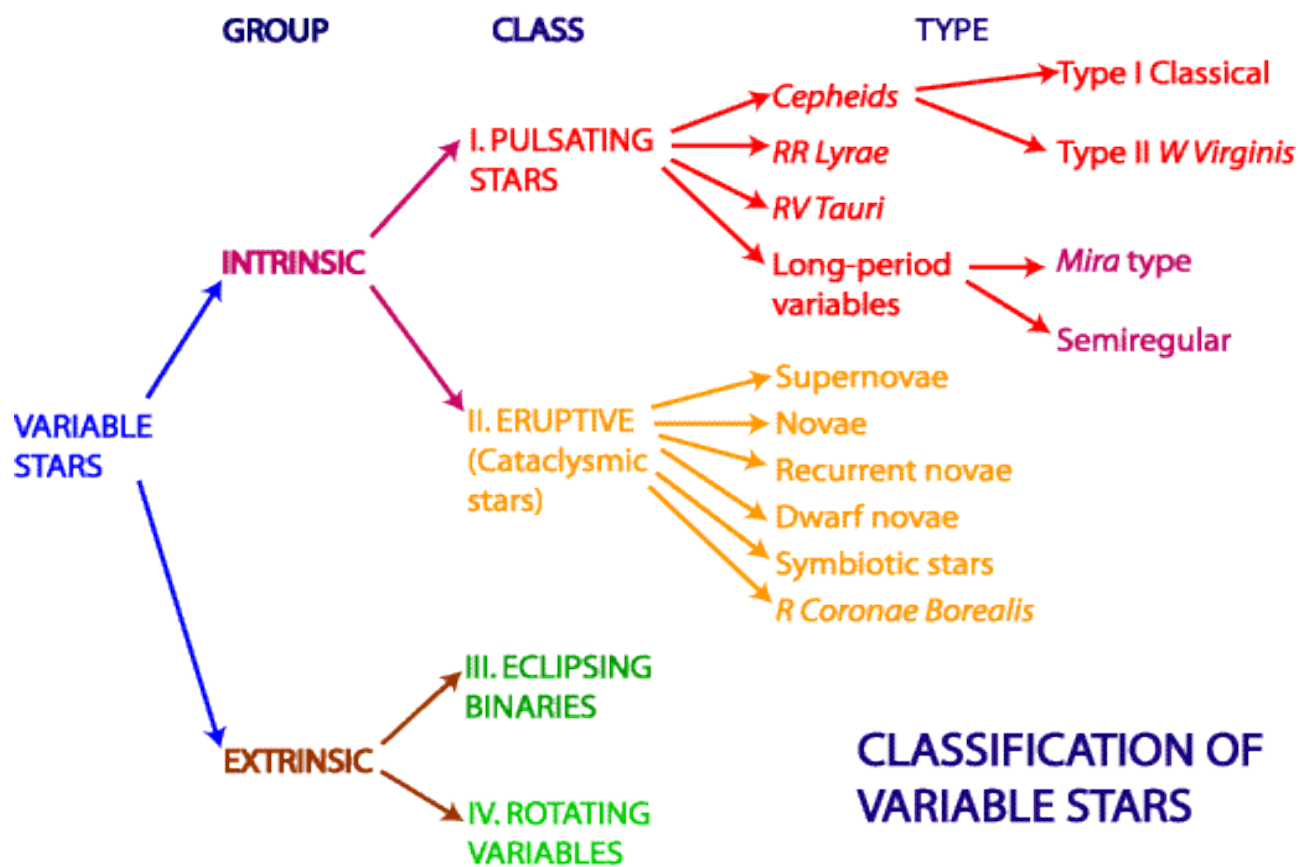
Στέλιος Κλειδής
Ελληνική Αστρονομική Ένωση
13 Μαρτίου 2022

Η επιστήμη, απαλλαγμένη από την αριστοτελική αντίληψη περί αιώνιου και αμετάβλητου κόσμου, μπόρεσε τους τελευταίους αιώνες να προχωρήσει γοργά προς την κατανόηση του φυσικού κόσμου.

Η αστρονομία δεν είναι εξαίρεση σ' αυτό και οι μεταβλητοί αστέρες αποτελούν ένα από τα εργαλεία που χρησιμοποιεί για να εξερευνήσει τις ιδιότητες και τη λειτουργία του κόσμου.

Όλα τα άστρα μεταβάλλουν τη λαμπρότητά τους όπως συμπεραίνουμε από την ηλιακή δραστηριότητα. Οι μεταβολές αυτές όμως είναι εξαιρετικά μικρής έντασης και δεν μπορούν να παρατηρηθούν στις αποστάσεις που βρίσκονται τα υπόλοιπα άστρα και με τα μέσα που διαθέτει η ανθρωπότητα. Κάποιες φορές όμως, οι μεταβολές αυτές είναι σημαντικές: μπορεί να μεταβάλλουν τη λαμπρότητα κατά 1/1000 του μεγέθους ως και 20 μεγέθη σε ακραίες καταστάσεις. Τότε, οι αστέρες αυτοί ονομάζονται μεταβλητοί και η μελέτη τους προσφέρει πολλά στην επιστημονική έρευνα. Σήμερα, είναι καταχωρημένοι σε καταλόγους περισσότεροι από 150.000 μεταβλητοί και πολλοί περισσότεροι βρίσκονται σε αναμονή για επιβεβαίωση. Υπολογίζουν οι αστρονόμοι πως το 30% των αστερων ενός γαλαξία είναι μεταβλητής λαμπρότητας.

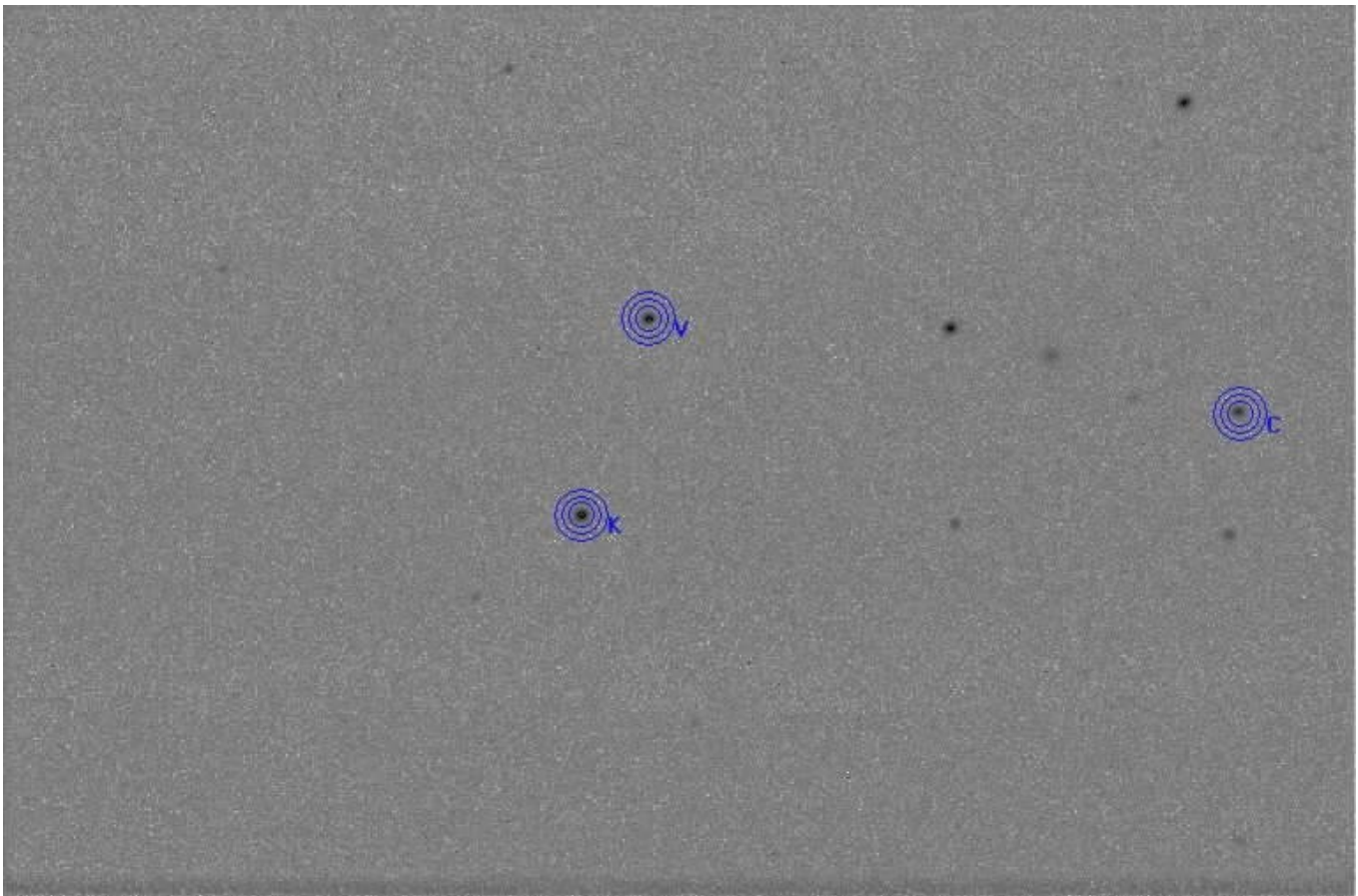
Ο κύριος διαχωρισμός των μεταβλητών γίνεται ανάλογα με την προέλευση του αιτίου: εγγενείς ή ενδογενείς (Intrinsic variables) είναι όσων οι μεταβολές οφείλονται σε διεργασίες που συμβαίνουν στο εσωτερικό τους και εξωγενείς (Extrinsic variables) αυτοί που άλλα σώματα προκαλούν τις μεταβολές. Κάθε κατηγορία υποδιαιρείται σε πολλές άλλες που χονδρικά παρουσιάζονται στο διάγραμμα που ακολουθεί:.



Η αστρονομία, όπως κάθε επιστήμη, έχει ως βάση της τη διαδικασία της ταξινόμησης. Για τους αστέρες επί παραδείγματι, κριτήρια ταξινόμησης είναι η λαμπρότητα, το φυσικό μέγεθος, η μάζα, η χημική σύσταση, η ηλικία, η απόσταση κλπ. Από αυτά μόνο τη χημική σύσταση μπορούμε να γνωρίζουμε μέσω των φασματογράφων. Ας δούμε σιγά-σιγά πώς η σπουδή των μεταβλητών βοηθά στον προσδιορισμό κάποιων τουλάχιστον από τα υπόλοιπα.

Η παρατήρηση των μεταβλητών γίνεται με ιδιαίτερη επιτυχία και από ερασιτέχνες αστρονόμους και πραγματοποιείται με διαδοχική λήψη εικόνων της περιοχής που μας ενδιαφέρει, συνεχίζεται με επεξεργασία των εικόνων αυτών (βελτιστοποίηση) και ολοκληρώνεται με τη φωτομετρική τους ανάλυση και τη δημιουργία της καμπύλης φωτός. Πρόκειται για εύκολη αλλά απολύτως καθορισμένη από τους επιστήμονες, διαδικασία, η οποία το μόνο που απαιτεί είναι συνέπεια, πειθαρχία και χρόνο.

Σε μια τυπική εικόνα όπως η παρακάτω, είναι σημειωμένα μέσω του λογισμικού φωτομετρίας, τα άστρα που μας ενδιαφέρουν. V είναι ο μεταβλητός, C είναι ο αστέρας συγκρίσεως και K ο αστέρας ελέγχου. Ο αστέρας συγκρίσεως είναι σταθερής λαμπρότητας και κατά προτίμηση κοντινού φασματικού τύπου με τον μεταβλητό. Είναι αυτός με τον οποίο το λογισμικό συγκρίνει τον μεταβλητό για να αποτυπωθούν οι μεταβολές. Ο αστέρας ελέγχου χρησιμοποιείται για να επιβεβαιώνει τη σταθερότητα του αστέρα συγκρίσεως.



Όπως βλέπουμε, οι εικόνες που συλλέγει ο φωτομέτρης είναι ιδιαίτερα “φτωχές” σε σχέση με αυτές των αστροφωτογράφων, γιατί καλούνται να εξυπηρετήσουν τελείως διαφορετικές ανάγκες.

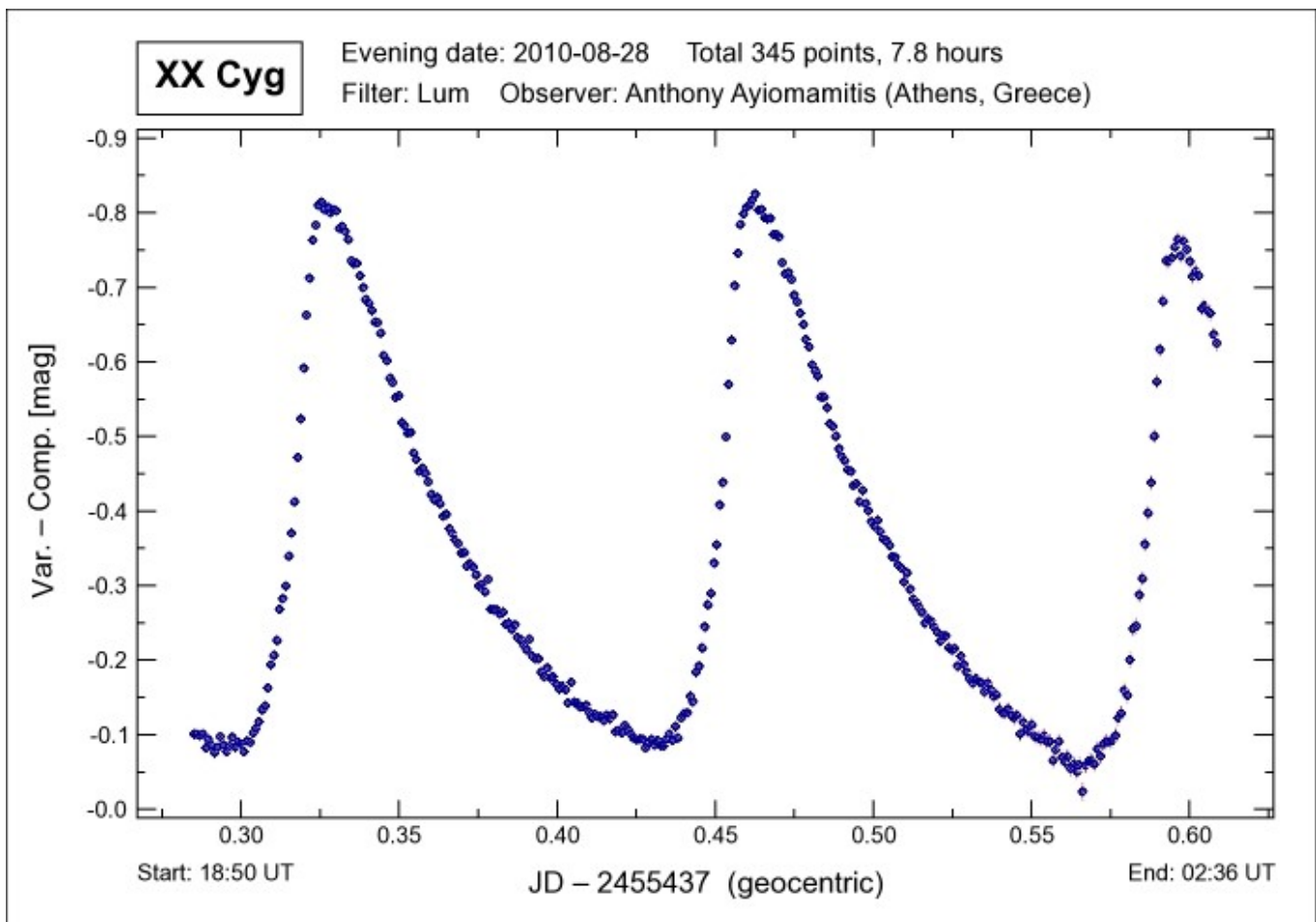
Η επεξεργασία όλων των εικόνων από το λογισμικό δημιουργεί ένα αρχείο κειμένου με τα αποτελέσματα:

```
File Edit Format View Help
AIP4Win Multi-Image Photometry Tool
Analysis of 121 images from directory: N:\Photometry\Binaries\YY Boo\30Mar10\AIP\
Radius of star diaphragm: 6.9
Sky annulus inner radius: 10.6
Sky annulus outer Radius: 14.5
Search Radius: 20
Initial Comparison Star coords: X=301.55, Y=227.47
Initial Variable Star coords: X=345.66, Y=118.61
Initial Check Star coords: X=675.94, Y=189.88
Image time = time in FITS file header or log file.
JD calculated from image time plus half of exposure duration.
JD time zone correction added = 0 hours.
JD user correction (True - Log) applied = 0 seconds.
JD heliocentric correction added = 0 seconds.
```

Image	Date	Time	Exp	ADU Com	ADU Sky	ADU Var	V-C mag	ADU Chk	K-C mag	Julian Day
YYBoo_V_00001.fits	2010-03-29	20:53:06	80	125692.4	2748.8	95605.4	0.297	51203.8	0.975	2455285.3706713
YYBoo_V_00002.fits	2010-03-29	20:56:17	80	127010.9	2716.2	95599.4	0.308	51879.3	0.972	2455285.37288194
YYBoo_V_00003.fits	2010-03-29	20:59:27	80	127896.7	2666.6	97354.9	0.296	52249.1	0.963	2455285.37508102
YYBoo_V_00004.fits	2010-03-29	21:02:38	80	129093.4	2632.2	97261.6	0.307	52249.1	0.982	2455285.37729167
YYBoo_V_00005.fits	2010-03-29	21:05:48	80	129948.4	2612.2	98193.2	0.304	53550.1	0.963	2455285.37949074
YYBoo_V_00006.fits	2010-03-29	21:08:59	80	128605.7	2605.9	97134.3	0.305	52166.2	0.980	2455285.38170139
YYBoo_V_00007.fits	2010-03-29	21:12:10	80	128603.9	2579.8	96155.5	0.316	52731.5	0.968	2455285.38391204
YYBoo_V_00008.fits	2010-03-29	21:15:20	80	129518.8	2547.7	96797.9	0.316	53270.9	0.965	2455285.38611111
YYBoo_V_00009.fits	2010-03-29	21:18:31	80	130180.0	2526.6	95650.8	0.335	53225.7	0.971	2455285.38832176
YYBoo_V_00010.fits	2010-03-29	21:21:41	80	130412.0	2499.6	95676.3	0.336	53262.4	0.972	2455285.39052083
YYBoo_V_00011.fits	2010-03-29	21:24:51	80	130797.8	2480.9	94525.3	0.353	52817.5	0.985	2455285.39271991
YYBoo_V_00012.fits	2010-03-29	21:28:02	80	131827.9	2445.7	94411.7	0.362	53350.4	0.982	2455285.39493056
YYBoo_V_00013.fits	2010-03-29	21:31:12	80	131234.2	2423.9	94414.9	0.358	53655.1	0.971	2455285.39712963
YYBoo_V_00014.fits	2010-03-29	21:34:23	80	132670.2	2410.9	94741.3	0.366	53728.6	0.981	2455285.39934028
YYBoo_V_00015.fits	2010-03-29	21:37:33	80	133113.7	2381.1	93934.6	0.378	54277.1	0.974	2455285.40153935
YYBoo_V_00016.fits	2010-03-29	21:40:45	80	132639.8	2370.8	94396.9	0.369	53454.2	0.987	2455285.40376157
YYBoo_V_00017.fits	2010-03-29	21:43:55	80	132987.7	2341.1	94119.8	0.375	54321.2	0.972	2455285.40596065
YYBoo_V_00018.fits	2010-03-29	21:47:06	80	133952.4	2319.9	94284.0	0.381	55822.9	0.950	2455285.4081713
YYBoo_V_00019.fits	2010-03-29	21:50:16	80	133159.8	2313.2	95508.4	0.361	54623.3	0.967	2455285.41037037
YYBoo_V_00020.fits	2010-03-29	21:53:26	80	132948.5	2290.5	95181.8	0.363	54956.2	0.959	2455285.41256944
YYBoo_V_00021.fits	2010-03-29	21:56:37	80	134576.3	2263.8	96315.3	0.363	54662.3	0.978	2455285.41478009
YYBoo_V_00022.fits	2010-03-29	21:59:48	80	134555.8	2229.3	97388.7	0.351	54790.6	0.975	2455285.41699074
YYBoo_V_00023.fits	2010-03-29	22:03:01	80	130550.5	2229.7	94980.3	0.345	54038.4	0.958	2455285.41922454
YYBoo_V_00024.fits	2010-03-29	22:06:11	80	132138.7	2210.0	98769.4	0.316	54355.7	0.964	2455285.42142361
YYBoo_V_00025.fits	2010-03-29	22:09:22	80	136020.3	2173.1	99992.0	0.334	54829.8	0.986	2455285.42363426
YYBoo_V_00026.fits	2010-03-29	22:12:33	80	134893.2	2164.5	100147.3	0.323	55739.1	0.960	2455285.42584491
YYBoo_V_00027.fits	2010-03-29	22:15:43	80	135125.9	2147.4	101994.9	0.305	55087.1	0.974	2455285.42804398
YYBoo_V_00028.fits	2010-03-29	22:18:54	80	135436.6	2136.9	102405.0	0.304	55485.9	0.969	2455285.43025463
YYBoo_V_00029.fits	2010-03-29	22:22:06	80	135738.5	2125.1	102483.1	0.305	54740.7	0.986	2455285.43247685
YYBoo_V_00030.fits	2010-03-29	22:25:17	80	135272.9	2118.6	103420.9	0.292	56533.6	0.947	2455285.4346875
YYBoo_V_00031.fits	2010-03-29	22:28:27	80	131009.7	2134.1	101873.1	0.280	54646.9	0.956	2455285.43688657
YYBoo_V_00032.fits	2010-03-29	22:31:38	80	130951.4	2132.2	101417.4	0.277	54251.4	0.957	2455285.43909722
YYBoo_V_00033.fits	2010-03-29	22:34:49	80	127896.3	2149.7	98801.5	0.280	52271.3	0.971	2455285.44130787
YYBoo_V_00034.fits	2010-03-29	22:38:02	80	135277.0	2076.3	101929.9	0.307	55547.9	0.966	2455285.44354167
YYBoo_V_00035.fits	2010-03-29	22:41:12	80	135422.4	2049.1	102362.0	0.304	54848.4	0.981	2455285.44574074
YYBoo_V_00036.fits	2010-03-29	22:44:23	80	136641.1	2043.2	101830.6	0.319	56441.9	0.960	2455285.44795139
YYBoo_V_00037.fits	2010-03-29	22:47:34	80	137328.5	2021.1	100805.0	0.336	56160.0	0.971	2455285.45016204
YYBoo_V_00038.fits	2010-03-29	22:50:44	80	135673.0	2033.5	100351.6	0.327	54974.8	0.981	2455285.45236111
YYBoo_V_00039.fits	2010-03-29	22:53:55	80	136363.7	1970.0	99251.0	0.345	56041.9	0.965	2455285.45451776
YYBoo_V_00040.fits	2010-03-29	22:57:07	80	136813.1	1966.3	99441.1	0.346	56465.0	0.961	2455285.45679398

Από εκεί και πέρα, οι αστρονόμοι που εργάζονται με μεταβλητούς, έχουν τη γνώση και την εμπειρία να αποκωδικοποιήσουν την πληροφορία που περιέχεται σε κάθε καμπύλη φωτός και να εξαγάγουν νέα γνώση ή να επιβεβαιώσουν/απορρίψουν υπάρχουσες θεωρίες.

Καμπύλη φωτός ονομάζεται η γραφική παράσταση της μεταβολής της λαμπρότητας συναρτήσει του χρόνου, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα του ΧΧ Κύκνου από τον Αντώνη Αγιομαμίτη. Στις καμπύλες φωτός, ο οριζόντιος άξονας παριστά την πρόοδο του χρόνου ενώ ο κάθετος την εξέλιξη της λαμπρότητας.

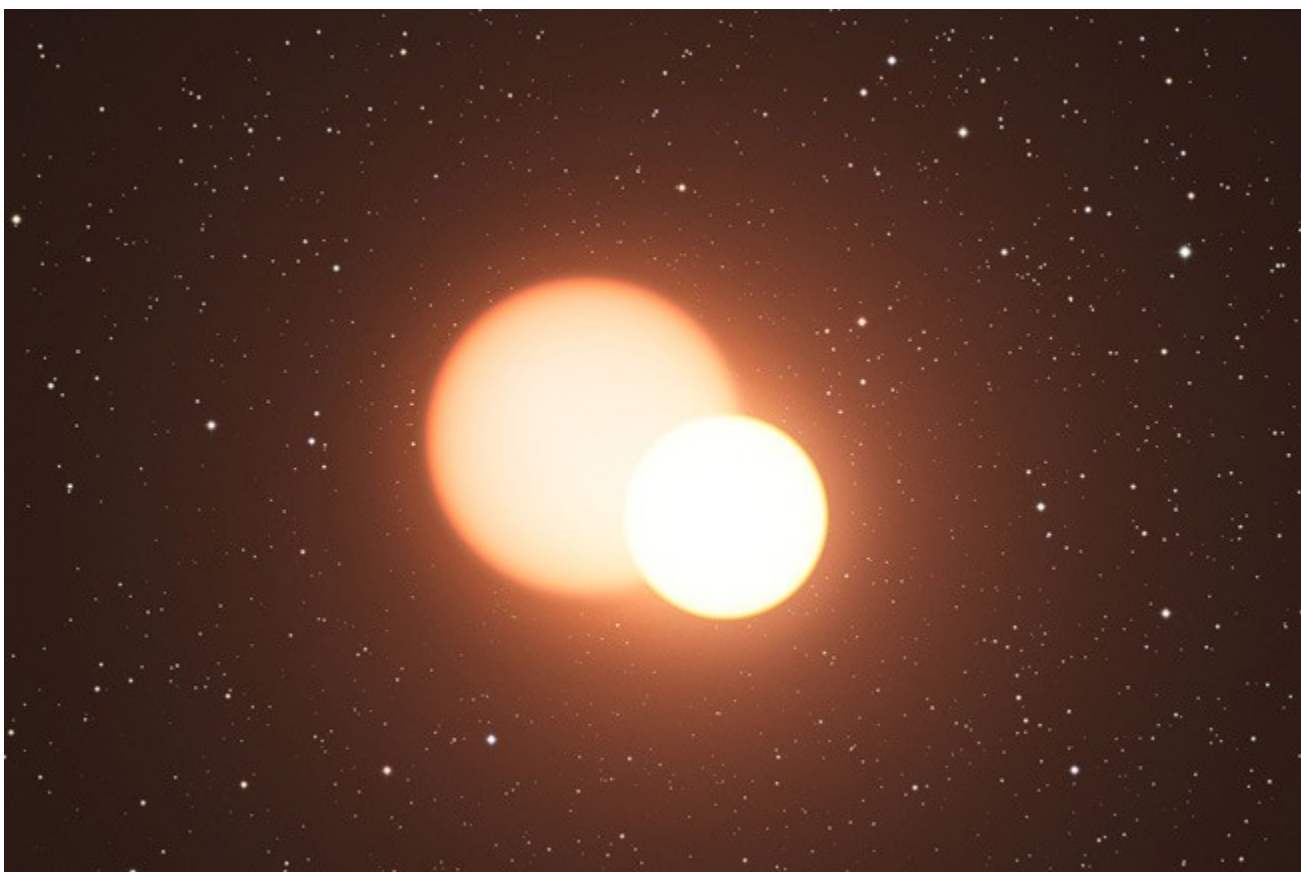


ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ας δούμε για παράδειγμα τους εξωγενείς μεταβλητούς. Πρόκειται συνηθέστατα για δυαδικά συστήματα αστέρων – ζεύγη άστρων δηλαδή σε μικρή απόσταση μεταξύ τους. Αίτιο των μεταβολών είναι οι διαδοχικές εκλείψεις των μελών του ζεύγους, γι αυτό λέγονται εκλειπτικοί μεταβλητοί.

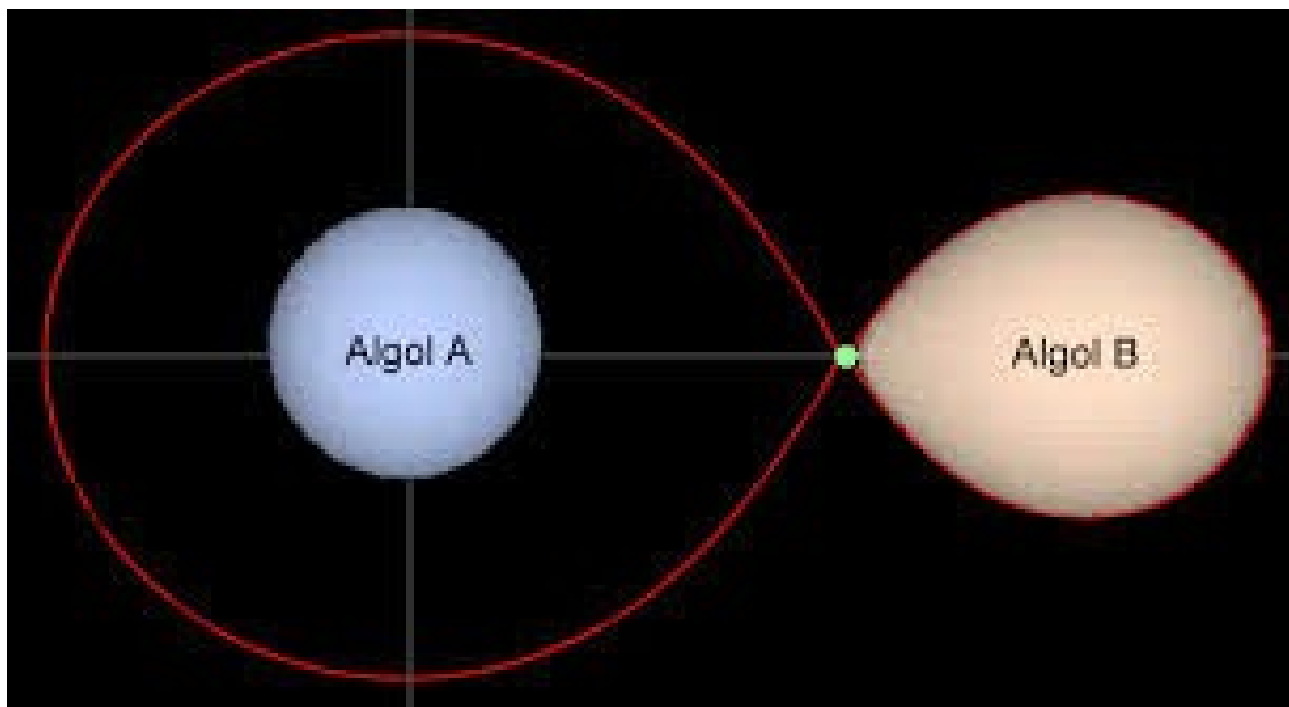
Βλέπουμε κάποιες καμπύλες φωτός από παρατηρήσεις μου. Όσο κι αν μοιάζουν ως προς το γενικό σχήμα: πρωτεύον και δευτερεύον ελάχιστο, μέγιστα, εύκολα παρατηρούμε και θεμελιώδεις διαφορές. Αυτές προκαλούνται από διαφορετικές αποστάσεις μελών των ζευγών, αποκλίσεις του σχήματος από το σφαιροειδές, ύπαρξη γιγάντιων κηλίδων, αντανάκλαση του φωτός στην επιφάνεια του αμυδρότερου, διαβαθμίσεις λαμπρότητας στους αστρικούς δίσκους κ. α. Οι αστρονόμοι με βάση την εργασία των Wilson & Devinney το 1971, έχουν τη δυνατότητα να δημιουργούν μοντέλα της μορφής και της θέσης των άστρων ενός εκλειπτικού ζεύγους. Όσο μεγαλύτερη η ακρίβεια των δεδομένων, τόσο πιστότερο το μοντέλο.

Τι μπορούμε να μάθουμε από τους εκλειπτικούς;



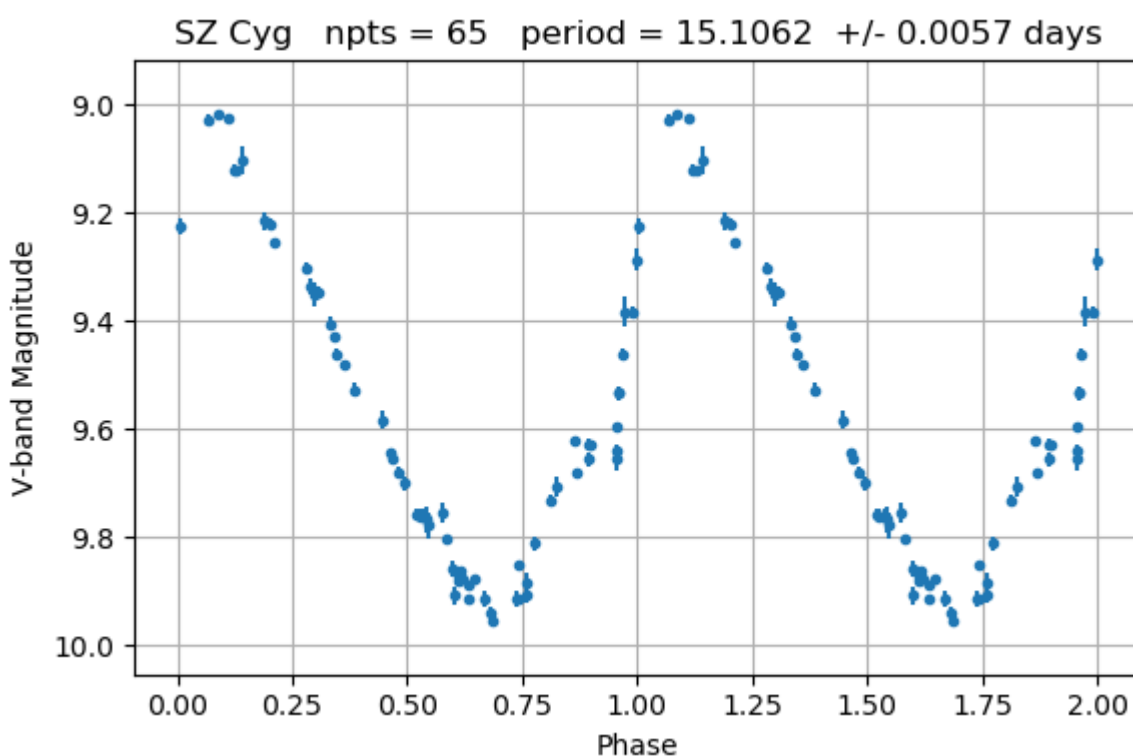
Εικαστική αναπαράσταση Δυαδικού εκλειπτικού συστήματος.

Από ένα επιτυχημένο μοντέλο, το σχήμα τους, την αναλογία μαζών (και πολλές φορές, τη μάζα καθενός), την απόσταση μεταξύ τους, την κατανομή του φωτισμού στην επιφάνειά τους, τυχόν μεταφορά υλικού από τον ένα στον άλλο αστέρα και πολλά άλλα στοιχεία που θα ήταν ανέφικτο με τις παρούσες δυνατότητες να γνωρίσουμε.



Για τον β Περσέως (Algol) επί παραδείγματι, έχει αποδειχθεί ότι ο πρωτεύων αστέρας είναι ένα λαμπρό και θερμό άστρο, ενώ ο δευτερεύων είναι μικρής μάζας – επομένως σχετικά ψυχρός αστέρας που έχει γεμίσει τον λωβό Roche και όταν υπάρξουν οι κατάλληλες συνθήκες θα ξεκινήσει εκροή υλικού προς τον πρωτεύοντα.

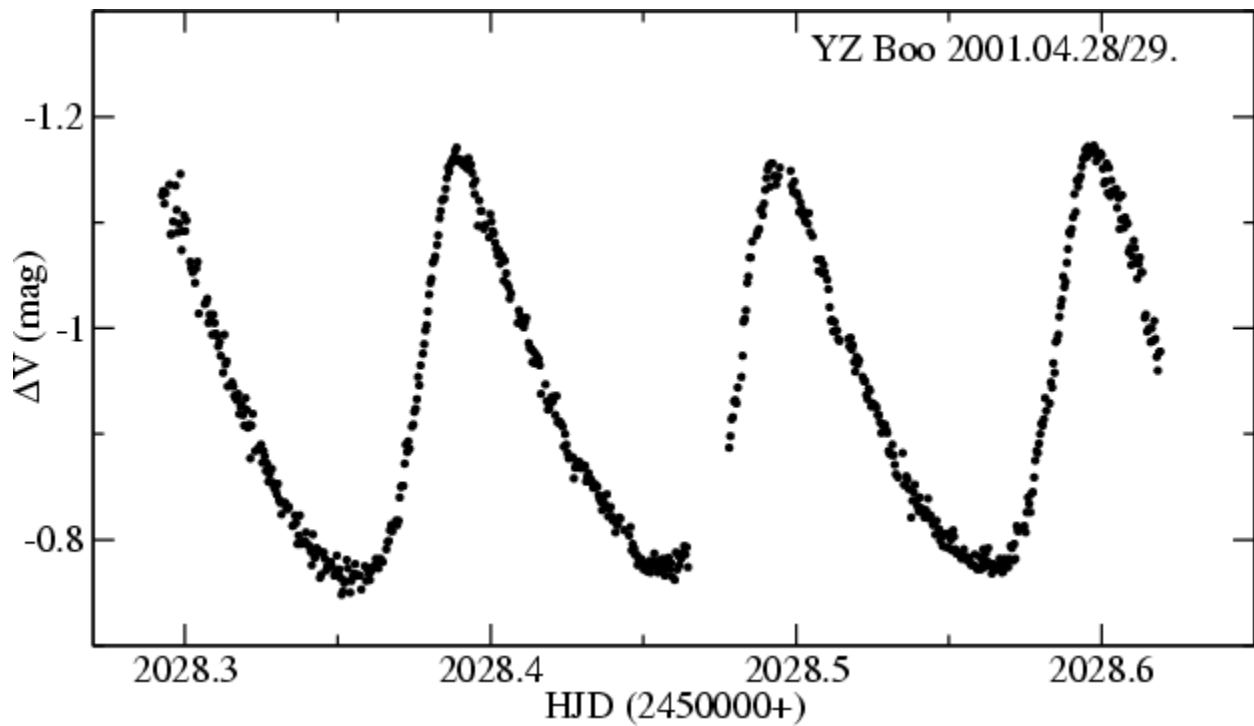
Περνάμε στους εγγενείς μεταβλητούς. Η πλειοψηφία τους αφορά σε αστέρες που μόλις έχουν αρχίσει να απομακρύνονται από την κύρια ακολουθία και να κατευθύνονται προς τους κλάδους των γιγάντων ή υπεργιγάντων. Οι μεταβολές τους οφείλονται σε αστάθεια στην παραγωγή ενέργειας στον φλοιό και το εσωτερικό του πυρήνα λόγω της εξάντλησης επαρκών αποθεμάτων υδρογόνου. Εκδηλώνονται με αναπάσεις της επιφάνειας που προκαλούνται από κύματα παρόμοια με τα σεισμικά στη Γη γιαυτό και ο κλάδος που ασχολείται με αυτούς λέγεται αστροσεισμολογία.



Τυπική καμπύλη φωτός ενός κηφείδη.

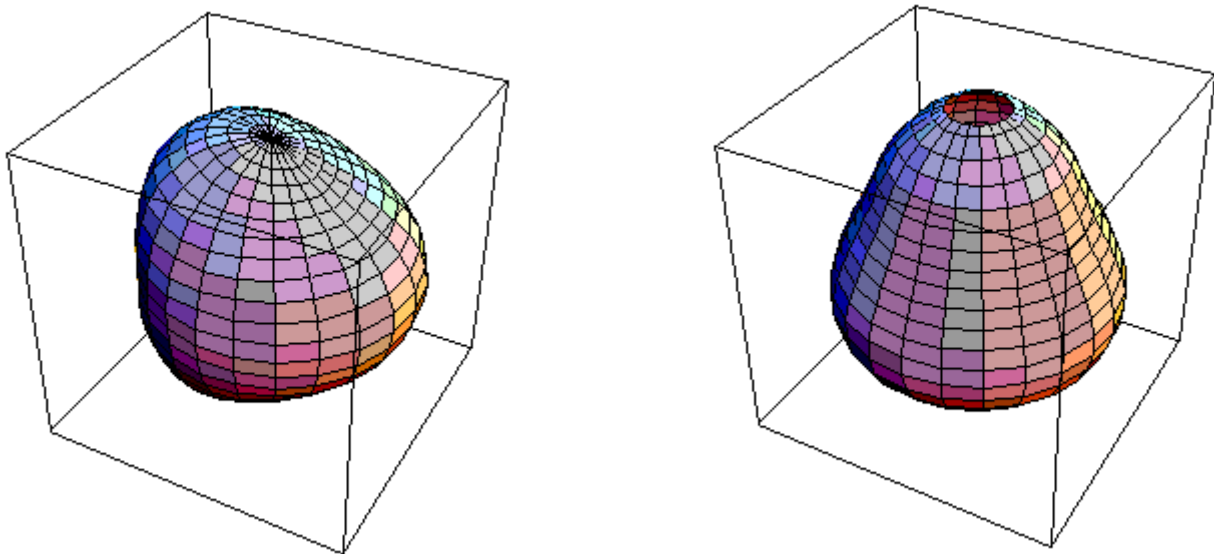
Πρόκειται για τη σημαντικότερη από τις δύο κύριες ομάδες γιατί μπορούμε να αντλήσουμε περισσότερες χρήσιμες πληροφορίες.

Για παράδειγμα: οι κηφείδες και τα άστρα τύπου RR Λύρας. Έχουν εξαιρετικά σταθερή περίοδο και χαρακτηριστικής μορφής καμπύλες. Το χαρακτηριστικό τους γνώρισμα όμως είναι η ισχυρή σχέση ανάμεσα στο απόλυτο μέγεθος και την περίοδο. Επειδή πρόκειται για πολύ λαμπρά αντικείμενα, μπορούμε να τα διακρίνουμε σε μεγάλες αποστάσεις είτε εντός του γαλαξία μας ή σε άλλους κοντινούς. Χρησιμοποιούνται λοιπόν ως δείκτες απόστασης, τόσο για σφαιρωτά ή παλαιά ανοικτά σμήνη, όσο και για κοντινούς γαλαξίες.



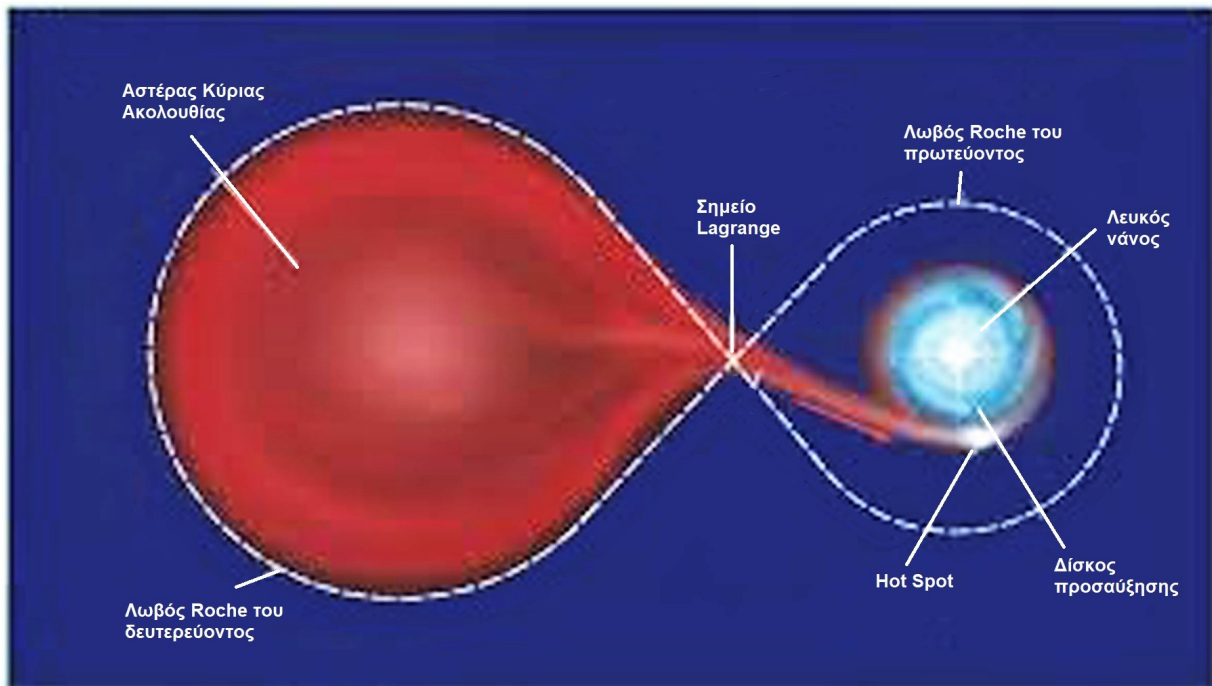
Τυπική καμπύλη φωτός βραχυπερίοδου μεταβλητού.

Οι βραχυπερίοδοι παλλόμενοι δίνουν πληροφορίες για τις συνθήκες στο εσωτερικό τους και την πορεία των άστρων προς το τέλος τους. Ανήκουν στους φασματικούς τύπους Α και F και το εύρος των μεταβολών είναι αρκετά μικρότερο από αυτό των κηφιδών. Σε αντίθεση όμως με αυτούς, τις περισσότερες φορές παρουσιάζουν περίπλοκη δραστηριότητα με παλμούς πολλαπλών συχνοτήτων. Έτσι δεν έχουμε τη συνήθη περιοδική διόγκωση και συρρίκνωση του αστρικού σώματος των κηφιδών, αλλά φαίνεται να λαμβάνουν παράδοξα σχήματα κατά τις αναπάσεις τους.



Μοντέλα σχήματος μεταβλητών πολλαπλών περιόδων

Οι κατακλυσμαίοι μεταβλητοί μέσω της αλληλεπίδρασης κανονικών και εκφυλισμένων άστρων (δηλαδή λευκών νάνων ή αστέρων νετρονίων), επιτρέπουν τη μελέτη της συμπεριφοράς της ύλης σε ακραίες καταστάσεις.



Οι υπερκαινοφανείς τέλος, αποκαλύπτουν τις διεργασίες που συμβαίνουν στο τέλος της ζωής άστρων μεγάλης μάζας, αλλά και χρησιμοποιούνται κι αυτοί ως δείκτες αποστάσεων για πολύ μακρινούς γαλαξίες ή ομάδες γαλαξιών.

Είναι φανερό λοιπόν πως η αστρονομία “χρησιμοποιείται” από τις άλλες φυσικές επιστήμες ως μέσον για τη μελέτη καταστάσεων και φαινομένων τα οποία δεν είναι δυνατόν να αναπαραχθούν σε εργαστήρια εδώ στον μικρό μας πλανήτη.

Κλείνοντας, να τονιστεί για μια ακόμα φορά η σημασία της συμμετοχής ερασιτεχνών αστρονόμων στην προσπάθεια συλλογής δεδομένων, κάτι που μπορεί να γίνεται παράλληλα με τις άλλες δραστηριότητες και ενδιαφέροντα (αστροφωτογραφία, stargazing κλπ).