REALITZACIÓ I COMPARACIÓ DE LES CORBES DE LLUMINOSITAT D'ESTRELLES VARIABLES

Pseudònim: Lyra
Curs: 2n de Batxillerat
Any: 2020-2021

RESUM

Partint de l'interès per l'astronomia s'ha volgut fer aquest treball sobre estrelles variables amb la intenció d'aprendre a observar-les i realitzar les seves corbes de lluminositat.

Primer s'ha cercat informació teòrica sobre les característiques de les estrelles variables. Després, s'han planificat i realitzat observacions d'una sèrie de variables per obtenir registres de les seves brillantors.

A partir d'aquestes dades s'han pogut crear les corbes de lluminositat de cada estrella observada, i finalment s'ha fet un anàlisi i comparació d'aquestes corbes.

Tanmateix, ha resultat especialment complex elaborar aquestes corbes ja que les observacions depenen de diversos factors com poden ser l'estat del cel, la percepció de l'observador i la seva experiència.

ABSTRACT

Based on my interest in astronomy, I wanted to do this project about variable stars with the purpose of learning how to observe them and create their light curves.

First of all, I researched for theoretical information about the characteristics of variable stars. Then, observations of some of these stars were planned and carried out to obtain some records of their brightness.

Based on these data, it has been possible to create the light curves of each observed star and finally, a study and comparison of these curves has been made.

Nevertheless, the creation of these light curves is specially complex due to several factors such as the conditions of the sky and the observer's perception and capabilities.

TAULA DE CONTINGUTS

INTRODUCCIÓ 5
1.- ESTRELLES VARIABLES 7

2.- ASPECTES GENERALS 9
2.1.- LA LLUMINOSITAT DE LES ESTRELLES 9
2.1.1.- La magnitud 9
2.1.1.1.- Magnitud aparent 10
2.1.1.2.- Magnitud absoluta 10
2.1.2.- Distàncies estel·lars 11
2.2.- MASSA, TEMPERATURA, COLOR I DIAGRAMA H-R 12
2.3.- NOMENCLATURA DE LES ESTRELLES 17

3.- TIPUS D'ESTRELLES VARIABLES 18
3.1.- INTRÍNSEQUES 18
3.1.1.- Polsants 19
3.1.1.1.- Cefeides 20
3.1.1.2.- RR lyrae 21
3.1.1.3.- RV tauri 24
3.1.1.4.- Variables de període llarg 25
3.1.1.5.- Variables irregulars 27
3.1.2.- Cataclísmiques 28
3.1.2.1.- Noves 28
3.1.2.2.- Noves recurrents 29
3.1.2.3.- Supernoves 30
3.1.2.4.- Variables simbiòtiques 31
3.2.- EXTRÍNSEQUES 32
3.2.1.- Binàries eclipsants 32
3.2.2.- Variables rotants 34

4.- MÈTODES D'OBSERVACIÓ DE LES ESTRELLES VARIABLES 35
4.1.- OBSERVACIÓ FOTOMÈTRICA 35
4.2.- OBSERVACIÓ VISUAL 36

5.- PREPARACIÓ DE LES OBSERVACIONS 38
5.1.- EQUIPAMENT UTILITZAT 38
5.2.- PLANIFICACIÓ DE LES OBSERVACIONS 43
5.2.1.- Proves i avaluació prèvies al treball de camp 43
5.2.2.- Selecció de les estrelles a observar 44
5.2.3.- Determinar durada i periodicitat de les observacions 46

6.- OBSERVACIONS 47
6.1.- OBSERVACIÓ I REGISTRE 47
6.2.- REALITZACIÓ DE LES CORBES DE LLUMINOSITAT 50
6.3.- ANÀLISI DE LES CORBES 52
6.3.1.- Primera etapa d'observacions 52
6.3.2.- Segona etapa d'observacions 56

7.- COMPARACIÓ DE LES DIFERENTS CORBES DE LLUMINOSITAT 60
7.1.- COMPARATIVA ENTRE DIFERENTS TIPUS D'ESTRELLES 60
7.2.- COMPARATIVA ENTRE ESTRELLES DEL MATEIX TIPUS 62

CONCLUSIONS 65

ANNEX I – ENTREVISTA A JOAN GUARRO 67
ANNEX II – TAULES DE REGISTRE 71
ANNEX III – CARTES ESTEL·LARS 100
ANNEX IV – DIARI D'OBSERVACIONS 106
ANNEX V – DIARI DE RECERCA 121
ANNEX VI – RESSENYES DOCUMENTALS 123

AGRAÏEMNTS:

Primerament, es vol agrair profundament la col·laboració del senyor Joan Guarro, astrònom amateur, que ha sigut de gran ajuda per realitzar les observacions i que ha aportat molt al treball disposant-se a fer l'entrevista.

També es valoren els consells del senyor Ramon Naves, també astrònom amateur, sobre les corbes de lluminositat obtingudes en la primera etapa d'observacions.

INTRODUCCIÓ:

Aquest treball consisteix en la creació i l'estudi de les corbes de lluminositat de diferents tipus d'estrelles variables que s'han obtingut a partir d'observacions astronòmiques. A partir de l'interès per l'astronomia es van descobrir les estrelles variables, que són un fenomen clau per entendre el funcionament de l'univers, el que va fer que es volguessin estudiar en aquest treball.

En aquest treball es vol informar al lector sobre què són les estrelles variables i sobre la seva importància, però sobretot sobre el seu funcionament. Per això s'han volgut crear des de zero les corbes de lluminositat d'una sèrie d'estrelles variables i estudiar-les de primera mà.

Per realitzar aquest treball s'han plantejat una sèrie d'objectius. El primer és entendre la importància que han tingut les estrelles variables al llarg de la història i el que s'ha pogut descobrir gràcies a elles. També es vol conscienciar de la rellevància dels astrònoms amateurs, ja que tenen un paper molt important des de fa molts anys en l'estudi de variables. Un altre objectiu que s'ha plantejat per aquest treball és aprendre a utilitzar instruments d'observació, així com adquirir més coneixement sobre el cosmos, és a dir, tenir la capacitat de localitzar constel·lacions, planetes i estrelles. Per últim, es vol acabar aquesta recerca sent capaç d'interpretar les corbes de lluminositat i podent distingir diferents tipus d'estrelles variables a partir d'elles.

Aquest treball està dividit en dues parts. La primera part és teòrica i serveix per entendre el funcionament de les estrelles variables. Per realitzar-la s'han consultat diferents llibres i pàgines web. La segona part, en canvi, és més pràctica i consisteix en la realització d'observacions visuals de les estrelles i de les seves corbes de lluminositat.

En el primer capítol s'explica què són les estrelles variables, el que aporten a l'estudi de l'univers i la seva història. També es menciona la important relació de les variables amb els astrònoms amateurs i es fa amb una entrevista a un astrònom amateur. Aquesta entrevista ha ajudat a resoldre varis dubtes i per tant s'hi farà referència al llarg del treball.
S'ha volgut incloure un capítol en el que s'expliquessin una sèrie de conceptes com la lluminositat de les estrelles, la brillantor, la temperatura, etc. Aquests aspectes generals que es van comentant durant el treball i es creu necessari que s'entenguin abans de llegir la resta de capítols.
El tercer capítol parla dels tipus més importants d'estrelles variables i es mostren els prototips de corbes de lluminositat que té cada un. D'aquesta manera es podran realitzar els anàlisis de les corbes que s'obtinguin a partir dels coneixements previs sobre els tipus de variables.
Seguidament, en el quart capítol s'expliquen els diferents mètodes d'observació astronòmica que hi ha, inclòs el mètode utilitzat per fer les observacions d'aquest treball.

El cinquè capítol consisteix en la preparació de les observacions, és a dir, explica l'equipament utilitzat, les proves prèvies a les observacions, la selecció d'estrelles i la planificació de les sessions d'observació.
Seguidament s'exposa el treball de camp en sí, s'expliquen les observacions des del principi. En aquest capítol tan important es menciona tot el procés d'aprenentatge que s'ha dut a terme des de les primeres observacions fins les últimes. També s'exposen les corbes obtingudes en cada etapa d'observacions i s'analitzen per fer-ne l'estudi comparatiu en l'últim capítol.

1.- ESTRELLES VARIABLES

Les estrelles variables són totes aquelles estrelles que varien de brillantor. Aquesta variació pot durar centenars d'anys, mesos, hores o segons. Tanmateix, hi ha casos en què la lluminositat canvia molt de magnitud i altres casos en que costa molt apreciar les variacions. El Sol, per exemple, és una estrella variable que varia una mil·lèsima de la seva magnitud durant un cicle solar d'11 anys.

L'estudi de l'astronomia de les estrelles variables és molt important perquè aporta informació sobre les estrelles, que són el principal motor de l'evolució còsmica. A més, l'únic lloc on probablement es trobarà vida en tot l'univers és a les estrelles i als seus sistemes planetaris.

La investigació sobre estrelles variables és fonamental perquè proporciona informació sobre algunes propietats estel·lars com ara la massa, el radi, la lluminositat, la temperatura, l'estructura interna i externa, la composició i l'evolució. Aquest coneixement seria difícil o impossible d'obtenir de cap altra manera ja que la variabilitat és l'element que aporta informació única sobre la naturalesa i l'evolució de les estrelles i, per tant, de l'univers.
A més, les estrelles variables han ajudat en la determinació de les distàncies a les galàxies llunyanes, en la determinació de l'edat de l'Univers, donen a conèixer l'evolució futura del Sol, ajuden a comprendre l'activitat a les galàxies actives amb forats negres supermassius, han contribuït en verificar que l'expansió de l'Univers s'està accelerant, etc.

Les estrelles variables han de ser observades sistemàticament al llarg de dècades per tal de determinar el seu comportament a llarg termini. Els astrònoms professionals no tenen accés il·limitat als telescopis dels observatoris ni el temps necessari per recopilar dades de milers d'estrelles variables, així que els astrònoms amateurs aporten una contribució molt útil enviant-los les seves dades perquè ells les analitzin o enviant-les a associacions professionals com la AAVSO (sigles d'Associació Americana d'Observadors d'Estrelles Variables en anglès). A l'entrevista que es pot trobar en aquest mateix treball, l'astrònom amateur Joan Guarro explica que si un grup d'astrònoms amateurs observa una mateixa estrella, els resultats obtinguts es podran comparar i d'aquesta manera els professionals reben dades precises.
Aquestes dades són necessàries per analitzar el comportament d'estrelles variables, programar observacions per satèl·lit de certes estrelles, relacionar dades d'observacions fetes des de la Terra i des dels satèl·lits i fer models teòrics informatitzats d'estrelles variables.

La primera estrella variable identificada va ser o Ceti, descoberta per David Fabricius (1564-1617) el 1596, que més tard va passar a anomenar-se Mira. Llavors es va identificar com a nova, però el 1638 es va observar que aquesta estrella polsava en un cicle regular d'11 mesos. Va ser un descobriment important, ja que va ajudar a verificar que les estrelles no eren invariables, tal i com havien dit els filòsofs antics. El

descobriment d'estrelles variables i de supernoves va tenir un gran paper en el desenvolupament de l'astronomia.
El 1669 l'astrònom italià Geminiano Montanari (1633-1687), va identificar una segona estrella variable. Va ser una variable de tipus eclipsant anomenada β Persei (Algol), tot i que no va ser fins el 1782-1783 que John Goodricke (1764-1786) va explicar la seva periodicitat.
Goodricke va ser un astrònom anglès amateur que va estudiar en profunditat les estrelles variables i va descobrir la variabilitat de δ Cephei i de β Lyrae l'any 1784. El seu amic i company d'estudi d'astronomia, Edward Pigott (1753–1825), també anglès, va descobrir la variabilitat de η Aquilae el 1784, de R Coronae Borealis el 1795, i de R Scuti el 1796. Aquests dos astrònoms amateurs van establir les bases per a l'estudi de les estrelles variables com a branca de l'astronomia.
La següent estrella variable identificada va ser χ Cygni, observada el 1686, i el 1687 es va descobrir la seva variabilitat. Durant els 80 anys següents es van identificar setze estrelles variables més.
A finals del segle XIX van haver-hi varis desenvolupaments que van influir molt en l'estudi de les estrelles variables, un dels quals va ser l'evolució de la fotografia. A partir del 1880 les emulsions per revelar imatges van començar a ser més delicades i els telescopis eren més precisos, de manera que la astrofotografia va avançar molt. Això va permetre observar moltes més estrelles variables de manera més eficient. Actualment ja s'han descobert i catalogat més de 150.000 estrelles variables i n'hi ha milers més que se sospita que també ho puguin ser.

2.- ASPECTES GENERALS

Per poder seguir parlant d'estrelles variables és necessari comprendre certs aspectes generals, o conceptes astronòmics, ja que s'esmentaran molt al llarg del treball. En aquest capítol s'explicarà la lluminositat de les estrelles, la magnitud d'aquesta i la nomenclatura de les estrelles, entre d'altres.

2.1.- LA LLUMINOSITAT DE LES ESTRELLES

La lluminositat, L, és la mesura del total d'energia irradiada per una estrella o un altre cos celeste per segon, és a dir, la potència que surt de l'estrella. La lluminositat del Sol, $L_\odot$ o L_{sol}, té una lluminositat de 3,84 x 10^{26} W o J/s. La lluminositat del Sol a vegades s'utilitza per determinar la d'altres estrelles, de forma que s'expressa la lluminositat de l'estrella, L_*, com a múltiple o fracció de la del Sol (per exemple, $L_* = L_\odot x2$, el que significa que la lluminositat de l'estrella és el doble que la del Sol). Aquesta forma d'expressar lluminositats és més pràctica que en forma de Watts, ja que sinó s'obtindrien mesures amb nombres molt grans.

Un dels dos aspectes que determinen la lluminositat d'una estrella és el seu radi, ja que com més gran sigui una estrella, més lluminosa serà. L'altre aspecte del qual depèn la lluminositat d'una estrella és la seva temperatura efectiva, T_{eff}, que és la temperatura de la superfície visible de l'estrella. Aquesta, indica la quantitat de calor que l'estrella irradia per unitat de superfície.
La fórmula següent mostra la relació entre la lluminositat d'una estrella, L, el seu radi, R, i la seva temperatura efectiva, T_{eff}, sent σ la constant de Stephan-Boltzman:

$$L = 4\pi\, R^2\, \sigma\, T_{eff}^4$$

Cal diferenciar la lluminositat de la brillantor. Com s'ha explicat abans, la lluminositat és l'energia per segon que irradia una estrella, és a dir, com de brillant l'estrella veritablement és. En canvi, la brillantor és l'energia de llum per metre quadrat i per segon que envia l'estrella i que després veiem des de la Terra. Per tant, la brillantor a més de dependre de la mida de l'estrella i de la seva temperatura, també depèn de la distància a la que es trobi l'estrella en qüestió.
La brillantor d'una estrella vista des de la Terra s'anomena brillantor aparent i depèn de la seva lluminositat i la distància a la qual es troba de la Terra.

2.1.1.- LA MAGNITUD

La magnitud estel·lar és la mesura de la brillantor d'una estrella i depèn de la lluminositat i la distància a la que es troba del punt d'observació. El procediment per mesurar de la brillantor de les estrelles s'anomena fotometria.

2.1.1.1.- MAGNITUD APARENT

La magnitud aparent, m, és el nombre que s'utilitza per mesurar la brillantor d'una estrella o un cos celeste tal i com es veu des de la Terra, sense tenir en compte la distància a la qual es trobi l'objecte.
Aquesta manera de mesurar la brillantor d'un objecte celeste ve del sistema creat per Hiparc de Nicea, un astrònom grec que va viure en el segle II a.C. En aquella època els científics encara es pensaven que les estrelles es trobaven en una esfera al voltant de la Terra i, per tant, totes es trobaven a la mateixa distància de la Terra. Llavors Hiparc va observar que algunes estrelles brillaven més que les altres, de manera que va crear una escala on classificava les estrelles. La classificació anava de la primera magnitud a la sisena magnitud, de manera que les estrelles més brillants eren de primera magnitud i les menys brillants de sexta magnitud. Per tant, com més brilla una estrella, més petita és la seva magnitud, i a l'inrevés.
En el segle XIX van observar que hi havia estrelles més brillants que les de primera magnitud i amb els telescopis van observar que hi havia estrelles més tènues que les de sisena magnitud, de manera que van ampliar la classificació que va fer Hiparc.
L'any 1856 l'astrònom anglès Norman Pogson va formalitzar el sistema, especificant que una estrella de primera magnitud és cent vegades més brillant que una de sisena magnitud. Això significa que una estrella de magnitud *m* és 2,512 vegades més brillant que una de magnitud *m+1*.
En l'actualitat aquest sistema segueix funcionant igual, amb magnituds per sota de l'1 i magnituds per sobre del 6. Només s'ha canviat un aspecte del sistema de Pogson, i és que l'astrònom va utilitzar de referència l'estrella Polaris, posteriorment descoberta com a estrella variable. Degut a això, Vega va passar a ser l'estrella de referència que marca la magnitud zero.
A simple vista i des d'un lloc on no hi hagi gaire contaminació lumínica, es poden observar objectes celestes de fins a magnitud 6 i amb un telescopi o uns prismàtics es poden observar objectes encara més tènues. El telescopi Hubble pot arribar a observar objectes de magnitud 31.

2.1.1.2.- MAGNITUD ABSOLUTA

La magnitud absoluta, M, és la magnitud aparent que una estrella o un altre objecte celeste tindria si es trobés a una distància de 10 parsecs de la Terra, que són 32,6 anys llum. La fórmula per calcular la magnitud absoluta és

$$M = m + 5 - 5\log D$$

on M és la magnitud absoluta, m és la magnitud aparent i D és la distància en parsecs.
El tipus de magnitud absoluta més utilitzada és la magnitud absoluta visual, M_V, que correspon a la magnitud visual, V. La relació utilitzada per calcular la magnitud absoluta visual és

$$M_V = V + 5 - 5\log D$$

on D és la distància en parsecs.

2.1.2.- DISTÀNCIES ESTEL·LARS

Les distàncies en l'espai són tan grans que costen d'entendre. L'estrella més propera a la Terra és el Sol, i es troba a una mitjana de 149.597.871 quilòmetres. L'estrella més propera al Sol està més de 200.000 vegades més lluny. Per poder treballar més fàcilment, els astrònoms han desenvolupat dues unitats de distància molt més còmodes. Una d'elles és l'any llum, que és la distància que recórrer la llum en un any, i la velocitat de la llum és de 299.792.458 km/s. Per tant, en un any llum la llum recorre gairebé 10^{13} km.

L'altra unitat per mesurar les distàncies en l'espai és el parsec, pc. El parsec equival a 3,26 anys llum, que són uns 3,086 x 10^{16} metres. Aquesta unitat de mesura es basa en el mètode de paral·laxi trigonomètrica. La paral·laxi és el canvi aparent d'un objecte quan es mira des de dos posicions diferents. La paral·laxi d'una estrella és la meitat del desplaçament aparent que fa l'estrella en un any quan es veu des dels dos costats oposats de l'òrbita terrestre. També es defineix com la meitat de l'angle que formen les línies imaginàries que van de cada punta del diàmetre de l'òrbita de la Terra als punts on es veu l'estrella quan es creuen. Es mesura en segons d'arc. El parsec es defineix com la distància de la Terra a un estel que tingui una paral·laxi d'1 segon d'arc (arc sec). La relació entre la paral·laxi i la distància en parsecs és aquesta:

$$paral \cdot laxi\ (arc\ \mathrm{sec}) = \frac{1}{distància\ (parsecs)}$$

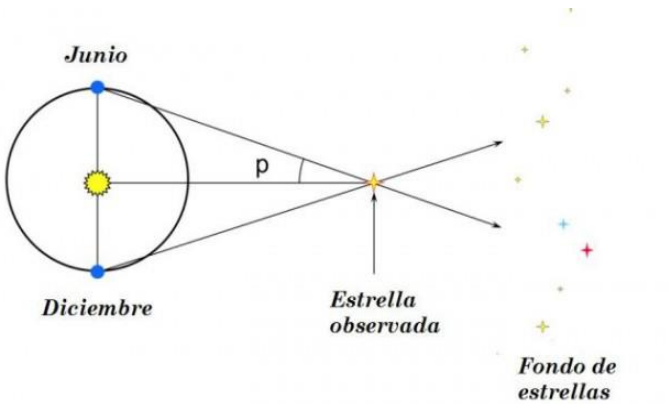


Fig. 1. Paral·laxi

Les paral·laxis són molt petites i això dificulta molt la seva mesura des de la Terra. Per això de l'any 1989 al 1993 l'Agència Espacial Europea (en anglès European Space Agency, ESA) va enviar el satèl·lit Hipparcos a mesurar els paral·laxis de més 100.000 d'estrelles amb molta exactitud. Més tard s'hi va enviar el satèl·lit Gaia que en va mesurar milers més amb encara més precisió.

2.2.- MASSA, TEMPERATURA, COLOR I DIAGRAMA H-R

Quan es forma una estrella, la seva massa inicial determina les seves característiques principals: la seva mida, lluminositat, temperatura i la seva evolució.

Les estrelles brillen perquè una sèrie de reaccions de fusió nuclear que es produeixen en el seu interior generen energia. Aquestes reaccions consisteixen en la fusió de l'hidrogen en heli. Si la massa inicial d'una estrella és massa baixa, inferior a 0,08 masses solars aproximadament, l'estrella no produeix reaccions nuclears ja que la temperatura assolida la nucli no és suficientment alta i l'objecte es converteix en una nana marró.
Per l'altra banda, si les estrelles tenen una massa molt gran es tornen inestables. Durant un temps es va pensar que la massa màxima d'una estrella era de 150 masses solars i que si la massa fos més gran que aquesta seria tan inestable que no es formaria cap estrella. Després, però, una sèrie d'astrònoms van descobrir diverses estrelles amb masses superiors a 150 masses solars i una amb una massa de 265 masses solars, l'estrella R136a1, i estimen que quan va néixer tenia una massa de 320 masses solars.
Així docs, si la massa inicial d'un cos és superior a les 0,08 masses solars, aquest es converteix en estrella.

Tot i això les estrelles no són totes iguals i tenen una sèrie de diferències entre elles. Per un costat hi ha les diferències de mida de les estrelles. Les estrelles més grans són les anomenades supergegants, com Betelgeuse o Antares, després hi ha les estrelles grans, anomenades gegants, com Rigel o Aldebarán, les estrelles mitjanes, com el Sol i les estrelles molt petites, que s'anomenen nanes i són una mica més grans que una nana marró.

Les estrelles també són diferents en temperatura i color, dues característiques que estan relacionades. Les estrelles varien de color com els metalls quan s'escalfen, és a dir, com més calent més blau i com més fred més vermell. Les estrelles més calentes tenen uns 30000 K de temperatura a la superfície i són blaves, i les més fredes, d'entre 3000 i 1600 K, són vermelles.

A partir d'aquesta relació temperatura-color, es van formar els tipus espectrals. El tipus espectral és un paràmetre assignat a un estel en funció del seu espectre. L'espectre és la descomposició de la llum que emet una estrella quan la dispersa un prisma o un altre dispositiu òptic. Al principi els astrònoms no sabien què eren els tipus espectrals, així que agrupaven les estrelles segons les similituds entre els seus espectres i les classificaven en estrelles de tipus A, de tipus B, de tipus C, etc., seguint un ordre alfabètic.
Més tard es va observar que alguns dels tipus espectrals que es van formar en un principi es van considerar innecessaris de manera que es van eliminar, i els principals tipus espectrals van passar a ser O, B, A, F, G, K i M. Aquests van de les estrelles més calentes a les més fredes.

TIPUS	COLOR	TEMPERATURA DE LA SUPERFÍCIE	EXEMPLE D'ESTRELLA
O	Violeta-blanc	30000 K	Meissa
B	Blau-blanc	12000 – 30000 K	Rigel
A	Blanc	8000 – 12000 K	Sírius
F	Groc-blanc	6000 – 8000 K	Procyon
G	Groc-blanc	5000 – 6000 K	Sol
K	Taronja	3000 – 5000 K	Artur
M	Vermell	Menys de 3000 K	Antares

Fig. 2. Tipus espectrals

Aquests tipus espectrals tenen subdivisions, el que permet que els astrònoms classifiquin les estrelles amb més precisió. Cada lletra corresponent a un tipus espectral té fins a deu subdivisions, del 0 al 9. Per exemple, les estrelles G inclouen els tipus des de G0 fins G9. Com més baix sigui el nombre de la subdivisió, més calenta és l'estrella. El tipus espectral de el Sol, per exemple és G2, i el de *beta* Aquilae G8, és a dir, el Sol és més calent que *beta* Aquilae.

Més endavant, a principis del segle XX, l'astrònom danès Ejnar Hertzsprung i l'astrònom nord-americà Henry Norris Russell, independentment l'un de l'altre, van observar la relació entre la massa d'una estrella, la seva lluminositat, temperatura, mida i vida. Aquesta relació consisteix en què les estrelles que tinguin una massa inicial més gran seran més grans i estaran més calentes, de manera que tindran una major lluminositat. A més, la vida d'una estrella i la seva edat estan directament relacionades amb la seva massa, ja que les estrelles que tenen la massa més gran consumeixen el seu combustible molt ràpid i les estrelles menys massives triguen més a cremar el seu combustible, vivint més temps.
Llavors els dos astrònoms van desenvolupar independentment el diagrama de color-magnitud, diagrama Hertzsprung-Russell o diagrama H-R, una de les eines més importants per l'estudi de l'evolució estel·lar. Les dades estel·lars que apareixen en el diagrama són les magnituds en ordre decreixent (o les lluminositats en ordre creixent) en el eix vertical, i la temperatura en ordre decreixent (o el tipus espectral de l'O a la M) en l'eix horitzontal. Després de col·locar les estrelles en els eixos van observar que la majoria d'estrelles es situaven en una diagonal corbada, com es pot veure en la figura següent, la que després van anomenar seqüència principal.

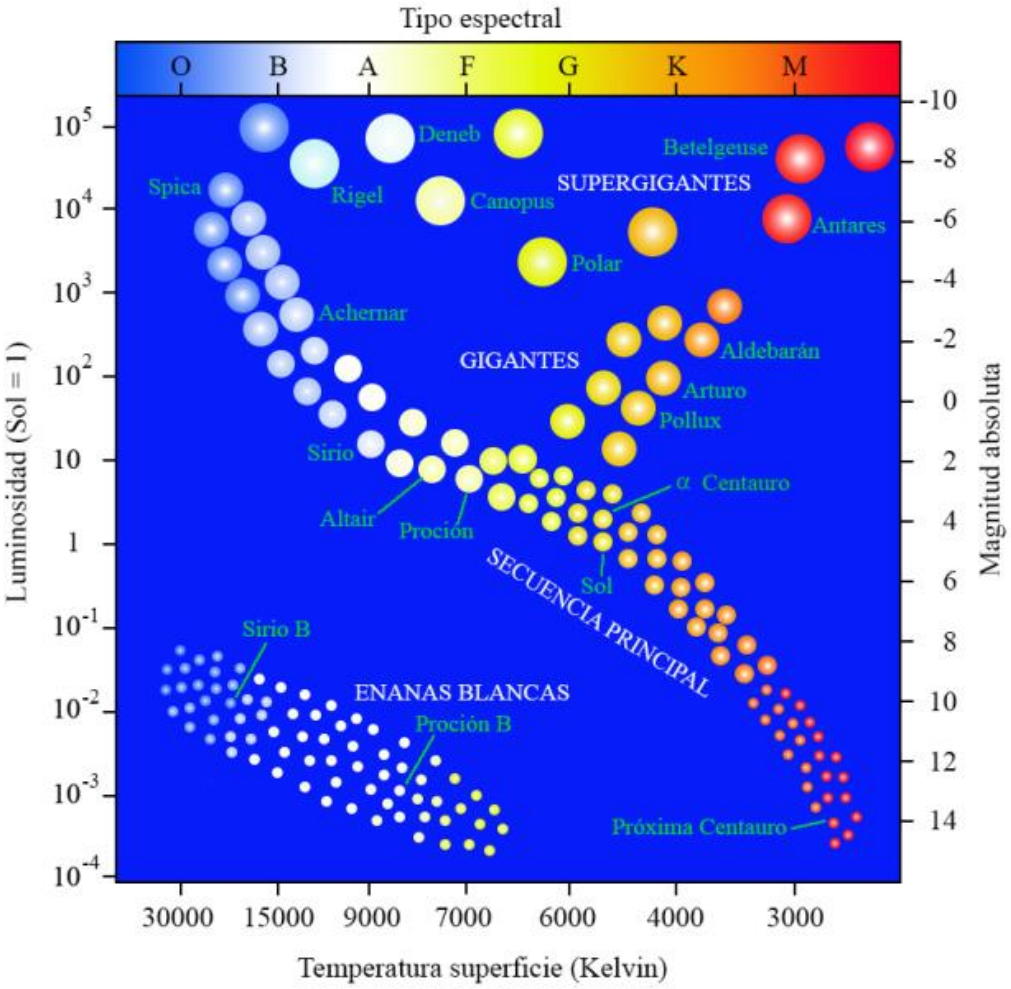


Fig. 3. Diagrama H-R

En la seqüència principal s'hi poden trobar les estrelles més grans, massives, calentes, blaves i lluminoses a la part superior esquerra i les estrelles petites, de menys massa, fredes, vermelles i tènues a la part inferior dreta. Com està indicat en la figura, el Sol es troba aproximadament al mig de la seqüència principal, amb les estrelles grogues de tipus espectral G.

La seqüència principal és on les estrelles passen la major part de la seva vida. El Sol, per exemple, va trigar uns 20 milions d'anys a formar-se, però passarà uns 10 mil milions d'anys a la seqüència principal abans d'evolucionar cap a un gegant vermella.

El que determina el temps de vida que es passarà una estrella a la seqüència principal és la seva massa. Com s'ha explicat anteriorment, les estrelles més massives consumeixen el seu combustible més ràpid que les menys massives. Per tant, les estrelles amb masses més grans es passaran menys temps a la seqüència principal que les estrelles amb masses més petites. Per això, mentre que el Sol passarà 10 mil milions d'anys a la seqüència principal, una estrella de deu masses solars només estarà 20 milions d'anys a la seqüència principal i una estrella amb només la meitat de la massa del Sol pot passar-s'hi fins a 80 mil milions d'anys.

Les estrelles gegants es troben fora de la seqüència principal i solen ser estrelles poc massives que es troben al final de la seva vida. Les gegants són estrelles vermelles i fredes, però com que són grans, són més lluminoses que les estrelles de la seqüència principal que tenen la mateixa temperatura.

Les supergegants són a prop de la part superior de diagrama H-R perquè són molt grans i, com a conseqüència d'això, són molt brillants. Una supergegant vermella pot ser més de mil vegades més gran que el Sol.
Com es pot veure en el diagrama, totes les supergegants estan a la mateixa altura, el que indica que les supergegants blaves són més petites que les vermelles. Això passa perquè les supergegants blaves són més calentes i, per tant, desprenen més llum per centímetre quadrat. Per tal que les supergegants blaves i les vermelles estiguin a la mateixa altura en el digagrama, les seves lluminositats han de ser semblants i per tant, les vermelles han de ser més grans per tal de produir més llum total, ja que no són tan calentes i desprenen menys llum per centímetre quadrat.

A la part inferior esquerra del diagrama es troben les nanes blanques, que són petites i no brillen gaire. Conforme es van fent velles i es van apagant, es mouen cap avall i cap a la dreta en el diagrama.

El diagrama H-R té moltes aplicacions en l'astronomia. La més important és que aquest diagrama és una eina fonamental per l'estudi de l'evolució de les estrelles, ja que es pot utilitzar per a representar-la en forma de models teòrics o simulacions. A més és una forma clara de veure les etapes de la vida per les que passen les estrelles segons la seva massa inicial.
Les estrelles que tenen una massa igual o similar a la del Sol neixen d'un núvol de pols i gas, principalment hidrogen i heli, que té una lluminositat alta a causa de la seva grandària però és fred. A causa de la seva pròpia gravetat el núvol es col·lapsa fent que s'estreteixi. Llavors es comença a fusionar l'hidrogen al nucli formant una protoestrella, amb una temperatura superior a la del núvol però menys lluminosa. Aquesta protoestrella es troba a la seqüència principal del diagrama H-R, on s'estabilitza i on es passarà milers de milions d'anys. Quan a l'estrella se li acaba l'hidrogen que pot fusionar, aquesta s'expandeix i es refreda, convertint-se en una gegant vermella, més freda però més lluminosa degut a l'increment de superfície, de manera que se'n va de la seqüència principal. En aquesta etapa la gegant vermella fusiona heli a carboni, nitrogen i oxigen. Quan l'estrella ja no pot fusionar més heli el nucli es compacta i les seves capes exteriors s'expandeixen molt fins a crear una nebulosa planetària. El nucli, llavors, es converteix en una nana blanca, que és molt calenta però la seva lluminositat és baixa a causa de la seva mida. Després de convertir-se un una nana blanca l'estrella ja no pot crear més energia, així que l'únic que fa és refredar-se, movent-se avall i a la dreta en el diagrama.

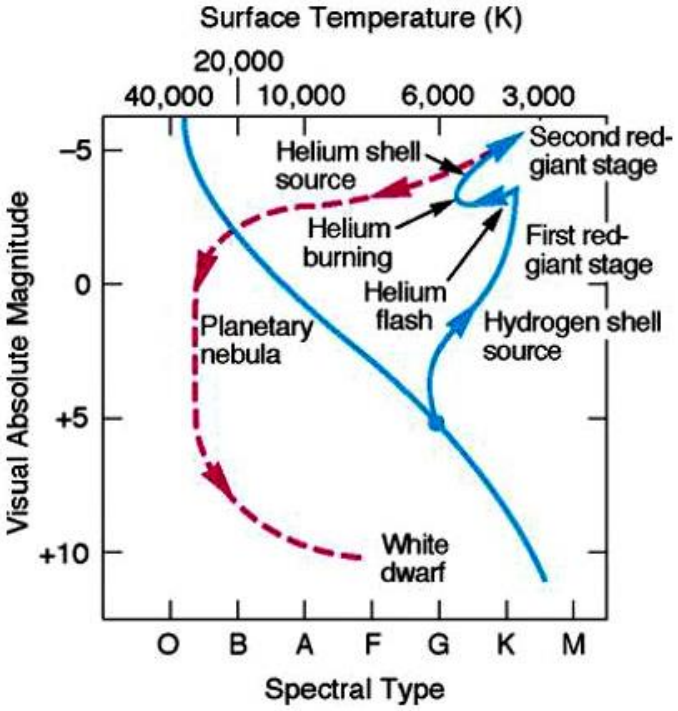


Fig. 4. Evolució d'una estrella semblant al Sol

Les estrelles més massives que el Sol també comencen la seva vida com a un núvol de gas i pols, en aquest cas més gran, que es contrau i s'estreteix formant una protoestrella. Llavors es comença a fusionar l'hidrogen en heli al nucli. En aquesta etapa l'estrella ja es troba en la seqüència principal, on s'hi estarà durant un període de temps més curt, uns 10 milions d'anys. Quan ja no pot fusionar més hidrogen, l'estrella s'expandeix i es refreda, aquest cop formant una supergegant, i al seu nucli fusiona heli en carboni, nitrogen i oxigen. En aquesta etapa l'estrella es troba la part superior dreta del diagrama. Com que l'estrella té una massa molt gran la supergegant pot arribar a temperatures molt altes, de manera que pot fusionar metalls com el ferro. Quan ja no li queda combustible per fusionar, el nucli de la supergegant es col·lapsa i s'escalfa fins a 1 bilió de graus K causant una explosió massiva, és a dir, una supernova. Les supernoves són tan lluminoses i calentes que es troben molt per sobre de la part superior dreta del diagrama H-R, de manera que no s'indiquen.

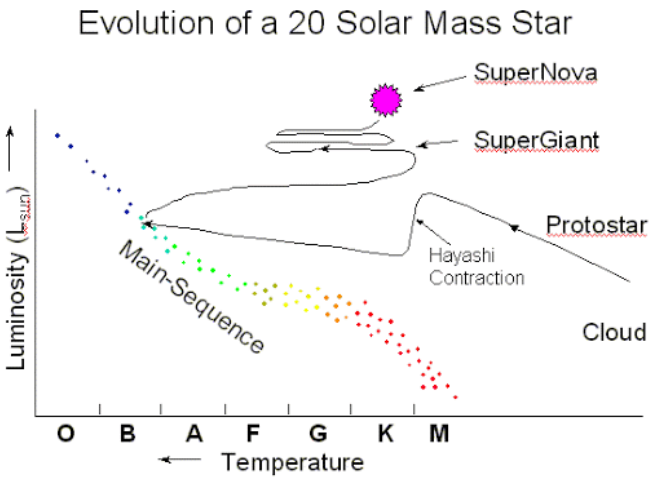


Fig. 5. Evolució d'una estrella més gran que el Sol

2.3.- NOMENCLATURA DE LES ESTRELLES

Quan es van començar a descobrir estrelles variables s'utilitzaven noms propis per anomenar-les, com per exemple Mira o Algol. Aquest sistema, però, va deixar de funcionar perquè es van començar a descobrir moltes més estrelles variables i els noms propis ja no eren pràctics per denominar les estrelles.

Friedrich Argelander, l'astrònom alemany que va determinar l'estudi d'estrelles variables com a branca independent de l'astronomia, va iniciar un nou sistema de nomenclatura, el qual es va convertir en el sistema estàndard per anomenar variables. Aquest sistema consisteix en anomenar les variables amb una o dues lletres majúscules seguides de l'abreviatura de tres lletres del nom de la constel·lació a la qual es troba l'estrella. A la primera estrella variable descoberta en una constel·lació se li posa la lletra R, seguida del nom de la constel·lació. A la segona S, a la tercera T, ..., fins a arribar a la Z. Després es passa a utilitzar dues lletres, començant per RR, seguidament RS, RT, ..., fins arribar a ZZ. Després es comença per les lletres AA fins la QZ, ometent la lletra J. Aquest sistema permet anomenar 334 estrelles variables. Després de la QZ, la següent estrella variable s'anomena V335, V336, etc.

Si una estrella ja era anomenada amb una lletra grega i es descobreix que l'estrella és variable, aquesta manté el mateix nom i es posa al final de la llista d'estrelles variables en la seva constel·lació. Alguns exemples de noms d'estrelles variables són RR Lyr, gamma Cas, SS Cyg o V338 Cep.
Argelander va començar a anomenar les estrelles variables per la lletra R perquè les minúscules i les lletres de la part superior de l'abecedari ja s'havien utilitzat per fer altres denominacions, de manera que va pensar que les lletres de la part inferior de l'abecedari no eren tan utilitzades. A més, l'astrònom alemany va creure que les estrelles variables no eren un fenomen gaire habitual i que no hi haurien més de 9 estrelles variables en cada constel·lació, cosa que no era certa. El motiu pel qual la lletra J es va ometre per anomenar estrelles variables segueix sent un misteri en l'actualitat.
La I.A.U., sigles en angles de la Unió Astronòmica Internacional, disposa d'un comitè que s'encarrega d'anomenar les estrelles variables per després incloure-les en el Catàleg General d'Estrelles Variables.

A part del sistema d'Argelander hi ha altres tipus de nomenclatures per estrelles variables. Les variables descobertes en estudis a gran escala sovint s'anomenen amb el nom de l'observatori on van descobrir. Les variables descobertes a l'observatori de Harvard, per exemple, s'anomenen amb la Designació de Harvard o HV que consisteix en sis números que representen les coordenades de posició de l'estrella. Els primers quatre números indiquen l'ascensió recta en hores i minuts, i els dos últims indiquen la declinació en graus de l'estrella, tot per l'època de 1900. Alguns exemples de la designació de Harvard són HV 2138+43 o HV 0214-03. Aquest tipus de nomenclatura no pretén donar una localització exacta de l'estrella, sinó una idea aproximada d'on es troba. La Designació de Harvard és utilitzada per la AAVSO en la seva base de dades.

Un altre forma d'anomenar les estrelles variables bastant utilitzada és el catàleg de Henry Draper, publicat entre 1918 i 1924. En el primer catàleg, les variables s'enumeraven d'1 al 225300, amb el prefix HD, ordenades per l'augment d'ascensió recta. Les estrelles variables de la primera extensió del catàleg s'enumeren del 225301 al 272150 amb el prefix HDE i les de les cartes d'extensió s'enumeren del 272151 al 359083 amb el prefix HDEC. Tanmateix, com que la numeració continua en el catàleg i en les extensions, es pot utilitzar el prefix HD en totes les enumeracions, ja que el propi número indica si és de les extensions o no sense crear confusions.

Moltes vegades el sistema de nomenclatura d'Argelander pot crear confusions perquè un error d'escriptura pot canviar l'objecte del qual s'està parlant. Per exemple, u Herculis i U Herculis són estrelles diferents, així com mu Centauri i MU Centauri. Per intentar evitar aquest tipus d'equivocacions la Unió Astronòmica Internacional recomana posar sempre dos nomenclatures diferents per a cada estrella, com per exemple el nom estàndard i el nombre HD.

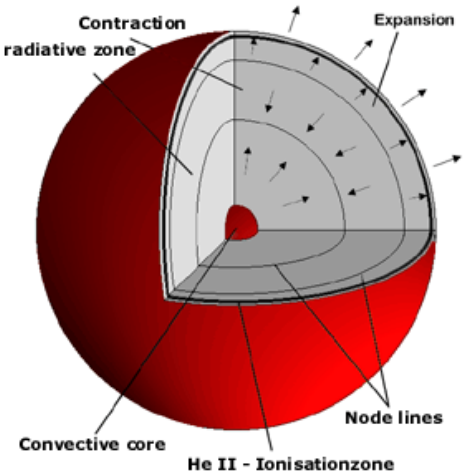


Fig. 6. Gràfic de pulsació radial

3.- TIPUS D'ESTRELLES VARIABLES

Existeixen molts tipus d'estrelles variables i cada un dona a les estrelles unes característiques diferents. A continuació s'explicaran les classes més importants d'estrelles variables, que serviran per poder fer les comparacions al final del treball.
Les estrelles variables es poden dividir en dos grans grups: les variables intrínseques i les variables extrínseques. Dins de cada grup les estrelles variables es poden classificar en classes i dins de cada classe es poden classificar en tipus.

3.1.- INTRÍNSEQUES

Com s'ha explicat, un dels dos grups en que es poden dividir les estrelles variables és en les variables intrínseques. Aquestes, són totes les estrelles que varien de brillantor a

causa de canvis físics de la pròpia estrella. Aquests canvis poden ser deguts a erupcions, explosions o pulsacions.
Són un grup d'estrelles molt important i útil per als astrònoms, ja que proporcionen molta informació sobre l'estructura interna de les estrelles i els models d'evolució estel·lar, així com per a la determinació de distàncies.
Les tres classes principals d'estrelles variables intrínseques són les polsants, les cataclísmiques i les eruptives.

3.1.1.- POLSANTS

Fins el 1879 els astrònoms pensaven que les estrelles variaven de lluminositat a causa de rotacions o eclipsis, però l'enginyer alemany August Ritter va suggerir que les estrelles podien polsar. Des de llavors, les estrelles polsants han sigut una eina molt important per a la determinació de distàncies en l'astronomia, per l'estudi i investigació de l'interior de les estrelles i per comprovar models d'estructures estel·lars i de l'evolució.

Les estrelles són aproximadament esfèriques i, per tant, quan una estrella és polsant significa que el seu radi s'expandeix i es contrau.
Hi ha infinits modes de pulsacions radials que pot tenir una estrella però el mode que segueixen la majoria de variables polsants és el mode fonamental, en que totes les parts de l'estrella s'expandeixen i es contrauen a l'uníson. Alguns tipus de polsants, però, polsen en el primer harmònic, el que significa que hi ha una esfera nodal a l'estrella que no es mou. Llavors quan la part de fora d'aquesta esfera s'expandeix, la part de dintre es contrau, i viceversa.
Les variables polsants d'amplitud més gran, és a dir, les cefeides, les RR Lyrae i les estrelles Mira, principalment polsen de forma radial, el que produeix variacions àmplies de lluminositat, de temperatura i de velocitat radial. Les pulsacions radials d'una estrella permeten determinar el seu radi aproximat.
Per determinar el mode de pulsació radial que segueix una estrella es necessita saber el valor aproximat del radi i de la massa de l'estrella. Llavors el període de variació de l'estrella que s'ha observat es compara amb el període teòric de cada mode radial. Així es poden estudiar similituds i es pot determinar el mode de pulsació radial que segueix l'estrella.

Les variables que segueixen una pulsació no radial canvien de forma però no de volum. Els canvis de forma poden seguir infinitat de modes basats en tres eixos de coordenades: la distància des del centre de l'estrella, la latitud (distància angular per sobre o per sota de l'equador de l'estrella) i la longitud (distància angular al voltant de l'equador de l'estrella).

Les pulsacions no radials produeixen variacions menys àmplies de lluminositat i de color respecte les pulsacions radials.

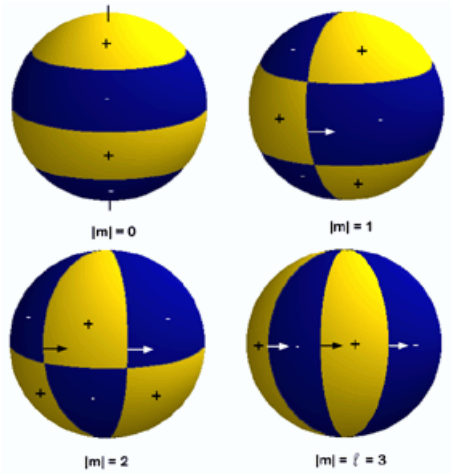


Fig. 7. Gràfic de pulsació no radial

En aquesta imatge es pot veure com les estrelles polsen de forma no radial. Les parts grogues de les esferes es mouen cap a fora i les blaves cap a dintre, canviant així de forma però no de volum.
Alguns exemples d'estrelles variables polsants no radials són la majoria de nanes blanques, moltes β Cephei i les δ Scuti. Algunes d'aquestes estrelles polsen de forma radial i no radial.

3.1.1.1.- CEFEIDES

Les cefeides són el tipus més important i conegut de variables polsants radials. Reben aquest nom per l'estrella δ Cephei de la constel·lació de Cefeu, descoberta per John Goodricke el 1784. Aquest tipus d'estrelles són joves i gegants, la seva massa és de 4 a 20 vegades la massa del Sol. El seu període de variació és d'entre 1 i 135 dies, i són molt regulars. Tenen una lluminositat molt alta i les seves magnituds poden variar des de centèsimes fins a 2 unitats. Les cefeides són tan brillants que se n'han pogut veure en altres galàxies, el que ha permès que es puguin utilitzar per mesurar distàncies còsmiques.

Les variacions de lluminositat d'aquest tipus d'estrelles estan causades per les pulsacions radials de la pròpia estrella, que són degut a la ionització d'una capa d'heli causada pel canvi de temperatura. Quan l'estrella està més contreta, augmenta la temperatura en el seu centre, el que fa que l'estrella s'escalfi i augmenti la seva brillantor. Aleshores la radiació no pot escapar, així que la pressió a l'interior de l'estrella augmenta i aquesta comença a inflar-se. Conforme la cefeida es va expandint es fa més transparent, la radiació escapa i l'estrella es refreda perdent lluminositat. L'expansió s'atura quan l'estrella arriba a una determinada temperatura mínima i el radi s'ajusta a una posició d'equilibri.
Resumint, la lluminositat d'una variable cefeida és inversament proporcional a les seves dimensions, per tant, és màxima quan el radi és mínim i a la inversa. Les cefeides arriben

a la seva màxima brillantor en el moment d'expansió més ràpida, quan la temperatura ha arribat al màxim per la contracció i l'estrella encara no s'ha refredat.

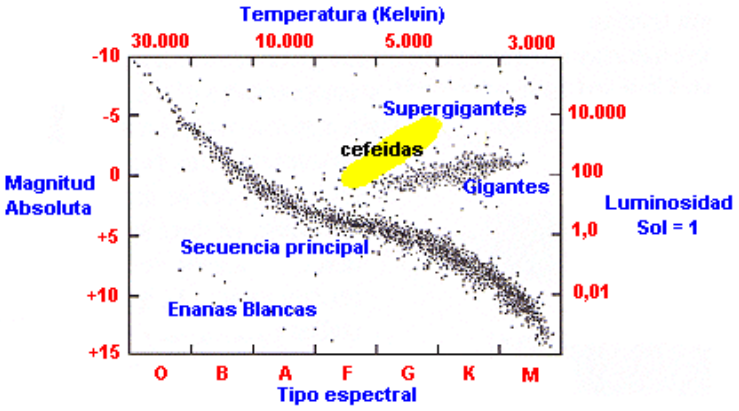


Fig. 8. Cefeides al diagrama H-R

Les estrelles variables polsants cefeides es poden dividir en cefeides clàssiques i cefeides de tipus W Virginis. Les cefeides clàssiques es troben es troben principalment als braços espirals de la Via Làctia. En el diagrama H-R, explicat en el capítol anterior, estan fora de la seqüència principal i es troben a la banda d'inestabilitat, tal i com es pot veure en el diagrama superior. Són estrelles joves i supergegants que tenen una massa d'entre 3 i 30 masses solars. Tenen una lluminositat d'entre 500 i 30.000 vegades la del Sol, i una temperatura superficial d'uns 10.000 K. Aquestes estrelles són molt riques en metalls.
Les cefeides de tipus W Virginis no són joves i grans com les clàssiques, sinó que són més velles i tenen una massa d'entre 0,5 i 0,6 vegades la massa solar. Són menys lluminoses que les cefeides clàssiques i tenen períodes més curts d'1 a 50 dies. Aquestes estrelles es troben en el nucli i l'halo, una esfera poc densa que envolta les galàxies espiral, de la Via Làctia.
La imatge inferior mostra el gràfic d'una cefeida clàssica (esquerra) i d'una cefeida de tipus W Virginis (dreta). Com es pot observar, les cefeides clàssiques tendeixen a augmentar de lluminositat ràpidament per després disminuir més lentament. Les corbes de les W Virginis prensenten una gepa característica i són més simètriques que les corbes de les clàssiques.

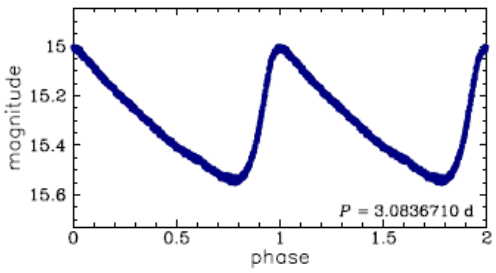


Fig. 9. Corba de lluminositat d'una cefeida clàssica

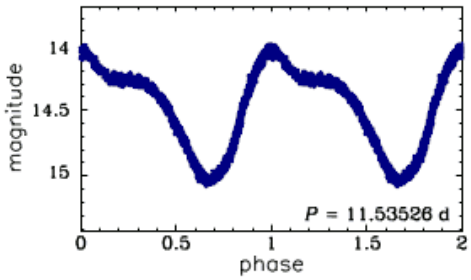


Fig. 10. Corba de lluminositat d'una cefeida W Virginis

3.1.1.2.- RR LYRAE

Les variables polsants de tipus RR Lyrae van ser molt importants en l'astrofísica, sobretot al segle XX, ja que permeten determinar distàncies estel·lars, aporten informació sobre la distribució i el moviment de les estrelles més velles de la Via Làctia i sobre l'envermelliment de les estrelles. Són estrelles velles de període molt curt, d'entre 0,5 i 2 dies. Varien aproximadament 1,5 magnituds i la seva massa és la meitat que la del Sol. El nom que tenen aquest tipus de polsants ve de l'estrella RR Lyrae, la variabilitat de la qual va ser descoberta al voltant del 1900 per Williamina Fleming, una de les moltes dones que van realitzar gran quantitat dels càlculs i recerques a l'observatori del Harvard College, sota la direcció d'Edward Charles Pickering.
Aquestes estrelles es troben a l'halo de la Via Làctia i n'hi solen haver moltes en els cúmuls globulars, que són concentracions esfèriques d'estrelles velles que orbiten les galàxies. Per aquests motiu a vegades s'anomenen variables de clúster.
D'estrelles variables RR Lyrae se'n coneixen milers i com que es troben als cúmuls globulars és fàcil conèixer-ne les seves característiques físiques, i totes tenen una magnitud absoluta visual similar. Això fa que siguin un tipus d'estrelles que es presten molt a la seva interpretació i al seu anàlisis teòric. A més, també es coneix molt bé el seu estat evolutiu: en el seu nucli es passen la major part de la seva vida cremant hidrogen, i quan se'ls acaba comencen a cremar heli, així que evolucionen de més calentes a més fredes. Per tant, es troben en una branca horitzontal en el diagrama H-R, indicat en la figura següent de color groc.

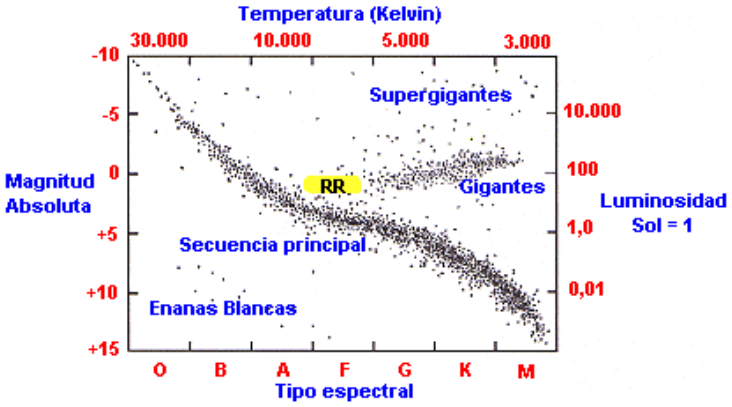


Fig. 11. RR Lyrae al diagrama H-R

Segons l'amplitud i la inclinació que segueixen les corbes de llum de les estrelles RR Lyrae es van classificar en tres tipus diferents: les RRa, les RRb i les RRc. Més tard es va observar que les RRa i les RRb polsen amb el mateix mode així que es van unir per fer un sol tipus, el RRab, i van sorgir les RRd.
Les RRab polsen en mode fonamental i tenen períodes d'entre 0,45 i 1 dia. aquestes estrelles presenten corbes de llum asimètriques amb una pujada forta i després d'arribar al màxim dibuixen una disminució lenta de la brillantor. Les RRab de període més curt solen tenir les amplituds més grans i les de períodes més llargs presenten amplituds més petites.

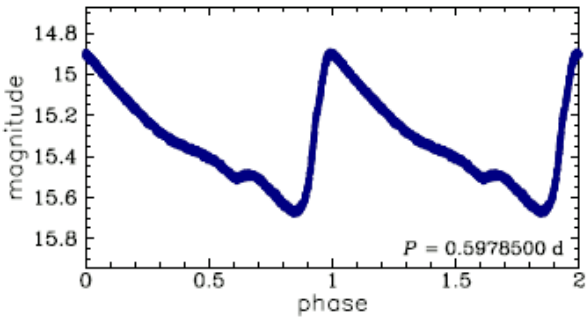


Fig. 12. Corba de lluminositat d'una Rab

Les RRc polsen en mode fonamental i tenen períodes d'aproximadament 0,2 dies a 0,5 dies. Aquestes estrelles tenen corbes de llum molt més simètriques i amplituds més petites que les RRab. En alguns casos, les corbes de llum de les estrelles RRc són gairebé sinusoidals, i això fa que sigui més difícil la seva identificació. Normalment, les estrelles RRc presenten un petit pic situat a la branca ascendent, abans de la corba principal.

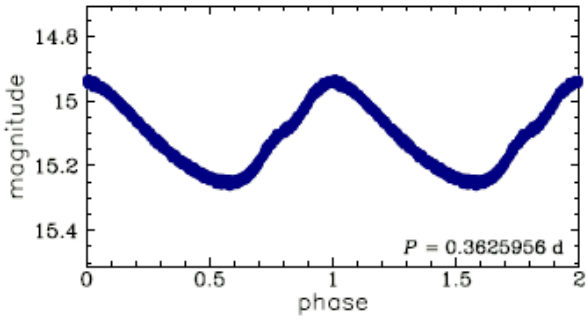


Fig. 13. Corba de lluminositat d'una Rc

Les variables de tipus RRd solen polsar en dos modes simultàniament, en el mode fonamental i en el primer harmònic. Les corbes de llum d'aquest tipus de polsants són sinusoidals i es poden separar en dues corbes, la del mode fonamental (gràfic de la dreta) i la del primer harmònic (gràfic del mig).

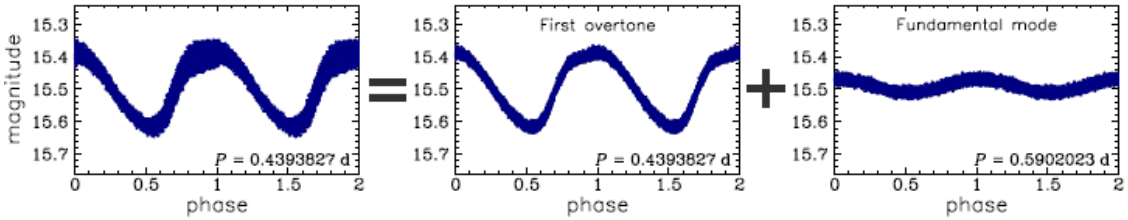


Fig. 14. Corba de lluminositat d'una Rd

3.1.1.3.- RV TAURI

Les variables polsants RV Tauri són estrelles supergegants grogues que polsen de forma radial. Tot i tenir una temperatura superficial semblant a la del Sol, les RV Tauri tenen una massa d'entre 1 i 6 vegades la del Sol. Són de 100 a 1000 vegades més grans que el Sol i de 1000 a 10000 vegades més lluminoses.
Aquestes estrelles estan molt relacionades amb les cefeides de tipus W Virginis, ja que també es troben en cúmuls globulars que són deficients en metalls i a més, ocupen la mateixa franja d'inestabilitat en el diagrama H-R.
Quan es troben en la seva màxima lluminositat les RV Tauri tenen tipus espectral F-G i quan es troben al mínim K-M.

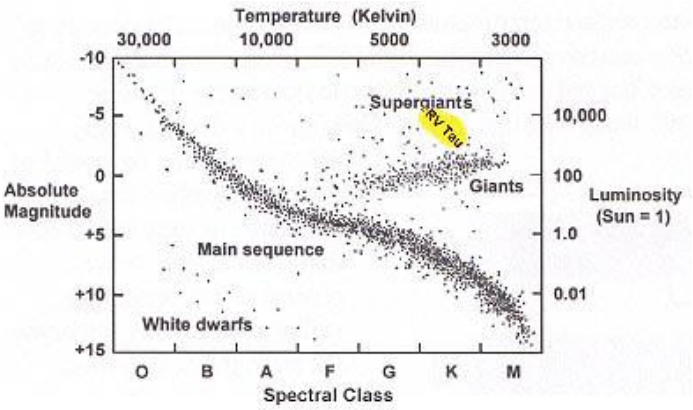


Fig. 15. RV Tauri al diagrama H-R

Els models informàtics d'evolució estel·lar diuen que aquestes estrelles són velles i es troben al final de la seva vida, de manera que d'aquí poc canviaran dràsticament, explotant com a supernoves o potser formant nebuloses planetàries.
Les seves corbes de llum són característiques perquè van alternant entre mínims més profunds i mínims menys profunds. A més, les corbes de llum de les estrelles RV Tauri són semiregulars, i es poden observar variacions importants d'un període a un altre. El període d'aquestes estrelles per anar d'un mínim profund al següent és d'entre 30 i 150 dies.

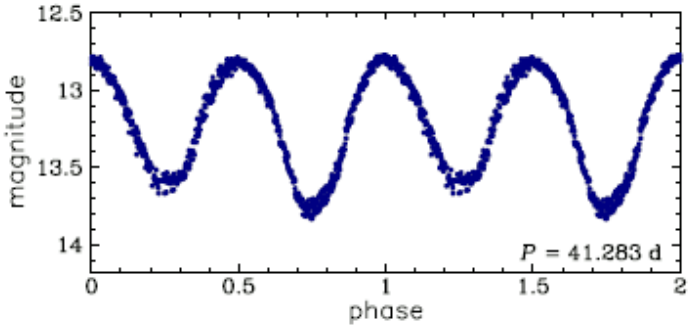


Fig. 16. Corba de lluminositat d'una estrella RV Tauri

Les RV Tauri de període llarg tenen tendència a ser menys regulars que les estrelles de període més curt.
A partir de l'estudi del comportament a llarg termini de les variables polsants RV Tauri, aquestes es poden dividir en dos grups. Per un costat hi ha les estrelles RVb, que són les que mostren variacions periòdiques en la brillantor mitjana en períodes que van de 600 a 1500 dies, és a dir, que els màxims i els mínims de brillantor varien en períodes de temps llargs. Per l'altre costat hi ha les RVa, que són aquelles que no varien de brillantor mitjana.

3.1.1.4.- VARIABLES DE PERÍODE LLARG

Les estrelles variables de període llarg són estrelles gegants vermelles i supergegants fredes que canvien de lluminositat en períodes que van dels 30 als 1000 dies. Les seves lluminositats poden anar de 10 a 10000 vegades la del Sol i normalment són de tipus espectral M, R, C o N. En el diagrama H-R, les variables de període llarg es troben a la secció on hi ha les estrelles que estan al final de la seva fase evolutiva.

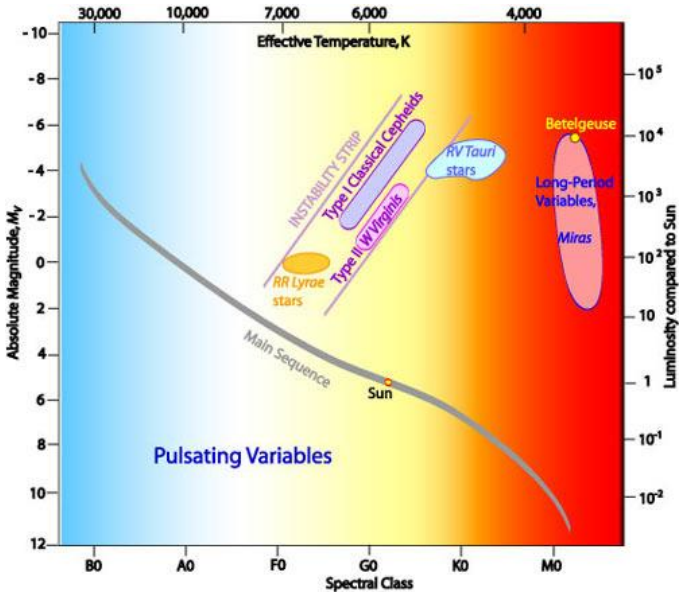


Fig. 17. Variables de període llarg al diagrama H-R

Les variables de període llarg es poden classificar segons si la seva periodicitat es mostra regular, les de tipus Mira, o més irregular, les variables semiregulars.

Les variables de tipus Mira tenen com a prototip l'estrella Mira Ceti, també anomenada omicron Ceti, la primera estrella variable descoberta. Aquest tipus d'estrelles tenen el període llarg, que pot anar dels 80 als 1000 dies, i visualment varien de 2,5 a 10 magnituds. Quan es troben en el seu màxim de lluminositat són molt visibles a llargues distàncies.

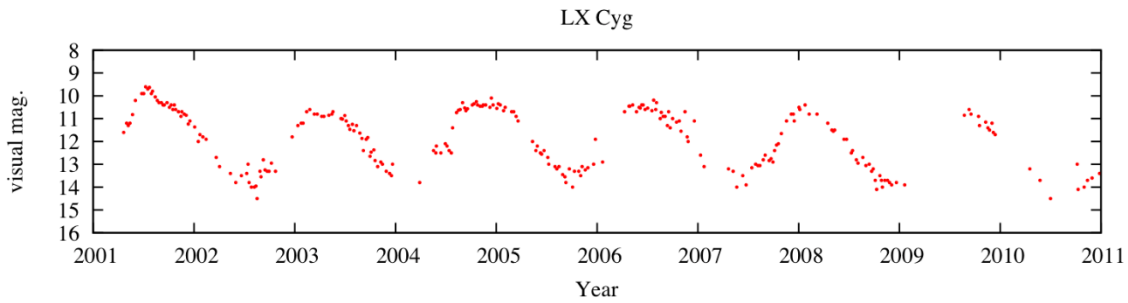


Fig. 18. Corba de lluminositat de LX Cyg

Com indica el seu nom, les variables semiregulars a vegades mostren períodes clars i a vegades mostren períodes menys definits. Les corbes de llum d'aquestes estrelles poden ser bastant variables entre cicles i les amplituds normalment van d'1 a 2 magnituds.
Les variables semiregulars es poden dividir en quatre tipus. Les SRa són gegants de classes espectrals M, C i S. Les seves amplituds en les corbes de llum són petites, normalment de menys de 2,5 magnituds, i els seus períodes poden anar de 35 a 1200 dies. Les SRa són molt semblants a les Mira i només es diferencien d'aquestes per les petites amplituds que mostren.

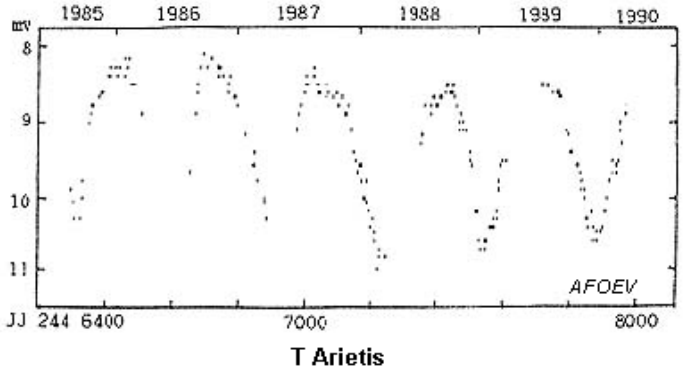


Fig. 19. Corba de lluminositat de T Arietis, variable semiregular SRa

Les SRb també són gegants de tipus espectral M, C i S, però no tenen una periodicitat clara, de manera que no es pot predir en quines èpoques tindrà la màxima i la mínima brillantor. Normalment a aquestes estrelles se'ls dona un període mitjà que pot anar dels 20 als 2300 dies.

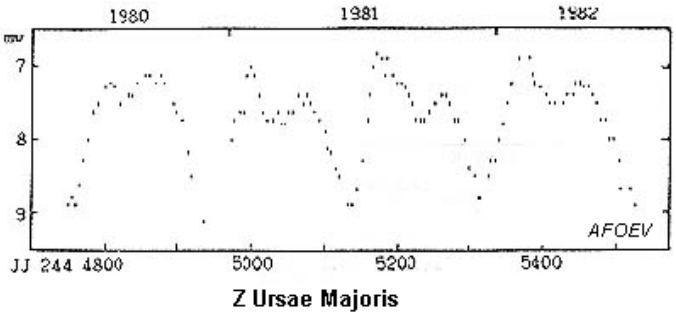


Fig. 20. Corba de lluminositat de Z Ursae Majoris, variable semirregular SRb

Les SRc són estrelles supergegants amb amplituds d'aproximadament 1 magnitud i períodes de variació de lluminositat de 30 a diversos milers de dies.

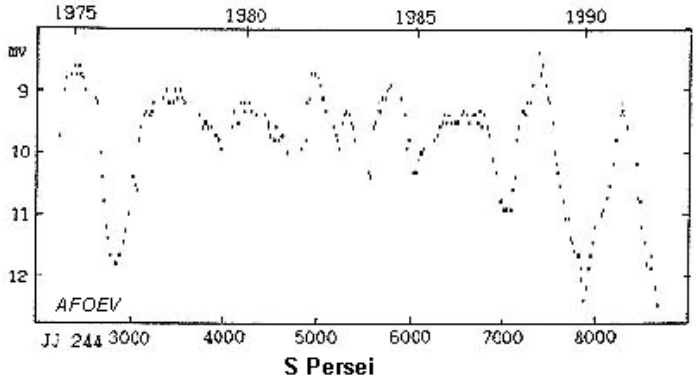


Fig. 21. Corba de lluminositat deS Persei, variable semirregular SRc

Per últim, les SRd gegants i supergegants de classes espectrals F, G i K. Mostren amplituds d'entre 0,1 i 4 magnituds i períodes de 30 a 1100 dies.

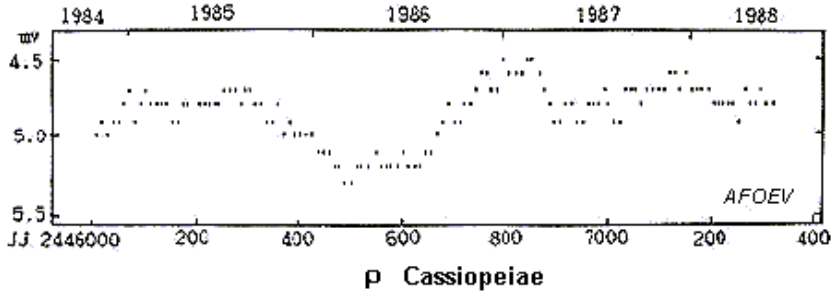


Fig. 22. Corba de lluminositat de ρ Cassiopeiae, variable semirregular SRd

3.1.1.5.- VARIABLES IRREGULARS

Com el seu nom indica, les variables irregulars no presenten periodicitat en les seves variacions de lluminositat o en presenten molt poca. Aquest tipus de polsants són generalment gegants o supergegants vermelles de tipus espectral K, M, C i S. Aquestes es poden dividir en dos grups, les variables irregulars polsants i les variables irregulars eruptives.

Les variables irregulars polsants són estrelles més fredes de tipus estectrals K, M, C o S. Algunes d'aquestes irregulars, però, són variables semiregulars que encara no s'han estudiat prou a fons.

Les variables irregulars eruptives es poden dividir en tres categories. Les variables de tipus I es divideixen els subgrups IA, que són de tipus espectrals O, B o A, i són les més calentes, i IB, de tipus espectrals F, G, K i M. La segona categoria són les anomenades irregulars nebuloses o IN són estrelles el període de les quals pot anar d'1 a 10 dies i

poden variar fins a 1 magnitud. La tercera categoria són les estrelles IS, que mostren variacions ràpides de 0,5 a 1 magnitud en poques hores.

3.1.2.- CATACLÍSMIQUES

Les estrelles variables cataclísmiques són sistemes binaris formats per una nana blanca i una estrella de la seqüència principal del diagrama H-R, normalment freda i de tipus espectral G, K o M. En les variables cataclísmiques l'estrella primària és la nana blanca i la secundària és l'estrella de la seqüència principal, que sol ser semblant al Sol. Aquests sistemes binaris solen ser petits, aproximadament de la mateixa mida que el sistema format per la Terra i la Lluna. Les dues estrelles orbiten l'una a l'altra en un període d'unes 10 a 12 hores.
Les nanes blanques són molt denses i la seva energia gravitacional és molt gran, de manera que la nana blanca atrau i acumula matèria de l'estrella secundària. La matèria, gasos rics en hidrogen, s'acumula al voltant de la nana blanca formant un disc i just on passa de l'estrella secundària a la nana blanca es crea una zona molt calenta degut a les reaccions de la matèria del disc i la de l'estrella. La nana blanca gira sobre sí mateixa depositant la matèria del disc a la seva superfície.

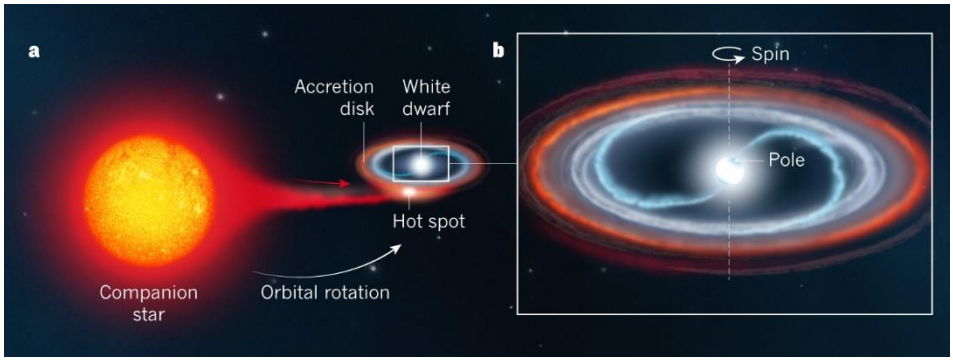


Fig. 23. Il·lustració d'una variable cataclísmica

3.1.2.1.- NOVES

Les noves són estrelles formades a partir de les variables cataclísmiques. Com s'ha explicat en l'apartat anterior, les nanes blanques acumulen matèria de les estrelles de la seqüència principal al seu voltant formant un disc. La matèria del disc després es deposita a la superfície de la nana blanca. A mesura que aquestes capes de gas s'acumulen es van comprimint, augmentant la pressió i la temperatura de la nana blanca. Si aquesta és prou massiva, la temperatura del gas pot arribar a ser prou alta com per provocar la fusió nuclear de l'hidrogen. En aquestes reaccions el gas pot arribar a temperatures superiors a 10^8 Kelvin. Finalment, el gas explota i és expulsat de la superfície de la nana blanca formant una nova. Encara que ho sembli, les noves no destrueixen les nanes blanques, sinó que aquestes es queden igual que al principi.

Quan es forma una nova, la lluminositat d'aquesta pot arribar a augmentar de 10 a 15 magnituds, de manera que tenen una lluminositat molt alta. Però això no dura per sempre, ja que quan les noves han cremat el seu combustible es calmen i tornen al seu estat original. Es creu que aquest tipus d'estrelles tornen a explotar, però no ho fan fins que han passat de 1000 a 100000 anys des de que van explotar per últim cop. Per aquest motiu no hi ha registres de cap nova que hagi tornat a explotar, ja que fa mil anys encara no s'observaven.

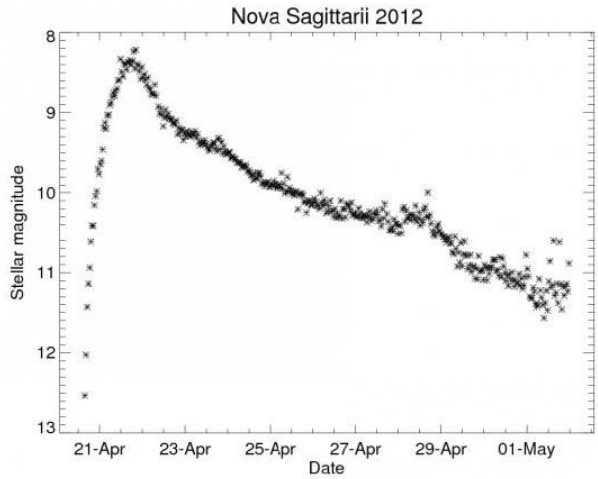


Fig. 24. Corba de lluminositat d'una nova

En la corba de lluminositat anterior es pot veure com les noves comencen amb una explosió que fa que augmenti ràpidament la seva lluminositat i com després es van apagant per tornar a l'estat de nanes blanques.

3.1.2.2.- NOVES RECURRENTS

Algunes noves quan tornen al seu estat original de nana blanca tornen a començar el procés per convertir-se una altra vegada en noves. Aquestes estrelles s'anomenen noves recurrents. El temps de recurrència de les noves recurrents, és a dir, el temps que passa des de que exploten com a noves fins que tornen a convertir-se en noves és d'entre 10 i 100 anys. Aquest tipus d'estrelles són molt importants perquè permeten veure i estudiar l'abans i el després de les noves, ja que el seu temps de recurrència és curt i ho permet. A la Via Làctia es coneixen deu noves recurrents, la majoria de les quals han explotat dues vegades en l'últim segle, que és el temps que els astrònoms porten observant-les.

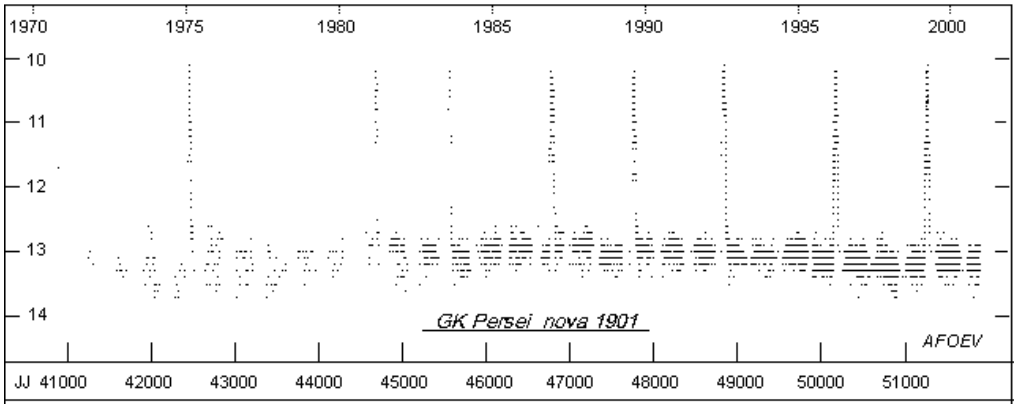


Fig. 25. Corba de lluminositat de GK Persei, nova recurrent

Les corbes de llum de les noves recurrents presenten dues parts diferents que es van repetint. La primera és la corba de l'explosió, que mostra l'increment de lluminositat sobtat, és a dir, la formació de la nova, i seguidament el descens de lluminositat, que no és tan ràpid i sol mostrar una gepa.

La segona part és quan la nova es troba en repòs, en altres paraules, quan la nana blanca està acumulant matèria de l'estrella secundària al seu voltant. Per això en aquesta part la corba no és plana, sinó que va oscil·lant, mostrant el procés d'atracció i acumulació de matèria de la nana blanca.

3.1.2.3.- SUPERNOVES

Les supernoves són explosions enormes que destrueixen estrelles senceres. Hi ha dos tipus principals de supernoves: les de tipus II i les de tipus Ia.

Les supernoves de tipus II són explosions molt brillants d'estrelles molt més grans, lluminoses i massives que el Sol, és a dir, supergegants vermelles o potser supergegants blaves si són prou calentes. Aquest tipus de supernoves pot ser que després d'explotar deixin una estrella de neutrons o un forat negre.

El segon tipus important de supernova rep el nom de Ia. Aquestes supernoves són més brillants que les de tipus II. La lluminositat real d'una supernova de tipus Ia sempre és aproximadament igual, per tant, quan els astrònoms les observen poden saber a quina distància està de la Terra estudiant la seva brillantor aparent. Com més lluny estigui, menys brillant semblarà la supernova.

Totes les supernoves de tipus Ia produeixen explosions similars perquè la seva erupció es produeix en sistemes binaris, explicats anteriorment, en què les nanes blanques acumulen matèria d'una altra estrella més gran al seu voltant. Quan la nana blanca ha acumulat una quantitat de matèria suficient, aquesta explota.

Les supernoves de tipus Ia han tingut un paper molt important en la mesura de l'univers i en l'estudi de la seva expansió. El 1998, uns astrònoms que estudiaven aquestes supernoves van descobrir que l'expansió de l'univers va a una velocitat cada vegada més

gran, de manera que els científics van haver de replantejar les seves teories sobre el Big Bang i l'energia fosca.

Les corbes de lluminositat de les supernoves mostren un augment molt ràpid de la lluminositat, és a dir, l'explosió. A continuació mostren un descens lent de la lluminositat, el material de l'explosió de la supernova que es va consumint i cada cop és menys lluminós.

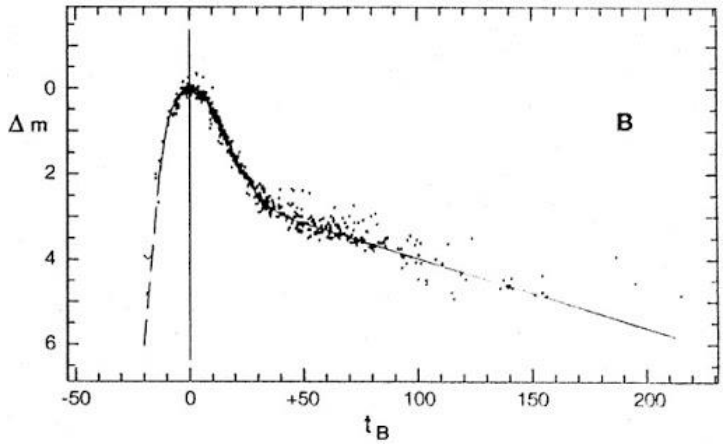


Fig. 26. Corba de lluminositat d'una supernova

3.1.2.4.- VARIABLES SIMBIÒTIQUES

Aquest tipus de variables cataclísmiques estan formades per una gegant vermella i una nana blanca. A diferència dels altres tipus de cataclísmiques, en les simbiòtiques la nana blanca rep material de la gegant vermella a causa de vent estel·lar, mentre que en els altres sistemes binaris la força gravitatòria de les nanes blanques xucla la matèria.

El funcionament d'aquests sistemes binaris és igual al de les altres estrelles variables cataclísmiques, a part de la forma en que la matèria s'acumula al voltant de la nana blanca, com s'ha explicat anteriorment.

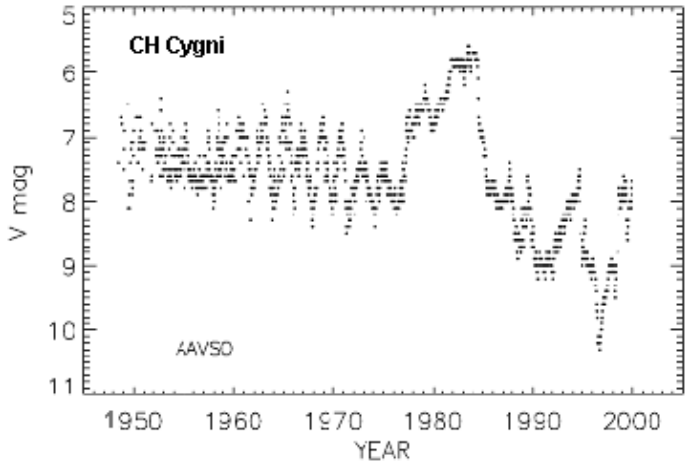


Fig. 27. Corba de lluminositat de CH Cygni, variable simbiòtica

Com es pot veure en la corba de lluminositat de l'estrella CH Cygni, el prototip d'estrella simbiòtica, la lluminositat de l'estrella augmenta ràpidament quan explota i després la lluminositat va disminuint amb el temps.

3.2.- EXTRÍNSEQUES

L'altre grup d'estrelles variables són les extrínseques. Aquestes són totes les estrelles que varien de brillantor a causa de fenòmens aliens a l'estrella o a causa de la rotació de l'estrella.
Hi ha dos tipus principals de variables extrínseques: les variables eclipsants i les variables rotants.

3.2.1.- BINÀRIES ECLIPSANTS

Les estrelles binàries eclipsants són sistemes de dues estrelles que orbiten al voltant d'un centre de gravetat comú. El pla orbital d'aquestes estrelles està orientat cap a la Terra, de manera que percebem com s'eclipsen l'una a l'altra. Algunes d'aquests estrelles binàries estan tan juntes que no es poden veure separades ni amb els telescopis més potents, però se sap que són binàries perquè la lluminositat del sistema varia seguint un cert patró.
Aquest tipus d'estrelles són molt importants perquè s'estima que més del 50% de totes les estrelles es troben en sistemes binaris. Mitjançant l'estudi físic de les dues estrelles que formen un sistema binari es poden obtenir les masses, les mides, la temperatura i la lluminositat de cada una i, per tant, la distància que hi ha del sistema al Sol.
L'estrella més brillant del sistema s'anomena estrella primària i l'altra estrella s'anomena secundària o complementària.

Hi ha tres tipus de binàries eclipsants que es classifiquen segons la forma de les seves corbes de lluminositat. Les binàries eclipsants de tipus EA tenen com a prototip l'estrella *beta* Persei, també anomenada Algol, que va ser la primera binària eclipsant descoberta. Són sistemes on les estrelles es troben bastant separades l'una de l'altra.

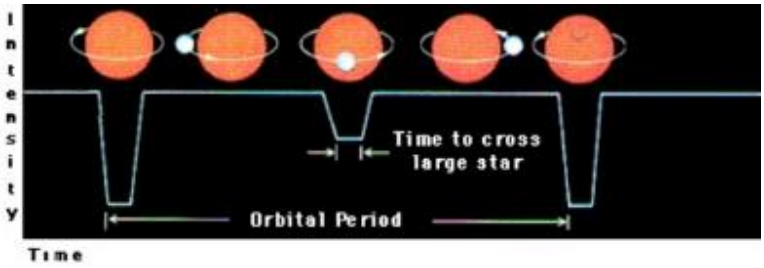


Fig. 28. Esquema de corba d'una binària eclipsant tipus EA

Aquesta imatge mostra una estrella binària eclipsant, on l'estrella vermella és la menys brillant, la secundària, i l'estrella blanca és la més brillant, la primària. En les corbes de

lluminositat d'aquest tipus variables es pot observar que entre eclipsis la lluminositat del sistema gairebé no varia, és pràcticament constant, i es troba en el seu màxim degut a que es mostren les dues estrelles en la seva totalitat. En canvi, quan l'estrella secundària es troba darrere de la primària la lluminositat del sistema disminueix dràsticament, ja que l'estrella més brillant es troba eclipsada completament per l'estrella secundària. Quan l'estrella primària eclipsa la secundària la lluminositat també disminueix una mica, perquè aquesta està lleugerament tapada.

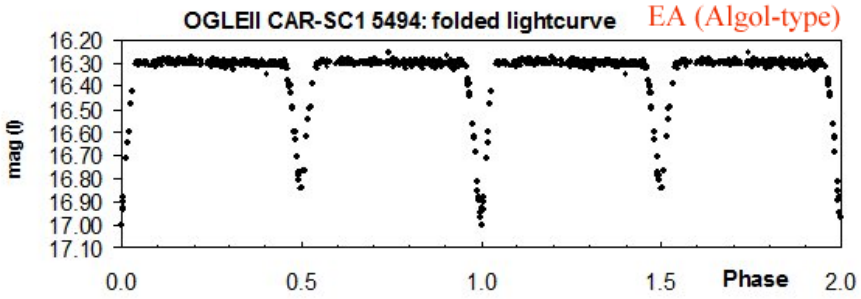


Fig. 29. Corba de lluminositat d'una binària eclipsant EA

Les binàries eclipsants tipus EB tenen de prototip l'estrella *beta* Lyrae. En aquest tipus de sistema les dues estrelles es troben tan juntes que la seva forma es distorsiona, de manera que una d'elles deixa de tenir forma d'esfera i passa a tenir forma d'el·lipsoide. En alguns casos, quan la força gravitacional que uneix les dues estrelles és molt gran, pot haver-hi transmissió de matèria d'una estrella a l'altra, el que forma una estrella variable cataclísmica, explicada en l'apartat anterior.
A diferència de les corbes de les binàries eclipsants tipus EA, les corbes de lluminositat de les tipus EB no mostren lluminositat constant entre eclipsis.

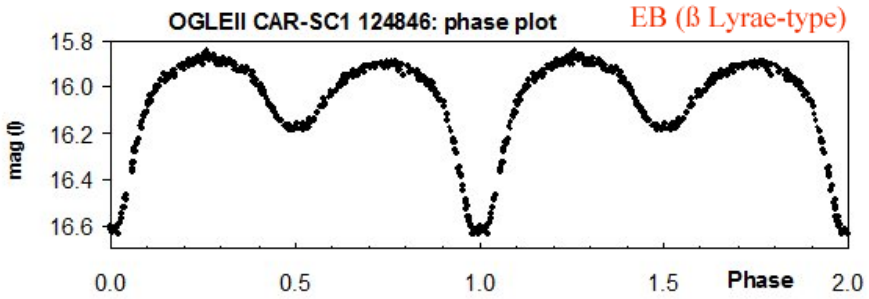


Fig. 30. Corba de lluminositat d'una binària eclipsant EB

El tercer tipus d'estrelles binàries eclipsants són les EW. Aquestes estrelles binàries estan en contacte, es troben unides, de manera que les dues tenen forma el·lipsoidal. El model d'aquest tipus d'estrelles és la W Ursae Majoris.

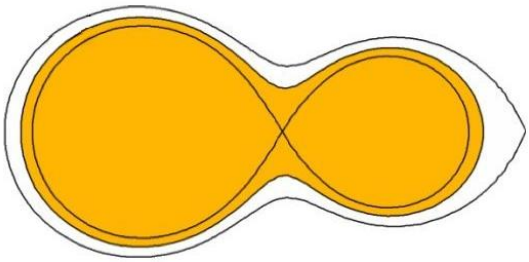


Fig. 31. Forma de les binàries eclipsants EW

Com que les dues estrelles estan unides no paren de rotar, i gairebé no es pot diferenciar quan comencen i acaben els eclipsis, el que fa que les corbes de lluminositat estiguin sempre variant. Els períodes d'aquest tipus d'estrelles són molt curts, generalment duren menys d'un dia.

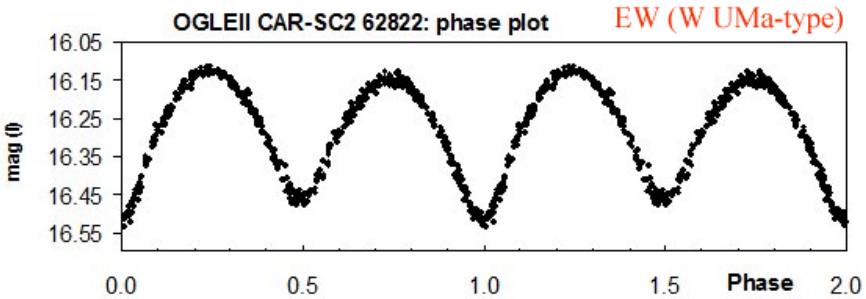


Fig. 32. Corba de lluminositat d'una binària eclipsant EW

3.2.2.- VARIABLES ROTANTS

Hi ha estrelles que a vegades mostren taques o zones de diferent color sobre la seva superfície, de manera que quan aquestes estrelles roten les variacions en la seva superfície fan canviar la seva lluminositat. També hi ha estrelles que no tenen una forma esfèrica perfecta i que tenen forma el·lipsoidal. Quan aquestes roten l'àrea total que es veu de l'estrella canvia i aquest fenomen fa variar la seva lluminositat. Aquestes estrelles s'anomenen variables rotants. Els períodes d'aquest tipus d'estrelles són iguals al temps en que triguen en fer una rotació completa.

El Sol, per exemple, és una estrella rotant perquè té taques sobre la seva superfície. Aquestes taques són regions de la fotosfera del Sol que són més fredes que la resta, de manera que el seu color és més fosc. Això fa que la lluminositat de l'estrella varïi.

Els púlsars, estrelles de neutrons que roten a gran velocitat, també són variables rotants perquè mostren variacions en la seva lluminositat a causa de les seves rotacions.

Les corbes de lluminositat de les variables rotants no segueixen un patró comú ja que les taques en cada una d'elles són diferents i fan variar la lluminositat de formes diferents. Les rotants que tenen forma el·lipsoidal, però, si que tenen unes corbes semblants, ja que totes tenen una forma similar. La imatge següent és una corba de lluminositat d'una variable rotant el·lipsoidal.

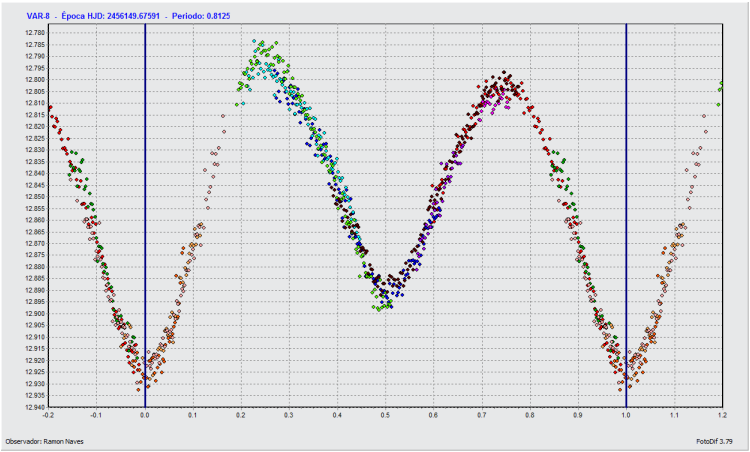


Fig. 33. Corba de lluminositat d'una variable rotant

4.- MÈTODES D'OBSERVACIÓ DE LES ESTRELLES VARIABLES

En aquest capítol s'explica les dues formes principals que s'utilitzen per a la observació d'estrelles variables. També es parla sobre el mètode emprat per fer les observacions per aquest treball.

4.1.- OBSERVACIÓ FOTOMÈTRICA

L'observació fotomètrica consisteix en utilitzar dispositius optoelectrònics que s'acoblen al telescopi i permeten mesurar la brillantor de les estrelles d'una manera molt precisa.

La fotometria té diverses aplicacions. Una d'elles és el càlcul de l'índex de color d'una estrella per determinar el seu tipus espectral. La fotometria també s'utilitza per crear les corbes de lluminositat de les estrelles, sobretot de les estrelles variables. L'estudi de les corbes de lluminositat permet saber el període de variacions i també permet la classificació de les estrelles. Una altra aplicació de la fotometria és la determinació de distàncies.

Els dispositius més utilitzats en la fotometria són les càmeres CCD, que consisteixen en un xip CCD, sigles de Charge-Coupled Device. Aquestes càmeres a més de determinar la brillantor d'una estrella o algun altre objecte celeste li fan una fotografia en blanc i negre.

Fig. 34. Càmera CCD

Per realitzar aquest treball no s'ha observat de forma fotomètrica perquè aquest mètode necessita una gran preparació i manteniment dels instruments, així com més experiència en la utilització d'aquests. Per fer observacions amb càmeres es necessita estar com a mínim dues hores en exposició i després es triga molt temps a processar la imatge. A més, molts dels components necessaris per la observació fotomètrica no es tenien i s'haurien d'haver comprat, i després s'hauria d'haver après el seu funcionament de manera que no es disposava dels mitjans ni el temps d'experiència necessaris per observar amb aquest mètode.

4.2.- OBSERVACIÓ VISUAL

L'observació visual, en el camp de l'astronomia, consisteix en obtenir la magnitud dels objectes celestes, en aquest cas de les estrelles variables, sense cap instrument electrònic que ajudi a determinar-la.
Per observar de manera visual es poden utilitzar instruments com telescopis o prismàtics. També es pot observar sense cap instrument, és a dir, a ull nu, però d'aquesta manera els resultats obtinguts seran molt menys precisos. Com que les observacions són gairebé a ull nu, no es poden veure les estrelles amb una magnitud d'entre 5,5 i 6 en amunt.

Per guanyar precisió en les observacions visuals és important tenir pràctica. A més hi ha diferents factors que poden perjudicar la precisió de les observacions com la llum de la lluna, la contaminació lumínica del lloc des d'on s'observa, etc. Aquests factors també s'apliquen a l'observació fotomètrica.
Per l'observació visual també és important tenir en compte l'efecte Purkinje, que passa quan s'observa una estrella que té un color vermell o vermellós molt evident al costat d'una estrella més blanca. Els colors vermells tendeixen a estimular més la retina de l'ull si s'observa durant molt temps i llavors les estrelles d'aquest color semblen més brillants del que són. Això fa que l'estimació de la magnitud pugui ser incorrecta. Una de les estrelles variables que s'ha observat per aquest treball, *delta* Cep, té una estrella de comparació que és vermella i que, per tant, dificulta la determinació de la brillantor de la variable. Per evitar aquest efecte un dels mètodes que es fan servir és mirar l'estrella el més ràpid possible, sense estar-s'hi molta estona observant-la, i a partir d'aquí fer l'estimació de la brillantor. Un altre mètode per evitar l'efecte Purkinje és desenfocar els prismàtics o l'ocular del telescopi perquè les estrelles es vegin com discs sense color.

Observar visualment té tant avantatges com inconvenients. Per un costat, l'observació visual permet obtenir resultats al moment, així com estar en contacte més directe amb la recerca. També permet comprovar els resultats obtinguts amb dispositius fotomètrics.
Però per l'altre costat, l'ull humà es perd els detalls més fins i no pot captar molt de color a la foscor de la nit. A més, es poden tenir lapsus de concentració, problemes d'enfocament o cansament que els dispositius no tenen. Per observar visualment també

es necessita un cel molt clar, amb la mínima llum externa possible, cosa que és molt complicada d'obtenir avui en dia si no s'observa des d'ubicacions prou remotes. Tots aquests factors poden portar a l'obtenció de resultats imprecisos.

Existeixen diferents mètodes per determinar la magnitud d'un objecte celeste fent observació visual. Els més coneguts són els mètodes d'Argelander, de Pogson i el de Beyer.

El mètode d'Argelander és el més utilitzat i simple, i és el que s'ha utilitzat per la realització d'aquest treball. Va ser ideat per l'astrònom Friedrich Argelander, nascut a Prússia el 1799. És un mètode per determinar la magnitud d'estrelles variables amb una precisió que pot arribar al 0,04. Consisteix en triar dues estrelles de comparació, A i B, que tinguin magnitud coneguda i no siguin variables. L'estrella A he de ser més brillant que la variable quan té lluminositat màxima i l'estrella B ha de ser menys brillant que la variable quan té menys lluminositat. Aquestes dues estrelles han de tenir una magnitud de, com a màxim, 1 magnitud per sobre i per sota de les magnituds màximes de la variable. Per tal de fer la comparació de manera més precisa és millor que la magnitud d'A i B sigui el més semblant possible a les magnituds màxima i mínima de la variable.

Per comparar la magnitud de l'estrella A amb la variable es segueixen una sèrie de graus:

- Grau 1: A és més brillant que la variable (V) en grau 1 quan semblen de la mateixa brillantor a primer cop de vista, però després d'observar-les atentament durant una estona A és una mica més brillant.
- Grau 2: A és més brillant que V en grau 2 quan A i V semblen iguals a primer cop de vista però immediatament s'observa que A és més brillant que V.
- Grau 3: A és més brillant que V en grau 3 quan es veu que A és lleugerament més brillant des del primer moment.
- Grau 4: A és més brillant que V en grau 4, quan hi ha una notable diferència entre A i V.
- Grau 5: A és més brillant que V en grau 5 quan observem entre els dos astres una gran diferència de brillantor.

Després s'ha de comparar l'estrella B i la variable fent servir els mateixos graus, però en aquest cas l'estrella més brillant és la V i la menys brillant la B.
El grau 5 és millor no utilitzar-lo, perquè com que en aquest la brillantor de les dues estrelles són molt diferents, pot alterar el resultat final de la magnitud de la variable.
Quan ja s'han definit els graus de comparació s'ha d'aplicar la fórmula següent per obtenir la magnitud de la variable:

$$m_V = m_A + \frac{A}{A+B} \times (m_B - m_A)$$

On m_V és la magnitud de la variable, m_A és la magnitud de l'estrella de comparació A, m_B és la magnitud de l'estrella de comparació B, i A i B són els graus de comparació.

5.- PREPARACIÓ DE LES OBSERVACIONS

Tenir una bona preparació és clau per obtenir bons resultats en les observacions. En aquest capítol s'explica tot el material utilitzat i com s'han preparat les observacions.

5.1.- EQUIPAMENT UTILITZAT

Quan es planegen observacions per primer cop, es decideix observar amb telescopi. El model de telescopi que s'utilitza és el C8-S/GT de la marca Celestron, que va amb trípode. També s'ha de pujar amb la bateria i la caixa on es guarden els cables, els oculars i altres complements del telescopi.

Fig. 35. Telescopi C8-S/GT

Els primers dies que s'utilitza aquest telescopi es veu que no agafa prou camp, és a dir, mostrava una porció de cel massa petita en que només es veu l'estrella variable i no es veuen les estrelles de comparació. S'intenta provar amb l'ocular més gran que té el telescopi per mirar si agafa més camp però no funciona. Llavors, com està explicat en el diari d'observacions, es mirar pel buscador que va acoblat al telescopi, que va millor perquè permet veure més camp. A partir d'aquí es comença a portar els prismàtics per fer les observacions però no acabaven de funcionar bé.

Després es fa la primera trobada amb en Joan Guarro. Explica que en el cas d'aquest treball és molt millor, gairebé indispensable, fer les observacions amb prismàtics i que, en general, les observacions visuals es solen fer amb prismàtics al principi. Per tant, les següents observacions ja es comencen a fer amb prismàtics. Els que s'utilitzen són el

SkyMaster 15x70 de la marca Celestron, que tenen unes lents de 70 mm i un factor d'augment de 15, és a dir, augmenten la imatge 15 vegades. Els altres prismàtics que s'utilitzen per les observacions són els Hunter 10x50 de la marca Bresser. Aquests tenen lents de 50 mm i un augment de 10.

Fig. 36. Prismàtics 15x70 Celestron

Fig. 37. Prismàtics 10x50 Bresser

En les primeres observacions amb els prismàtics SkyMaster, es nota que com que són grans i pesen més vibraven molt i no és còmode observar amb ells. Llavors es comencen a utilitzar amb trípode de manera que és molt més còmode observar.

L'estrella variable *beta* Lyr, que s'observa per aquest treball, resulta molt incòmode de mirar perquè es troba gairebé al zenit, és a dir, molt per sobre del cap. Per això es pregunta al Senyor Joan Guarro com es pot observar aquestes estrelles que es troben tan amunt i explica que el millor és estirar-se a terra o en una gandula, per tal d'estar el més relaxat i còmode possible. D'aquesta manera els prismàtics tampoc vibren tant i les comparacions són més precises. Així doncs, la resta d'observacions de les estrelles que

es troben més a prop del zenit, com l'estrella *beta* Lyr o *gamma* Cas en la segona etapa d'observacions, es fan estirant-se al terra amb una màrfega.

Quan és fosc els ulls humans necessiten uns 15 o 20 minuts per acostumar-se a la falta de llum i ho fan dilatant les pupil·les per tal de veure millor en la foscor. Per això quan es fan observacions d'objectes celestes és important utilitzar una llum vermella en comptes d'una llum blanca. La llum blanca el que fa és enlluernar i fer que els ulls es desacostumin a veure-hi en la foscor. En canvi, la llum vermella no és tan agressiva per l'ull i és suficient per veure els objectes propers a l'hora de fer observacions. Per aquest treball s'utilitza una llanterna de llum vermella de la marca Celestron.

Fig. 38. Llanterna vermella

Les cartes estel·lars són semblants a mapes que faciliten la localització de les estrelles quan es fan observacions. Les cartes utilitzades per aquest treball estan fetes a través de la pàgina web de l'AAVSO. Aquestes cartes indiquen el nom de la variable, la seva magnitud màxima i mínima, el seu període, el tipus de variable que és, el seu espectre, les seves coordenades, el camp de visió de la carta i la seva identificació. També marquen on es troba la variable i la magnitud de les estrelles que es troben a prop, ja que aquestes estrelles poden ser les estrelles de comparació. En la imatge següent es mostren les parts de les cartes estel·lars:

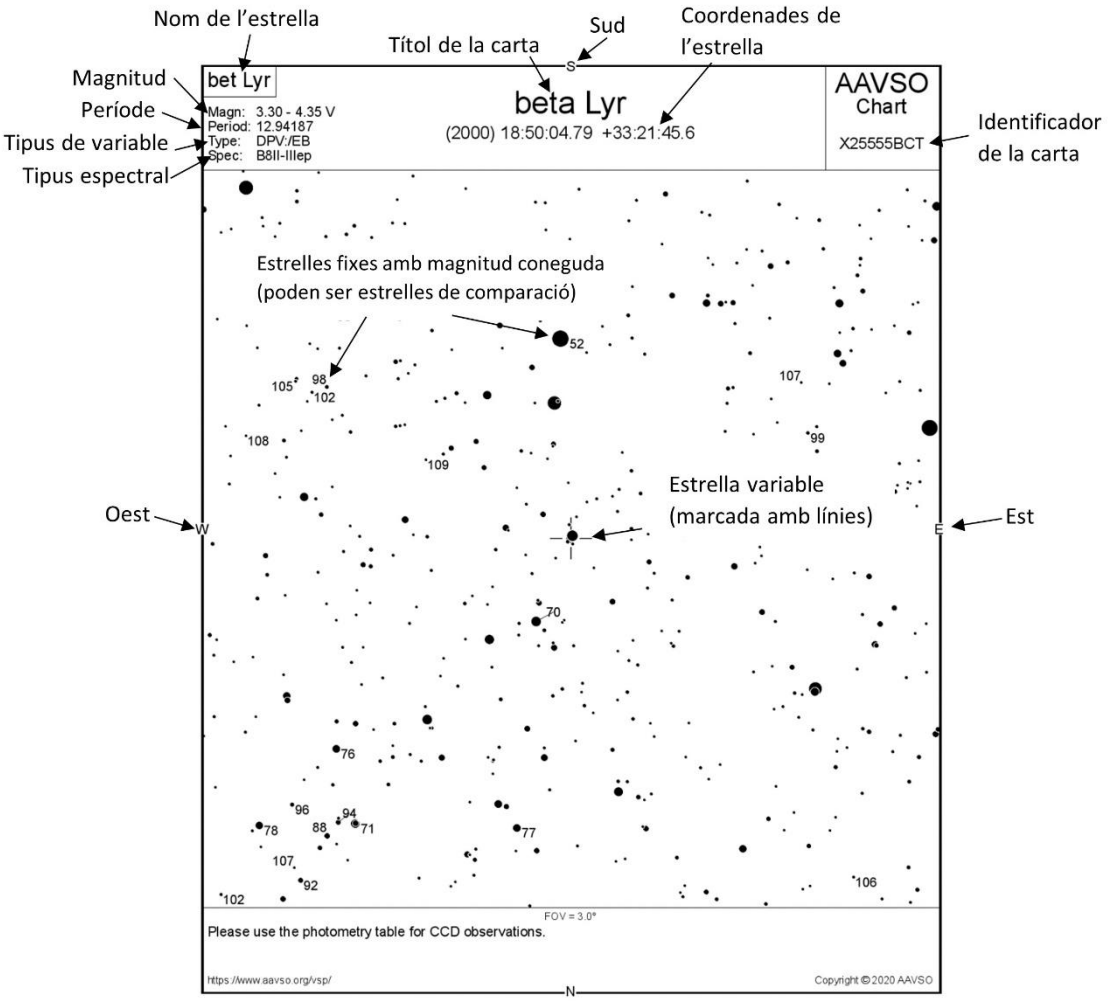


Fig. 39. Exemple d'una carta estel·lar

En les primeres observacions es porten les cartes sense cap anotació, de manera que és molt difícil localitzar les estrelles variables i les de comparació. A més, com que les cartes mostren el Nord cap avall, no es pot relacionar correctament el que es veu a les cartes i el que es veu al cel. Per tant, després es dibuixa la forma de les constel·lacions a les cartes, de manera que sigui més fàcil ubicar-les.

A més, no es té clar quines estrelles de comparació s'han d'agafar. Es comenta aquest dubte en la primera trobada amb en Joan Guarro i explica que el millor és apuntar en les cartes dues estrelles de comparació, o tres per tenir-ne una de recanvi en les estrelles que fes falta. Llavors ajuda a escollir les estrelles de comparació que van millor per a cada variable i se'ls posa nom: A, B o C. L'estrella de comparació A és més brillant que la variable i l'estrella B menys brillant, de manera que lliga amb els noms de les estrelles del mètode d'Argelander.
S'anomenen estrelles de comparació C per les variables *gamma* Cas, *delta* Cep, *eta* Aql i *alfa* Her. Només s'utilitza en el cas de *gamma* Cas, ja que cap estrella de la constel·lació de Cassiopea és prou brillant com per comparar-la amb aquesta variable.

En la taula següent hi ha indicades les estrelles de comparació de cada variable i les seves magnituds.

ESTRELLA VARIABLE	ESTRELLA DE COMPARACIÓ A		ESTRELLA DE COMPARACIÓ B		ESTRELLA DE COMPARACIÓ C	
	NOM ESTRELLA	MAGNITUD	NOM ESTRELLA	MAGNITUD	NOM ESTRELLA	MAGNITUD
gamma Cas	alfa Cas	2,24	èpsilon Cas	3,4	alfa Cyg (constel·lació del cigne)	1,25
Delta Cep	zeta Cep	3,5	lambda Cep	5	èpsilon Cep	4,2
beta Lyr	gamma Lyr	3,2	zeta Lyr	4,4		
eta Aql	delta Aql	3,4	mu Aql	4,5	theta Aql	3,71
alfa Her	alfa Oph	2,07	iota Oph	4,4		
beta Per	alfa Per	1,8	kappa Per	3,8		
zeta Gem	delta Gem	3,5	nu Gem	4,2		

Fig. 40. Estrelles de comparació

Durant les observacions s'ha d'apuntar tot el que passa, ja sigui en el cel o al voltant de l'observador. Per això és important tenir un sistema de registre pràctic i que permeti tenir tota la informació necessària per després extreure els resultats de les observacions. És recomanable, sobretot quan s'observen variables, fer taules de registre on hi hagi tota la informació. Per aquest treball es va fer una taula que conté la data de la sessió, el nom de la variable que s'observa, l'hora, la magnitud, la comparació amb les estrelles corresponents, el nom de la carta, l'instrument utilitzat i altres anotacions com l'estat del cel.

És important tenir apuntat el dia i l'hora exacta en els quals s'ha fet la observació per després poder passar-ho a data juliana i que les corbes de llum quedin el més precises possibles. En aquest cas s'ha fet un apartat on s'apunten les comparacions de les estrelles amb la variable, és a dir, es posen els graus de diferència de brillantor del mètode Argelander per cada estrella de comparació. Després, el dia següent, es calculen les magnituds resultants fent servir la fórmula que s'ha explicat en el capítol anterior. D'aquesta manera és més ràpid fer les observacions perquè els càlculs no es fan en aquell mateix moment. Durant les observacions s'apunten les comparacions i el dia següent es calculen les magnituds.

Les cartes estel·lars que s'utilitzen per fer les observacions sempre són les mateixes, de manera que no s'utilitza la columna on s'indica el nom de la carta.

Com que es fan observacions amb dos prismàtics diferents, es creu important afegir un apartat on s'inclogui l'instrument utilitzat en cada observació. Per a cada registre d'observació s'apunta 50 o 70, depenent en els prismàtics que s'han fet servir. En el cas

de *gamma* Cas, com que la seva estrella de comparació C, es troba bastant lluny de la variable no s'observa amb prismàtics, sinó a ull nu. En aquest cas, s'apunta que s'ha fet una observació a ull nu.
Té molta importància apuntar l'estat del cel cada cop que s'observa. S'ha de dir si hi ha núvols, l'estat de la lluna i la qualitat de la visibilitat del cel de cada nit. Els fenòmens meteorològics com els núvols o la boira i els altres fenòmens com poden ser la llum de la lluna o la llum provinent del carrer infringeixen en la correcta observació i comparació d'una estrella. Si s'apunta tot en la taula de registres després es pot comprovar si els resultats erronis són deguts als fenòmens d'aquella nit.

Resum de l'equipament utilitzat:

- Telescopi (només en les primeres observacions)
- Prismàtics 15x70
- Trípode pels prismàtics de 70mm
- Prismàtics 10x50
- Màrfega
- Llum vermella
- Cartes estel·lars
- Taules de registre

5.2.- PLANIFICACIÓ DE LES OBSERVACIONS

El primer cop que es fan observacions el més segur és que no surtin bé, ja que porta molta pràctica obtenir bons resultats. Tot i això, és molt millor anar el més ben preparat possible abans de fer les primeres observacions perquè si hi ha alguna part de la planificació que no funciona es pot modificar més fàcilment. Si no es té clar el que es vol fer des del principi és molt més difícil obtenir bons resultats.

5.2.1.- PROVES I AVALUACIÓ PRÈVIES AL TREBALL DE CAMP

Abans de fer les observacions pròpies pel treball es pensa que és important fer proves per habituar-se al funcionament dels instruments i a la localització de les estrelles variables que es volen observar. En aquestes proves no es pretén observar correctament totes les estrelles ni obtenir bons resultats perquè encara no es té cap experiència en aquest camp.

El dia 20 de juliol es du a terme la primera prova d'observacions. En aquesta prova s'utilitza el telescopi i, com està explicat en el diari d'observacions, no dona bons resultats. Abans d'observar amb el telescopi, aquest s'ha d'alinear amb altres estrelles conegudes per tal que quan s'introdueixin les coordenades d'una estrella o es seleccioni un objecte celeste de la base de dades del telescopi els pugui trobar. En aquesta prova s'alinea amb dues estrelles: Mizar, de la constel·lació de l'Óssa Major, i Deneb, de la constel·lació del Cigne. Llavors es seleccionen les estrelles *beta* Lyrae, RR Lyrae i *delta* Cephei, que són a la base de dades del telescopi i no cal introduir les seves coordenades.

De seguida s'observa que el telescopi mostra molt error i no troba bé les estrelles i, per tant, aquestes s'han de trobar movent el telescopi manualment i amb l'ajuda del buscador.

La primera prova és el primer cop que s'utilitzen les cartes estel·lars. Com s'ha explicat anteriorment, al principi és complicat relacionar el que es veu a les cartes amb el que es veu al cel, així que les proves també serveixen per habituar-se a la utilització de les cartes, i a la ubicació de les estrelles en el cel. Com que el primer cop que es surt només es porten les cartes sense cap anotació, només es veuen punts que costen molt de relacionar amb les estrelles reals. Per tant, per tenir una preparació millor per la segona prova es dibuixen les constel·lacions a les cartes de manera que sigui més fàcil trobar les estrelles variables i les de comparació.

El dia següent es realitza la segona prova i s'intenta millorar en la utilització del telescopi per mirar si aquest instrument és idoni per fer les observacions de les variables. S'alinea el telescopi amb tres estrelles en comptes de dues per intentar reduir l'error: Mizar, Deneb i Rasalhague, de la constel·lació de Serpentari. Tot i això segueix mostrant error per trobar les estrelles variables i s'han de buscar manualment. Quan finalment es troben, no es poden veure les estrelles de comparació perquè el telescopi no agafa prou camp. A partir de llavors s'utilitzen els prismàtics per fer les observacions perquè agafen prou camp per veure les estrelles de comparació i es poden moure més fàcilment si les aquestes estan separades de la variable.

5.2.2.- SELECCIÓ DE LES ESTRELLES A OBSERVAR

Trobar estrelles adients per observar per aquest treball és una feina molt laboriosa perquè les variables escollides han de complir una sèrie de requisits. Per poder observar visualment s'ha de triar estrelles que tinguin una magnitud el més petita millor, és a dir, han de ser molt brillants perquè sinó l'ull humà no les pot veure. Per tant les estrelles escollides han de tenir una magnitud de 5,5 o 6 magnituds com a màxim.
A més, moltes variables tenen períodes que duren molt mesos o fins i tot anys, de manera que s'han hagut de triar estrelles que tinguin períodes més curts. Per a la primera etapa d'observacions els períodes podien arribar a durar uns 20 dies perquè es tenia més temps per observar. Per a la segona etapa es van haver d'escollir estrelles que tinguessin un període de 10 dies com a màxim.
Hi ha estrelles que encara que siguin molt brillants i tinguin un període curt tenen una variació de lluminositat molt petita, de manera que fent observacions visuals no es veuria la diferència entre la magnitud màxima i la mínima. Perquè l'ull humà pugui apreciar el canvi és idoni que hi hagi, com a mínim, una magnitud de diferència entre la màxima i la mínima.
També s'ha de tenir en compte la posició de l'estrella variable que es vol observar. Si es volen fer observacions durant molt de temps el millor és triar una estrella d'una constel·lació circumpolar, és a dir, constel·lacions que giren al voltant de l'estrella Polar (en el cas de l'hemisferi nord) i que es veuen tot l'any. Si no s'escull una d'aquestes

estrelles s'ha d'intentar buscar-ne alguna en constel·lacions que es trobin el més amunt possible. Les estrelles més baixes, les que estan més a prop de l'horitzó, és millor no observar-les perquè la contaminació lumínica pot alterar la seva brillantor o fins i tot fer que no es vegi.
Per aquest treball també és convenient buscar estrelles que siguin de tipus variats per tal de fer una comparació més plena. Com que les estrelles variables que compleixen tots els requisits anteriors són poques, no es s'ha tingut tant en compte que siguin de tipus diferents. No obstant això, les estrelles que s'han escollit per al treball han acabat sent de tipus variats.

Resum dels requisits a complir per a la tria d'estrelles variables:

- Magnituds inferiors a 6 magnituds per tal de que sigui possible fer observacions visuals.
- Períodes curts.
- Diferència entre les magnituds màximes i mínimes d'aproximadament 1 magnitud.
- Tenir en compte la posició de l'estrella depenent de l'època de l'any en que s'observi.
- Trobar variables de diferents tipus.

A continuació hi ha una resum de les característiques principals de cada estrella variable observada.

ESTRELLA VARIABLE	MAGNITUD	PERÍODE (DIES)	TIPUS
gamma Cas	1,60 – 3		Irregular
Delta Cep	3,49 – 4,36	5,366266	Cefeida (polsant)
beta Lyr	3,30 – 4,35	12,94187	Binària eclipsant
eta Aql	3,49 – 4,30	7,17679	Cefeida
alfa Her	2,73 – 3,60	125,6	Semirregular
beta Per	2,09 – 3,30	2,86736	Binària eclipsant
zeta Gem	3,62 – 4,18	10,149806	Cefeida

Fig. 41. Estrelles escollides

5.2.3.- DETERMINAR LLOC, DURADA I PERIODICITAT DE LES OBSERVACIONS

Per observar el millor és trobar un lloc que estigui elevat per tal de tenir poques distraccions de l'entorn, com poden ser llums del carrer, fanals dels cotxes, soroll, etc. També és recomanable estar en una localització on hi hagi poca contaminació lumínica. En els pobles allunyats de les ciutats, per exemple, és adient observar-hi perquè no hi ha tanta llum. En canvi, en una ciutat hi ha molt més enllumenat públic que afecta molt a la visió del cel. Per tant, la localització ideal per fer observacions amb la màxima qualitat és en un lloc elevat que es trobi en un poble o localitat petita. Evidentment, observar en un observatori seria encara millor, però per la majoria de persones no n'hi ha cap de disponible que es trobi a prop seu.

Per fer les observacions d'aquest treball es pensa fer-les a un lloc més remot per poder tenir una millor visió del cel. Però com que es viu a Igualada, finalment es decideix observar des del terrat del pis. Es pensa que és més pràctic estar a prop de casa que haver d'agafar el cotxe cada dia per anar a observar. D'aquesta manera s'està a un lloc elevat. L'enllumenat públic, en el cas del terrat, molesta més uns dies que d'altres, però la qualitat de visió del cel és prou bona.

La primera etapa d'observacions es fan a l'estiu i com que no es sap com aniran perquè no es té experiència, no es determina el número de dies exactes que es volen observar. Quan ja s'ha observat durant uns quants cops es decideix fer uns 20 o 25 dies d'observacions per després poder obtenir unes quantes corbes de cada variable.

Al principi no es té gaire clar quantes observacions s'han de fer de cada estrella, així que es comença fent només un registre de cada estrella. Després es preguntar al Joan Guarro quants registres per cada estrella s'han de fer al dia i explica que està bé fer-ne dos o tres cada nit amb uns 15 minuts d'espera entre cada observació. Diu que és més eficient fer una roda d'observacions, és a dir, observar totes les variables per ordre (cada dia el mateix), esperar una estona i començar a observar un altre cop la primera variable. Llavors es planeja fer dues o tres observacions per estrella cada nit. Començar observant *gamma* Cas, després *delta* Cep, *beta* Lyr, seguidament *alfa* Her i finalment *eta* Aql. Després esperar uns minuts, i tornar a començar les observacions en el mateix ordre. Es veu que és més ràpid i eficient observar d'aquesta manera, com ha dit en Joan Guarro, perquè així es crea una rutina i es guanya pràctica ràpidament.

Per la segona etapa d'observacions, que es fan al desembre, es planifica observar uns 10 o 12 dies perquè l'estrella amb el període més llarg varia en uns 10 dies. Es pensa que d'aquesta manera es poden obtenir un parell de corbes de *delta* Cep, unes tres corbes de *beta* Per i una de *zeta* Gem.

Com que en la primera etapa s'obtenen resultats incorrectes i les corbes no surten bé es decideix modificar la periodicitat de les observacions. Abans de fer cap canvi però, es pregunta a l'astrònom amateur Ramon Naves què es pot fer per millorar els resultats i explica que fent observació visual és normal no obtenir corbes ben definides i que la qualitat de les corbes no té per què dependre de la periodicitat dels registres. No obstant

això, es creu interessant provar una altra manera d'observar per veure si s'obtenen resultats diferents.

Es pensa que si es deixa més temps entre observacions s'agafa una porció més àmplia del període de les estrelles variables. Així es pot veure més variació de brillantor, sobretot en estrelles de període curt. Per tant, es planifica fer tres observacions cada nit amb unes dues hores d'espera entre cadascuna. Depenent de la disponibilitat de temps es fa la primera observació entre les 20:00 i les 21:00 hores, la segona observació entre les 22:00 i les 23:00, i la tercera entre les 00:00 i les 01:00 hores.

6.- OBSERVACIONS

6.1.- OBSERVACIÓ I REGISTRE

Per aquest treball s'han realitzat dues etapes d'observacions. La primera va del 22 de juliol al 20 de setembre i la segona de l'11 al 23 de desembre.

En la primera etapa es surt a observar un cop cada nit i es fan dos o tres registres de cada estrella amb intervals d'uns 15 minuts. S'observen les estrelles *gamma* Cas, *delta* Cep, *beta* Lyr, *eta* Aql i *alfa* Her. Com que es va descartar el telescopi en les proves prèvies a les observacions, s'utilitzen els prismàtics per observar cada estrella. La *gamma* Cas, la *beta* Lyr, l'*eta* Aql i l'*alfa* Her s'observen majoritàriament amb els prismàtics de 50 mm, ja que les seves estrelles de comparació es troben massa lluny per mirar-les amb els prismàtics de 70 mm. A més, *beta* Lyr es troba al zenit, de manera que el trípode no s'inclina suficientment per observar-la amb els prismàtics grans. *Delta* Cep s'observa amb els prismàtics de 70 mm perquè les seves estrelles de comparació es troben a prop i caben al camp que agafen aquests.
L'estrella *beta* Lyr es troba al zenit així que s'observa estirant-se en una màrfega com s'ha explicat en el capítol anterior. Per observar les altres variables no és necessari estirar-se perquè no estan per sobre del cap i resulta còmode mirar-les de peu.
L'estrella més difícil d'observar en aquesta primera etapa és *eta* Aql, ja que les seves estrelles de comparació són lluny seu. Com que en els primers dies d'observacions no és possible trobar les seves estrelles de comparació s'utilitzen puntualment els prismàtics de 70 mm per observar-les.

En la primera etapa cada nit es segueix la mateixa rutina per observar. Primer es comprova si el cel està clar abans de pujar al terrat i si ho està, es puja al terrat amb els dos prismàtics, el trípode, la màrfega, la llum vermella, les cartes estel·lars i la taula de registres. Un cop al terrat, s'acoblen els prismàtics de 70 mm al trípode i amb ells es comença a buscar *delta* Cep per tenir-la preparada per observar-la. Després es prepara la màrfega i s'apunta a la taula de registres l'estat del cel. Durant aquesta estona els ulls es van acostumant a la foscor i quan ja passen uns 10 o 15 minuts i s'hi veu bé es comença a observar *gamma* Cas. Quan ja s'han observat totes i s'han fet els registres s'espera uns minuts. Quan passen uns 15 minuts des de la primera observació de gamma

Cas es torna a començar a observar totes les variables. Si es fan tres registres de cada estrella es torna a repetir el procés una altra vegada i en cas de que es facin dues observacions ja es recull tot i es torna a casa.

Per fer els registres primer s'ha de localitzar l'estrella variable i les estrelles de comparació que s'estan observant. Quan ja es tenen ubicades totes les estrelles es comprova a la carta estel·lar de la variable quina és l'estrella de comparació A i la B. Si ja es té clar quines són no cal comprovar les cartes però és recomanable si es tenen dubtes per estar segur de no equivocar-se. Després es compara l'estrella de comparació A amb la variable. Quan ja es té clar el grau de comparació del mètode d'Argelander es continua observant l'estrella de comparació B. Es repeteix el mateix que amb l'estrella A, és a dir, es compara la variable amb l'estrella B i es defineix el grau de comparació. Un cop es saben els graus per les dues estrelles de comparació, s'apunta l'hora en que s'ha fet l'observació i després s'anota la comparació a la taula de registres. Per escriure la comparació es diu primer el grau de comparació i després el nom de l'estrella de comparació. Per exemple, si l'estrella A és més brillant que la variable en grau tres i la variable és més brillant que l'estrella B en grau 2 s'anotaria 3A 2B a la taula. Aquest procés es repeteix a l'hora d'observar cada variable.
Abans de començar la primera etapa d'observacions es va estudiar el mètode d'Argelander ja que s'han de tenir molt clars els graus de comparació per poder fer comparacions precises.

El 17 d'agost, quan ja es porten unes 16 observacions, es comença a passar dades de les taules de registre a l'Excel. Després es creen els gràfics per fer les corbes i es nota que no surten gens definides. No es veuen les formes que haurien tenir les corbes de cada variable segons el tipus que són. Els resultats obtinguts es comenten més detalladament en l'apartat 6.2.

Tot i això, es segueix observant uns quants dies més per intentar obtenir resultats més precisos. Però després de fer dos dies d'observacions, no es pot fer-ne més a causa del mal temps i de la lluna plena. No es torna a observar fins el 12 de setembre, així que passen molts dies des de l'última observació. Això també fa que es perdin moltes observacions i que les corbes no quedin bé.
A partir del 12 de setembre es segueix el mateix mètode d'observació, sortint un cop cada nit i fent dos o tres registres cada 15 minuts. S'intenta ser més precís a l'hora de fer les comparacions per intentar obtenir bons resultats però tot i això, quan es passen les dades al gràfic, es veu que els resultats no milloren i es deixa d'observar.

Per intentar aclarir per què les corbes no surten definides es contacta amb en Ramon Naves, com ja s'ha comentat en el capítol anterior. Explica que és habitual obtenir resultats poc precisos fent observació visual. Llavors se li pregunta si canviant la periodicitat de les observacions es podrien fer corbes més definides i diu que la qualitat de les corbes no té per què dependre de la periodicitat de les observacions. No obstant això, es decideix tornar a observar canviant la forma de fer-ho.

En la segona etapa d'observacions es fan dos o tres registres cada nit, però en cas aquest cas es fan cada dues hores, aproximadament. D'aquesta manera es pensa que es pot agafar una part més àmplia del període de les variables i, per tant, més variacions de cadascuna.
En aquesta etapa es canvien algunes de les estrelles variables perquè ja no es poden veure totes les que s'han observat al juliol. S'observen *gamma* Cas, *delta* Cep, *zeta* Gem i *beta* Per. *Zeta* Gem és l'única que s'observa amb els prismàtics de 70 mm. *Gamma* Cas i *beta* Per tenen les estrelles de comparació massa lluny i delta Cep es troba massa amunt per observar-la amb els de 70 mm, així que aquestes s'observen amb els prismàtics petits.
Al principi d'aquesta segona etapa el que costa més és acostumar-se a observar les dues estrelles variables noves, *zeta* Gem i *beta* Per. Aquestes són més difícils d'observar perquè encara no es sap localitzar ràpidament les seves estrelles de comparació. Tot i això, després d'observar-les uns dies s'agafa pràctica i es poden observar més ràpidament. Com que *gamma* Cas i *delta* Cep ja s'han observat moltes vegades, ja es sap ubicar les seves estrelles de comparació i és més fàcil fer els registres de la seva brillantor.

Durant la segona etapa es triga més en fer les tots els registres perquè es surt a observar diferents durant la nit. La primera observació es sol fer entre les 20 i les 21 hores del vespre. Primer es comprova si el cel està clar o tapat, i si hi ha bona visibilitat es puja al terrat amb tot el material necessari, el mateix que en la primera etapa. Llavors es prepara el trípode i la màrfega i s'anota l'estat del cel en aquella hora. Quan la vista ja s'ha acostumat a la foscor es comencen a fer les observacions i les comparacions de la mateixa manera que s'ha explicat anteriorment. Quan ja es té un registre de cada variable, es desmunta tot i es torna a casa. Més tard, entre les 22 i les 23 hores, es torna a repetir el mateix procés i si es pot fer una tercera observació, que sol ser entre les 12 i la 1 de la nit, es torna a repetir. En total es triga més a observar perquè s'ha de muntar tot dos o tres cops i també s'ha d'acostumar la vista cada vegada que es puja al terrat.
Durant aquesta etapa s'observen un total de 8 dies, ja que moltes nits fa mal temps i no es pot observar.

Les imatges següents mostren com es realitzen les observacions durant el dia 15 de desembre.

Fig. 42. Realització d'observacions

Fig. 43. Realització d'observacions

Fig. 44. Realització d'observacions

El dia 25 de desembre ja no es pot observar més perquè la lluna ja està molt visible i la seva llum molesta molt. Un cop ja es tenen tots els registres es passen les dades a l'Excel i es fan les corbes. En aquest cas, s'obtenen corbes molt més definides que es poden veure en l'apartat d'Anàlisi de les corbes.

6.2.- REALITZACIÓ DE LES CORBES DE LLUMINOSITAT

Quan ja s'han obtingut uns quants registres es comencen a fer les corbes de lluminositat de les estrelles variables. El programa que es fa servir per introduir les dades i fer les corbes és Microsoft Excel. El motiu pel qual no s'utilitza cap programa especialitzat en corbes de lluminositat d'estrelles variables és que gairebé tots els programes trobats són per observació fotomètrica, de manera que no és possible introduir-hi les dades obtingudes visualment. A més, es vol posar dues corbes en un mateix gràfic: la corba obtinguda visualment i la corba teòrica que té cadascun dels tipus de variables. Els programes provats o bé no tenien aquesta opció o bé era molt dificultós posar dues corbes en un mateix gràfic.

Per fer les corbes de lluminositat es necessita saber la data d'observació i la magnitud de les variables, que ja s'ha calculat amb el mètode d'Argelander. Aquestes són dades que es troben en les taules de registres de les observacions. Per tant, abans de fer les corbes es passen aquestes dades de les taules de registre a l'Excel.

La data de les observacions es pot posar en diferents formats com ara en Temps Universal, en Data Juliana o en la data local de l'observació. La data juliana, o JD per les sigles en anglès, és l'estàndard de temps que s'utilitza en astronomia perquè és molt

pràctica i exacta. A més el dia julià va de migdia a migdia, així que no canvia la data durant la nit, que és quan s'observa. La JD consisteix en el recompte de tots els dies des de l'1 de gener del 4713 aC i uns decimals que indiquen hora i minut. Per tant, en un sol nombre hi ha inclòs any, mes, dia, hora i minut.

Per calcular la data juliana s'utilitza una fórmula amb Excel elaborada amb l'ajuda de diverses fonts documentals.
=(DIA(DIA))+(2-(ANY/100))+((ANY/100)/4)+(365,25*(ANY+4716))+(30,6001*(MES+1))-1524,5
Com es pot veure en aquesta fórmula, totes les dades de la data es passen a dies.
DIA(DIA) ⟶ Número del dia en que s'ha fet el registre.
365,25*(ANY+4716) ⟶ Conversió dels anys que han passat des del 4713 aC fins l'any del registre.
30,6001*(MES+1) ⟶ Conversió del mes a dies.

Les dades que estan de color blau són operacions que s'afegeixen a la fórmula per corregir els anys de traspàs que hi ha hagut des del 4713 aC. Aplicar aquestes correccions és més ràpid que haver de calcular els anys de traspàs des del principi.

Si es volguessin enviar les corbes obtingudes a altres bases de dades oficials o a altres països s'hauria de tenir en compte el temps universal i el GMAT (Temps Astronòmic Mitjà de Greenwich) per convertir la data local en data universal. Per fer les corbes però es fa servir la data juliana local i no la universal, perquè és més pràctic calcular-la i com que les corbes obtingudes són per ús propi no és necessari convertir-la a universal.

Després de calcular la data juliana es creen els gràfics. Pels registres de la primera etapa d'observacions primer s'escull el gràfic de dispersió de punts però després es canvia de tipus de gràfic al de línies amb marcadors perquè així es veu més clara la corba. En el cas dels registres de la segona etapa s'escull també el tipus de gràfic de línies amb marcadors. A l'eix horitzontal s'hi posen les dates julianes i a l'eix vertical la magnitud de la variable.

Un cop s'han realitzat totes les corbes es creu interessant afegir-hi les dates dels dies en que no s'ha pogut observar, ja sigui a causa del mal temps, de la lluna, la mala visibilitat, etc. D'aquesta manera alguns fragments de la corba estan en blanc i permeten veure més clarament la seva forma.

Les corbes de la segona etapa surten millor, es veu una forma més definida. Per això s'afegeix a sobre de les corbes una altra línia que representa la forma teòrica que hauria de tenir la corba de lluminositat. Com s'ha vist anteriorment, cada tipus de variable té una corba teòrica. D'aquesta manera es pot assegurar si la corba obtinguda concorda amb la teòrica o no.

Les corbes obtingudes es poden veure en el següent apartat, on també s'analitzen.

6.3.- ANÀLISI DE LES CORBES

6.3.1.- PRIMERA ETAPA D'OBSERVACIONS

A continuació es presenten les corbes de lluminositat de cada estrella variable observada en la primera etapa d'observacions, realitzades entre el 22 de juliol i el 20 de setembre.

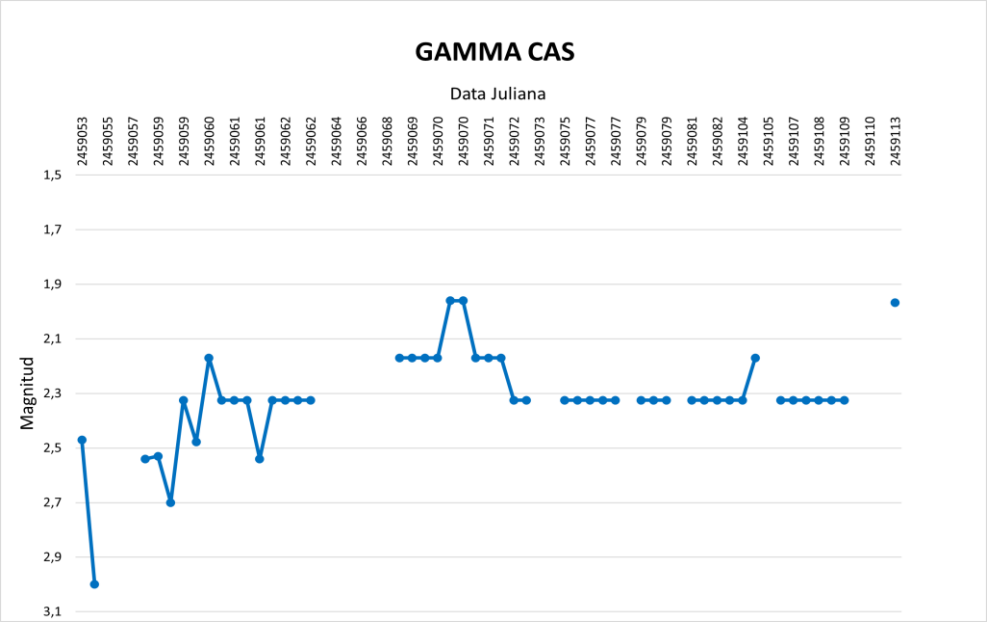


Fig. 45. Corba de lluminositat de gamma Cas

L'estrella variable gamma Cas és de tipus eruptiva irregular, el que significa que la seva lluminositat varia a causa d'erupcions en la seva superfície. Com que les erupcions no són regulars, aquesta variable no mostra periodicitat en les seves corbes de lluminositat i per això és de tipus irregular. Per conseqüent, la corba de gamma Cas no té una forma definida.

Com es pot veure en la imatge, aquesta estrella no presenta cap regularitat en les seves corbes, no fan una oscil·lació concreta. A més, l'estrella té una magnitud màxima d'1,6 i una mínima de 3 però en la corba només arriba a tenir una magnitud 3 en un sol registre. Observant la corba es veu que hi ha una magnitud que es repeteix més que les altres, la lluminositat de l'estrella no es mou gaire d'aquest valor. Això pot ser degut a que no hi ha cap erupció prou forta en aquell moment com perquè l'estrella variï molt de lluminositat, és a dir, pot ser que indiqui que l'estrella està estable. Just al principi de la corba és on hi ha més variacions de magnitud. Com que aquestes observacions són del principi i no es tenia experiència fent les comparacions, és possible que siguin dades errònies. Sobretot quan la magnitud baixa dràsticament i arriba al 3, és quan es plantegen més dubtes sobre la incorrecció de les comparacions.

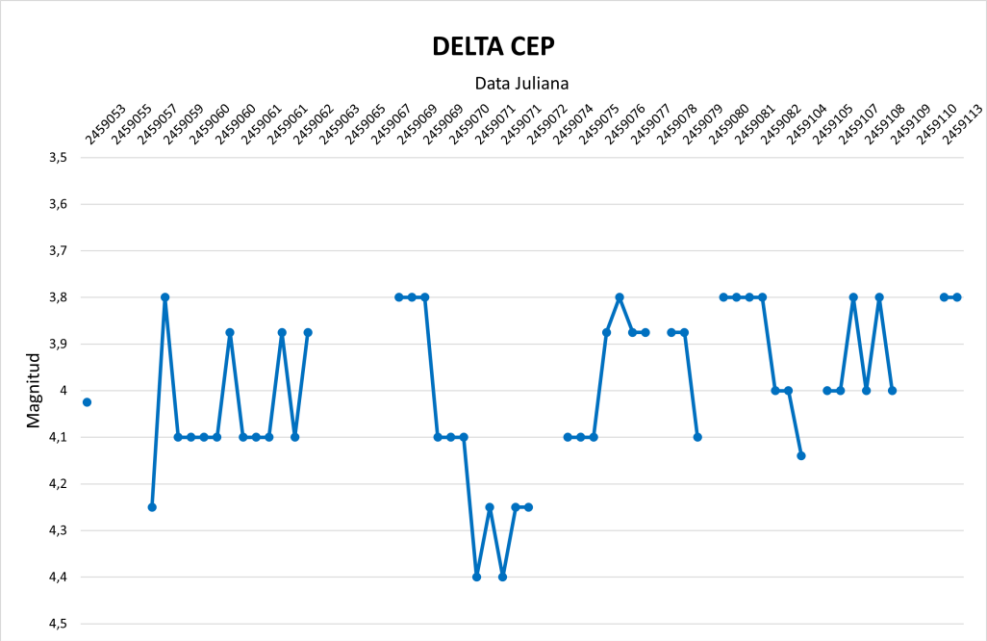


Fig. 46. Corba de lluminositat de delta Cep

Aquesta imatge mostra la corba de lluminositat de delta Cep. Aquesta estrella és una polsant cefeida i, per tant, si que es sap la forma que hauria de tenir la seva corba. Com mostra el gràfic, no es poden veure corbes ben definides en cap moment, les variacions són irregulars i no es veu cap tipus de periodicitat, el que significa que els registres fets durant les observacions no són correctes. Això pot ser degut a l'efecte Purkinje (veure pàgina 38), ja que la seva estrella de comparació A és més vermella que la variable. Com s'ha explicat anteriorment, si dues estrelles són de colors molt diferents la seva comparació pot ser incorrecta, el color distorsiona la brillantor. Per tant, és possible que a causa de la comparació amb l'estrella A, no s'hagin pogut obtenir resultats correctes durant la primera etapa d'observacions.

També es pot observar que aquesta corba de lluminositat no arriba en cap moment a la magnitud màxima. Això es degut a que l'estrella de comparació A és de la mateixa magnitud que la variable quan és més lluminosa. Llavors la fórmula d'Argelander no permet arribar a la magnitud màxima de *delta* Cep. Per arribar-hi s'hauria d'haver dit que la variable tenia la mateixa magnitud que l'estrella de comparació A, però com que aquesta és molt més vermella que *delta* Cep és possible que no s'hagués notat.

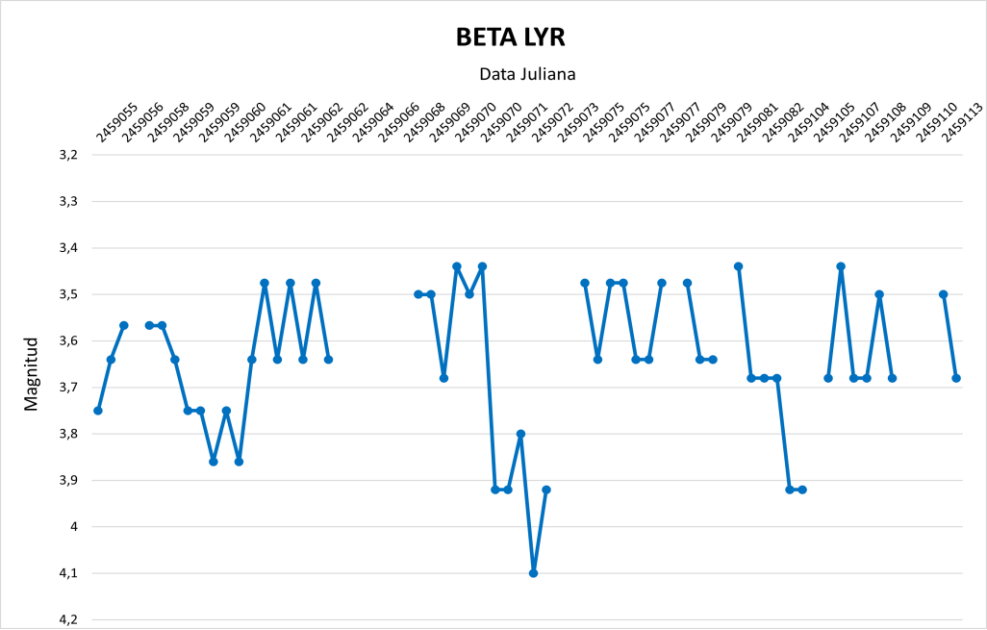


Fig. 47. Corba de lluminositat de beta Lyr

La corba de lluminositat anterior és de l'estrella beta Lyr, que és binària eclipsant. Les corbes d'aquest tipus de variables mostren dos mínims que es van alternant, com està explicat en el capítol de Tipus d'Estrelles Variables. En el gràfic es veuen tres mínims diferents que es poden relacionar amb la corba teòrica. Tot i això la resta de la corba es mostra molt inestable quan, en teoria, s'hauria de mantenir igual entre mínims. Per tant, es pot dir que aquesta corba mostra algunes dades correctes, els mínims, i altres d'incorrectes, els moments amb més brillantor de l'estrella.

Igual que en *delta* Cep, aquesta corba de *beta* Lyr no arriba a les magnituds màximes i mínimes de l'estrella. En aquest cas però, no es creu que això sigui degut a les estrelles de comparació, ja que cap de les dues té una magnitud igual a la variable. Pot ser que en aquest cas el mètode d'Argelander tampoc permeti arribar-hi.

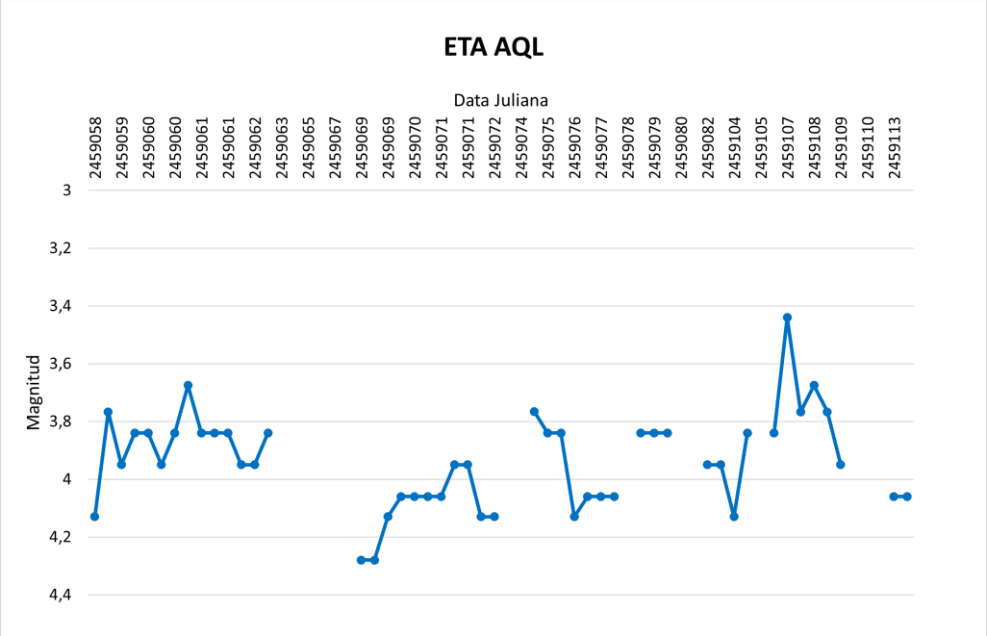


Fig. 48. Corba de lluminositat d'eta

L'estrella variable *eta* Aql és una cefeida com *delta* Cep. En la seva corba, que es pot veure a sobre, tampoc no es veuen variacions definides de lluminositat. No es pot apreciar cap tipus de periodicitat en els resultats ni una forma concreta. Per tant, es conclou que els registres obtinguts en la primera etapa d'observacions tampoc són correctes.

Aquesta estrella variable és una de les que han resultat més difícils d'observar, sobretot durant les primeres observacions, ja que era difícil trobar les seves estrelles de comparació. Aquesta pot ser que sigui la raó per la qual la corba d'aquesta variable no és precisa.

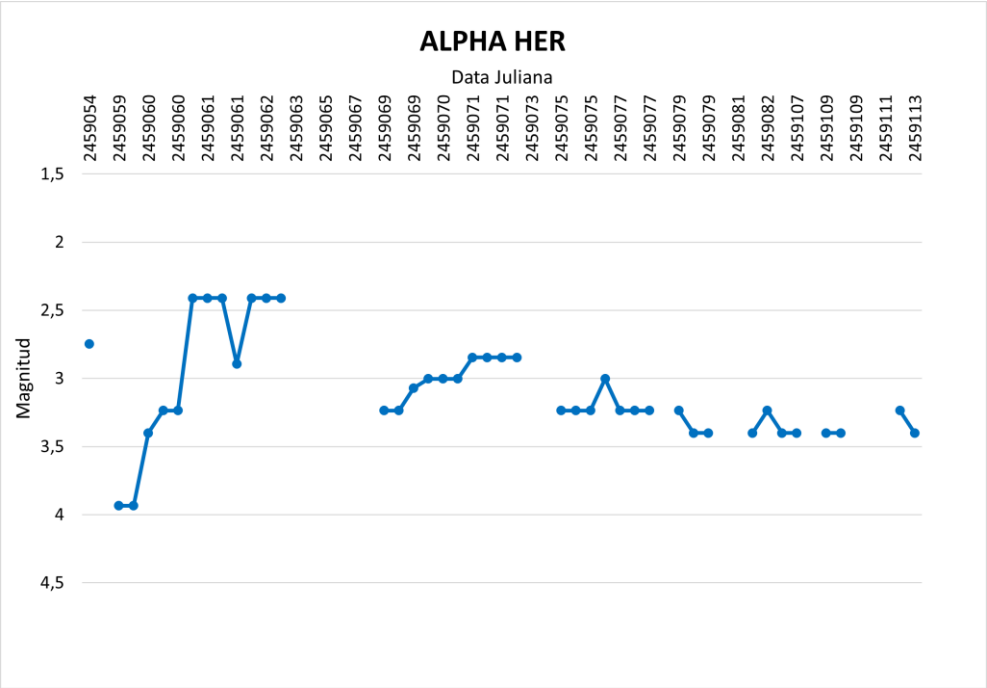


Fig. 49. Corba de lluminositat d'alfa Her

Aquesta imatge és la corba de lluminositat de la variable *alfa* Her, també anomenada Rasalgethi. És una estrella de tipus semiregular, el que significa que a vegades mostren una periodicitat més definida i a vegades menys definida. Aquesta estrella té un període més llarg que les altres, de 125 dies, així que és difícil veure si aquesta corba mostra periodicitat perquè no s'ha observat prou dies per completar un període. No obstant això, la corba obtinguda a partir de les observacions té la forma típica d'una semiregular, ja que aquestes estrelles normalment varien molt poc en períodes molt llargs.

El principi de la corba és el que mostra més error, perquè varia molt àmpliament i en molt poc temps, cosa que no és habitual en les semiregulars. A més, la magnitud màxima de Rasalgethi és de 2,73 magnituds i la mínima de 3,6 magnituds, i la corba arriba a magnituds de 2,4 i 3,9. És possible que s'hagin comés aquests errors perquè aquestes observacions són de les primeres i no es tenia pràctica de fer comparacions. També poden ser a causa de la llum ambiental. Aquesta variable es trobava bastant baixa i a vegades l'enllumenat públic aclaria molt el cel en aquella zona, el que pot haver alterat la comparació.

En resum, aquesta etapa d'observacions ha donat resultats bastant ambigus. Algunes variables si que mostren corbes que concorden amb les del seu tipus, com *gamma* Cas o *alfa* Her, tot i que mostren alguns valors erronis. Aquestes dues estrelles però, són de tipus irregular i semiregular, així que les seves corbes no tenen mai una forma gaire marcada. Les corbes de les altres tres estrelles, en canvi, si que haurien d'haver sortit més nítides perquè les seves corbes teòriques tenen formes molt clares.
Per aquest motiu, es decideix fer una altra etapa d'observacions en la qual s'intenten millorar les comparacions per obtenir corbes més clares.

6.3.2.- SEGONA ETAPA D'OBSERVACIONS

Seguidament, s'analitzen les corbes de lluminositat de les estrelles variables observades entre l'11 i el 23 de desembre. En aquestes corbes, s'hi ha afegit una línia addicional que representa la forma teòrica que hauria de tenir la corba de cada variable.

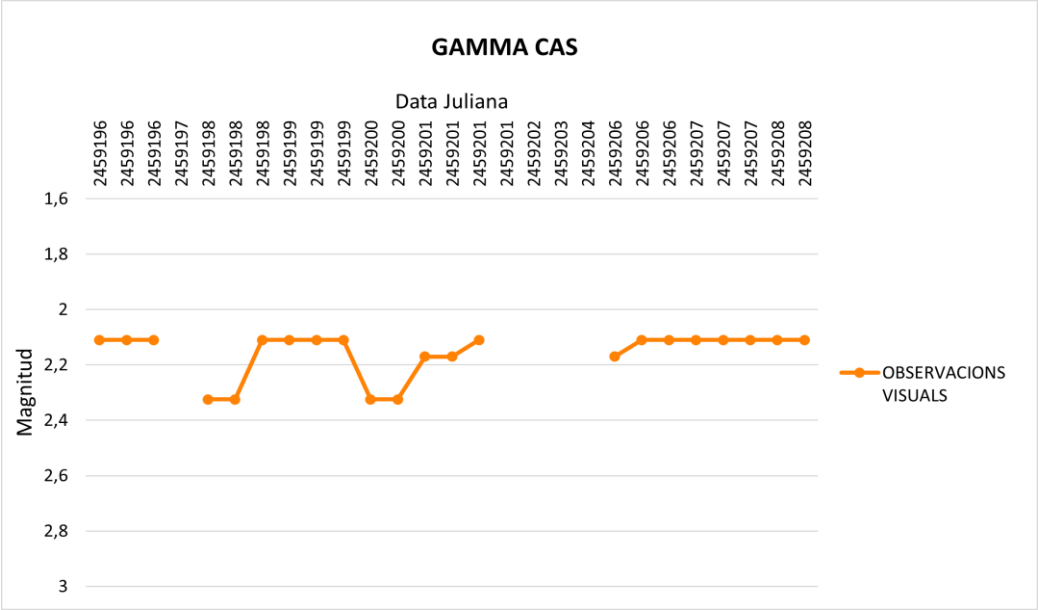


Fig. 50. Corba de lluminositat de gamma Cas

Com es pot veure en la imatge, la corba de *gamma* Cas no presenta cap valor que sembli erroni, ja que al ser una variable irregular és normal que varii molt poc. Per tant, aquesta corba sembla correcta. En el cas del gràfic d'aquesta variable, no s'hi ha posat la corba teòrica perquè com que l'estrella és irregular, no es pot saber la seva forma.

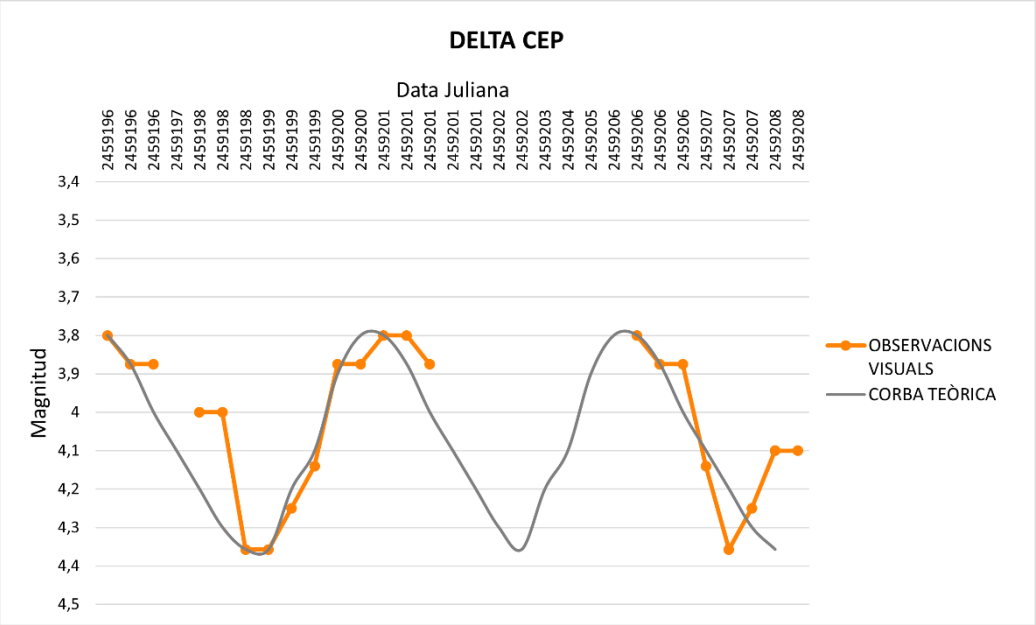


Fig. 51. Corba de lluminositat de delta Cep

En aquesta segona etapa d'observacions les corbes de *delta* Cep són molt més clares que les de la primera etapa. En aquest gràfic es pot deduir molt millor la forma que tenen les corbes de les cefeides, que augmenten de lluminositat ràpidament però van disminuint de lluminositat més a poc a poc.

Com es pot veure en la imatge, la corba obtinguda a partir de les observacions visuals concorda en gran part amb la corba teòrica d'una cefeida. Les corbes concorden en els màxims i mínims, només es desajusten bastant al final.

Tot i això, es pot veure que l'estrella no arriba mai al seu màxim de lluminositat, que és de 3,5 magnituds. En la primera etapa d'observacions passa el mateix. amb la seva corba. En aquest cas també és possible que això sigui degut a que la seva estrella de comparació A és de magnitud 3,5 i per conseqüent, la fórmula d'Argelander no pot arribar mai a assolir aquest valor.

La millora en la claredat de les corbes es creu que és deguda a que en aquesta etapa s'han fet els registres més espaiats i, per tant, s'ha agafat una part més gran del període de l'estrella. A més, en aquestes observacions de *delta* Cep s'ha tingut en compte l'efecte Purkinje causat per l'estrella de comparació A, i s'ha intentat evitar observant i comparant aquesta estrella amb la variable el més ràpid possible. És possible que això també ajudés a obtenir corbes més clares.

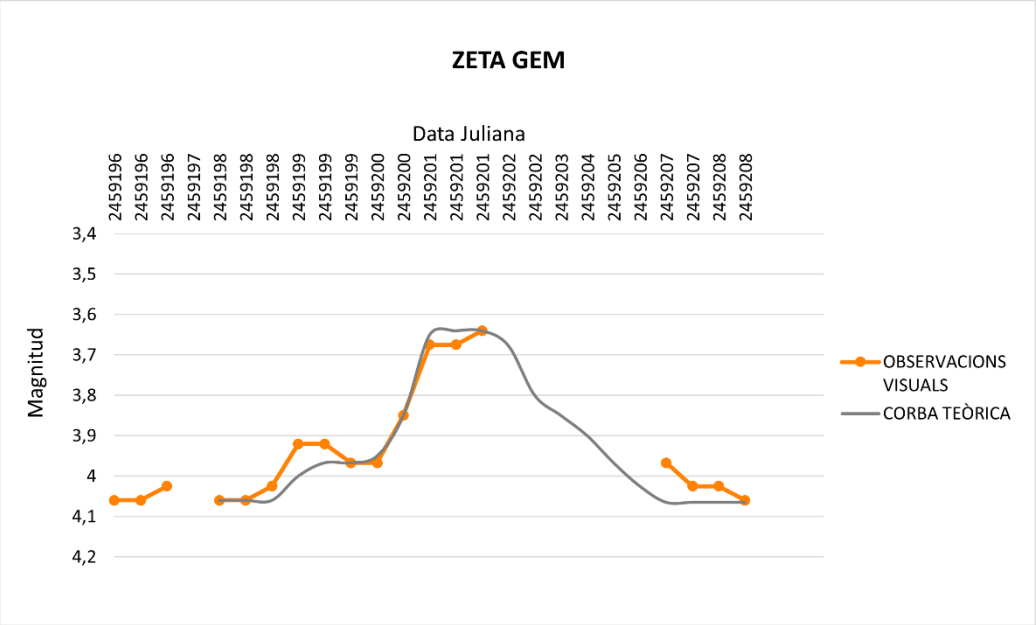


Fig. 52. Corba de lluminositat de zeta Gem

Zeta Gem és una variable cefeida que només s'ha observat en la segona etapa d'observacions i, per tant, no es té tanta pràctica observant-la com amb les dues estrelles anteriors. No obstant, aquesta estrella ha donat molt bons resultats, i com es pot veure en la imatge, la seva corba s'assembla molt a la d'una cefeida clàssica. L'únic problema és que no es pot veure amb claredat la segona meitat de la corba perquè en aquells dies no va ser possible observar a causa dels núvols. Un altre error que es pot observar és la petita prominència que hi ha en la pujada de la corba, que hauria de ser més plana.

La corba obtinguda concorda bastant bé amb la forma teòrica de la corba d'una cefeida, així que es pot dir que aquesta corba és correcta.

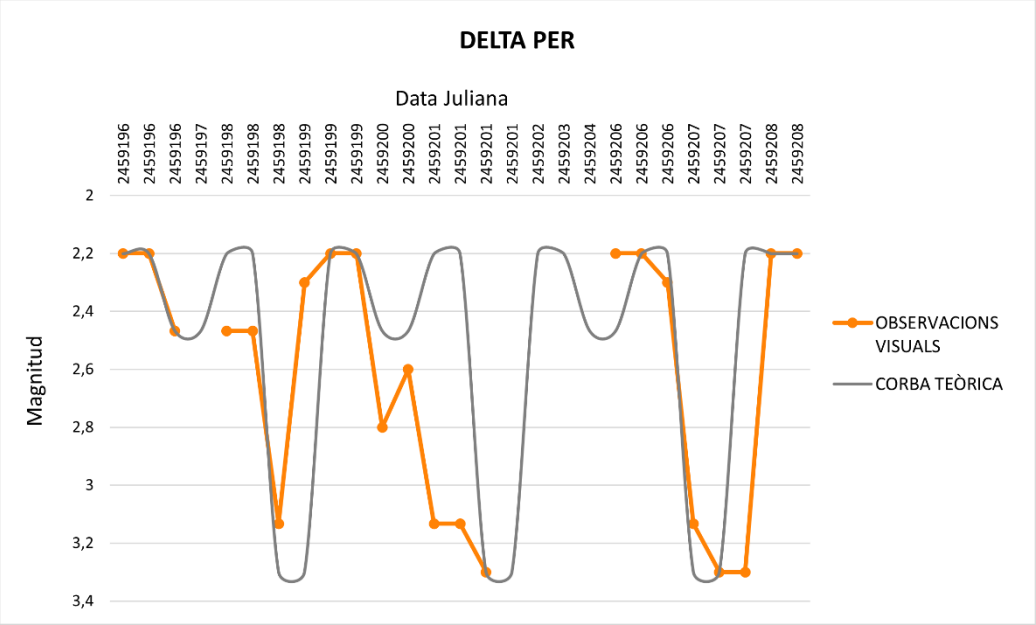


Fig. 53. Corba de lluminositat de delta Per

En la imatge anterior es pot veure la corba de *delta* Per, també coneguda com Algol. Aquesta corba és la més difícil d'obtenir de totes les estrelles de la segona etapa perquè és de tipus binària eclipsant, de fet és el prototip d'aquest tipus de variables. Això significa que aquesta corba té dos mínims que es van alternant, com es pot veure en la corba teòrica de la gràfica superior.

El gràfic mostra que en els mínims més profunds de lluminositat concorden les dues corbes però d'una manera una mica imprecisa. Els mínims menys profunds no estan gens definits i gairebé no es poden interpretar. En el segon període és on es pot veure més error, ja que la corba fa una forma bastant diferent a la teòrica. A més, els dies on la corba teòrica indica aquests mínims no es van poder fer registres a causa del mal temps. Les parts de les corbes que concorden millor són en els màxims de lluminositat, és a dir, entre mínims. No obstant això, en el primer i el segon període hi ha valors erronis que no arriben al màxim de lluminositat.

En aquesta estrella ha passat el mateix que en l'anterior, que la corba no arriba mai a la magnitud màxima de l'estrella, que en aquest cas és de 2,09. L'estrella de comparació A en aquest cas és d'1,8 magnituds, així que hauria de funcionar correctament en la fórmula d'Argelander. Potser les comparacions no es van fer prou detalladament i per això no s'arriba mai a la magnitud màxima.

En resum, en aquesta segona etapa les corbes han sortit més definides i clares que en la primera etapa. S'ha notat que al tenir més experiència en les observacions s'ha pogut ser més precís a l'hora de fer les comparacions. Això ha portat a una millora notable de les corbes.

7.- COMPARACIÓ DE LES DIFERENTS CORBES DE LLUMINOSITAT

En aquest capítol es fa un estudi comparatiu de diferents maneres. Primer es fa un estudi entre diferents tipus de variables i després entre variables de mateix tipus.

7.1.- COMPARATIVA ENTRE DIFERENTS TIPUS D'ESTRELLES

En el capítol 3 s'han explicat detalladament els tipus d'estrelles variables que existeixen i s'ha observat que cadascun té una corba de lluminositat característica. A continuació s'utilitza la corba d'*alfa* Her de la primera etapa d'observacions, i les de *gamma* Cas, *delta* Cep i *beta* Per de la segona etapa per fer la comparació entre les seves corbes. Per tant, es pot fer una comparativa de corbes de variables semiregulars, irregulars, cefeides i binàries eclipsants.

Primer es presenten les corbes de gamma Cas, una eruptiva irregular, i d'alfa Her, una polsant semiregular.

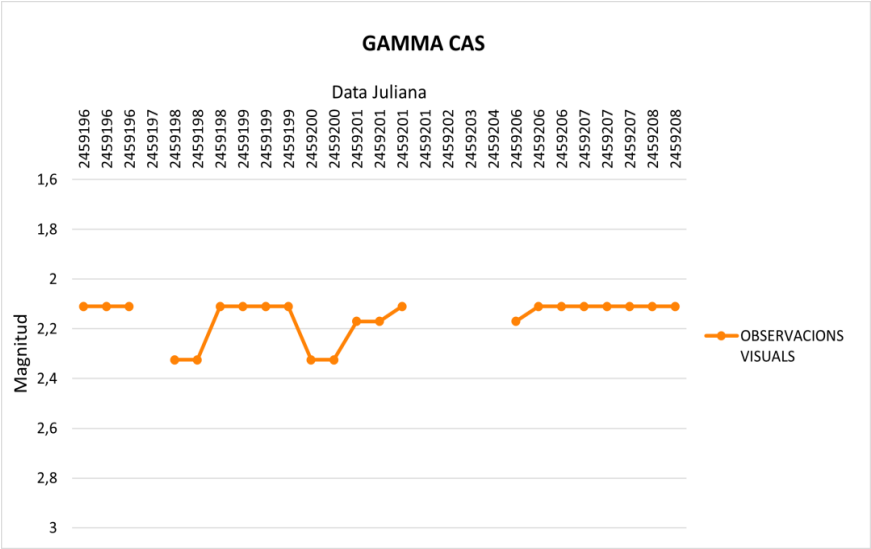


Fig. 54. Corba de lluminositat de gamma Cas

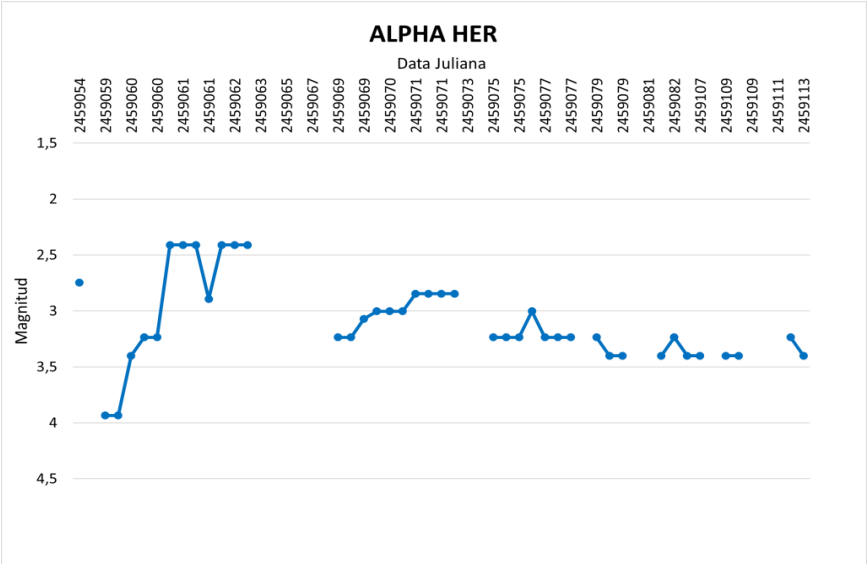


Fig. 55. Corba de lluminositat d'alfa Her

Com es pot veure, les corbes d'aquestes dues variables són molt semblants, ja que cap de les dues mostra periodicitat en les variacions. A més, la seva amplitud de variació és molt petita, les dues varien molt poc de lluminositat i com a conseqüència són molt planes. En el cas de *gamma* Cas, això passa perquè les seves erupcions no són controlades, sinó que depenen de la matèria que forma l'estrella i les seves reaccions químiques. Pel que fa a *alfa* Her, les seves corbes surten així perquè és una variable semiregular, el que significa que és una polsant de període llarg i que les pulsacions de són molt lentes.

Les corbes de les variables anteriors es poden diferenciar fàcilment de les corbes de *delta* Cep i *beta* Per.

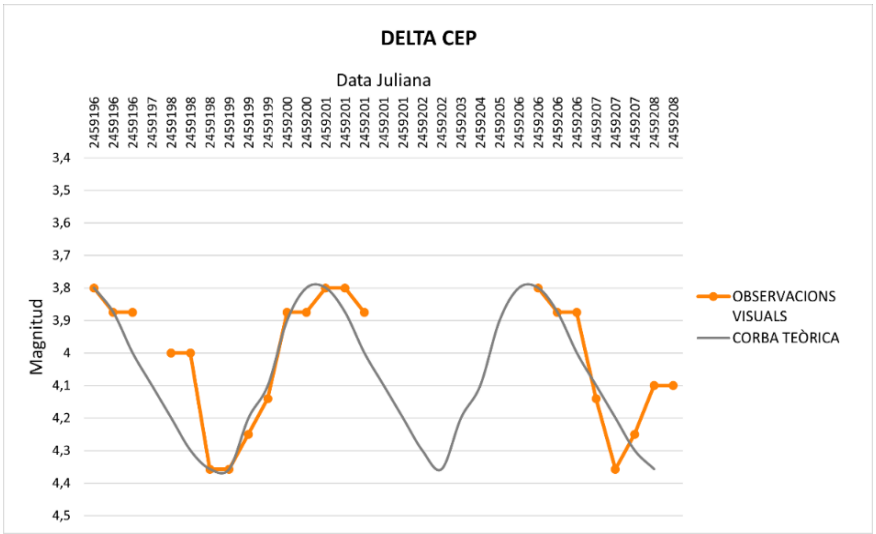


Fig. 56. Corba de lluminositat de delta Cep

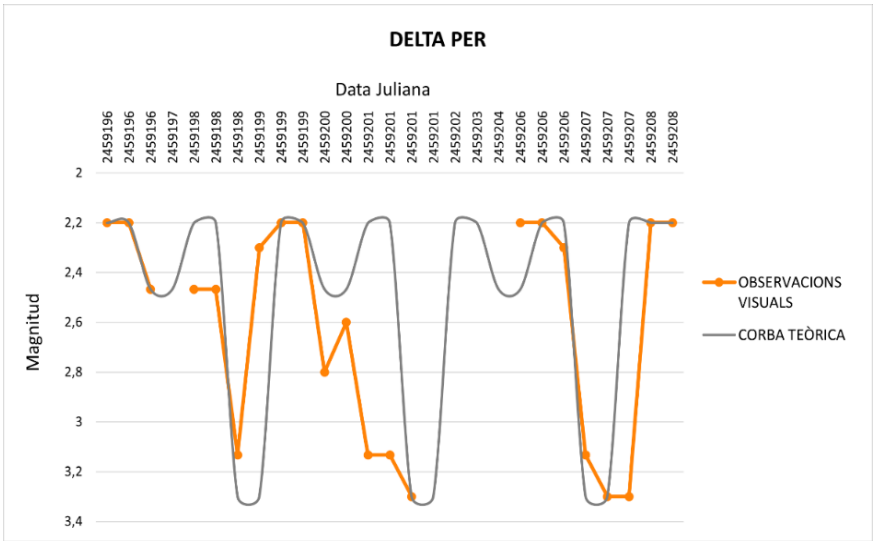


Fig. 57. Corba de lluminositat de delta Per

La corba de *delta* Cep i la de *beta* Per presenten unes oscil·lacions marcades i una amplitud de les variacions més gran que les permeten diferenciar fàcilment de les corbes de les irregulars i les semiregulars. A més, aquesta cefeida i binària eclipsant mostren

una periodicitat clara, és a dir, permeten veure on comença i acaba cada període, cosa que *gamma* Cas i *alfa* Her no tenen.

Les corbes de *delta* Cep no són sinusoidals ni simètriques, és a dir, no augmenten i disminueixen de lluminositat a la mateixa velocitat. Les cefeides augmenten de lluminositat més ràpid del que en disminueixen, i si s'observen les corbes d'aquesta variable això es pot observar clarament. En canvi, les corbes de *beta* Per si que són simètriques. Si s'agafés un fragment de corba que ocupés un període i es doblegués verticalment, el dibuix coincidiria. A més, les corbes de les cefeides normalment mostren alguna petita prominència durant l'augment o la disminució de la lluminositat que fa que la corba no sigui del tot uniforme. Contràriament, les corbes de *beta* Per i de les altres binàries eclipsants són molt uniformes i llises i no presenten gairebé mai cap prominència.

A banda d'aquestes diferències entre les corbes d'una cefeida i d'una binària eclipsant, el que canvia més entre les dues és el fet que la binària eclipsant sempre presenta dos mínims en les seves corbes, un de més profund i un de menys profund. Pel contrari, es pot veure en la corba de *delta* Cep que aquesta només presenta un mínim. Això passa perquè *beta* Per està formada per dues estrelles que es van eclipsant l'una a l'altra, de manera que a vegades hi ha més llum i a vegades menys, com està explicat en el capítol 3. En canvi, delta Cep és una estrella sola que polsa, és a dir, el seu radi augmenta i es contrau al llarg del temps.

7.2.- COMPARATIVA ENTRE ESTRELLES DEL MATEIX TIPUS

Seguidament es comparen les corbes de d'*alfa* Her i *zeta* Gem, dues estrelles polsants que varien de lluminositat a causa de la contracció i dilatació del seu radi. Encara que siguin del mateix tipus, es podrà observar que les dues corbes són molt diferents perquè aquestes estrelles són de tipus diferents de polsants.

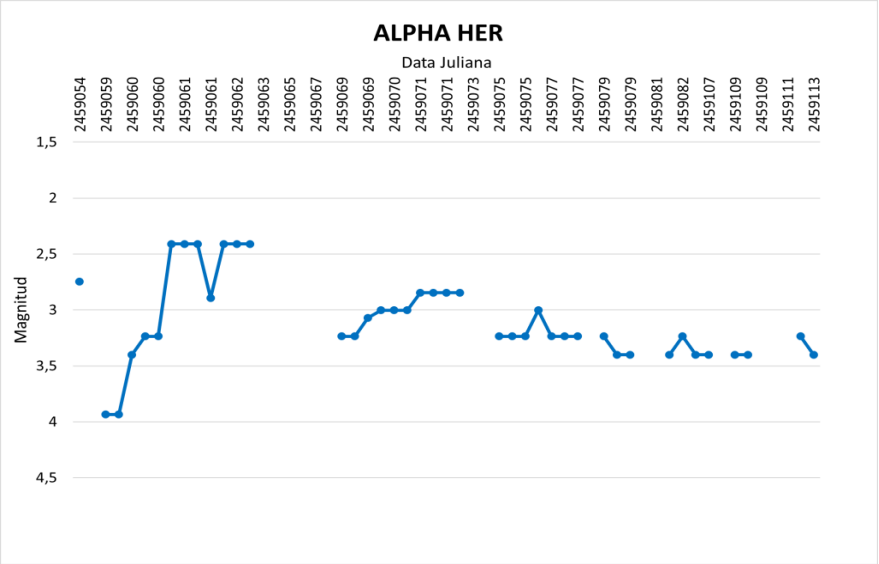


Fig. 58. Corba de lluminositat d'alfa Her

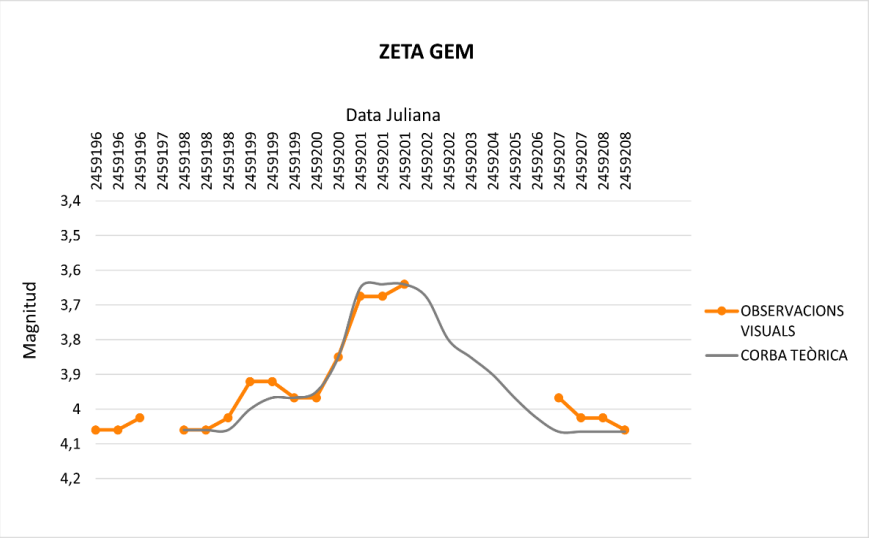


Fig. 59. Corba de lluminositat de zeta Gem

Com es pot observar, aquestes dues corbes no presenten cap tipus de similitud encara que les dues siguin d'estrelles polsants. Com s'ha comentat en l'apartat anterior, la corba l'*alfa* Her es majoritàriament plana, gairebé no presenta periodicitat i varia molt poc de magnitud. Això és degut a que és una polsant de període llarg, en concret té un període de 125 dies, i per tant triga molt a fer les pulsacions. Si s'hagués observat prou dies potser es podria veure una corba clara. No obstant això, les semiregulars a vegades no mostren periodicitat així que podria ser que no es vegues clara la corba en cap cas.

La corba de *zeta* Gem, en canvi, mostra una forma clara i permet apreciar periodicitat. Això és degut a que aquesta estrella és cefeida i per tant té un període més curt i varia més àmpliament de lluminositat.

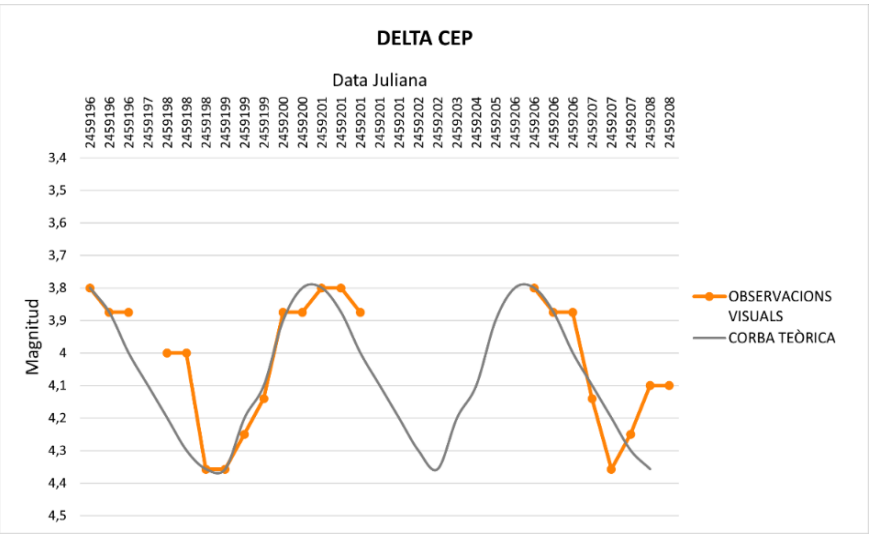


Fig. 60. Corba de lluminositat de delta Cep

Si comparem la corba de *zeta* Gem amb la de *delta* Cep, que són les dues estrelles polsants cefeides, es pot veure que són molt similars. Les dues presenten periodicitat

clara i tenen variacions àmplies de la lluminositat. A més, les dues tenen la forma clàssica de les cefeides, és a dir, que augmenten de lluminositat ràpidament i a continuació en disminueixen més a poc a poc. També mostren petits bonys, que com s'ha comentat abans, són molt habituals en les cefeides.

CONCLUSIONS:

Durant la primera etapa d'observacions que es van fer per aquest treball es va anar adquirint cada cop més pràctica, de manera que al final ja no resultava difícil localitzar les variables i les seves estrelles de comparació ni fer les comparacions i els registres. Les observacions es van convertir en una feina mecànica. Llavors, quan es va veure que les corbes de lluminositat d'aquesta primera etapa no van sortir bé es va descobrir que l'observació visual de variables és més que mirar i apuntar. Es requereix paciència i precisió per obtenir bons resultats i el millor a l'hora d'observar variables intentar ser el més minuciós possible.

A partir d'això les observacions de la segona etapa es van fer amb més determinació i cada comparació es va intentar fer de manera molt detallada. Aquest canvi va suposar que les corbes de la segona etapa sortissin molt més definides. Per consegüent s'ha pogut concloure que per obtenir bones corbes a partir de l'observació visual és necessari adquirir pràctica i habilitat per observar però l'indispensable és la precisió amb la que es duen a terme aquestes observacions.

Les primeres corbes que es van crear representaven les observacions fetes durant l'estiu. Aquestes corbes van resultar ser molt ambigües, algunes d'elles no mostraven cap tipus de periodicitat ni forma pròpia d'una corba de lluminositat. La corba de *gamma* Cas, eruptiva irregular, és bastant plana, no mostra periodicitat i l'amplitud de les variacions és molt petita. Per tant, mostra la forma d'una corba típica d'aquest tipus de variables i es pot dir que és correcta. La corba de *delta* Cep no mostra periodicitat ni una forma definida i tampoc permet veure la forma teòrica de les variables cefeides. Els resultats obtinguts d'aquesta estrella no són prou precisos. L'estrella *beta* Lyr, binària eclipsant, mostra a la seva corba uns mínims que es podrien relacionar amb la forma típica d'aquests tipus d'estrelles variables, però la resta de valors de la corba són molt ambigus. En el cas de la corba de la cefeida *eta* Aql passa el mateix que en la de *delta* Cep, és a dir, no es mostra una forma clara en el gràfic i per tant es pot dir que els resultats obtinguts d'aquesta estrella no són correctes. Per últim, la semiregular *alfa* Her si que permet veure la forma típica d'aquestes estrelles ja que el seu període és molt llarg i varia molt poc, així que aquesta corba mostra bons resultats.
Es pot concloure que això és degut a la periodicitat de les observacions, és a dir, que se'n feien tres per estrella variable cada 15 minuts. A més, com s'ha explicat abans, aquestes observacions van acabar sent poc acurades.

Per això, de cara a la segona etapa d'observacions realitzades al desembre, es va canviar la periodicitat de les observacions. Aquest cop se'n feien tres per estrella variable cada dues hores. També es va intentar posar el màxim esforç en les comparacions per obtenir registres acurats.
La corba de *gamma* Cas ha resultat correcta perquè és bastant plana i sense periodicitat, trets típics de les irregulars. La corba de *delta* Cep aquest cop ha sortit més definida i permet veure periodicitat i la variació correcta de lluminositat d'una cefeida. S'han obtingut els mateixos resultats en l'altra cefeida *zeta* Gem, es pot veure que és molt

semblant a la corba teòrica. Finalment, la corba de *beta* Per presenta dos mínims característics de les binàries eclipsants però alguns valors de la gràfica no concorden amb els de la corba teòrica.
Per tant, en la segona etapa d'observacions s'han obtingut corbes millors i s'ha arribat a la conclusió que la millor manera d'aconseguir-les és fent registres més separats per agafar una part més gran dels períodes de les variables. S'ha de tenir en compte també que les comparacions de les variables amb les altres estrelles siguin correctes, intentant dedicar-hi el temps necessari.

Gràcies a l'entrevista d'en Joan Guarro s'ha pogut comprovar que els astrònoms amateurs, ja facin observacions visuals o bé observacions fotomètriques, contribueixen en gran part a l'estudi científic de les estrelles variables, ja que aporten dades de forma continuada que són de gran ajut pels professionals.

La realització d'aquest treball, a més, també ha servit d'aprenentatge per la utilització dels instruments d'observació òptics, com són els prismàtics. S'ha produït un gran canvi en la qualitat del seu ús des de les primeres observacions fins les últimes, ja que a mesura que s'anaven fent servir s'adquiria pràctica. Així mateix, s'ha adquirit l'habilitat de localitzar constel·lacions i estrelles a partir de les cartes estel·lars, que han sigut indispensables per la realització de les observacions.

A l'hora de redactar el capítol 3, Tipus d'estrelles variables, es van intentar explicar les corbes que de cada classe d'estrelles però no es va entendre clarament perquè mostraven aquelles formes. Gràcies a l'anàlisi i la comparació de les corbes de lluminositat que s'han realitzat al llarg del treball, s'han pogut entendre més profundament. S'ha arribat a la conclusió que cada tipus d'estrella variable li dona a les seves corbes una forma distintiva, que depèn del motiu pel qual l'estrella varia. En els dos últims capítols s'ha pogut comprovar que si s'estudien diverses corbes de lluminositat s'adquireix la capacitat de distingir el tipus d'estrelles de les que provenen i, per tant, els motius pels quals varien. Aquest és, precisament, el treball que han fet els astrònoms al llarg de la història de l'observació d'estrelles variables, que ha permès descobrir coses noves sobre l'evolució de l'univers.

ANNEX I – ENTREVISTA A JOAN GUARRO

En Joan Guarro, astrònom amateur, va néixer a Piera el 1946. Des de molt jove ha estat interessat en l'astronomia i des de llavors ha construït telescopis, una càmera Schmidt, un o dos espectrògrafs... També ha descobert cinc asteroides i desenes d'estrelles variables.

- **Quan va començar a tenir interès per l'astronomia?**

Això va començar durant un hivern, perquè a l'estiu o durant el bon temps al sortir de l'escola anàvem a les rieres o a les basses o a jugar a guerra. Però a l'hivern feia fred i ens amagàvem a la biblioteca, així que llegíem llibres. Un cop vam trobar un llibre que ensenyava com construir un telescopi. Un amic, el Josep Figueres, que va morir molt jove, que era molt intel·ligent i de seguida veia les solucions a tot, va tenir la idea de construir un telescopi. A partir d'aquí vam començar a muntar telescopis, després vam fer òptica i la càmera Schmidt.

- **Quan va començar a observar?**

Vam començar a observar al mateix temps que vam construir els telescopis. A veure, la gent de tot en diuen observar, mirar el cel en diuen observar, mirar la lluna en diuen observar, i no observen ells, només miren. Observar la lluna vol dir mirar-la per treure'n alguna cosa en concret. Jo no vaig començar a observar fins més tard, quan tenia 24 o 25 anys. Però abans ja havíem fet fotos, als 14 o 15 anys ja fèiem fotos.

- **Què observava al principi: estrelles, planetes...?**

Jo al principi em vaig dedicar més a fer fotografia bonica, postals. Però sense tenir interès en el que hi hagués. En canvi tenia companys que si que els interessava, que estudiaven l'evolució de les bandes de núvols dels planetes grans. Després vaig començar a observar variables, quan em vaig cansar de fer fotos i quan la pol·lució lumínica no me'n deixava fer.

- **Quan va començar a observar, ho feia sol o amb un equip de persones també interessades en l'astronomia?**

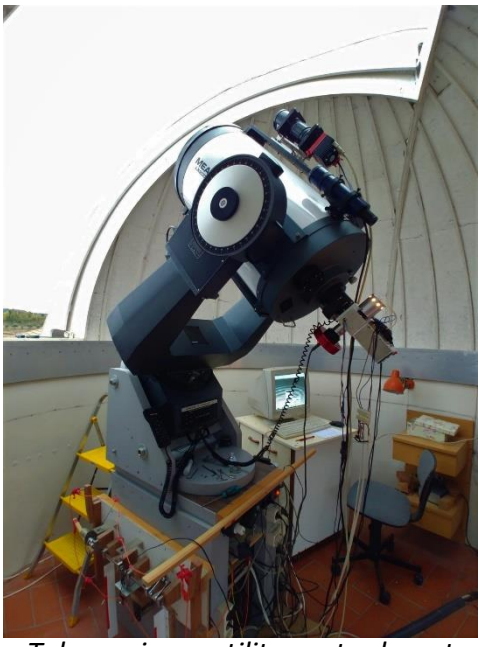
Normalment aquestes coses es fan a casa i sol, perquè quan tens gent a casa el que fas és ensenyar-ho, no penses en fotografiar això o allò, o en observar alguna variable.

- **Quines van ser les dificultats més grans que es va trobar al començar a observar?**

Les dificultats més grans van ser aprendre a observar, i aconseguir els aparells per fer-ho. També tenia dificultats amb la fotografia, que llavors era fotografia química, perquè havies de tenir el teu laboratori, els líquids... A vegades els líquids es feien malbé o no havies posat bé la pel·lícula o se t'havia ennuvolat... A més les pel·lícules les havies de tenir escalfades perquè guanyessin sensibilitat, les havia d'hipersensibilitzar. D'enrabiades no te'n faltaven, perquè quan t'havies curat d'una enrabiada llavors en venia una altra.

- **Quin aspecte d'observar amb telescopi li va resultar més difícil?**
  Aprendre'n. Perquè si no hi ha ningú que t'ho expliqui és difícil. Són les dificultats de començar a fer les coses, que mica en mica vas aprenent. Però encara que ja en sàpigues molt d'un tema et pots trobar dificultats. Jo fa no sé quants anys que faig espectroscòpia i ara tinc una dificultat amb una làmpada d'un espectrògraf. Has d'anar seguint un camí, i quan caus t'aixeques.

Cúpules al terrat de casa en Joan Guarro



Telescopi que utilitza actualment per observar

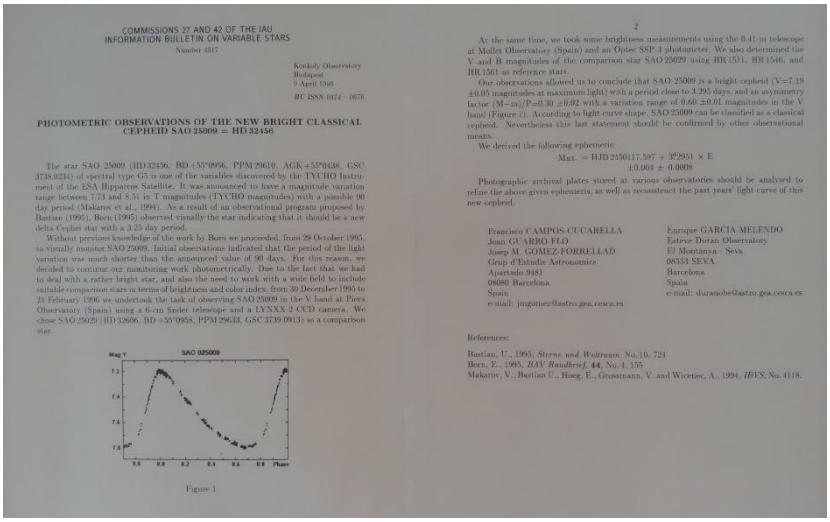
- **Què el va portar a construir el seu propi telescopi?**

Llavors no n'hi havia gaires, i els que hi havia eren molt cars. Actualment val la pena comprar-los perquè són més econòmics, estan bé de preu i no val la pena posar-se en aquestes històries.
Vam començar a fer-ne de 15, 20 centímetres. Després l'amic que es va morir en va fer un de 30, va fer ell el vidre i tot, que va sortir prou bé. A partir d'aquí en vaig fer un de 40 centímetres, després vaig fer la càmera Schmidt. El meu amic treballava en un taller mecànic i va fer muntures de telescopis. Per sort després van venir els telescopis comercials i això va facilitar molt les coses. Va facilitar molt les coses en el sentit que si vols trobar una estrella, per exemple, el telescopi hi va en dos minuts. Abans per trobar una estrella havies de fer les cartes, eren massa dèbils algunes estrelles, no les trobaves...

- **Va descobrir estrelles variables i asteroides. Pot explicar com va fer aquests descobriments?, se'ls va trobar de casualitat, els va observar durant un temps...?**

Llavors hi havia les possibles variables, que ningú se les havia mirat. Un amic em va dir "va mira't això de les variables, segur que no en trobes cap". Llavors van anar sortint. Les observàvem i després les havies d'enviar a Hongria. Allà ho publicaven, publicaven l'estudi i ho feien molt maco. Quan la gent de tot el món va veure que nosaltres ho

fèiem, van començar a buscar variables i com que les publicacions aquestes portaven molta feina van deixar de fer-ho tan maco. I ara gairebé ja no en queden de variables que es puguin descobrir com abans.
Llavors em vaig dedicar a buscar asteroides, n'hi havia de molt brillants, i en vaig trobar cinc. A un li vaig posar de nom *Catalonia*, i a un altre *Mariangela*, per la meva dona. I als altres tres ja no els hi vaig posar nom. Per descobrir-los agafava una regió de cel i la fotografiava cada mitja hora amb la càmera CCD. I si hi ha un asteroide el veies moure. Llavors havies d'anar a la Unió Astronòmica Internacional, demanar si a la posició aquella on hi havia un asteroide ja en tenien algun de registrat. Si no n'hi havia de registrat enviaves les dades. I no t'avisaven, havies d'anar mirant el tauler d'anuncis per veure si t'ho acceptaven. Més o menys fins al cap de dos anys, quan ho tenien segur, et donaven el reconeixement.



COMMISSIONS 27 AND 42 OF THE IAU
INFORMATION BULLETIN ON VARIABLE STARS
Number 4817

Konkoly Observatory
Budapest
9 April 1998
HU ISSN 0374 - 0676

PHOTOMETRIC OBSERVATIONS OF THE NEW BRIGHT CLASSICAL CEPHEID SAO 25009 = HD 32456

The star SAO 25009 (HD 32456, BD +55°0956, PPM 29610, AGK +55°0438, GSC 3738.0234) of spectral type G5 is one of the variables discovered by the TYCHO Instrument of the ESA Hipparcos Satellite. It was announced to have a magnitude variation range between 7.73 and 8.51 in T magnitudes (TYCHO magnitudes) with a possible 90 day period (Makarov et al., 1994). As a result of an observational program proposed by Bastian (1995), Born (1995) observed visually the star indicating that it should be a new delta Cephei star with a 3.25 day period.

Without previous knowledge of the work by Born we proceeded, from 29 October 1995, to visually monitor SAO 25009. Initial observations indicated that the period of the light variation was much shorter than the announced value of 90 days. For this reason, we decided to continue our monitoring work photometrically. Due to the fact that we had to deal with a rather bright star, and also the need to work with a wide field to include suitable comparison stars in terms of brightness and color index, from 30 December 1995 to 24 February 1996 we undertook the task of observing SAO 25009 in the V band at Piera Observatory (Spain) using a 6-cm finder telescope and a LYNXX-2 CCD camera. We chose SAO 25029 (HD 32606, BD +55°0958, PPM 29633, GSC 3739.0913) as a comparison star.

Figure 1

2

At the same time, we took some brightness measurements using the 0.41-m telescope at Mollet Observatory (Spain) and an Optec SSP-3 photometer. We also determined the V and B magnitudes of the comparison star SAO 25029 using HR 1511, HR 1546, and HR 1561 as reference stars.

Our observations allowed us to conclude that SAO 25009 is a bright cepheid (V=7.19 ±0.05 magnitudes at maximum light) with a period close to 3.295 days, and an asymmetry factor (M−m)/P=0.30 ±0.02 with a variation range of 0.60 ±0.01 magnitudes in the V band (Figure 1). According to light curve shape, SAO 25009 can be classified as a classical cepheid. Nevertheless this last statement should be confirmed by other observational means.

We derived the following ephemeris:

$$\text{Max.} = \text{HJD } 2450117.597 + 3^{\text{d}}.2951 \times \text{E}$$
$$\pm 0.004 \pm 0.0008$$

Photographic archival plates stored at various observatories should be analysed to refine the above given ephemeris, as well as reconstruct the past years' light curve of this new cepheid.

Francisco CAMPOS-CUCARELLA
Joan GUARRO FLO
Josep M. GOMEZ-FORRELLAD
Grup d'Estudis Astronomics
Apartado 9481
08080 Barcelona
Spain
e-mail: jmgomez@astro.gea.cesca.es

Enrique GARCIA-MELENDO
Esteve Duran Observatory
El Montanya - Seva
08553 SEVA
Barcelona
Spain
e-mail: duranobs@astro.gea.cesca.es

References:

Bastian, U., 1995, *Sterne und Weltraum*, No.10, 724
Born, E., 1995, *BAV Rundbrief*, **44**, No.4, 155
Makarov, V., Bastian U., Hoeg, E., Grossmann, V. and Wicenec, A., 1994, *IBVS*, No. 4118.

Certificat de descobriment d'una variable amb la seva corba

- **Segons el seu punt de vista, quin interès tenen les estrelles variables? Què aporten a l'astronomia?**

Les que varien per sí mateixes són les més interessants, sobretot les cefeides. Permeten saber l'evolució del món. No és que ens preguntem d'on venim, però per intentar ajudar a entendre el món les estrelles variables són importants.

- **Per què creu que són importants i què aporten els astrònoms amateurs a l'astronomia, sobretot en el camp de les estrelles variables?**

Pel fet de poder conèixer l'estructura estel·lar, les diferents estrelles, les diferents evolucions...
Els amateurs tenim temps de telescopi, cosa que els professionals no tenen. Nosaltres els intentem fer observacions i els hi enviem. També va molt bé que si dotze amateurs observem una estrella es poden comparar els resultats millor que no pas si només en són dos o tres. Així se sap segur qui ho ha fet malament si hi ha diferències en els resultats.

- **Al principi observava les estrelles variables de forma visual o de forma fotomètrica, amb càmeres?**

Jo observava amb càmeres CCD. Llavors eren molt cares i el xip de dins era molt petit. Ara els xips són més grans i van millor. Jo no he observat mai de forma visual.

- **Quan observava variables amb quina periodicitat ho feia: un cop a la nit, dos...?**

Observava sempre que podia. Llavors treballava i no podia observar sempre. Als estius menys sovint, als hiverns més. Les meves hores lliures les dedicava a això. No tenia establerta la quantitat de cops que observava, ho feia tants cops com tenia temps.

- **Actualment en què està treballant?**

Ara estic fent espectroscòpia estel·lar. Ara estic observant unes estrelles que són joves, blaves, molt calentes i inestables. També estic observant estrelles simbiòtiques vermelles. Algunes d'aquestes observacions van a parar a bancs de dades, llavors els professionals les agafen d'allà. Les altres les envio a gent concreta, per exemple a un alemany que conec, perquè estudiï els meus espectres.

DATA: 22/7/20 **INST:**

COND.: clar, sense núvols / ennuvolat, 80% de vistó

VARIABLE	HORA	MAG.	COMP. A B	CHART	OBSERVACIONS
Delta Cep	1:30	4,025	1+3,5 = 4,2		[illegible]
Y Cas	2:03	2,47	1+A 1 – 2,7		buscar M A / Margarinotes
23/7 α Her	12:19	3,846	2 B 1-2,67		Margarinotes
Y Cas	12:36	3	A 2 3,4 2 2,3		Margarinotes

DATA:

INST:

COND.:

	VARIABLE	HORA	MAG.	COMP.	CHART	OBSERVACIONS
24/07	BETA LYR	1:39	3,75	2A 2B		llargavistes / enrunvolat
~~25/07~~	~~GAMMA CAS~~	~~2:45~~				~~primatic 50 / 70% enrunvolat~~
25/07	BETA LYR	1:38	3,68	2A 3B		primatics 50 / 70% enrunvolat
25/07	BETA LYR	2:12	3,6	1A 2B		" "
~~25/07~~	~~GAMMA CAS~~	~~2:45~~				" "
27/07	GAMMA CAS	01:11	2,54	2B 3C (denes)		" 50 cel clar / lluna quart cel ~~[illegible]~~ POSTA LLUNA 12:40
27/07	BETA LYR	12:21	3,6	1A 2B		" 50 " "
27/07	ETA AQL	12:35	4,13	2B 4C 4A		" 50 parcialment enrunvolat 25%
~~27/07~~	~~ALFA HER~~	~~01:39~~		~~[illegible]~~ 2A 1B		~~" 70 " "~~
27/07	BETA LYR	12:44	3,6	1A 2B		" 50 " "
27/07	ETA AQL	1:32	3,767	3A 1B		50 "
27/07	DELTA CEP	1:39	4,25	2A 2B		70 "
~~27/07~~	~~ALF HER~~	~~1:45~~		~~3A~~		~~" "~~
27/07	~~[illegible]~~	1:49	2,325	3B 3C (AHN)		50 "
27/07	GAMMA CAS					

DATA	28/07/2020					
VARIABLE	HORA	MAG.	COMP.	CHART	INST.	OBSERVACIONS - ESTAT DEL CEL
GAMMA CAS	12:18	2,53	(A) 3C (3B)		70-~~LL~~ NU	RES NÚVOLS - LLUNA MIG CREIXENT HORITZÓ OEST
GAMMA CAS	12:46	2,7	2A 3B		50	25% VARIABLE
GAMMA CAS	01:11	2,325	3B 3C		50-~~LL~~ NU	POSTA LLUNA ≈ 01:05
GAMMA CAS						
DELTA CEP	12:53	3,8	4B 1A		50	
DELTA CEP	01:24	4,1	2A 3B		70	
DELTA CEP						
DELTA CEP						
BETA LYR	12:22	3,8	2A 2B		50	
BETA LYR	1:07	3,8	3A 3B		50	
BETA LYR	1:19	3,8	3A 3B		50	
BETA LYR						
ETA AQL	1:32	3,95	3B 3A		50	
ETA AQL	1:37	3,84	2A 3B		50	
ETA AQL						
ETA AQL						
ALPHA HER	12:30	3,934	4A 1B		50	
ALPHA HER	01:16	3,934	4A 1B		50	
ALPHA HER						
ALPHA HER						

DATA	29/07/20					
VARIABLE	HORA	MAG.	COMP.	CHART	INST.	OBSERVACIONS - ESTAT DEL CEL
GAMMA CAS	12:25	2,470	3B 4C		50-ull nu	clar sense núvols / llune creixent 60%
GAMMA CAS	12:48	2,19	2B 3C		50 ull nu	OEST
GAMMA CAS	1:08	2,325	3B 3C		50-ull nu	
GAMMA CAS						
DELTA CEP	12:29	4,1	2A 3B		70	
DELTA CEP	12:50	4,1	2A 3B		70	
DELTA CEP	1:09	4,1	2A 3B		70	
DELTA CEP						
BETA LYR	12:31	3,92	3A 2B		50	
BETA LYR	12:50	3,8	3A 3B		50	
BETA LYR	1:10	3,92	3A 2B		50	
BETA LYR						
ETA AQL	12:45	3,84	2A 3B		50	
ETA AQL	12:57	3,95	3A 3B		50	
ETA AQL	1:13	3,84	2A 3B		50	
ETA AQL						
ALPHA HER	12:33	3,4	4A 3B		50	
ALPHA HER	12:54	3,235	3A 3B		50	
ALPHA HER	1:11	3,235	3A 3B		50	
ALPHA HER						

DATA	30 / 7 / 2020					
VARIABLE	HORA	MAG.	COMP.	CHART	INST.	OBSERVACIONS - ESTAT DEL CEL
GAMMA CAS	12:10	2,325	3B 3C		50	CEL CLAR - LLUNA 70%. SUD - SUD OEST
GAMMA CAS	12:25	2,325	3B 3C		50 - [illegible]	
GAMMA CAS	12:40	2,54	2B 3C		50 - [illegible]	
GAMMA CAS	12:57	2,325	3B 3C		50 - [illegible]	
DELTA CEP	12:12	3,875	1A 3B		70	
DELTA CEP	12:26	4,1	2A 3B		70	
DELTA CEP	12:42	4,1	2A 3B		70	
DELTA CEP	12:58	4,1	2A 3B		70	
BETA LYR	12:13	3,68	2A 3B		50	
BETA LYR	12:28	3,5	1A 3B		50	
BETA LYR	12:43	3,68	2A 3B		50	
BETA LYR	12:59	3,5	1A 3B		50	
ETA AQL	12:15	3,675	1A 3B		50	
ETA AQL	12:30	3,84	2A 3B		50	
ETA AQL	12:45	3,84	2A 3B		50	
ETA AQL	102	3,84	2A 3B		50	
ALPHA HER	12:14	2,411	3A 3B		50	
ALPHA HER	12:29	2,411	3A 3B		50	
ALPHA HER	12:44	2,411	3A 3B		50	
ALPHA HER	1:00	2,893	3A 2B		50	

DATA	31/07/2020					
VARIABLE	HORA	MAG.	COMP.	CHART	INST.	OBSERVACIONS - ESTAT DEL CEL
GAMMA CAS	00:41		3B 3C		50-ULL NU	CEL CLAR - LLUNA 80% SUD-SUDOEST
GAMMA CAS	00:59		3B 3C		50-ULL NU	
GAMMA CAS	01:16		3B 3C		50-ULL NU	
GAMMA CAS						
DELTA CEP	00:45		1A 3B		70+50	
DELTA CEP	01:02		2A 3B		70	
DELTA CEP	01:17		1A 3B		70	
DELTA CEP						
BETA LYR	00:47		2A 3B		50	
BETA LYR	01:04		1A 3B		50	
BETA LYR	01:18		2A 3B		50	
BETA LYR						
ETA AQL	00:55		2A 2B		50+70	
ETA AQL	01:09		2A 2B		50	
ETA AQL	01:22		2A 3B		50	
ETA AQL						
ALPHA HER	00:49		3A 3B		50	
ALPHA HER	01:06		3A 3B		50	
ALPHA HER	01:19		3A 3B		50	
ALPHA HER						

DATA	7/8/20					
VARIABLE	HORA	MAG.	COMP.	CHART	INST.	OBSERVACIONS - ESTAT DEL CEL
GAMMA CAS	0:13	2,17	4B 3C		50 - UL NO	CEL CLAR - LLUNA 90%
GAMMA CAS	0:38	2,17	4B 3C		"	
GAMMA CAS	1:03	2,17	4B 3C		"	
GAMMA CAS						
DELTA CEP	0:17	3,8	1A 4B		70	
DELTA CEP	0:40	3,8	1A 4B		70	
DELTA CEP	1:06	3,8	1A 4B		70	
DELTA CEP						
BETA LYR	0:19	3,5	1A 3B		50	
BETA LYR	0:43	3,5	1A 3B		50	
BETA LYR	1:08	3,68	2A 3B		50	
BETA LYR						
ETA AQL	0:25	4,28	4A 1B		70	
ETA AQL	0:48	4,28	4A 1B		70	
ETA AQL	1:13	4,13	4A 2B		70	
ETA AQL						
ALPHA HER	0:22	3,235	3A 3B		50	
ALPHA HER	0:45	3,235	3A 3B		50	
ALPHA HER	1:12	3,07	3A 4B		50	
ALPHA HER						

DATA	8/8/20					
VARIABLE	HORA	MAG.	COMP.	CHART	INST.	OBSERVACIONS - ESTAT DEL CEL
GAMMA CAS	0:21	2,17	4B 3C		50-UL	NU CEL UNA MICA TAPAT AL
GAMMA CAS	0:45	1,966	4B 2C		"	PRINCIPI, DESPRÉS S'HA ACLARIT
GAMMA CAS	1:01	1,966	4B 2C		"	LLUNA 80%
GAMMA CAS						
DELTA CEP	0:23	4,1	2A 3B		70	
DELTA CEP	0:47	4,1	2A 3B		70	
DELTA CEP	1:03	4,1	2A 3B		70	
DELTA CEP						
BETA LYR	0:25	3,44	1A 4B		60	
BETA LYR	0:50	3,5	1A 3B		60	
BETA LYR	1:06	3,44	1A 4B		60	
BETA LYR						
ETA AQL	0:30	4,06	3A 2B		70	
ETA AQL	0:54	4,06	3A 2B		70	
ETA AQL	1:11	4,06	3A 2B		70	
ETA AQL						
ALPHA HER	0:27	3,002	2A 3B		50	
ALPHA HER	0:52	3,002	2A 3B		50	
ALPHA HER	1:08	3,002	2A 3B		50	
ALPHA HER						

DATA	9/8/20					
VARIABLE	HORA	MAG.	COMP.	CHART	INST.	OBSERVACIONS - ESTAT DEL CEL
GAMMA CAS	0:40	2,17	4B 3C		50-60	LLUNA VISIBLE 70%
GAMMA CAS	0:53	2,17	4B 3C		//	NÚVOLS A CAS I HER. S'HAN
GAMMA CAS	1:10	2,17	4B 3C		//	DISSIPAT RÀPIDAMENT
GAMMA CAS						
DELTA CEP	0:33	4,4	3A 2B		70	
DELTA CEP	0:55	4,25	3A 3B		70	
DELTA CEP	1:12	4,4	3A 2B		70	
DELTA CEP						
BETA LYR	0:35	3,92	3A 2B		50	
BETA LYR	0:57	3,92	3A 2B		50	
BETA LYR	1:15	3,8	3A 3B		50	
BETA LYR						
ETA AQL	0:38	4,06	3A 2B		50	
ETA AQL	1:02	3,95	3A 3B		50	
ETA AQL	1:19	3,95	3A 3B		50	
ETA AQL						
ALPHA HER	0:42	2,846	1A 2B		50	
ALPHA HER	0:59	2,846	1A 2B		50	
ALPHA HER	1:17	2,846	1A 2B		50	
ALPHA HER						

DATA	10/8/20					
VARIABLE	HORA	MAG.	COMP.	CHART	INST.	OBSERVACIONS - ESTAT DEL CEL
GAMMA CAS	0:25	2,325	3B 3C		50-ULNU	UNA MICA TAPAT
GAMMA CAS	0:43	2,325	3B 3C		//	ELS NÚVOLS ES VAN MOVENT
GAMMA CAS						
GAMMA CAS						
DELTA CEP	0:16	4,25	3A 3B		70	
DELTA CEP	0:33	4,25	3A 3B		70	
DELTA CEP						
DELTA CEP						
BETA LYR	0:18	4,1	3A 1B		50	
BETA LYR	0:25	3,92	3A 2B		50	
BETA LYR						
BETA LYR						
ETA AQL	0:21	4,13	4A 2B		50	
ETA AQL	0:37	4,13	4A 2B		50	
ETA AQL						
ETA AQL						
ALPHA HER	0:30	2,846	1A 2B		50	
ALPHA HER						
ALPHA HER						
ALPHA HER						

DATA	13/08/2020					
VARIABLE	HORA	MAG.	COMP.	CHART	INST.	OBSERVACIONS - ESTAT DEL CEL
GAMMA CAS	01:05	~~01:05~~	3B3C	2,325 (mag.)	50+ull nu	NITLLARA - BON CEL
GAMMA CAS	01:20	2,478	3B 4C		50+ull nu	
GAMMA CAS	01:37	2,325	3B 3C		50+ull nu	
GAMMA CAS						
DELTA CEP	01:08	4,1	2A 3B		50	
DELTA CEP	01:21	4,1	2A 3B		50	
DELTA CEP	01:38	4,1	2A 3B		50	
DELTA CEP						
BETA LYR	01:10	3,5	1A 3B		50	
BETA LYR	01:23	3.68	2A 3B		50	
BETA LYR	01:39	3,5	1A 3B		50	
BETA LYR						
ETA AQL	01:15	3,766	1A 2B		50	
ETA AQL	01:27	3,84	2A 3B		50	
ETA AQL	01:41	3,84	2A 3B		50	
ETA AQL						
ALPHA HER	01:13	3,235	3A3B		50	
ALPHA HER	01:25	3,235	3A 3B		50	
ALPHA HER	01:40	3,235	3A 3B		50	
ALPHA HER						

DATA	14/08/2020					
VARIABLE	HORA	MAG.	COMP.	CHART	INST.	OBSERVACIONS - ESTAT DEL CEL
GAMMA CAS	12:31	2,325	3B3C		50+	CEL MAJORITÀRIAMENT CLAR - NÚVOLS 25%
GAMMA CAS						
GAMMA CAS						NUVOLOSITAT CONCENTRADA AL SUD
GAMMA CAS						
DELTA CEP	12:33	3,875	1A3B		70	NUVOLOSITAT EN AUG. PROGRESSIU
DELTA CEP						NO ES POT OBSERVAR MÉS
DELTA CEP						
DELTA CEP						
BETA LYR	12:35	3,5	1A 3B		50	
BETA LYR						
BETA LYR						
BETA LYR						
ETA AQL	12:29	4,13	4A 2B		50	
ETA AQL						
ETA AQL						
ETA AQL						
ALPHA HER	12:27	3,002	2A3B		50	
ALPHA HER						
ALPHA HER						
ALPHA HER						

DATA	15/8/20					
VARIABLE	HORA	MAG.	COMP.	CHART	INST.	OBSERVACIONS - ESTAT DEL CEL
GAMMA CAS	1:07	2,325	3B 3C		50+ULLNU	CEL CLAR / BONA VISIBILITAT
GAMMA CAS	1:22	2,325	3B 3C		//	
GAMMA CAS	1:38	2,325	3B 3C		//	
GAMMA CAS						
DELTA CEP	1:09	3,8	1A 4B		50	
DELTA CEP	1:24	3,875	1A 3B		50	
DELTA CEP	1:39	3,875	1A 3B		50	
DELTA CEP						
BETA LYR	1:11	3,68	2A 3B		50	
BETA LYR	1:25	3,68	2A 3B		50	
BETA LYR	1:40	3,5	1A 3B		50	
BETA LYR						
ETA AQL	1:14	4,06	3A 2B		50	
ETA AQL	1:28	4,06	3A 2B		50	
ETA AQL	1:42	4,06	3A 2B		50	
ETA AQL						
ALPHA HER	1:12	3,235	3A 3B		50	
ALPHA HER	1:26	3,235	3A 3B		50	
ALPHA HER	1:41	3,235	3A 3B		50	
ALPHA HER						

DATA	17/08/2020					
VARIABLE	HORA	MAG.	COMP.	CHART	INST.	OBSERVACIONS - ESTAT DEL CEL
GAMMA CAS	12:39	2,325	3B 3C		50 + ULL NU	CEL CLAR - SENSE NÚVOLS
GAMMA CAS	12:56	2,325	3B 3C		"	
GAMMA CAS	01:17	2,325	3B 3C		"	
GAMMA CAS						
DELTA CEP	12:37	3,875	1A 3B		70	
DELTA CEP	12:57	3,875	1A 3B		50	fora de camp del 70
DELTA CEP	01:18	4,1	2A 3B		50	
DELTA CEP						
BETA LYR	12:40	3,5	1A 3B		50	
BETA LYR	12:58	3,68	2A 3B		"	
BETA LYR	01:17	3,68	2A 3B		"	
BETA LYR						
ETA AQL	12:45	3,84	2A 3B		50	
ETA AQL	12:59	3,84	2A 3B		"	
ETA AQL	01:20	3,84	2A 3B		"	
ETA AQL						
ALPHA HER	12:43	3,235	3A 3B		50	
ALPHA HER	12:59	3,4	4A 3B		"	
ALPHA HER	01:19	3,4	4A 3B		"	
ALPHA HER						

DATA	19/8/20					
VARIABLE	HORA	MAG.	COMP.	CHART	INST.	OBSERVACIONS - ESTAT DEL CEL
GAMMA CAS	00:35	2,325	3B3C		50 + ull	CEL ENNUVOLAT 50%
GAMMA CAS	00:51	2,325	3B3C		//	NUVOLOSITAT EN AUG
GAMMA CAS						
GAMMA CAS						
DELTA CEP	00:37	3,8	1A 4B		50	
DELTA CEP	00:53	3,8	1A 4B		//	
DELTA CEP	1:14	3,8	1A 4B		//	
DELTA CEP						
BETA LYR	0:31	3,44	1A 4B		50	
BETA LYR	0:49	3,68	2A 3B		50	
BETA LYR						
BETA LYR						
ETA AQL						
ETA AQL						
ETA AQL						
ETA AQL						
ALPHA HER						
ALPHA HER						
ALPHA HER						
ALPHA HER						

DATA	20/08/20					
VARIABLE	HORA	MAG.	COMP.	CHART	INST.	OBSERVACIONS - ESTAT DEL CEL
GAMMA CAS	00:19	2,325	3B 3C		50+ULNO	CEL CLAR
GAMMA CAS	00:38	2,325	3B 3C		"	
GAMMA CAS						
GAMMA CAS						
DELTA CEP	00:21	3,8	1A 4B		70	
DELTA CEP	00:39	4	2A 4B		"	
DELTA CEP						
DELTA CEP						
BETA LYR	00:23	3,68	2A 3B		50	
BETA LYR	00:41	3,68	2A 3B		50	
BETA LYR						
BETA LYR						
ETA AQL	00:25	3,95	3A 3B		50	
ETA AQL	00:43	3,95	3A 3B		"	
ETA AQL						
ETA AQL						
ALPHA HER	00:24	3,4	4A 3B		50	
ALPHA HER	00:42	3,235	3A 3B		"	
ALPHA HER						
ALPHA HER						

DATA	12/09/2020					
VARIABLE	HORA	MAG.	COMP.	CHART	INST.	OBSERVACIONS - ESTAT DEL CEL
GAMMA CAS	01:25	2,325	3B 3C		D+ulr	CEL CLAR - BONA VISIBILITAT
GAMMA CAS	01:40	2,17	4B 3C		"	
GAMMA CAS						
GAMMA CAS						
DELTA CEP	01:26	4	2A 4B		50	
DELTA CEP	01:40	4,14	3A 4B		"	
DELTA CEP						
DELTA CEP		3,92				
BETA LYR	01:28	~~2,3CA~~	3A 2B		50	
BETA LYR	01:41	~~2,3CA~~	3A 2B		"	
BETA LYR		3,92				
BETA LYR						
ETA AQL	01:30	4,13	4A 2B		50	
ETA AQL	01:42	3,84	2A3B		"	
ETA AQL						
ETA AQL						
ALPHA HER						
ALPHA HER						
ALPHA HER						
ALPHA HER						

DATA	14/09/2020					
VARIABLE	HORA	MAG.	COMP.	CHART	INST.	OBSERVACIONS - ESTAT DEL CEL
GAMMA CAS	23:32	2,325	3B3C		50 + UCLNO	CEL CLAR - BONA VISIBILITAT
GAMMA CAS	23:46	2,325	3B3C		"	
GAMMA CAS						
GAMMA CAS						
DELTA CEP	23:33	4	2A 4B		50	
DELTA CEP	23:47	4	2A 4B		"	
DELTA CEP						
DELTA CEP						
BETA LYR	23:34	3,68	2A3B		50	
BETA LYR	23:48	3.44	1A 4B		"	
BETA LYR						
BETA LYR						
ETA AQL	23:36	3,84	2A3B		50	
ETA AQL	23:49	3,44	2A 4B		"	
ETA AQL						
ETA AQL						
ALPHA HER	23:38	3,4	4A 3B		50	
ALPHA HER	23:51	3,4	4A3B		"	
ALPHA HER						
ALPHA HER						

DATA	15/09/2020					
VARIABLE	HORA	MAG.	COMP.	CHART	INST.	OBSERVACIONS - ESTAT DEL CEL
GAMMA CAS	23:42	2,325	3B3C		50+ cel net	CEL CLAR - BONA VISIBILITAT
GAMMA CAS	23:48	2,325	3B3C		"	
GAMMA CAS						
GAMMA CAS						
DELTA CEP	23:44	3,8	1A4B		50	
DELTA CEP	23:49	4	2A4B		"	
DELTA CEP						
DELTA CEP						
BETA LYR	23:45	3.68	2A 3B		50	
BETA LYR	23:51	3,68	2A 3B		"	
BETA LYR						
BETA LYR						
ETA AQL	23:46	3,767	2A 4B		50	
ETA AQL	23:52	3,675	1A 3B		"	
ETA AQL						
ETA AQL						
ALPHA HER			NO			LLUM AMBIENTAL DIFICULTA OBSERVACIÓ
ALPHA HER			NO			
ALPHA HER						
ALPHA HER						

DATA	16/09/2020					
VARIABLE	HORA	MAG.	COMP.	CHART	INST.	OBSERVACIONS - ESTAT DEL CEL
GAMMA CAS	23:35	2,325	3B 3C		50+ulls	CEL CLAR - BONA VISIBILITAT
GAMMA CAS	23:45	2,325	3B 3C		"	OBSERVADA AMB SINGLOT
GAMMA CAS						
GAMMA CAS						
DELTA CEP	23:37	3,8	1A 4B		50	
DELTA CEP	23:46	4	2A 4B		"	
DELTA CEP						
DELTA CEP						
BETA LYR	23:38	3,5	1A 3B		50	
BETA LYR	23:47	3,68	2A 3B		"	
BETA LYR						
BETA LYR						
ETA AQL	23:39	3,767	2A 4B		50	
ETA AQL	23:47	3,95	3A 3B		"	
ETA AQL						
ETA AQL						
ALPHA HER	23:40	3,4	4A 3B		50	
ALPHA HER	23:48	3,4	4A 3B		"	
ALPHA HER						
ALPHA HER						

DATA	20/09/2020					
VARIABLE	HORA	MAG.	COMP.	CHART	INST.	OBSERVACIONS - ESTAT DEL CEL
GAMMA CAS	21:34	1,967	4B2C		50+ UT NO	CEL CLAR - ALGUNS NÚVOLS
GAMMA CAS						BONA VISIBILITAT
GAMMA CAS						NÚVOLS DAVANT CAS
GAMMA CAS						
DELTA CEP	21:27	3,8	1A 4B		50	
DELTA CEP	21:36	3.8	1A 4B		"	
DELTA CEP						
DELTA CEP						
BETA LYR	21:29	3.5	1A 3B		50	
BETA LYR	21:37	3,68	2A 3B		"	
BETA LYR						
BETA LYR						
ETA AQL	21:31	4,06	3A 2B		50	
ETA AQL	21:37	4,06	3A 2B		"	
ETA AQL						
ETA AQL						
ALPHA HER	21:32	3,235	3A 3B		50	
ALPHA HER	21:38	3.4	4A 3B		"	
ALPHA HER						
ALPHA HER						

DATA	11 - 12/12/20					
VARIABLE	HORA	MAG.	COMP.	CHART	INST.	OBSERVACIONS - ESTAT DEL CEL
GAMMA CAS	20:04	2,11	3B 2C		50	CEL CLAR - BONA VISIBILITAT
GAMMA CAS	22:17	2,11	3B 2C		"	NO LLUNA
GAMMA CAS	00:28	2,11	3B 2C		"	
GAMMA CAS						
DELTA CEP	20:07	3,8	1A 4B		50	
DELTA CEP	22:20	3,875	1A 3B		"	
DELTA CEP	00:30	3,875	1A 3B		"	NÚVOLS PRIMS - HAN VARXAT RÀPID
DELTA CEP						
ZETA GEM	20:14	4,06	4A 1B		90	
ZETA GEM	22:28	4,06	4A 1B		"	
ZETA GEM	00:36	4,025	3A 1B		"	
ZETA GEM						
BETA PER	20:23	2,2	1A 4B		50	
BETA PER	22:35	2,2	1A 4B		"	
BETA PER	00:39	2,467	2A 4B		"	
BETA PER						

DATA	13 - 14 / 12 / 20					
VARIABLE	HORA	MAG.	COMP.	CHART	INST.	OBSERVACIONS - ESTAT DEL CEL
GAMMA CAS	20:06	2,325	3B 3C		50	LLUNA NO VISIBLE
GAMMA CAS	21:58	2,325	3B 3C		//	AL PRINCIPI ALGUNS NÚVOLS QUE HAN
GAMMA CAS	00:27	2,11	3B 2C		//	MARXAT RÀPID
GAMMA CAS						
DELTA CEP	20:00	4	2A 4B		50	
DELTA CEP	22:01	4	2A 4B		//	
DELTA CEP	00:29	4,357	4A 3B		//	
DELTA CEP						
ZETA GEM	20:15	4,06	4A 1B		70	
ZETA GEM	22:06	4,06	4A 1B		//	
ZETA GEM	00:34	4,025	3A 1B		//	
ZETA GEM						
BETA PER	20:21	2,467	1A 2B		50	
BETA PER	22:09	2,467	1A 2B		//	
BETA PER	00:40	3,133	2A 1B		//	
BETA PER						

DATA	19-15/12/20					
VARIABLE	HORA	MAG.	COMP.	CHART	INST.	OBSERVACIONS - ESTAT DEL CEL
GAMMA CAS	20:34	2,11	3B 2C		50-WL NM	CEL CLAR - BONA VISIBILITAT
GAMMA CAS	22:53	2,11	3B 2C		"	
GAMMA CAS	00:35	2,11	3B 2C		"	
GAMMA CAS						
DELTA CEP	20:36	4,357	4A 3B		50	
DELTA CEP	22:43	4,25	3A 3B		50	
DELTA CEP	00:36	4,14	3A 4B		50	
DELTA CEP						
ZETA GEM	20:39	3,92	3A 2B		70	
ZETA GEM	22:47	3,92	3A 2B		"	
ZETA GEM	00:38	3,967	2A 1B		70	
ZETA GEM						
BETA PER	20:42	2,3	1A 3B		50	
BETA PER	22:51	2,2	1A 4B		50	
BETA PER	00:43	2,2	1A 4B		"	
BETA PER						

DATA	15 / 12 / 20					
VARIABLE	**HORA**	**MAG.**	**COMP.**	**CHART**	**INST.**	**OBSERVACIONS - ESTAT DEL CEL**
GAMMA CAS	21:07	2,325	3B 3C		50 - nel mu	CEL MAJORITÀRIAMENT CLAR – ALGUNS
GAMMA CAS	23:38	2,325	3B 3C		"	NÚVOLS A L'HORITZÓ
GAMMA CAS						
GAMMA CAS						
DELTA CEP	21:10	3,875	1A3B		50	
DELTA CEP	23:40	3,875	1A3B		50	
DELTA CEP						
DELTA CEP			~~2A2B~~			
ZETA GEM	21:13	3,967	2A 1B		70	
ZETA GEM	23:42	3,85	2A 2B		70	
ZETA GEM						
ZETA GEM						
BETA PER	21:17	2,8	2A 2B		50	
BETA PER	23:46	2,6	2A 3B		50	
BETA PER						
BETA PER						

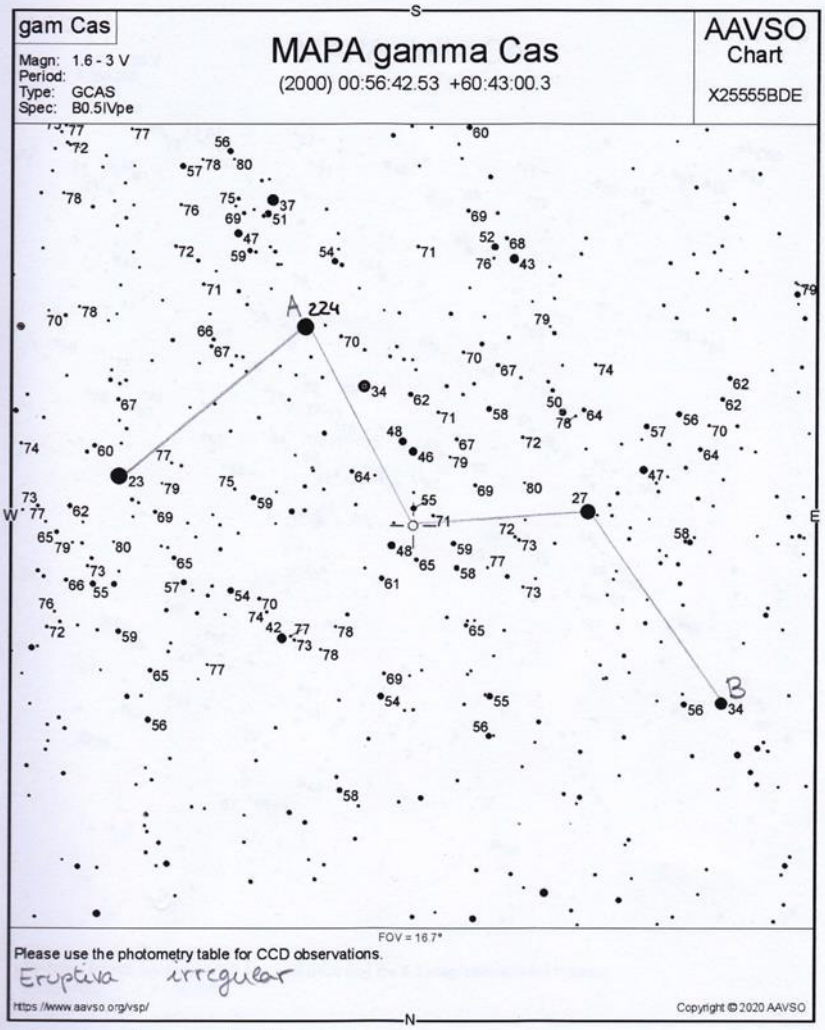
DATA	16-17/12/20					
VARIABLE	HORA	MAG.	COMP.	CHART	INST.	OBSERVACIONS - ESTAT DEL CEL
GAMMA CAS	20:33	2,17	4B 3C		50-ull nu	CEL CLAR SENSE NÚVOLS
GAMMA CAS	22:43	2,17	4B 3C		"	
GAMMA CAS	00:27	2,11	3B 2C		"	
GAMMA CAS						
DELTA CEP						
DELTA CEP	20:35	3,8	1A 4B		50	
DELTA CEP	22:45	3,8	1A 4B		"	
DELTA CEP	00:29	3,875	1A 3B		"	
ZETA GEM	20:37	3,675	1A 3B		70	
ZETA GEM	22:48	3,675	1A 3B		"	
ZETA GEM	00:37	3,64	1A 4B		"	
ZETA GEM						
BETA PER	20:41	3,133	2A 1B		50	
BETA PER	22:50	3,133	2A 1B		"	
BETA PER	00:41	3,3	3A 1B		"	
BETA PER						

DATA	21 - 22/12/20					
VARIABLE	HORA	MAG.	COMP.	CHART	INST.	OBSERVACIONS - ESTAT DEL CEL
GAMMA CAS	20:43	2,17	4B 3C		50 - 60 mm	CEL CLAR - LLUNA 40%
GAMMA CAS	23:05	2,11	3B 2C		"	
GAMMA CAS	00:37	2,11	3B 2C		"	ÚLTIMA OBSERVACIÓ → LLUNA ~~POSADA~~ POSTA
GAMMA CAS						
DELTA CEP	20:45	3,8	1A 4B		50	
DELTA CEP	23:07	3,875	1A 3B		"	
DELTA CEP	00:39	3,875	1A 3B		"	
DELTA CEP						
ZETA GEM	20:48	4,06	4A 1B		70	
ZETA GEM	23:09	4,06	4A 1B		"	
ZETA GEM	00:42	4,06	4A1B		"	
ZETA GEM						
BETA PER	20:52	2,2	1A 4B		50	
BETA PER	23:12	2,2	1A 4B		"	
BETA PER	00:45	2,3	1A3B		"	
BETA PER						

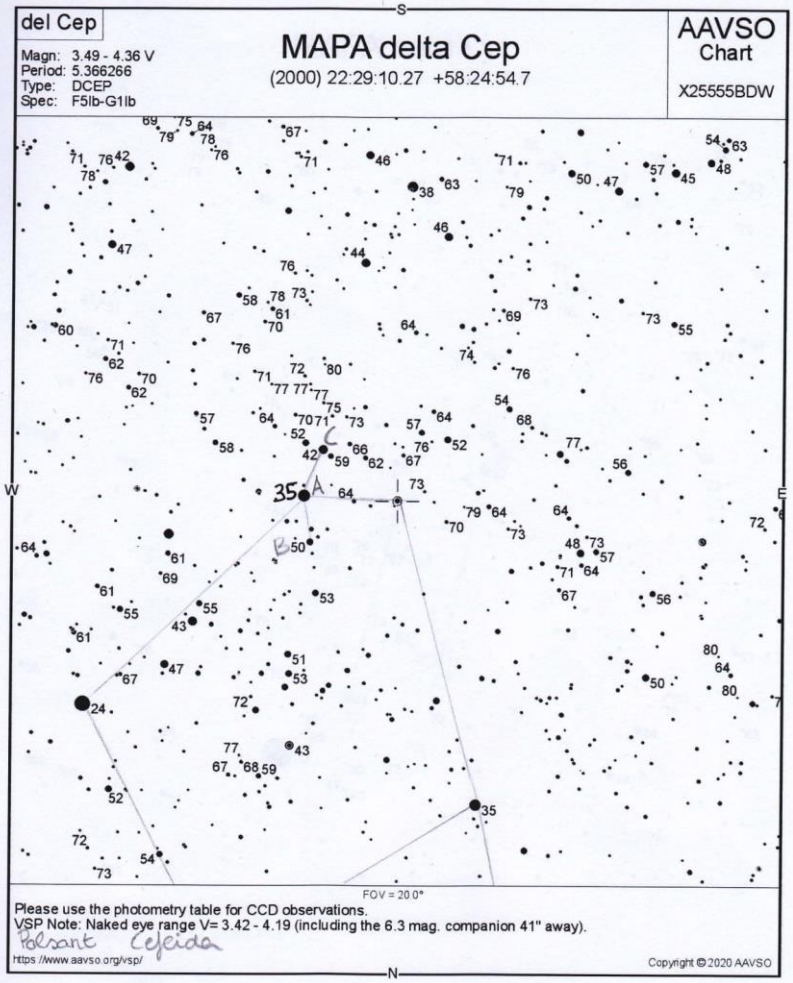
DATA	22-23/12/20					
VARIABLE	HORA	MAG.	COMP.	CHART	INST.	OBSERVACIONS - ESTAT DEL CEL
GAMMA CAS	21:08	2,11	3B 2C		50-~~100~~	CEL PARCIALMENT ENNUVOLAT
GAMMA CAS	23:13	2,11	3B 2C		"	LLUNA QUART CREIXENT-S'HA POSAT
GAMMA CAS	00:44	2,11	3B 2C		"	A LES 00:45
GAMMA CAS						
DELTA CEP	21:09	4,14	3A 4B		50	
DELTA CEP	23:04	4,357	4A 3B		50	
DELTA CEP	00:46	4,25	3A 3B		"	
DELTA CEP						
ZETA GEM	21:11	3,967	4A 2B		70	
ZETA GEM	23:16	3,967	4A 2B		"	
ZETA GEM	00:49	4,025	3A 1B		"	
ZETA GEM						
BETA PER	21:13	3,133	4A 2B		50	
BETA PER	23:09	3.3	3A 1B		50	
BETA PER	00:51	3,3	3A 1B		50	
BETA PER						

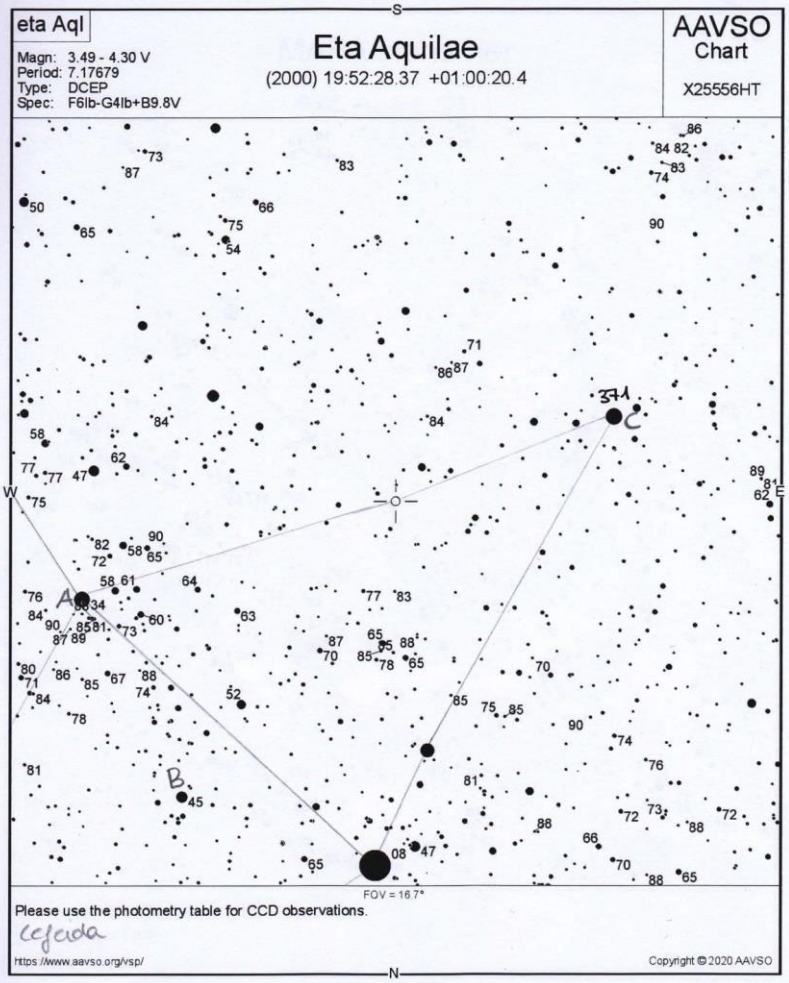
DATA	23 - 24/12/20					
VARIABLE	HORA	MAG.	COMP.	CHART	INST.	OBSERVACIONS - ESTAT DEL CEL
GAMMA CAS	22:07	2,11	2C 3B		50 - ull nu	CEL CLAR SENSE NÚVOLS
GAMMA CAS	00:26	2,11	3B 2C		"	LLUNA 60 %.
GAMMA CAS						
GAMMA CAS						
DELTA CEP	22:09	4,1	2A 3B		50	
DELTA CEP	00:29	4,1	2A 3B		50	
DELTA CEP						
DELTA CEP						
ZETA GEM	22:11	4,025	3A 1B		70	
ZETA GEM	00:31	4.06	4A 1B		"	
ZETA GEM						
ZETA GEM	~~22:35~~	~~2,2~~	~~1A 4B~~		~~50~~	
BETA PER	22:13	2,2	1A 4B		50	
BETA PER	00:33	2,2	1A 4B		50	
BETA PER						
BETA PER						

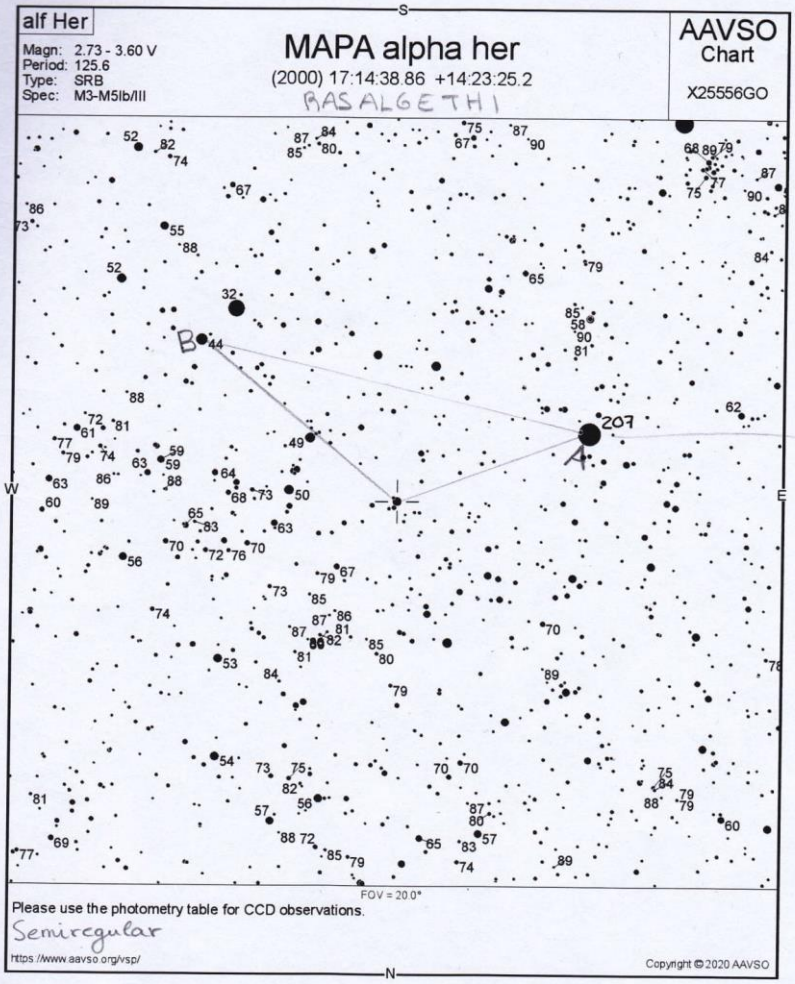
ANNEX III – CARTES ESTEL·LARS

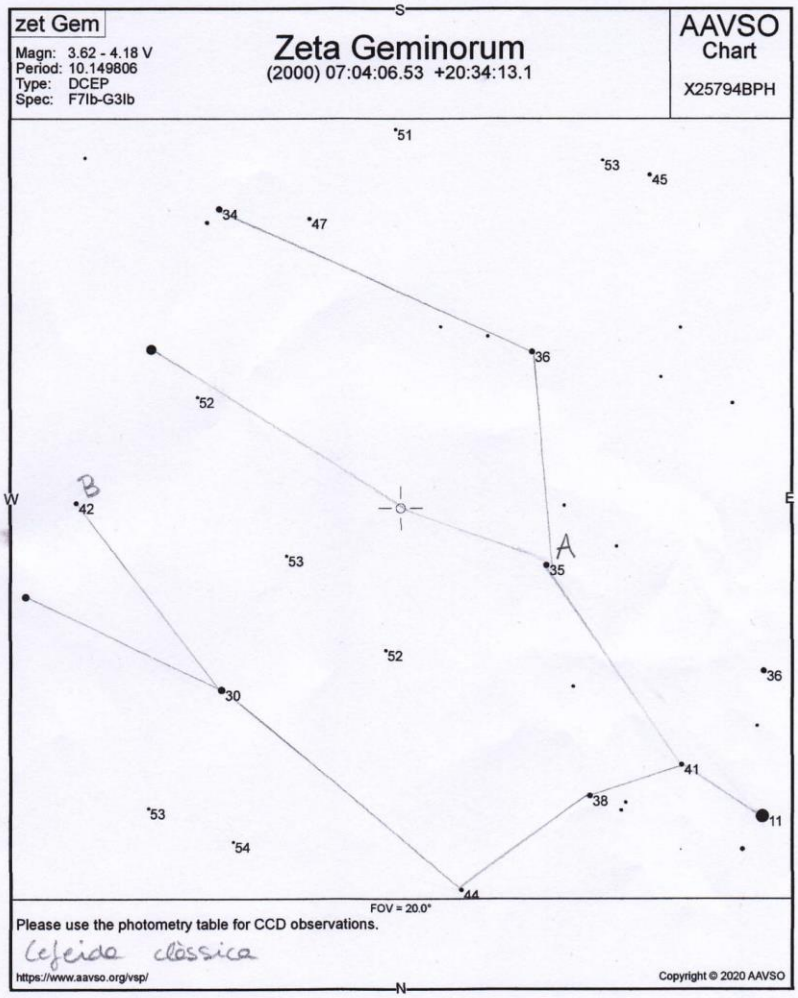


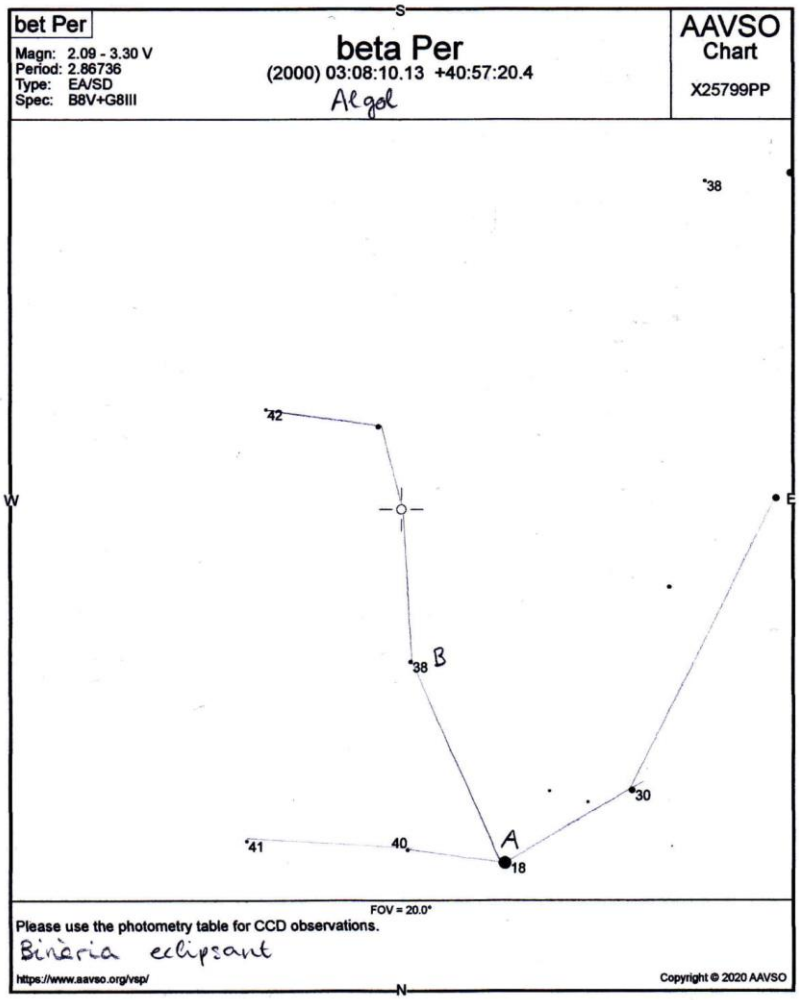
(c) Dendo → 1,25


del Cep
Magn: 3.49 - 4.36 V
Period: 5.366266
Type: DCEP
Spec: F5Ib-G1Ib
MAPA delta Cep
(2000) 22:29:10.27 +58:24:54.7
AAVSO
Chart
X25555BDW
S
W
E
N
FOV = 20.0°
Please use the photometry table for CCD observations.
VSP Note: Naked eye range V= 3.42 - 4.19 (including the 6.3 mag. companion 41" away).
Polesant Cefeida
https://www.aavso.org/vsp/
Copyright © 2020 AAVSO


eta Aql
Magn: 3.49 - 4.30 V
Period: 7.17679
Type: DCEP
Spec: F6Ib-G4Ib+B9.8V
Eta Aquilae
(2000) 19:52:28.37 +01:00:20.4
AAVSO
Chart
X25556HT
S
N
W
E
A
B
C
FOV = 16.7*
Please use the photometry table for CCD observations.
Cepheida
https://www.aavso.org/vsp/
Copyright © 2020 AAVSO


alf Her
Magn: 2.73 - 3.60 V
Period: 125.6
Type: SRB
Spec: M3-M5Ib/III
MAPA alpha her
(2000) 17:14:38.86 +14:23:25.2
RASALGETHI
AAVSO
Chart
X25556GO
S
W
E
N
B
A
207
α Oph
RASALHAGUE
FOV = 20.0°
Please use the photometry table for CCD observations.
Semiregular
https://www.aavso.org/vsp/
Copyright © 2020 AAVSO


zet Gem
Magn: 3.62 - 4.18 V
Period: 10.149806
Type: DCEP
Spec: F7Ib-G3Ib
Zeta Geminorum
(2000) 07:04:06.53 +20:34:13.1
AAVSO
Chart
X25794BPH
S
N
W
E
51
53
45
34
47
36
52
B
42
A
35
53
52
36
30
41
38
11
53
54
44
FOV = 20.0°
Please use the photometry table for CCD observations.
Cefeida clàssica
https://www.aavso.org/vsp/
Copyright © 2020 AAVSO


bet Per
Magn: 2.09 - 3.30 V
Period: 2.86736
Type: EA/SD
Spec: B8V+G8III
beta Per
(2000) 03:08:10.13 +40:57:20.4
Algol
AAVSO
Chart
X25799PP
S
W
E
N
38
42
38 B
30
41
40
A
18
FOV = 20.0°
Please use the photometry table for CCD observations.
Binaria eclipsant
https://www.aavso.org/vsp/
Copyright © 2020 AAVSO

ANNEX IV – DIARI D'OBSERVACIONS

20/07/2020

Aquest dilluns a les 23h, aproximadament, s'ha fet la primera prova d'observació. S'ha pujat al terrat amb tot el material que s'ha cregut necessari: el telescopi, els diferents oculars, les cartes estel·lars, la taula per fer els registres, etc.
Per començar es va muntar i preparar el telescopi. Després es va calibrar alineant-lo amb dues estrelles: Mizar, de la constel·lació de l'Óssa Major, i Deneb, de la constel·lació del Cigne.
Es va començar a buscar alguna de les estrelles que es tenien planejades per observar però era difícil trobar-les perquè el telescopi mostrava un error bastant gran, de manera que no les centrava bé. Es va provar les estrelles *beta* Lyrae, RR Lyrae i *delta* Cephei, que totes es troben a la base de dades del telescopi i per tant les troba automàticament. Però el telescopi mostrava un error bastant gran i no les trobava bé.
A més, les cartes estel·lars no eren de gran ajuda perquè no es van saber orientar bé. També era complicat relacionar el que es veia a través del telescopi amb el que mostraven les cartes, ja que el telescopi mostra una part de l'espai molt petita i molts cops només permet veure una estrella.
No es va poder realitzar cap registre.

Temps d'observació: 2h
Conclusions: a causa de la poca experiència van sorgir complicacions i no es va poder registrar cap magnitud d'estrelles, de manera que les observacions han d'estar més ben preparades.

21/07/2020

Aquest matí s'han preparat millor les observacions, basant-se amb el que va passar al fer les proves ahir a la nit.
Primer s'han agafat les cartes estel·lars i un llibre amb les constel·lacions de les estrelles de les cartes. Llavors en cada carta s'ha dibuixat la constel·lació per poder orientar-se millor. També s'ha apuntat la magnitud d'algunes estrelles que no estaven apuntades a les cartes i que eren necessàries per fer les estimacions de magnituds de les estrelles variables.
També s'han buscat dues estrelles més, *alpha* Her i *eta* Aquilae, que són més brillants que algunes que s'havien trobat anteriorment, i s'han preparat les seves cartes.
Al voltant de les dotze de la nit s'ha pujat al terrat amb tot l'equipament necessari i a més s'han agafat els prismàtics.
Avui en comptes d'alinear el telescopi amb dues estrelles s'ha fet amb tres: Mizar, Deneb i Rasalhague, de la constel·lació de Serpentari.
Llavors s'ha començat observant *delta* Cep amb el telescopi però seguia havent-hi error i no la va trobar bé, així que es va moure el telescopi per buscar-la. Quan es va trobar el telescopi no agafava prou tros de cel i només es veia aquesta estrella. Llavors amb el

buscador del telescopi es va observar que si que es veien les estrelles necessàries per fer la comparació, així que es va fer el primer registre mirant pel buscador.
Després es va intentar observar *beta* Lyr amb el telescopi però com que es troba al zenit de l'esfera celeste resultava molt incòmode observar-la. Llavors es va intentar observar aquesta estrella amb els prismàtics. La posició per observar-la també resultava molt incòmoda i els prismàtics vibraven molt, de manera que no es va poder fer cap registre.
Després es va observar *gamma* Cas. Aquesta estrella no està a la base de dades del telescopi així que es va haver de posar les seves coordenades. Va resultar que al posar les coordenades el telescopi no va mostrar tant error i va trobar l'estrella amb més exactitud. Però després es va veure que no es veia una part de cel prou extensa com per poder fer les comparacions, així que es va observar l'estrella amb els prismàtics i es va fer el registre de la seva magnitud.

Temps d'observació: 2 h 30 min
Conclusions: el camp que agafa el telescopi és massa petit i no es poden veure les estrelles de comparació, per tant va millor fer les observacions amb prismàtics. La preparació per fer les observacions era la correcta.

22-23/07/2020
La nit d'aquest dimecres el cel estava bastant ennuvolat, cobert entre el 70 i el 80%, així que només es va pujar al terrat amb els prismàtics, les cartes estel·lars, la taula per fer els registres i el lot de llum vermella.
Al principi només es va poder observar la constel·lació d'Hèrcules, i es fer el registre de la magnitud d'*alfa* Her. Després la part del cel on hi havia Cassiopea es va destapar i es va poder fer el registre de *gamma* Cas.

Temps d'observació: 45 min

24/07/2020
Per fer les observacions a partir d'ara s'utilitzaran els prismàtics, ja que agafen més camp i així es poden comparar bé les estrelles.
Abans de sortir s'han preparat les cartes posant nom a les estrelles de comparació de cada variable per comparar sempre amb les mateixes estrelles.
Aquesta nit també hi havia núvols de manera que només es va poder veure un moment la constel·lació de Lira, així que només es va observar l'estrella *beta* Lyr un cop. Com va explicar el Joan Guarro, com que aquesta constel·lació es troba en el zenit és necessari estirar-se al terra per estar més còmode amb els prismàtics. Observar aquesta estrella sense estirar-se fa que s'hagi de tirar el cap molt enrere i que els prismàtics vibrin molt, de manera que és més difícil fer les estimacions.

Temps d'observació: 1 h

Conclusions: per observar estrelles que estiguin molt a sobre de l'observador és millor estar còmode.

25/07/2020

Avui s'han utilitzat per primer cop els prismàtics de 70 mm, el qual es va fer servir amb l'ajuda d'un trípode. També s'han fet servir els prismàtics de 50 mm. El cel també estava ennuvolat, cobert en un 70%. A causa d'això només s'han pogut fer dos registres de *beta* Lyr, en la constel·lació de Lira. A part dels núvols, s'han trobat dificultats per localitzar algunes estrelles.

Temps d'observació: 1 h 20 min

27/07/2020

El cel al principi estava clar però després van aparèixer núvols que cobrien un 25%. La lluna estava en quart creixent i es trobava a l'oest, a l'horitzó.
Es van poder observar totes les estrelles que estaven previstes, un total de cinc. Van haver-hi dificultats per trobar *alfa* Her i per això només es va observar un cop. També va ser difícil observar la constel·lació de Cefeu perquè els núvols la cobrien la major part de l'estona, així que només es va poder registrar *delta* Cep una vegada. La resta d'estrelles es van poder observar bastant bé i es van registrar dos cops.
L'estrella més fàcil d'observar va ser *beta* Lyr, ja que els núvols no tapaven gaire Lira i aquesta constel·lació és fàcil de localitzar.
Els dos cops que es va observar *gamma* Cas es va haver de comparar amb Deneb, una estrella de la constel·lació del Cigne, ja que gamma estava més brillant que cap estrella de la seva constel·lació. Deneb és l'estrella que es troba més a prop de Cassiopea que és prou brillant per fer la comparació, però tot i això s'ha de fer la comparació de forma visual perquè estan massa lluny com per fer-la amb els prismàtics.
Depenent de l'estrella a observar es va anar utilitzant o bé els prismàtics de 50 mm o els de 70 mm, aquests últims amb el trípode.

Temps d'observació: 1 h 50 min
Conclusions: quan els núvols deixen de cobrir una constel·lació la variable s'ha d'intentar observar el més ràpid possible perquè es pot tornar a tapar de seguida, sempre i quan es pugui fer l'observació i la comparació de forma correcta, sinó és millor deixar aquella constel·lació per més tard.

28/07/2020

Aquesta nit hi havia pocs núvols, el cel estava cobert un 25%, aproximadament, però els núvols variaven. La lluna estava mig creixent i es va pondre a la 1:05, aproximadament.
Les observacions han anat bé, se n'han pogut fer dotze. L'estrella que més va costar d'observar va ser *eta* Aql, de la constel·lació Aquila, perquè les estrelles de comparació

són difícils de trobar i els núvols tapaven la constel·lació. Una altra estrella complicada d'observar va ser *alpha* Her, perquè les estrelles de comparació es troben bastant lluny, de manera que no es veuen totes a la vegada amb els prismàtics.
Les altres estrelles no van portar problemes i es van poder observar correctament.
Com en el dia anterior, es van utilitzar tant els prismàtics de 50 mm com els de 70 mm, depenent en l'estrella a observar. A vegades és més fàcil localitzar les estrelles amb els de 50 ja que agafen més cel i, com que els de 70 s'ajunten a un trípode porta més temps ajustar-los per trobar l'estrella.

Temps d'observació: 1 h 40 min

29/07/2020
Aquesta nit el cel estava molt clar, sense núvols, i la lluna estava en quart creixent a l'oest.
Com que el cel estava tant clar, no s'ha tingut problemes per trobar estrelles. A més, es va poder seguir una rotació en que es començava a observar *gamma* Cas, després *delta* Cep, *beta* Lyr, *alfa* Her i per últim *eta* Aql. Després es tornava a començar per *gamma* Cas. D'aquesta manera es van poder fer 15 observacions, 3 de cada estrella, de forma més eficaç, ja que no s'havia de dependre dels núvols. Així també s'ha pogut reduir el temps d'observació considerablement.
Amb totes les estrelles s'han utilitzat els prismàtics de 50 mm menys amb *delta* Cep, que s'han utilitzat els de 70 mm.

Temps d'observació: 1 h
Conclusions: quan no hi ha núvols i el cel està clar es poden fer rotacions per observar les estrelles variables de manera més eficaç.

30/07/2020
El cel també estava clar. La lluna es trobava al sud/sud-oest en quart creixent, visible en un 70% aproximadament.
Com que no hi havia núvols s'ha fet servir el mateix mètode de rotació que el dia anterior. A més com que ja es té pràctica les estrelles variables es troben més fàcilment i ja se sap de memòria quines són les estrelles de comparació.
Per això aquesta nit s'han fet 4 observacions de cada estrella, un total de 20.
L'estrella més difícil d'observar segueix sent *eta* Aql, ja que la contel·lació d'Aquila és molt gran i costa localitzar les estrelles de comparació.

Temps d'observació: 1 h

31/07/2020

El cel aquesta nit estava clar, però la lluna ja era visible un 80% i això començava dificultar la visió de les estrelles. Al cap d'una estona de començar a observar van aparèixer núvols que van dificultar una mica les observacions de Lira i Hèrcules.
Tot i això s'han pogut fer 15 observacions i totes van anar bastant bé.
Aquest cop també s'han tingut dificultats per observar *eta* Aql, així que a més d'utilitzar els prismàtics de 50 també s'han utilitzat els de 70 mm per veure més detalladament les estrelles de comparació.
També s'han trobat dificultats per comparar la variable *delta* Cep amb l'estrella de comparació A, ja que aquesta és més vermella que la variable i fa que les brillantors es vegin molt diferents. Després de provar d'observar aquestes estrelles amb els prismàtics de 50 mm es va poder veure més clarament la diferència de brillantor i es va poder fer la comparació correctament.

Temps d'observació: 55 min
Conclusions: si amb uns prismàtics no es veu gaire clara la constel·lació o les estrelles de comparació és millor provar d'observar amb els altres prismàtics per tenir una perspectiva diferent.

1/08/2020
No s'han fet observacions ja que la lluna està gairebé plena i, per tant, la llum dificulta la correcta visió del cel.

02/082020
No s'han fet observacions ja que la lluna està gairebé plena.

3/08/2020
No s'han fet observacions perquè hi ha lluna plena i no es poden observar correctament algunes constel·lacions.

4/08/2020
No s'han fet observacions perquè hi ha lluna plena.

5/08/2020
No s'han fet observacions perquè hi ha lluna plena.

6/08/2020
No s'han fet observacions perquè hi ha molta lluna.

7/08/2020
Les observacions aquesta nit han anat bé perquè la lluna estava un 90% visible, aproximadament, i el cel estava clar sense núvols.

S'han pogut fer les observacions sense problemes de les estrelles *gamma* Cas, *alfa* Her i *beta* Lyr. Aquestes s'han observat amb els prismàtics de 50 mm. L'estrella *delta* Cep ha sigut més difícil de localitzar amb els prismàtics de 70 mm però al final s'ha pogut observar bé. *Eta* Aql ha sigut l'estrella més difícil d'observar. Primer s'ha provat d'observar amb els prismàtics petits però no s'aconseguia trobar, de manera que després s'ha intentat amb els altres prismàtics, els grans, i s'ha pogut trobar millor. Com que les estrelles de comparació estan lluny de la variable costa una mica fer les comparacions.

Temps d'observació: 1 h 15 min
Conclusions: si l'estrella *eta* Aql no es troba bé amb els prismàtics petits és millor intentar-ho amb els grans ja que així es veuen les estrelles de comparació amb més claredat.

8/08/2020
La lluna era visible en un 80% aquesta nit i el cel al principi estava una mica tapat però després s'ha aclarit ràpidament i els núvols no han presentat cap problema.
Aquesta nit s'han pogut fer 15 observacions i s'ha anat bastant ràpid a fer-les. No hi ha hagut problemes per observar cap estrella. La que era més complicada, la *eta* Aql, s'ha observat amb els prismàtics grans i s'ha trobat fàcilment. La comparació ha sigut més complicada perquè les estrelles de comparació estan bastant separades de la variable.

Temps d'observació: 1 h

9/08/2020
Al principi hi havia uns quants núvols que tapaven les constel·lacions de Cassiopea i Hèrcules però al cap d'uns 15 minuts s'han dissipat i ja s'han pogut observar correctament. La lluna era visible en un 70% aproximadament.
Aquesta nit no hi ha hagut cap observació que hagi presentat dificultats, de manera que s'han pogut fer bastant ràpidament les 15 observacions.

Temps d'observació: 50 min

10/08/2020
Aquesta nit estava una mica tapat de manera que no s'ha pogut fer la rotació habitual d'observacions i s'han anat fent quan els núvols es dissipaven de les constel·lacions. L'estrella que ha sigut més difícil d'observar ha sigut *alfa* Her perquè hi havia núvols tapant-la gran part del temps, per això només hi ha una observació d'aquesta estrella mentre que de les altres n'hi ha dues.

Temps d'observació: 45 min

11/08/2020

Aquesta nit no s'han pogut fer observacions perquè el cel estava tapat.

12/08/2020
Aquesta nit no s'han pogut fer observacions perquè el cel estava molt tapat.

13/08/2020
Aquesta nit el cel estava clar, amb algun núvol petit que no tapava les estrelles a observar. Com que ja era tard la lluna ja s'havia posat i la seva llum no va molestar.
Aquest cop totes les observacions s'han fet amb els prismàtics de 50 mm perquè *delta* Cep, que normalment s'observa amb els de 70 mm, es trobava molt amunt i el trípode no permetia inclinar prou els prismàtics grans de manera que no arribava a agafar aquesta estrella. Per aquesta mateixa raó s'ha observat *delta* Cep estirada al terra, quan normalment s'observava dreta.
En comptes d'observar *eta* Aql amb els prismàtics grans com els dies anteriors, s'ha fet amb els petits perquè ahir no va haver-hi dificultats per trobar la variable ni les estrelles de comparació.

Temps d'observació: 50 min

14/08/2020
Al principi de la nit el cel estava majoritàriament clar, només hi havia núvols al sud, de manera que no tapaven cap estrella a observar.
Es va començar a observar les estrelles *alfa* Her i *eta* Aql perquè es trobaven just sobre els núvols i si el vent els movia serien les primeres a quedar tapades. Després es van observar les altres estrelles. Com que era més d'hora que el dia anterior delta Cep es va poder observar amb els prismàtics grans, ja que la variable no es trobava tan amunt.
Després d'observar les cinc estrelles la nuvolositat va anar augmentant progressivament fins a tapar tot el cel, així que no es van poder fer més observacions.

Temps d'observació: 20 min

15/08/2020
Aquesta nit el cel estava clar i hi havia bona visibilitat, per això es van poder fer més observacions.
Com que era més tard, es van fer totes les observacions amb els prismàtics de 50 mm, perquè *delta* Cep es trobava massa amunt i el trípode no donava per observar-la amb els prismàtics grans.
Totes les observacions es van fer sense problemes perquè, com s'ha dit abans, el cel estava molt clar.

Temps d'observació: 50 min

17/08/2020
Aquesta nit hi havia molt bon cel, estava clar i es veien moltes estrelles. S'han pogut fer totes les observacions sense problemes.
La primera observació de *delta* Cep es va poder fer amb els prismàtics de 70 mm, però per fer la segona el cel ja s'havia mogut massa i aquests no donaven per veure la variable, de manera que es va passa a observar-la amb els prismàtics petits.
Després d'observar durant uns dies seguits ja es nota que és molt més ràpid trobar les estrelles variables a observar.

Temps d'observació: 55 min

18/08/2020
Aquesta nit no s'ha pogut observar perquè el cel estava tapat. Hi havia nuvolositat densa tapant les constel·lacions de Hèrcules, Lira i Àguila, i núvols més dispersos tapant les constel·lacions de Cassiopea i Cefeu.

19/08/20
Aquesta nit el cel estava parcialment ennuvolat, de manera que no es van poder fer observacions de *eta* Aql i *alfa* Her. Les constel·lacions de Cefeu i Cassiopea no van estar tapades en tota l'estona així que es van poder observar sense problemes. Al final però, Deneb, una de les estrelles de comparació per la variable *gamma* Cas, estava tapada pels núvols, així que no es va poder fer una tercera observació d'aquesta estrella.

Temps d'observació: 55 min

20/08/2020
Aquesta nit el cel estava molt clar.
Es van poder fer totes les observacions sense problemes i bastant ràpidament. En aquesta sessió les observacions de *delta* Cep es van poder fer amb els prismàtics grans, els de 70 mm. La resta d'observacions es van fer amb els altres prismàtics.
Com que es va fer tard, només es van poder fer dues observacions de cada estrella.

Temps d'observació: 55 min

22/08/2020 – 26/08/2020
Aquests dies no s'ha pogut observar perquè s'ha anat de viatge.

27/08/2020

Aquesta nit el cel estava tapat, de manera que no s'han fet observacions.

29/08/2020
Aquesta nit no s'han fet observacions perquè el cel estava tapat.

30/08/2020
No s'han fet observacions ja que la lluna està gairebé plena i la llum interfereix en la observació d'estrelles.

31/08/2020
No s'han fet observacions ja que la lluna està gairebé plena.

01/09/2020
No s'han fet observacions ja que hi ha lluna plena.

02/09/2020
No s'han fet observacions ja que hi ha lluna plena.

03/09/2020
No s'han fet observacions perquè hi ha lluna plena.

04/09/2020
No s'han fet observacions ja que hi ha lluna plena.

05/09/2020
No s'han fet observacions ja que la lluna està gairebé plena.

06/09/2020
No s'han fet observacions perquè la lluna està visible en un 85% aproximadament.

07/09/2020
Aquesta nit el cel estava tapat i ha plogut, així que no s'han fet observacions.

08/09/2020
No s'han fet observacions perquè estava núvol.

09/09/2020
El cel estava tapat així que no s'ha observat.

10/09/2020
Aquesta nit no s'han fet observacions perquè el cel estava ennuvolat.

11/09/2020

Aquesta nit el cel estava una mica ennuvolat i no s'han fet observacions.

12/09/2020

Aquesta nit s'han pogut fer observacions perquè el cel estava molt clar. No obstant, les llums del carrer molestaven bastant aquesta nit, ja que no permetien veure les estrelles que es trobaven més avall.

Tot i això, no es van poder fer observacions de *alfa* Her perquè era molt tard quan es va sortir a observar i la variable es trobava molt avall, de manera que les llums de la ciutat no la deixaven veure. La resta d'estrelles es van poder observar sense problemes.

Com que no es tenia clar que es poguessin fer observacions aquesta nit, no es va pujar amb els prismàtics de 70 mm i el trípode, sinó que només es va portar només els prismàtics petits i totes les observacions es van fer amb aquests.

Al ser tard, només es van fer dues observacions de cada estrella i només amb uns 12 minuts d'espera entre elles.

Temps d'observació: 30 min

Conclusions: s'ha de sortir més d'hora a observar per tal de poder veure bé totes les estrelles i també per poder deixar més temps entre les diferents observacions de cada estrella.

14/09/2020

Aquesta nit el cel estava molt clar i amb bona visibilitat. Les llums del carrer aquesta nit no molestaven tant com l'últim dia d'observacions.

Es van poder fer totes les observacions sense problemes. En aquesta sessió totes les observacions es van fer amb els prismàtics petits, els de 50 mm, ja que *delta* Cep es troba massa amunt. A més, és més ràpid pujar al terrat només amb aquests prismàtics, perquè els altres necessiten trípode.

Com que ja s'ha començat a anar a l'institut les observacions no poden durar massa, així que a partir d'ara només es faran dues observacions de cada variable.

Temps d'observació: 30 min

15/09/2020

Aquesta nit el cel estava clar, només hi havia algun núvol petit que no tapava cap constel·lació que s'hagués d'observar. Es va sortir a observar més d'hora que els dies anteriors però tot i això la variable *alfa* Her no es va poder observar perquè la llum dels carrers feia que no es veiés bé una de les estrelles de comparació, de manera que si s'hagués observat no hauria donat un resultat totalment vàlid.

No va haver-hi complicacions a l'hora d'observar les altres estrelles.

Com en el dia anterior, es va pujar a observar només amb els prismàtics petits perquè *delta* Cep, que normalment s'observava amb els prismàtics de 70 mm, es troba massa amunt i els prismàtics no hi arriben.

Com que no es va observar *alfa* Her i es van fer dues observacions de les altres estrelles es va estar menys temps fent observacions.

Temps d'observació: 20 min

16/09/2020
Aquesta nit el cel estava clar, sense núvols.
Les llums del carrer aquest cop no semblaven tan intenses i la constel·lació de Hèrcules es veia bé, per tant aquesta nit es va poder observar.
Es van poder fer les observacions de totes les estrelles variables sense cap dificultat.

Temps d'observació: 25 min

17/09/2020
No es van poder fer observacions perquè el cel estava tapat.

18/09/2020
Estava ennuvolat i no es va poder observar

19/09/2020
El cel estava tapat aquesta nit així que no es van fer observacions.

20/09/2020
Aquesta nit hi havia bona visibilitat i el cel estava majoritàriament clar, però hi havia alguns núvols que tapaven *gamma* Cas, de manera que es va haver d'observar més tard, quan van marxar els núvols.
Les altres estrelles es veien clarament, així que no va haver-hi problemes per observar-les. A més, es van fer les observacions més d'hora que els altres dies, de manera que *alfa* Her es trobava més amunt les llums del carrer no molestaven per observar-la.

Temps d'observació: 20 min
Conclusions: si es pot, és millor pujar a observar més d'hora, entre quarts de deu i les deu, perquè així hi ha més bona visibilitat.

11/12/2020
Aquesta nit s'ha començat a observar una altra vegada. La lluna ja s'havia posat i el cel estava molt clar, així que hi havia bona visibilitat.
S'ha observat *delta* Cep, *gamma* Cas, *zeta* Gem i *beta* Per. Les dues últimes són variables que no s'havien observat encara. Les altres variables que s'havien fet en observacions anteriors no s'han pogut observar perquè ja no es troben a la regió de cel observable.
Avui s'ha fet la primera observació al voltant de les 20h. El que ha sigut més difícil és localitzar les estrelles variables noves, *zeta* Gem i *beta* Per, i les seves estrelles de comparació. A més, com que ja feia molts dies que no s'observava s'ha perdut la pràctica una mica i llavors ha costat més definir les comparacions.

La segona observació s'ha fet a les 22:15h. En aquesta ocasió ha anat millor perquè ja es tenia més ben localitzades *zeta* Gem i *beta* Per.
S'ha fet una altra observació a les 00:30, aproximadament. A aquesta hora el cel estava majoritàriament clar però hi havia alguns núvols prims que tapaven *delta* Cep. Com que feia vent, però, els núvols han marxat ràpid i s'ha pogut observar aquesta variable sense problemes.
En aquestes observacions s'ha vist que *delta* Cep, que normalment s'observava amb els prismàtics de 70 mm, aquest cop s'ha hagut d'observar amb els de 50 mm, ja que aquesta estrella ara es troba molt amunt i el trípode no hi arriba. *Gamma* Cas també s'ha observat amb els de 50 mm, com normalment. *Zeta* Gem al principi s'ha observat amb els prismàtics petits però resultava difícil de localitzar, així que s'ha intentat observar amb els de 70 mm i llavors ja ha sigut més fàcil localitzar-la. *Delta* Per s'ha observat amb els de 50 mm perquè les seves estrelles de comparació estan bastant separades i amb aquests resultava més còmode observar-la.

Temps d'observació total: 1 h 15 min

12/12/2020
Aquesta nit el cel estava molt ennuvolat de manera que no s'ha pogut observar.

13/12/2020
Avui el cel estava clar i la lluna ja s'havia posat, no era visible.
La primera observació d'avui s'ha fet a les 20h. A aquesta hora hi havia núvols prims que tapaven la constel·lació de Perseu. Com que feia bastant vent els núvols han marxat i s'han pogut observar totes les variables. Al principi ha costat molt trobar les estrelles de comparació de *zeta* Gem, ja que encara no s'ha agafat pràctica per observar aquesta variable. També ha costat una mica l'observació de *beta* Per, però finalment s'ha pogut observar correctament. Les dues altres estrelles s'han observat sense problemes ja que ja es té pràctica.
La segona observació ha sigut al voltant de les 22h. Aquest cop s'ha anat més ràpid a fer les observacions però les dues variables noves han costat més que les altres igualment. A aquesta hora hi havia molt bona visibilitat.
Finalment, s'ha tornat a pujar a les dotze trenta aproximadament. Ha costat més observar que al cop anterior perquè feia bastant vent. Per això s'ha intentat anar més ràpid per fer les observacions.
Aquesta nit s'han utilitzat els mateixos prismàtics per cada estrella que l'últim dia, ja que funcionen bé.

Temps d'observació total: 1 h 10 min

14/12/2020
Aquesta nit el cel estava clar i hi havia bona visibilitat perquè la lluna no era visible.

Primer s'ha sortit a les 20:30h. Aquest cop ja ha sigut més ràpid tot el procés perquè ja es té més pràctica trobant les estrelles variables noves. Tot i això, ha costat una mica trobar l'estrella de comparació B de *zeta* Gem perquè es troba una mica lluny de la variable. La resta d'estrelles no han portat cap problema.
S'ha tornat a observar a les 22:45h aproximadament. Llavors hi havia algun petit núvol que dificultava la visió de *gamma* Cas, de manera que s'ha deixat última per observar. Al cap d'uns minuts ja havien marxat els núvols.
L'última observació d'avui ha sigut a les 00:30h. En aquesta ocasió no hi ha hagut problemes per observar cap estrella i s'han pogut fer els registres prou ràpid.

Temps d'observació total: 1 h

15/12/2020
Avui el cel estava majoritàriament clar, hi havia alguns núvols que es trobaven molt avall i no tapaven cap constel·lació de les que s'han d'observar. La lluna ja s'havia posat, no era visible.
La primera observació ha sigut a les 21h. S'han pogut fer tots els registres sense problemes i les dues variables noves ja no costen tant d'observar com abans.
S'ha tornat a sortir a les 23:30h aproximadament. Llavors feia vent i ha costat una mica fer les comparacions perquè els prismàtics vibraven més del normal.
Avui no s'ha pogut observar tres cops, només dos, ja que ja era tard i s'hauria hagut de sortir molt tard, als voltants de la 1:30h.

Temps d'observació total: 40 min

16/12/2020
Avui no hi havia núvols i la lluna ja s'havia posat. Aquesta nit les llums del carrer molestaven més que els altres dies, però per sort les variables que s'han d'observar es troben prou amunt.
S'ha sortit per primer cop a les 20:30h. El que ha costat més he sigut trobar una de les estrelles de comparació de *zeta* Gem, però un cop s'ha trobat s'ha pogut fer la comparació i el registre correctament.
La segona observació ha sigut a les 22:45h aproximadament. S'han pogut fer els registres de totes les variables sense problemes i relativament ràpid.
Finalment, s'ha tornat a sortir a les 00:30h. Aquest cop ha anat igual que abans, no hi ha hagut problema amb cap estrella.

Temps d'observació total: 1 h

17/12/2020

Avui no s'ha pogut observar perquè el cel estava ennuvolat.

18/12/2020
Avui no s'ha pogut observar ja que hi havia molta boira.

19/12/2020
Aquesta nit el cel estava molt ennuvolat i ha plogut, així que no s'ha observat.

20/12/2020
Aquesta nit no s'han fet observacions perquè el cel estava ennuvolat.

21/12/2020
Aquesta nit el cel estava clar i s'han pogut fer observacions. La lluna ja està gairebé en quart creixent, de manera que cada cop molesta més per observar.
La primera observació s'ha fet a les 20:45h. Com que no s'havia observat durant uns quants dies, aquesta nit ha sigut més difícil trobar les estrelles de comparació de les dues estrelles més noves, la *beta* Per i la *zeta* Gem. Tot i això al final s'han pogut trobar i s'han fet registres.
S'ha tornat a observar a les 23h aproximadament. Aquest cop no ha costat tant observar aquestes dues estrelles i s'ha pogut anar més ràpid.
A les 00:40h s'ha fet l'última observació d'aquesta nit. La lluna ja s'havia posat així que hi havia bona visibilitat. Ha anat més ràpid que les anteriors perquè ja es tenia més pràctica després dels dies sense observar.

Temps d'observació total: 55 min

22/12/2020
Avui el cel estava parcialment ennuvolat. Hi havia alguns núvols que tapaven les constel·lacions de l'Ossa Major i, per tant, no tapaven les variables que s'han d'observar. La lluna ja estava en quart creixent, així que ja comença a afectar a la visibilitat del cel.
S'ha sortit a observar a les 21h. No hi ha hagut problemes per observar cap estrella, s'han pogut trobar totes sense complicacions.
A les 23h aproximadament s'ha tornat a observar. Llavors la lluna encara no s'havia posat i molestava bastant. Totes les estrelles s'han observat sense problemes.
Finalment, s'ha tornat a sortir a les 00:45h. La lluna ja s'havia posat així que les observacions s'han pogut fer correctament i en millors condicions.

Temps d'observació total: 50 min

23/12/2020

Aquesta nit el cel estava majoritàriament clar. Al voltant de les 20:30 hi havia alguns núvols que tapaven la constel·lació de Geminis i de Cefeu, així que no s'han fet observacions a aquesta hora.

S'ha tornat a pujar a les 22h i llavors el cel ja estava més clar i s'han pogut fer observacions. La lluna ja estava visible en un 60% aproximadament i la seva llum destorbava bastant. No hi ha hagut problemes per fer registres de cap estrella i s'ha pogut anar prou ràpid.

La següent observació s'ha fet a les 00:20h aproximadament. La lluna encara no s'havia posat així que no hi havia gaire bona visibilitat.

Temps d'observació total: 30 min

24/12/2020

Avui no s'ha observat a causa de la celebració de la nit de Nadal.

No s'ha pogut observar més perquè la lluna ja està molt visible.

ANNEX V – DIARI DE RECERCA

13-maig-2020
Primera trucada amb el tutor del treball de recerca. S'ha parlat sobre el tema del treball i s'ha fixat data d'entrega de la taula de continguts provisional i de l'explicació més concretada sobre la realització del treball.

29-maig-2020
Entrega al tutor de la taula de continguts provisional i de l'explicació més concreta sobre la realització del treball.

16-juny-2020
Primera entrevista amb el tutor. S'ha comentat la taula de continguts provisional i s'ha aclarit els dubtes sobre la realització i el contingut del treball.

20-juliol-2020
Primera prova d'observació.

21-juliol-2020
Segona prova d'observacions.

22-juliol-2020
Es comencen les observacions. Totes les sessions d'observació estan explicades en el Diari d'Observacions.

23-juliol-2020
Primera trobada amb l'astrònom amateur Joan Guarro Fló, on ha donat consells per fer les observacions.

10-setembre-2020
Segon seguiment amb el tutor del treball de recerca. Es parla sobre les observacions i els resultats que s'ha obtingut i s'omple el full de seguiment.

13-setembre-2020
S'envia al tutor el que es porta escrit de memòria, els registres de les observacions que s'han fet fins ara i una mostra de taula de registres.

6-novembre-2020
Segona trobada amb en Joan Guarro. Se li ha fet l'entrevista que després s'inclourà al treball.

9-novembre-2020

Primera posada en contacte amb en Ramon Naves per saber si està disponible per parlar sobre el treball. Se li envien totes les dades obtingudes perquè se les pugui mirar i ajudar a saber per què no s'han fet unes corbes clares.

11-novembre-2020
Tercer seguiment amb el tutor. S'ha explicar que es vol tornar a fer observacions un altre cop per intentar millorar els resultats.

14-novembre-2020
S'envia al tutor el que es porta escrit de la memòria del treball.

18-novembre-2020
Segona posada en contacte amb en Ramon Naves. En aquest cas ha explicat perquè no es van obtenir bons resultats.

11-desembre-2020
Es tornen a començar les observacions.

7-gener-2021
Entrega al tutor del primer esborrany del treball.

ANNEX VI – RESSENYES DOCUMENTALS

Ressenya documental:
PERCY, John R. *Understanding Variable Stars.* Cambridge. Cambridge, 2011.

Resum de la informació utilitzada per al treball:
S'ha utilitzat informació del capítol 1, 2, 3, 4, 6 i 7 per complementar la informació trobada en altres fonts documentals. També s'ha utilitzat la informació del capítol 10, apartat 10.2 per explicar la relació entre les variables i l'astronomia amateur i complementar el que es va explicar a l'entrevista.

Ressenya documental:
ROTH, Günter D. *Guía de las Estrelles y de los Planetas. Su conocimiento e identificación.* Barcelona. Omega, 1979.

Resum de la informació utilitzada per al treball:
S'ha utilitzat la informació sobre la rotació de la Terra i sobre telescopis per tal d'acostumar-se al cel per les observacions.

Ressenya documental:
Astronomia. *El Universo en tus Manos. Vol. 3. Estrellas y Constelaciones*. Barcelona. Orbis, 1992.

Resum de la informació utilitzada per al treball:
En cada capítol hi ha una constel·lació i les seves estrelles variables, així que s'ha utilitzat per extreure possibles variables per observar.

Ressenya documental:
GRIFFITHS, Martin. *Observer's Guide to Variable Stars*. Cham. Springer Nature Switzerland AG, 2018.

Resum de la informació utilitzada per al treball:
S'ha extret informació del capítol 2 i dels capítols 8 a 11, referents a la tipologia d'estrelles variables, del capítol 3, dedicat a les tècniques d'observació, del capítol 6 que parla sobre l'observació amb prismàtics i del capítol 14, que mostra una llista d'estrelles observables durant tot l'any i per estacions.

Ressenya documental:
Iniciación a La Observación de Estrellas Variables. Tafira Alta. Asociación de Variablilistas de España, 1997.
<Iniciacion a la Observacion de Estrellas Variables.pdf>. *[9-12-20]*

Resum de la informació utilitzada per al treball:

S'han utilitzat tots els apartats de la primera part, en que s'expliquen els tipus de variables, mètodes d'observació, errors comuns l'observar, etc. També s'ha consultat la segona part per explicar què és l'observació fotomètrica.

Ressenya documental:
Manual para la Observación Visual de Estrellas Variables. Cambride, Estats Units. American Association of Variable Star Observers, 2013.
<SpanishManual-2013.pdf>. *[21-12-20]*

Resum de la informació utilitzada per al treball:
Aquest és un manual molt complet per la iniciació a l'observació visual de variables, així que s'ha utilitzat gairebé tot el document per aquest treball, menys l'últim capítol.

Ressenya documental:
TOOKE, Owen. Variables: What Are They and Why Observe Them?. Cambridge. Associació Americana d'Observadors d'Estrelles Variables (AAVSO), 2017.
<*https://www.aavso.org/variables-what-are-they-why-observe-them*>. *[11-6-20]*

Resum de la informació utilitzada per al treball:
Explicació de què són les estrelles variables i algunes dades de les que s'han trobat, explicació de per què s'observen aquestes estrelles i el que han aportat pel coneixement de l'univers.

Ressenya documental:
Treballadors de la AAVSO. Types of Variable Stars: Cepheid, Pulsating and Cataclysmic. Cambridge. Associació Americana d'Observadors d'Estrelles Variables, 2015.
<https://www.space.com/15396-variable-stars.html>. *[15-6-2020]*

Resum de la informació utilitzada per al treball:
Informació sobre la història de les estrelles variables.

Ressenya documental:
Variable Stars. Marsfield, Sydney. Australia Telescope National Facility.
<https://www.atnf.csiro.au/outreach/education/senior/astrophysics/variable_types.html>. *[22-6-2020]*

Resum de la informació utilitzada per al treball:
Tipus d'estrelles variables, sobretot sobre les estrelles variables intrínseques.

Ressenya documental:
List of stars in Lyra. Wikipedia, 2020.
<https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_stars_in_Lyra>. *[26-6-2020]*

Resum de la informació utilitzada per al treball:
Llista d'estrelles en la constel·lació de l'Àguila, de la qual s'ha extret els noms i informació d'estrelles variables per observar.

Ressenya documental:
List of stars in Cepheus. Wikipedia, 2020.
< https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_stars_in_Cepheus >. *[26-6-2020]*

Resum de la informació utilitzada per al treball:
Llista d'estrelles en la constel·lació de l'Àguila, de la qual s'ha extret els noms i informació d'estrelles variables per observar.

Ressenya documental:
List of stars in Cassiopeia. Wikipedia, 2020.
< https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_stars_in_Cassiopeia >. *[26-6-2020]*

Resum de la informació utilitzada per al treball:
Llista d'estrelles en la constel·lació de l'Àguila, de la qual s'ha extret els noms i informació d'estrelles variables per observar.

Ressenya documental:
List of stars in Aquila. Wikipedia, 2020.
< https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_stars_in_Aquila >. *[26-6-2020]*

Resum de la informació utilitzada per al treball:
Llista d'estrelles en la constel·lació de l'Àguila, de la qual s'ha extret els noms i informació d'estrelles variables per observar.

Ressenya documental:
List of stars in Hercules. Wikipedia, 2020.
< https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_stars_in_Hercules>. *[26-6-2020]*

Resum de la informació utilitzada per al treball:
Llista d'estrelles en la constel·lació de l'Àguila, de la qual s'ha extret els noms i informació d'estrelles variables per observar.

Ressenya documental:
CASANOVA, Verónica. Estrellas variables cefeidas. Astrofísica y Física. Blogger, 2009 <https://www.astrofisicayfisica.com/2009/12/estrellas-variables-cefeidas.html>. [5-7-20]

Resum de la informació utilitzada per al treball:

Informació i característiques de les cefeides, els dos tipus que hi ha i els seus mecanismes de pulsació. També s'han extret imatges d'aquesta pàgina web per complementar la informació.

Ressenya documental:
Luminosity. Melbourne. Swinburne University of Technology, Swinburne Astronomy. <https://astronomy.swin.edu.au/cosmos/L/Luminosity>. *[14-7-20]*

Resum de la informació utilitzada per al treball:
Definició de lluminositat i lluminositat òptica i bolomètrica

Ressenya documental:
Temperatura efectiva. Chicago. Fandom.
<https://astronomia.fandom.com/wiki/Temperatura_efectiva>. *[16-7-20]*

Resum de la informació utilitzada per al treball:
Definició de temperatura efectiva i fórmula de la lluminositat segons la temperatura efectiva i el radi.

Ressenya documental:
WOLFF, Sidney, FRAKNOI, Andrew, MORRISON, David. The Brightness of Stars. Portland. Lumen, 2017.
<https://courses.lumenlearning.com/astronomy/chapter/the-brightness-of-stars/>. *[16-7-20]*

Resum de la informació utilitzada per al treball:
Definició de lluminositat, brillantor aparent i l'escala de magnituds.

Ressenya documental:
SOSZYNSKI, Igor. RR Lyrae stars. Varsòvia. OGLE Atlas of Variable Star Light Curves, Warsaw University, 2012.
<http://ogle.astrouw.edu.pl/atlas/RR_Lyr.html>. *[25-7-20]*

Resum de la informació utilitzada per al treball:
Informació sobre les estrelles de tipus RR Lyrae i les característiques de les seves corbes. També s'han extret fotos de les corbes típiques d'aquestes estrelles.

Ressenya documental:
SOSZYNSKI, Igor. W Virginis stars. Varsòvia. OGLE Atlas of Variable Star Light Curves, Warsaw University, 2012.
<http://ogle.astrouw.edu.pl/atlas/W_Vir.html>. *[27-7-20]*

Resum de la informació utilitzada per al treball:

Informació sobre les estrelles de tipus W Virginis i les característiques de les seves corbes. També s'han extret fotos de les corbes típiques d'aquestes estrelles.

Ressenya documental:
SOSZYNSKI, Igor. Classical Cepheids. Varsòvia. OGLE Atlas of Variable Star Light Curves, Warsaw University, 2010.
<http://ogle.astrouw.edu.pl/atlas/classical_Cepheids.html>. *[29-7-20]*

Resum de la informació utilitzada per al treball:
Informació sobre les estrelles cefeides clàssiques i les característiques de les seves corbes. També s'han extret fotos de les corbes típiques d'aquestes estrelles.

Ressenya documental:
SERRA, Josep-Miquel. La paral·laxi. Tossa. Astrotossa, Associació Astronòmica de Tossa, 2017.
<http://astrotossa.blogspot.com/2017/07/la-parallaxi.html>. *[30-7-2020]*

Resum de la informació utilitzada per al treball:
Descripció de paral·laxi.

Ressenya documental:
TURNER, Rebecca. Naming Variables. Cambridge. Associació Americana d'Observadors d'Estrelles Variables, 2010.
<https://www.aavso.org/naming-variables>. *[5-8-20]*

Resum de la informació utilitzada per al treball:
Informació sobre el sistema de nomenclatura d'estrelles variables d'Argelander.

Ressenya documental:
SOSZYNSKI, Igor. RV Tauri stars. Varsòvia. OGLE Atlas of Variable Star Light Curves, Warsaw University, 2012.
<http://ogle.astrouw.edu.pl/atlas/RV_Tau.html>. *[6-8-20]*

Resum de la informació utilitzada per al treball:
Informació sobre les variables polsants RV Tauri i les característiques de les seves corbes. També s'han extret fotos de les corbes típiques d'aquestes estrelles.

Ressenya documental:
Semiregular variables. Estrasburg. Centre de Données astronomiques de Strasbourg, Université de Strasbourg.
<http://cdsarc.u-strasbg.fr/afoev/var/esr.htx>. *[7-8-20]*

Resum de la informació utilitzada per al treball:
Característiques dels subtipus de variables semiregulars i les seves corbes.

Ressenya documental:
MARTÍNEZ, José Luis. Masa, tamaño, luminosidad y temperatura de una estrella. El diagrama de Hertzsprung-Rusell. Sant Boi de Llobregat. Astronomía para todos, 2019. <https://astronomiaparatodos.com/2019/02/01/masa-tamano-luminosidad-y-temperatura-de-una-estrella-el-diagrama-de-hertzsprung-rusell/>. *[11-8-20]*

Resum de la informació utilitzada per al treball:
Informació sobre les característiques de temperatura, tipus espectral i color de les estrelles en el diagrama H-R. S'ha utilitzat la última imatge de l'article per al treball.

Ressenya documental:
Main Sequence Stars. Parkes, Austràlia. Australia Telescope National Facility. <https://www.atnf.csiro.au/outreach//education/senior/astrophysics/stellarevolution_mainsequence.html>. *[14-8-20]*

Resum de la informació utilitzada per al treball:
S'ha utilitzat el primer apartat, que parla sobre les propietats de les estrelles de la seqüència principal del diagrama H-R. No s'ha utilitzat el subapartat que explica la composició d'aquestes estrelles.

Ressenya documental:
DARLING, David. Irregular variable. Cumbria, Regne Unit. David Darling, 2016. <https://www.daviddarling.info/encyclopedia/I/irregular_variable.html>. *[17-8-20]*

Resum de la informació utilitzada per al treball:
Explicació de què són les variables irregulars i els tipus que existeixen.

Ressenya documental:
What is a Nova Star?. The Nine Planets. <https://nineplanets.org/questions/what-is-a-nova/>. *[17-8-20]*

Resum de la informació utilitzada per al treball:
S'ha utilitzat el quart apartat, que explica què és una nova clàssica.

Ressenya documental:
STEVEN, Shore. Cosmic exhumation. Nature, 2017. <https://www.nature.com/articles/548526a?platform=oscar&draft=collection#Fig1>. *[17-8-20]*

Resum de la informació utilitzada per al treball:

Què és una variable cataclísmica, els seus components, la seva evolució... També s'ha extret una imatge que mostra com és una cataclísmica en forma d'esquema.

Ressenya documental:
Introduction to Cataclysmic Variables (CVs). National Aeronautics and Space Administration, 2017.
<https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/objects/cvs/cvstext.html>. *[17-8-20]*

Resum de la informació utilitzada per al treball:
S'ha utilitzat informació de l'apartat "Classical Novae", que explica què són les noves clàssiques i de l'apartat "Dwarf Novae", que explica què són les noves nanes.

Ressenya documental:
Eclipsing Binary Observing Guide. Londres. British Astronomical Association.
<https://britastro.org/vss/EBHandbook11.pdf>. *[14-11-20]*

Resum de la informació utilitzada per al treball:
Informació de la pàgina 4, del primer capítol. També de la pàgina 5 que explica els tipus de binàries eclipsants. S'ha extret una fotografia que mostra esquemàticament les corbes de les EA.

Ressenya documental:
DAVIS, Kate. *CH Cygni. AAVSO.*
< https://www.aavso.org/vsots_chcyg >. *[22-11-20]*

Resum de la informació utilitzada per al treball:
Què és una variable simbiòtica i la forma de la seva corba.

Ressenya documental:
DUEÑAS, Marta. *Observación visual de estrellas variables. Método de argelander. Grupo Astronómico Silos, 2000.*
< http://www.grupoastronomicosilos.org/variables/argelander.html >. *[22-11-20]*

Resum de la informació utilitzada per al treball:
Explicació dels graus del mètode d'Argelander.

Ressenya documental:
List of stars in Perseus. Wikipedia, 2020.
< https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_stars_in_Perseus>. *[27-11-2020]*

Resum de la informació utilitzada per al treball:

Llista d'estrelles en la constel·lació de Perseu, de la qual s'ha extret els noms i informació d'estrelles variables per observar.

Ressenya documental:
List of stars in Gemini. Wikipedia, 2020.
< https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_stars_in_Gemini>. *[27-11-2020]*

Resum de la informació utilitzada per al treball:
Llista d'estrelles en la constel·lació de Gèminis, de la qual s'ha extret els noms i informació d'estrelles variables per observar.

Ressenya documental:
COLE, Ryan. How to Calculate the Julian Date. Santa Monica, Califòrnia. Sciencing, 2013.
< https://sciencing.com/calculate-julian-date-6465290.html >. *[4-12-2020]*

Resum de la informació utilitzada per al treball:
Com calcular la data juliana.