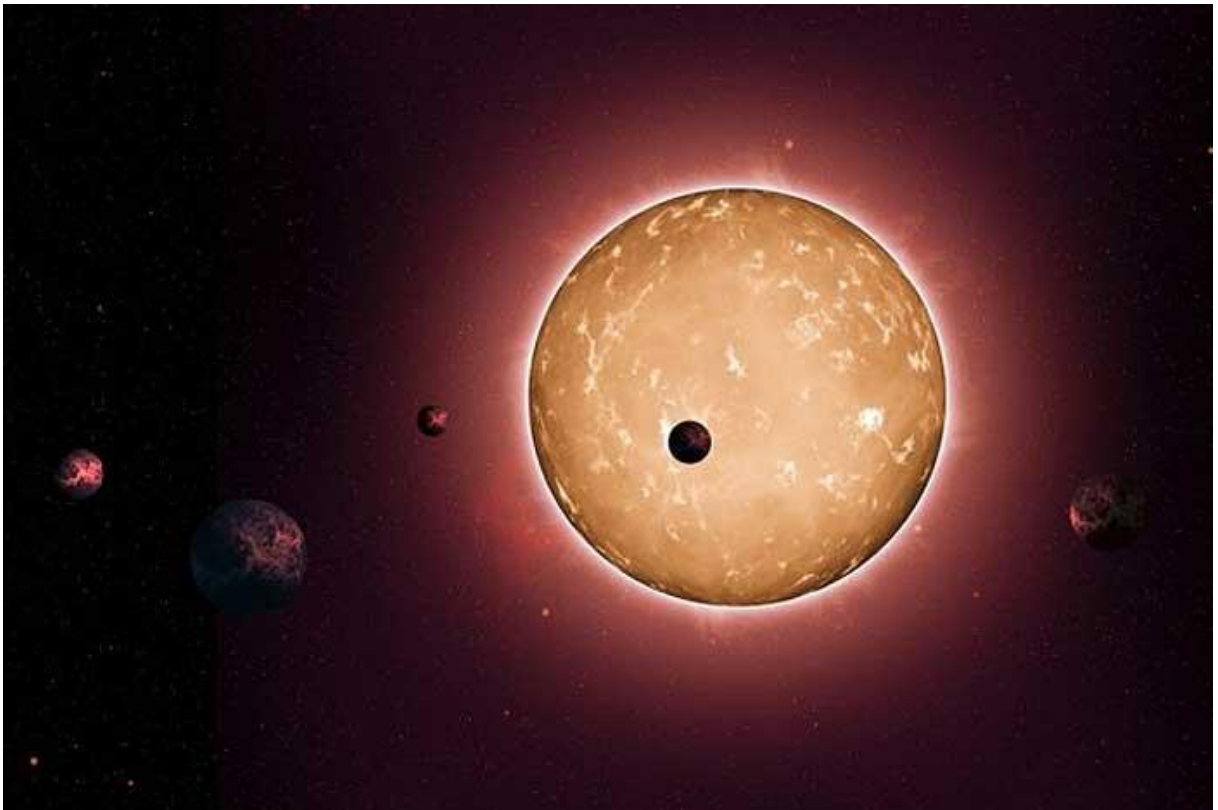


TREBALL DE RECERCA  
**DETECCIÓ I ANÀLISI**  
**D'EXOPLANETES AMB**  
**EL MÈTODE DE TRÀNSIT**



2n batxillerat B

Arnau Vicens Ferrer

INS Celrà

Curs 2016-2017

# ÍNDIX

<b>AGRAÏMENTS</b>	4
<b>INTRODUCCIÓ</b>	5
<b>OBJECTIU</b>	6
<b>MARC TEÒRIC</b>	7
<b>1 COSMOLOGIA</b>	7
1.1 Orígens de l'univers i formació de la matèria	7
1.2 Les grans dimensions de l'univers	9
1.3 Mesura de la brillantor dels objectes del firmament	10
<b>2 ESTRELLES</b>	11
2.1 Formació de les estrelles	11
2.2 Classes espectrals	11
2.3 Reaccions de fusió	12
2.4 Evolució de les estrelles segons la massa	13
2.4.1 Estrelles de menys de 8 masses solars	14
2.4.1.1 El Sol	15
2.4.2 Estrelles de més de 8 masses solars	16
<b>3 SISTEMES PLANETARIS</b>	18
3.1 Formació dels sistemes planetaris	18
3.2 Moviment dels planetes (lleis de Kepler)	19
3.3 Exoplanetes	20
3.3.1 Detecció d'exoplanetes	21
3.3.1 Missions espacials pel descobriment d'exoplanetes	22
3.3.1.1 Missió Kepler	22
3.3.1.2 Missió Gaia	23
3.3.1.3 Telescopi Espacial James Web	23
3.3.1.4 Telescopi Espacial Hubble	24
3.3.2 Mètodes per detectar exoplanetes	25
3.3.2.1 Velocitat radial	25
3.3.2.2 Microlent gravitacional	26
3.3.2.3 Pertorbacions en discs circumestel·lars	27
3.3.2.4 Observació directa	27
3.3.2.5 Mètode de trànsit	28

<b>MARC PRÀCTIC</b>	32
<b>4 DETECCIÓ D'EXOPLANETES PEL MÈTODE DE TRÀNSIT</b>	32
<b>4.1 Metodologia</b>	32
<b>4.1.1 Objectiu</b>	32
<b>4.1.2 Material</b>	32
<b>4.1.3 Procediment</b>	33
<b>4.2 Trànsit del planeta WASP 2-b</b>	43
<b>4.2.1 Càlcul del radi del planeta</b>	45
<b>4.2.2 Càlcul del període del planeta</b>	45
<b>4.2.3 Anàlisi dels resultats i conclusions</b>	46
<b>4.3 Trànsit del planeta TrES-3b</b>	47
<b>4.3.1 Càlcul del radi del planeta</b>	48
<b>4.3.2 Càlcul del període del planeta</b>	48
<b>4.3.3 Anàlisi dels resultats i conclusions</b>	49
<b>CONCLUSIONS</b>	50
<b>WEBGRAFIA I BIBLIOGRAFIA</b>	52
<b>ANNEXOS</b>	55
<b>1 Descoberta de planetes semblants a la Terra</b>	55
<b>2 Detecció d'un exoplaneta en les primeres fases de formació</b>	58
<b>3 Planetes més petits que la Terra han estat detectats</b>	60
<b>4 Missió a Alfa Centauri</b>	61
<b>5 Llançament del telescopi espacial James Webb</b>	64
<b>6 Possible existència del planeta "X"</b>	68

## **AGRAÏMENTS**

Per dur a terme el treball de recerca molta gent d'àmbits molt diversos m'ha donat suport desinteressadament. És per aquest motiu, que abans de començar el treball pròpiament dit m'agradaria donar-los les gràcies.

En primer lloc agrair a l'astrònom amateur Rafael Balaguer per haver-me despertat encara més la curiositat per aquesta ciència i per haver-me proporcionat el material necessari per dur a terme la part pràctica del treball que pertany a l'associació que ell mateix presideix i de la que n'és fundador. A més, també m'ha explicat alguns apartats del treball que em costaven d'entendre a partir de la informació que he pogut trobar en llibres o a la xarxa.

També donar gràcies pel seu suport i entusiasme mostrat cap al meu treball al tutor, Jordi Baró, pel seguiment que ha fet des de finals del curs passat i a altres professors de l'institut que m'han ajudat amb dubtes que m'han anat sorgint durant la realització del treball.

Agrair també la col·laboració i paciència a Joan Miró i Ametller, doctor en química per la Universitat Autònoma de Barcelona i catedràtic emèrit del de la Universitat de Girona, per explicar les reaccions termonuclears que tenen lloc a l'interior dels estels i l'evolució d'aquests al llarg del temps de manera molt amena. És un tema molt complex que no acabava d'entendre a partir de la informació que he trobat en llibres i pàgines web.

També manifestar el meu agraïment a la meva família, principalment als pares i avis, pel suport que m'han donat i pels viatges fets a Llagostera per poder realitzar la part pràctica del treball i per anar al curs d'astronomia durant l'hivern passat.

## **INTRODUCCIÓ**

Ja fa anys que m'interesso per l'astronomia i tenia ganes d'enfocar el treball de recerca sobre aquest tema. És una molt bona eina per ampliar coneixements sobre coses que a un li interessin però que gairebé no apareixen al temari ni de l'ESO ni del batxillerat.

La curiositat que tinc per aquesta ciència va néixer quan per Sant Jordi se'm va posar al cap que volia un llibre que explicava breument l'origen de l'univers, del sistema solar i explicava breument els objectes que hi ha al nostre Sistema, principalment els planetes. De bon principi la meua mare no me'l volia comprar, em va dir que no me'l llegiria, però vaig insistir fins que va cedir. Ella anava ben equivocada, en qüestió de dies ja me l'havia llegit i encara em van venir més preguntes al cap de les que tenia abans de començar-lo. Des de llavors he estat buscant informació per internet amb més o menys freqüència depenent de l'època i llegint articles o llibres fins que l'hivern passat vaig decidir apuntar-me a un curs que ofereix l'Associació Astronòmica de Girona cada any, des de fa ja quasi una dècada, on s'expliquen quatre nocions bàsiques sobre astronomia. Durant el curs vaig estar parlant amb el professor, Rafael Balaguer, astrònom amateur captivat per aquesta ciència des de ja fa un munt d'anys; i li vaig comentar que m'agradaria fer el treball de recerca sobre astronomia. Vaig fer una llista de possibles temes per dur a terme el treball i em vaig trobar un dia amb ell per parlar de tots ells i veure quin era el que estava més al meu abast i podria ser més profitós. La meua idea inicial era estudiar les estrelles i totes les reaccions químiques que tenen lloc al seu interior però els professors ens havien recalcat que el treball havia de tenir una part pràctica i d'aquest tema era molt complicat. A més, per poder comprendre aquesta branca de l'astronomia, l'astrofísica, es necessiten coneixements més avançats de física i química dels que dispojo jo avui dia. Com que a dia d'avui l'exoplanetologia es troba en ple creixement vam arribar a la conclusió que seria interessant estudiar els exoplanetes. Abans d'estudiar aquests cossos en concret, però, havia d'investigar com s'havia format tota la matèria que forma part de l'univers i més concretament la formació d'estrelles i sistemes planetaris.

## **OBJECTIU**

L'objectiu principal del treball és aprendre molt més de l'univers en general, sobre l'origen, el funcionament i la seva composició ja que vull satisfer la meva curiositat per aquesta branca tant interessant de la ciència. A més d'això a partir de la realització d'aquest treball de recerca vull comprovar que és possible detectar exoplanetes (planetes que orbiten una estrella que no és el Sol) amb material amateur, que estigui a l'abast de tothom.

## MARC TEÒRIC

### 1 COSMOLOGIA

#### 1.1 Orígens de l'univers i formació de la matèria

La teoria àmpliament acceptada que explica l'origen de l'univers és l'anomenat Big Bang, que explica que l'univers s'ha format a partir de l'expansió de l'espai-temps a partir d'una singularitat o punt inicial d'infinita densitat i temperatura. La teoria es basa amb les següents bases teòriques. Un és que les lleis físiques són vigents en qualsevol indret de l'univers. Un altre és el principi cosmològic que diu que l'univers és homogeni i isòtrop, és a dir, té la mateixa aparença a gran escala independentment de la direcció en que es miri.

A partir de les bases teòriques i de les evidències que explicaré a continuació es va postular la teoria del Big Bang. Un fet que dona força a la teoria és que l'espectre de les galàxies llunyanes té un desplaçament cap al roig degut a l'efecte Doppler. La freqüència d'una radiació varia en funció de si l'objecte que l'emet està en moviment respecte un punt o no. Si l'objecte s'hi apropa, aquesta tindrà una major freqüència. Per contra, si s'allunya, tindrà una freqüència menor. La variació de la freqüència depèn de la velocitat en que es mogui l'objecte respecte el punt de referència. Una altra evidència és

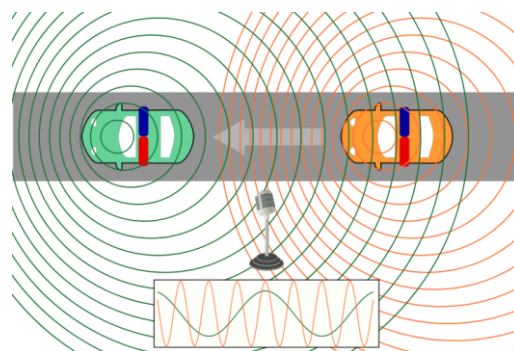


Fig. 1: Il·lustració on podem veure de manera esquemàtica que des d'un punt (el micròfon), la freqüència del so del cotxe verd és menor que la del taronja. Això passa perquè el cotxe verd s'allunya del punt inicial i el taronja s'hi apropa. Això fa que el so tardi més a arribar al punt de referència quan la font d'aquest s'està allunyant que pas si s'apropa. Suposem que els cotxes van a la mateixa velocitat

la radiació còsmica de fons, microones que ens arriben avui dia i que provenen dels moments inicials de l'univers. L'existència d'aquesta radiació ja va ser predita l'any 1948 per George Gamow com a conseqüència del Big Bang. Degut a l'evolució tecnològica de l'època no van poder ser detectades fins l'any 1964, quan Arno Penzias i Robert Wilson estaven fent proves amb antenes telefòniques i patien interferències de radiacions desconegudes provinents de l'atmosfera. Després de molts estudis van arribar a la conclusió que es tractava de la radiació còsmica de microones.

Per poder treure l'entrellat dels primers instants del Big Bang el que es fa és fer col·lidir partícules en acceleradors, com per exemple el CERN de Ginebra, i s'estudien les partícules resultants dels xocs. Aquestes se suposen que són les partícules elementals, a partir de les quals es forma tota la matèria.

Just després de l'inici de l'expansió de l'univers aquest estava format per un conjunt de quarks, partícules que formen les partícules subatòmiques i altres partícules elementals com per exemple els electrons a molt altes temperatures. En aquest moment es va produir la bariogènesi, petita diferència de nombre de partícules en vist les antipartícules i això va fer que l'antimatèria fos aniquilada amb matèria però quedés matèria ja que n'hi havia més quantitat. Els quarks es van agrupar per formar partícules compostes, com són els protons i els neutrons. Els electrons es creu que són una partícula elemental ja que a dia d'avui no s'han aconseguit dividir en altres de més simples. L'electró té una massa 1800 vegades més petita que la d'un protó o un neutró i és molt més petit.

300.000 o 400.000 anys després del Big Bang, quan l'univers es va anar refredant, aquestes partícules es van poder agrupar entre elles i formar proti i deuteri (àtoms d'hidrogen). Com que les temperatures encara eren molt i molt elevades, com les que hi ha actualment al nostre sol, aquests àtoms van patir una nucleosíntesi i es van formar partícules alfa i àtoms de liti en quantitats molt menors.

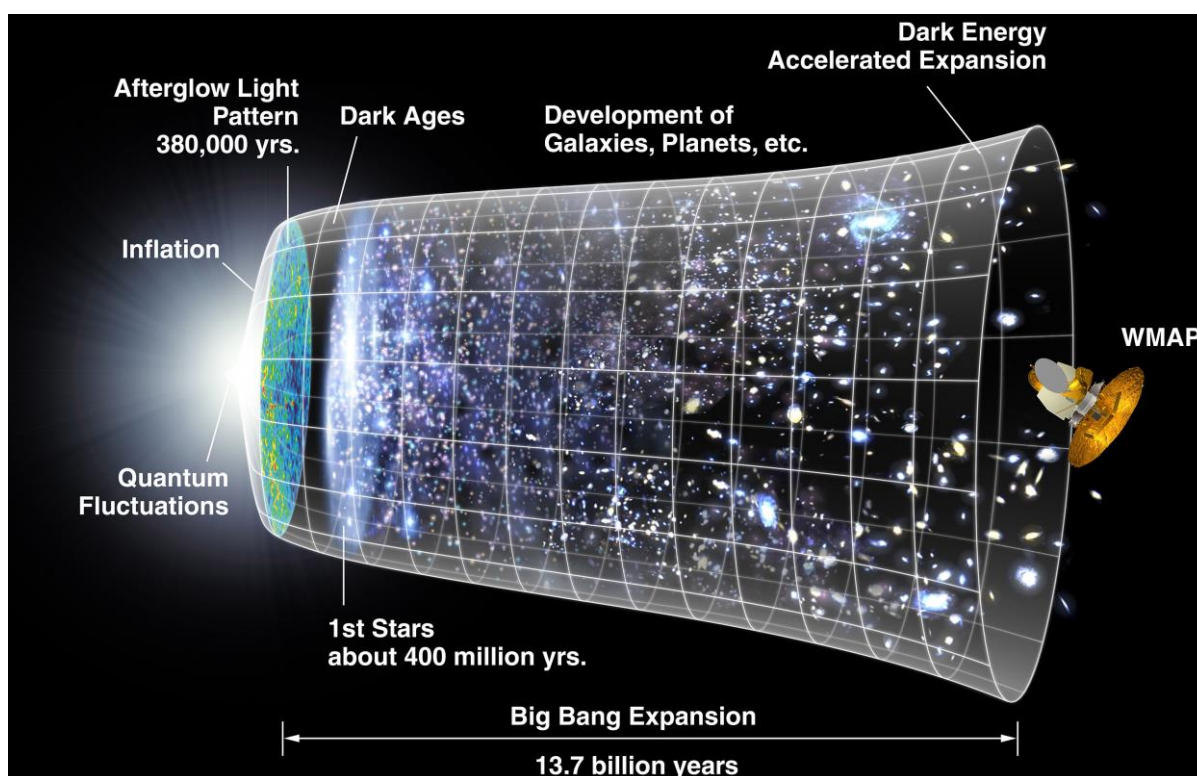


Fig. 2: Representació esquemàtica de l'evolució de l'univers a partir d'una singularitat fins a tenir l'estructura d'avui dia, 13.700 milions d'anys després de la seva formació.



## 1.2 Les grans dimensions de l'univers

L'ésser humà no és res en vist les colossals dimensions de l'univers. Es calcula que l'univers observable té un volum de  $5 \times 10^{32}$  anys llum cúbics. Ens referim a univers observable com al conjunt dels objectes les radiacions emeses dels quals han tingut temps d'arribar a la Terra des del Big Bang fins a dia d'avui.

És interessant també pensar que si el Sol, que és una de les 100.000 milions d'estrelles de la via làctia té 8 planetes en orbita, n'hi hauria d'haver uns 800.000 milions només a la Via Làctia prenent com a model el Sistema Solar.

Avui dia es calcula que de mitjana hi ha uns 2 planetes per estrella, és a dir, uns 200.000 milions de planetes. Aquestes dades són tenint en compte només la Via Làctia, ja que es calcula que hi ha uns 10.000.000.000 (deu mil milions) de galàxies i 10.000.000.000.000.000.000.000 (deu mil trilions) d'estrelles tot i que segons algunes observacions fetes amb el Telescopi Espacial Hubble apunten a que aquests nombres segurament són superiors.

Tot i així cal recordar que només el 4% de la massa de l'univers és matèria bariònica, és a dir, matèria composta per àtoms. D'aquest 4% en formarien part les galàxies, estrelles, planetes... que podem observar. El 23% seria matèria fosca, substància desconeguda però que sabem que existeix ja que interacciona gravitatòriament amb la matèria bariònica, la matèria visible. Per últim, el 73%

restant seria energia fosca que és el que fa que l'univers es continuï expandint i que es mantingui en equilibri (que no es contragui).

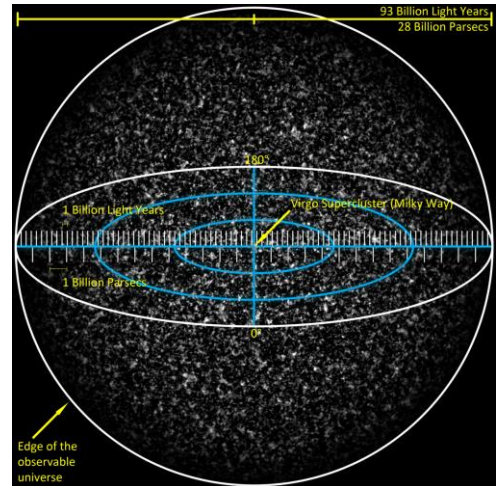


Fig. 3: Representació de l'univers observable. Cada punt lluminós és un cúmul de galàxies. El cúmul de la Verge, on es troba la Via Làctia, està situat al centre.

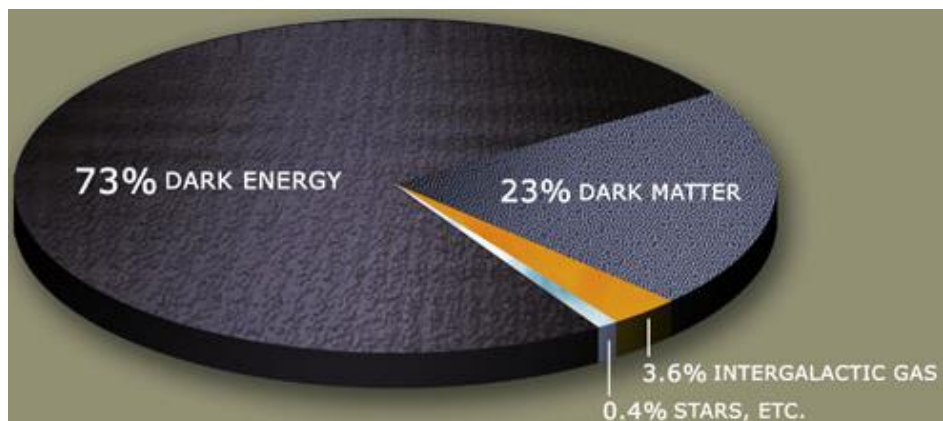


Fig. 4: Gràfic on podem veure el tant per cent en massa de cada forma de matèria o energia que hi ha a l'univers

### 1.3 Mesura de la brillantor dels objectes del firmament

Les estrelles també es poden classificar segons la magnitud aparent, descrita a partir d'una escala que ordena els objectes del cel segons la brillantor vista des de la Terra. Aquest valor s'agafa des de fora l'atmosfera terrestre ja que sinó aquest valor no seria sempre igual, variaria segons les condicions atmosfèriques. Com més petita és la magnitud aparent més es veu brillar aquesta estrella des de la Terra. També s'ha de tenir present que un objecte pot ser que tingui una magnitud aparent molt més gran que un altre (que brilli menys) però que en realitat brilli molt més. Això és degut a que la magnitud aparent té a veure amb la brillantor de l'objecte però també hi juga un paper decisiu la distància que separa l'objecte de la Terra.

La magnitud aparent ve donada per la següent expressió matemàtica:

$$m = -2,5 \log(I)$$

On: m: magnitud de l'estrella

I: intensitat lumínica de l'estrella (Watts/m<sup>2</sup>)

Aquesta escala ens permet classificar els cossos celestes de manera que en facilita la seva identificació ja que per exemple, si veiem un cos brillar molt més que els altres, probablement serà un planeta.

Alguns exemples de magnituds aparents d'objectes observables des de la Terra són els següents:

Magnitud aparent	Objecte celeste
-26,8	Sol
-12,6	Lluna plena
-4,4	Brillantor màxima de Venus
-2,9	Brillantor màxima de Júpiter
-2,8	Brillantor màxima de Mart
-1,9	Brillantor màxima de Mercuri
-1,5	Estrella més brillant: Sirius
+6	Límit de l'ull humà (sense contaminació lumínica)
+30	Objectes més dèbils observats pel Hubble

## 2 ESTRELLES

### 2.1 Formació de les estrelles

Els àtoms d'hidrogen, l'element més abundant a l'univers després de la seva formació i encara a dia d'avui, es van anar agrupant per la força de la gravetat i es van formar núvols intergalàctics. En el centre d'aquestes acumulacions es va assolir una pressió molt elevada, el que va fer que la temperatura també ho fos molt i els àtoms d'hidrogen es comencessin a fusionar per formar heli. Aquest fet, el naixement de les primeres estrelles, es calcula que va succeir fa uns 13.300 milions d'anys. Es creu que les primeres eren molt massives, van explotar en forma de supernoves i van sembrar l'univers d'altres elements sintetitzats prèviament al seu interior com per exemple He, C, O i d'altres de més pesants.

### 2.2 Classes espectrals

Les estrelles es solen classificar a partir del diagrama H-R, que les ordena en classes segons la temperatura de la superfície i per la lluminositat. La temperatura en superfície està lligada amb el tipus de radiacions emeses. Com més alta és la temperatura, més curta i energètica és la longitud d'ona de les radiacions emeses i això fa que el seu espectre tiri cap al blau. Com més baixa és la temperatura més llarga i menys energètica és la longitud d'ona de les radiacions, tira més cap al vermell. Les estrelles més calentes la seva superfície es troba a una temperatura d'entre 50.000 i 10.000K i són blavoses. Les estrelles blanquinoses són les que tenen una temperatura superficial d'entre 10.000 i 6.000K. Les que són grogues d'entre 6.000 i 4.000K, com el cas del sol. Les més fredes, les vermelles, d'entre 3.500 i 2.500K, com per exemple Betelgeuse. A simple vista la majoria d'estrelles les veiem blanques, però algunes es pot apreciar a ull nu que són ataronjades com per exemple Betelgeuse.

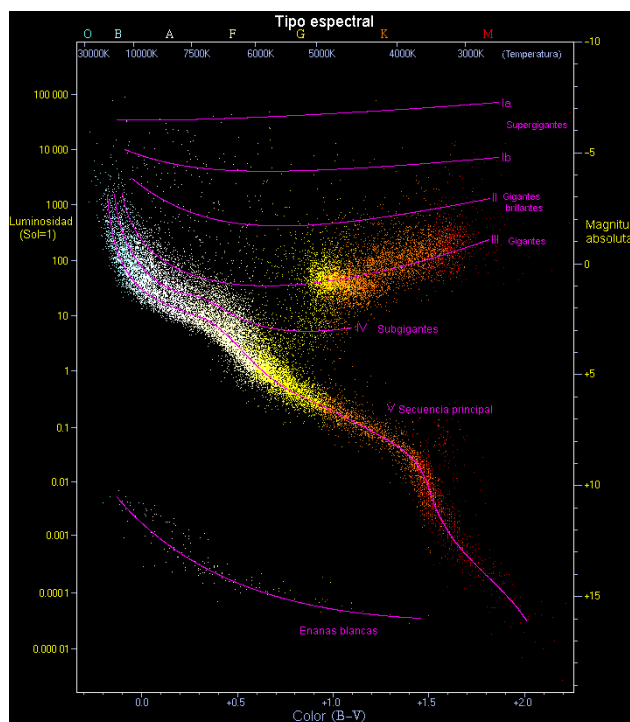


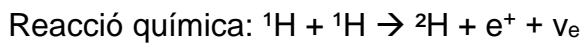
Fig. 5: Diagrama Hertzsprung-Russell (H-R)

### 2.3 Reaccions de fusió

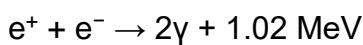
A l'interior de les estrelles les temperatures són molt elevades i això permet que tinguin lloc reaccions de fusió entre àtoms d'elements més lleugers per formar-ne de més pesats. D'un inici l'estrella està composta bàsicament per hidrogen, aquests àtoms es van fusionant entre ells per formar heli. Aquest tipus de reacció és la que aporta un 90% del total de l'energia que emetrà una estrella de mitjana durant tota la seva vida.

En la gran majoria de les estrelles l'hidrogen es fusiona a partir de la reacció coneguda com a protó-protó que consta de les següents fases:

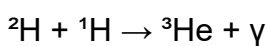
En primer lloc dos nuclis d'hidrogen de nombre màssic 1 es fusionen entre ells per formar un deuteri i s'allibera un positró (un electró amb càrrega positiva) i un neutrí, una partícula elemental sense càrrega.



De manera immediata el positró és aniquilat per un altre electró i s'alliberen fotons energètics de raigs gamma.



Lavors, un deuteri format en l'anterior reacció es fusiona amb un hidrogen i es forma  ${}^3\text{He}$ .



Lavors es fusionen 2 àtoms d' ${}^3\text{He}$  per formar  ${}^4\text{He}$ , alliberant 2 protons.

Quan l'hidrogen s'hagi transformat en heli, els àtoms d'aquest element s'aniran fusionant per formar elements més pesats com C, O, Si, Fe... segons la temperatura del nucli que depèn de la massa de l'estrella.

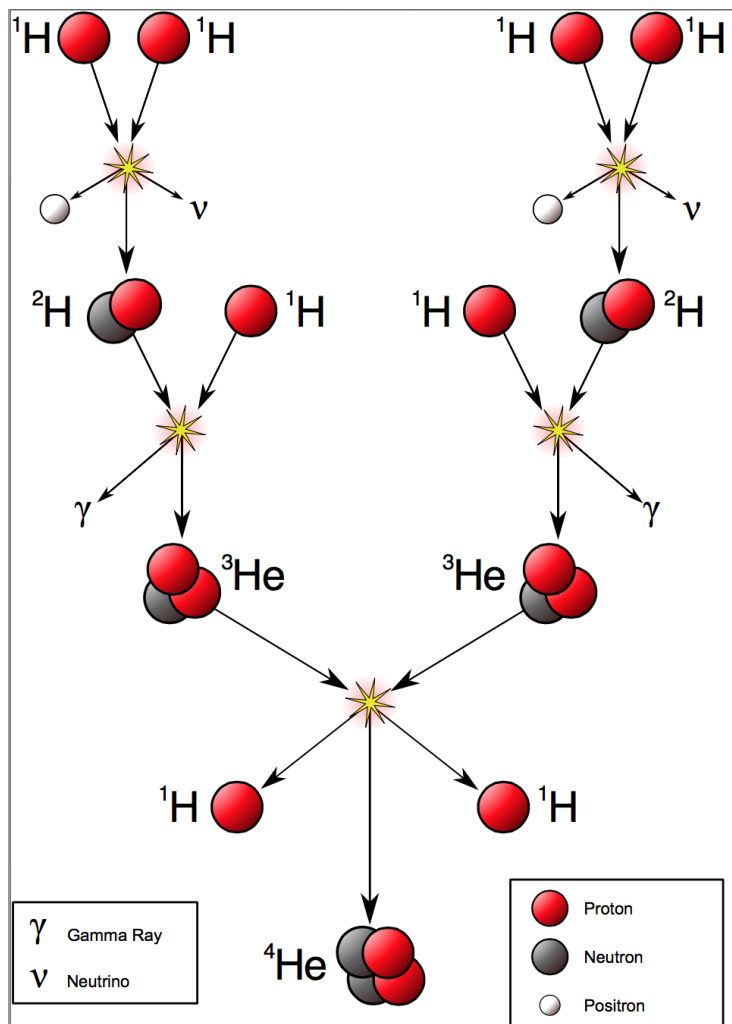


Fig. 6: Esquema on podem veure gràficament les reaccions de fusió que es duen a terme a l'interior de les estrelles.

## 2.4 Evolució de les estrelles segons la massa

Al principi de la seva vida les estrelles de diferent massa duen a terme les mateixes reaccions, es fusionen àtoms d'hidrogen per formar heli. La gran majoria, quan acaben el seu combustible primari, l'hidrogen; passen a convertir l'heli en carboni a partir del procés anomenat triple alfa. Dos àtoms d'heli formen  ${}^8\text{Be}$ . Aquest es fusiona amb un altre  ${}^4\text{He}$  per formar  ${}^{12}\text{C}$ .

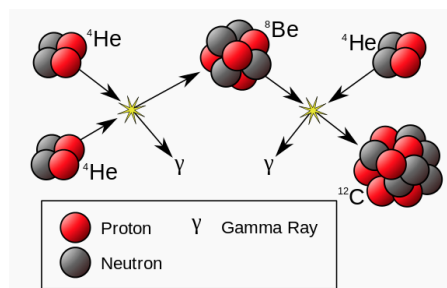
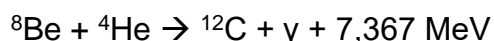


Fig. 7: Esquema on podem veure gràficament la reacció de fusió anomenada triple alfa

Fórmula:  ${}^4\text{He} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^8\text{Be}$



Per contra, depenent de la seva massa, el final de la vida de les estrelles és molt diferent.

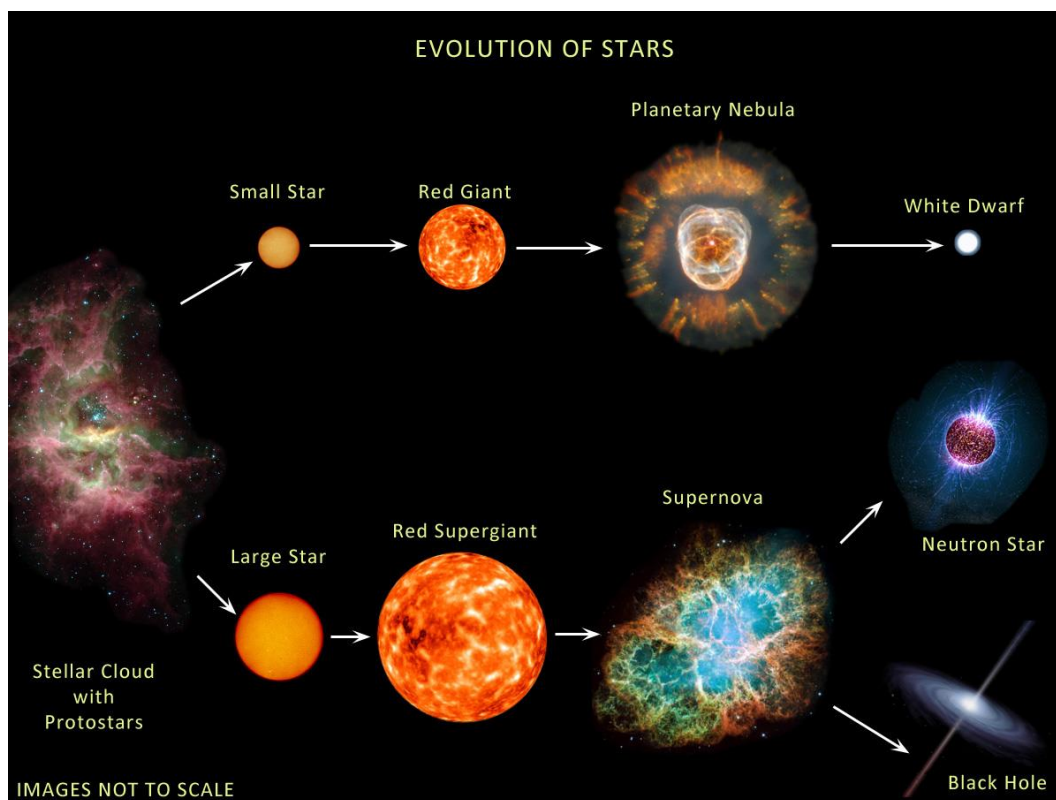


Fig. 8: Esquema on s'explica l'evolució de les estrelles segons la seva massa

El primer cas representat a l'esquema seria l'equivalent a estrelles d'un màxim d'1,44 masses solars (data presa al final de la vida d'una estrella, va perdent massa amb el temps), que formen una nebulosa planetària i una nana blanca. El cas d'estrelles més massives seria l'equivalent a estrelles de més de 1,44 masses solars que exploten en forma de supernova i acaben formant un forat negre o una estrella de neutrons depenent de la seva massa.



### 2.4.1 Estrelles de menys de 8 masses solars

Pel que fa a estrelles de fins a 8 masses solars o d'aproximadament 1,44 al final de la seva vida (pot variar segons la composició de l'estrella), el que es coneix com a límit de Chandrasekhar; acabaran formant nanes blanques ja que arribarà un moment que l'estrella ja no es podrà contraure més perquè la força de repulsió entre els nuclis atòmics serà més forta que la força de la gravetat.

Com a totes les estrelles, l'hidrogen es va fusionant per formar heli al nucli de l'estrella i aquest, al ser més pesat que l'hidrogen, cau a l'interior per la força de la gravetat. En aquest moment l'estrella està formada bàsicament per hidrogen, excepte el nucli, no gaire massiu, que és bàsicament d'heli. Degut a les temperatures els àtoms d'hidrogen es van desplaçant des de l'interior cap a l'escorça, i els de l'escorça, al estar a una menor temperatura, cauen cap a l'interior. Aquest fenomen és el que es coneix com a corrents de convecció.

Cada vegada hi ha més heli a l'interior i l'hidrogen es troba més a prop de l'escorça. Això fa que l'heli es formi més lluny del nucli i l'estrella es vegi molt més lluminosa degut a que la radiació resultant de la fusió dels àtoms expulsa l'hidrogen que hi ha a les capes superiors cap a l'espai ja que la gravetat és més feble i forma una nebulosa planetària. Durant aquest procés l'estrella va guanyant volum. Aquesta etapa es coneix amb en nom de gegant vermella.

Quan se li acaba l'hidrogen, l'heli es comença a fusionar per formar elements més pesants si hi ha suficient pressió, el que fa que hi hagi una temperatura molt elevada. Quan ja no quedi combustible, és a dir, quan ja no es fusionin més àtoms, la radiació que emet el nucli no podrà contrarestar la força de la gravetat i això farà que es formi una massa molt densa de gasos, rica en carboni i oxigen majoritàriament i es contraurà. Quan es col·lapsi, degut a la pressió i la temperatura de l'interior es formaran elements més pesants com Si, Mg, Fe... i es formarà una nana blanca, la superfície de la qual es trobarà a una temperatura d'uns 30.000K aproximadament, depenent de la seva massa. La temperatura anirà

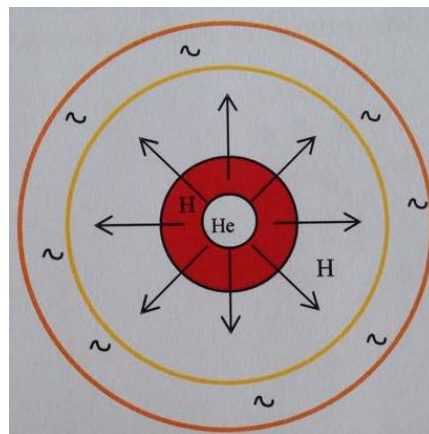


Fig. 9: Esquema on s'il·lustra l'estructura interna de l'estrella durant el principi de la seva vida

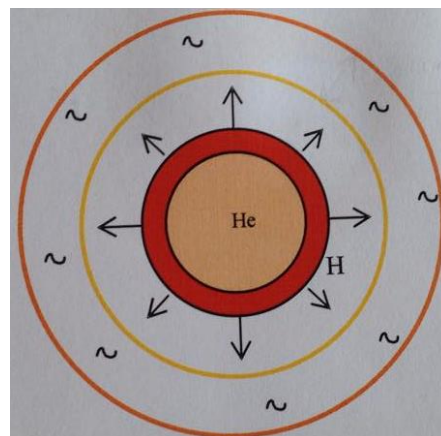


Fig. 10: Esquema on s'explica l'estructura interna d'una estrella quan es troba en l'etapa de gegant vermella

disminuint ja que l'energia emesa és energia tèrmica que conté i que va perdent, no n'obté ja que no hi ha fusió d'àtoms. La temperatura anirà minvant al llarg de milers de milions d'anys fins a formar una nana negra, objecte que ja no emet radiacions perquè no disposa d'energia. Aquests cossos celestes són hipotètics, no se n'ha detectat cap perquè és un procés molt lent. Aquests objectes només podrien ser detectats si interactua gravitatòriament amb algun objecte que emeti radiacions. Per fer una comparació a escala: el sol té un diàmetre 110 vegades major que la Terra actualment, que és de 12.742km. Aquest és el mateix que tindrà el sol aproximadament quan passi a ser una nana blanca.

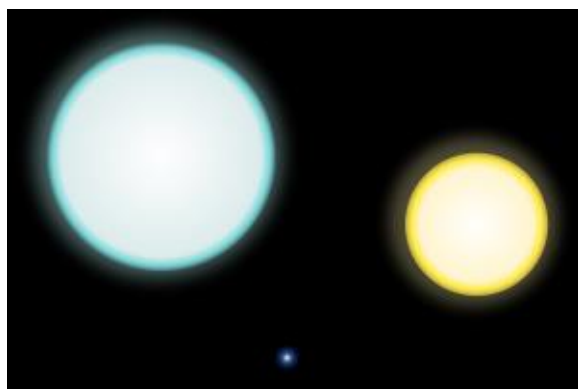


Fig. 11: Comparació entre el Sol, situat a la dreta, la nana blanca IK Pegasi B, situada a la part inferior i la seva companya de classe A, IK Pegasi A, situada a l'esquerra. L'estrella que avui dia forma la nana blanca, quan tenia l'edat del Sol tenia aproximadament la mateixa mida

### 2.4.1.1 El Sol

El Sol actualment es troba a la meitat de la seva vida. Seguirà brillant de la mateixa manera que ho fa a dia d'avui durant uns 4.000 milions d'anys més aproximadament. Llavors el nostre estel començarà a emetre molta més llum ja que guanyarà molt de volum (etapa de gegant vermella). Això farà que la vida a la Terra, si més no la forma de vida que coneixem avui dia, no sigui possible. El Sol, durant la fase de gegant vermella arribarà aproximadament a l'òrbita de la Terra.



Fig. 12: Imatge on s'explica l'evolució del Sol des de la seva formació fins al final de la seva vida

### 2.4.2 Estrelles de més de 8 masses solars

Les estrelles que tenen una massa 8 vegades la massa del sol o superior (no és sempre exacte ja que depèn de la seva composició química), el final de la seva vida

és completament diferent a les explicades anteriorment i és molt més violent. Quan l'hidrogen de l'interior de l'estrella ja ha estat convertit en heli i la zona de fusió es troba més a l'escorça, aquesta guanya volum i brillantor perquè l'hidrogen de les capes superior surt expel·lit. Quan ja gairebé no queda hidrogen, els àtoms d'heli es fusionen per formar carboni i elements més pesats. L'estrella va perdent volum altra vegada ja que els elements sintetitzats van caient al centre per la força de la gravetat. Cada vegada es desprèn menys energia de les reaccions i cada vegada té un menor volum. Quan l'energia que es desprèn del nucli de l'estrella ja no pot contrarestar la força de la gravetat, l'estrella pateix un col·lapse gravitatori i explota en forma supernova. Aquesta explosió sembla d'elements més pesats (He, C, O, Ne, Si, S, Mg, Fe...) l'espai interestel·lar. Els elements més pesats que s'han sintetitzat a l'interior de l'estrella no sortiran expel·lits sinó que romandran al nucli formant una estrella de neutrons o un forat negre depenent de la massa que roman al nucli. Quan després de l'esclat en forma de supernova el romanent estel·lar té una massa inferior a 3 masses solars (inicialment entre 8 i 25), es forma una estrella de neutrons. Aquests objectes tenen una massa semblant a la del sol i un diàmetre de només 10 o 20 km, el que fa que siguin els objectes més densos coneguts a l'univers. Els estels de neutrons estan formats per matèria degenerada, és a dir, per restes d'àtoms que no estan estructurats com ho acostumen a estar, sinó que els electrons i protons es fusionen per formar neutrons, que és el component majoritari d'aquests objectes. Tenen un camp gravitatori molt fort a la seva superfície ja que tenen molta massa i un diàmetre petit. També tenen un camp magnètic molt fort comparat amb el de la Terra. Les estrelles

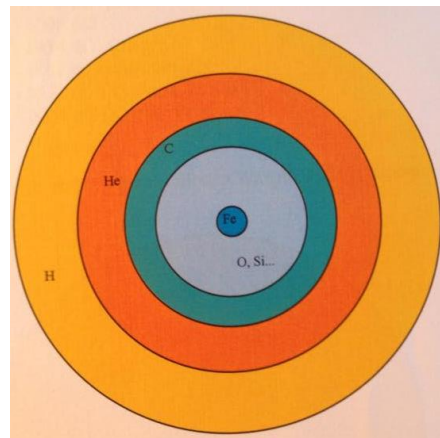


Fig. 13: Esquema de l'estructura interna d'una estrella massiva al final de la seva vida, abans d'explotar en forma de supernova

de les reaccions i cada vegada té un menor volum. Quan l'energia que es desprèn del nucli de l'estrella ja no pot contrarestar la força de la gravetat, l'estrella pateix un col·lapse gravitatori i explota en forma supernova. Aquesta explosió sembla d'elements més pesats (He, C, O, Ne, Si, S, Mg, Fe...) l'espai interestel·lar. Els elements més pesats que s'han sintetitzat a l'interior de l'estrella no sortiran expel·lits sinó que romandran al nucli formant una estrella de neutrons o un forat negre depenent de la massa que roman al nucli. Quan després de l'esclat en forma de supernova el romanent estel·lar té una massa inferior a 3 masses solars (inicialment entre 8 i 25), es forma una estrella de neutrons. Aquests objectes tenen una massa semblant a la del sol i un diàmetre de només 10 o 20 km, el que fa que siguin els objectes més densos coneguts a l'univers. Els estels de neutrons estan formats per

matèria degenerada, és a dir, per restes d'àtoms que no estan estructurats com ho acostumen a estar, sinó que els electrons i protons es fusionen per formar neutrons, que és el component majoritari d'aquests objectes. Tenen un camp gravitatori molt fort a la seva superfície ja que tenen molta massa i un diàmetre petit. També tenen un camp magnètic molt fort comparat amb el de la Terra. Les estrelles



Fig. 14: Representació gràfica d'una estrella de neutrons on podem observar el seu potent camp magnètic



de neutrons giren molt de pressa després de la seva formació, unes 1000 vegades per segon, però la velocitat de gir s'alenteix amb el temps.

Pel que fa a les estrelles de més de 25 masses solars, és a dir, les que després de l'explosió en forma de supernova el seu nucli té una massa superior a 3 masses solars, el nucli no es para de comprimir com en el cas de les estrelles de neutrons sinó que segueix i es forma un punt d'infinita densitat, el coneixem com a forat negre. Aquests poden arribar a tenir unes dimensions enormes i unes masses colossals. L'horitzó d'esdeveniments és el punt a partir del qual res pot escapar de

l'efecte gravitatori del forat negre, ni tant sols la llum. Com que la llum no pot escapar, es sap que la velocitat d'escapament dels forats negres és superior a 300.000km/s. Diverses observacions recents apunten que al centre de la gran majoria de les galàxies hi ha un forat negre supermassiu. Tots els objectes que es troben a la galàxia no són atrets pel forat negre ja que la galàxia gira sobre el seu centre i això permet que estigui en equilibri.

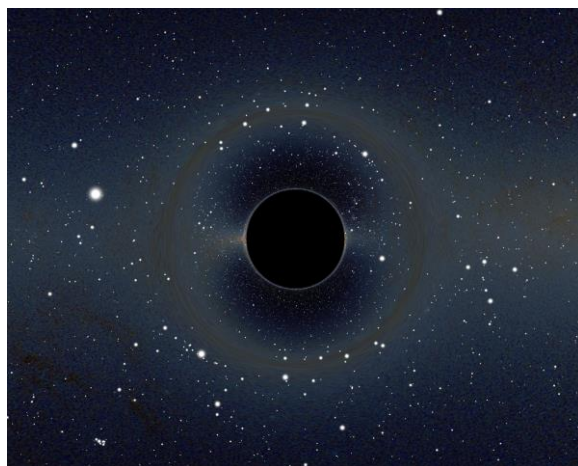


Fig. 15: Representació d'un forat negre

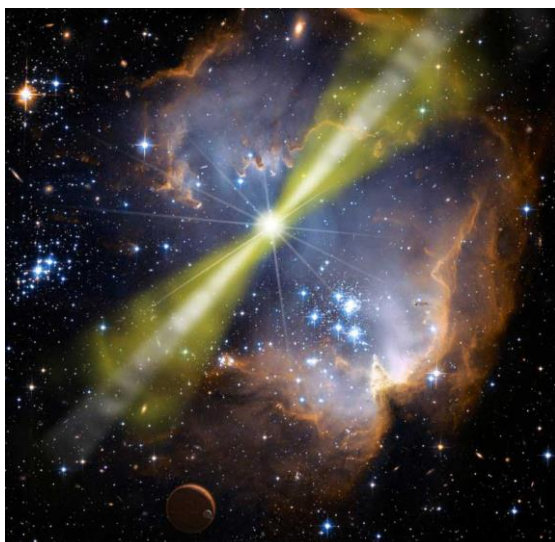


Fig. 16: Representació d'una supernova a la zona de formació de planetes GRB 080319B

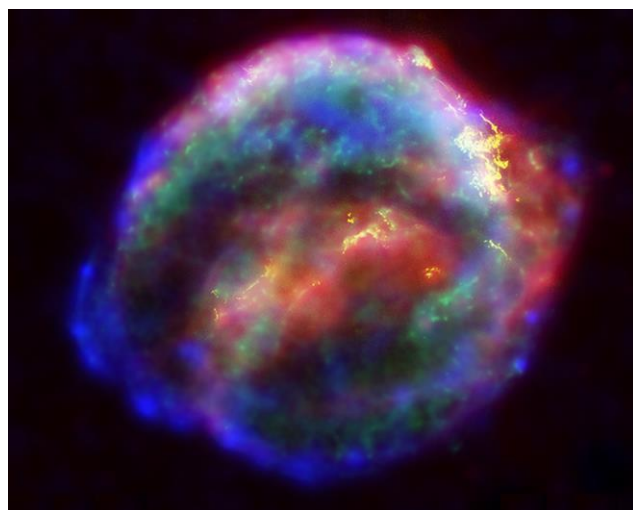


Fig 17: Fotografia de la supernova Kepler (SN 1604) obtinguda a partir del processament de fotografies del telescopi espacial Hubble

### 3 SISTEMES PLANETARIS

#### 3.1 Formació dels sistemes planetaris

Les estrelles i sistemes planetaris que veiem avui dia no hi són des del moment de la formació de l'univers. Les estrelles que observem durant la nit pertanyen a la segona o fins i tot tercera generació.

Les explosions de supernoves són un fenomen molt violent però probablement imprescindible per la formació de sistemes planetaris. La gran majoria dels àtoms que formen part de la Terra han estat sintetitzats a l'interior de les estrelles i han estat sembrats a l'espai a partir de l'explosió d'estrelles en forma de supernova.

El sistema solar es va formar a partir d'un gran núvol de gas d'entre 7.000 i 20.000 UA de diàmetre (una UA és la distància que separa la Terra del Sol, 150.000.000km) i d'una massa semblant a la del sol. Aquest núvol gasós estava compost majoritàriament d'hidrogen i heli, amb algunes traces de liti, elements formats durant el Big Bang. A més, també contenien àtoms d'altres materials més pesants provinents d'explosions de supernoves properes. Aquest núvol de gas es va començar a contraure a causa de l'explosió d'una supernova relativament propera i va començar a girar molt més de pressa. Això va provocar que es formés un disc d'acreció d'unes 200 UA amb un nucli cada vegada més calent degut a la pressió. Aquest va iniciar reaccions de fusió i va començar a brillar, naixia el Sol. Els àtoms dels diferents materials van anar col·lidint entre ells i van anar formant cossos més grans, els planetesimals, que al anar xocant entre ells van formar agrupacions de roca i gas cada vegada més grosses; el que ha donat lloc als planetes i altres objectes del Sistema Solar que coneixem avui dia. Els planetes del Sistema Solar interior són més petits i són rocosos mentre que els del Sistema Solar exterior tenen un major diàmetre i són gasosos. Aquest fet no el podem agafar com a norma per descriure altres sistemes planetaris ja que hi ha gegants gasosos, com Júpiter, que orbiten la seva estrella més a prop del que ho fa Mercuri del nostre Sol.

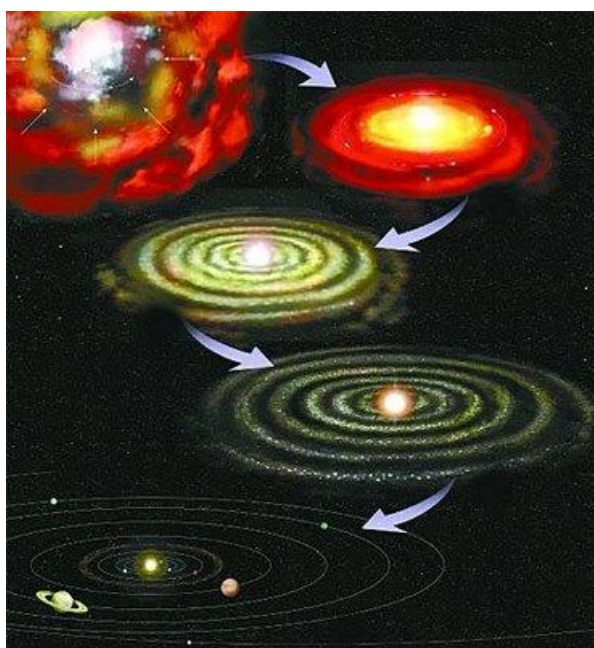


Fig. 18: Esquema que explica l'evolució que a patit el Sistema Solar a partir d'una nebulosa d'hidrogen

### 3.2 Moviment dels planetes (Lleis de Kepler)

Tots els cossos orbiten al voltant del seu centre de masses de la mateixa manera. Això va ser descrit per primera vegada per l'astrònom i matemàtic alemany Johannes Kepler a partir de l'observació del moviment dels planetes del sistema solar al voltant del sol a principis del segle XVII. Les lleis que expliquen aquest fet són les anomenades Lleis de Kepler, nom en honor de l'astrònom alemany.

1a llei (1609): *Tots els planetes orbiten al voltant del sol seguint òrbites el·líptiques sent el sol en un dels focus de dita el·lipse.*

Aquesta llei ens ve a dir que els planetes giren al voltant del sol i que no ho fan de manera circular, sinó seguint una el·lipse; i que el sol no es troba al centre d'aquesta, sinó a un dels seus focus.

2a llei (1609): *El radi vector que uneix el planeta amb el Sol escombra àrees iguals en temps iguals.*

La 2a llei ens ve a dir que el planeta no es mou sempre a la mateixa velocitat sinó que quan s'apropa al Sol es mou més ràpidament i com més lluny es troba d'ell més a poc a poc orbita.

3a llei (1619): *El quadrat del període orbital (T) d'un planeta (temps que tarda a fer una volta al Sol) és directament proporcional al cub de la distància mitjana que el separa del Sol (R).*

Expressat matemàticament ve a ser:  $T^2 = R^3$

Dit d'altra manera, hi ha una relació entre el que tarda a fer una volta i la distància mitjana a la que orbita. La unitat del període orbital són anys i la del radi de l'òrbita són UA.

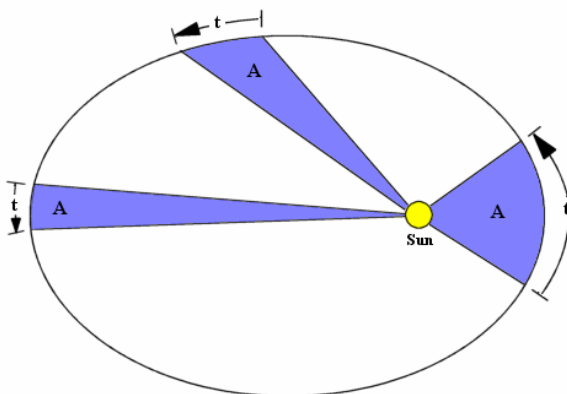


Fig. 19: Representació de l'òrbita d'un planeta on podem veure que es compleixen la 1a i 2a llei de Kepler

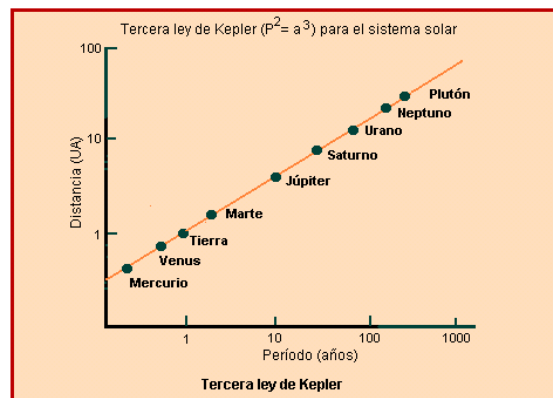


Fig. 20: Gràfic on podem veure que el període orbital d'un planeta és directament proporcional a la distància mitjana a la que orbita (3a llei de Kepler)

Dades dels planetes del sistema solar i Plutó

### 3.3 Exoplanetes

Un exoplaneta és una massa rocosa o gasosa que orbita al voltant d'una estrella que no és el sol, és a dir, un cos en òrbita que segueix les lleis de Kepler i pertany a un sistema planetari que no és el Sistema Solar.

El primer exoplaneta va ser detectat el 1988 i fins a setembre de 2016 n'han estat detectats uns 3.532 que pertanyen a un total de 2.649 sistemes planetaris dels quals 595 contenen més d'un planeta. Cal recordar que a febrer de 2013 només se n'havien confirmat 864. Això significa que aquests últims 3 anys se n'han detectat la gran majoria dels que es coneixen avui dia.

Cal recordar que la Via Làctia conté uns 100.000.000.000 (cent mil milions) d'estrelles, la majoria de les quals amb planetes en òrbita. Un estudi recent publicat a la revista *Nature* dut a terme per l'institut d'astrofísica de París ha conclòs després de 6 anys d'observacions que de mitjana hi ha 1,6 planetes per estrella, el que significa que els 3.532 exoplanetes confirmats fins al moment no són res en comparació amb els que es creu que hi ha a la nostra galàxia. A més cal recordar que la nostra galàxia només és 1 de les 10.000.000.000 (deu mil milions) galàxies que es creu que hi ha a l'univers. Si suposem que la nostra galàxia conté una proporció de planetes per estrella semblant a la resta i sabem que hi ha uns 10.000.000.000.000.000.000.000 (deu mil trilions) d'estels, podem veure que el nombre de planetes que hi ha a l'univers és descomunal, per no dir infinit. Per tant podem afirmar que l'exoplanetologia és una ciència molt nova que es troba en plena expansió.

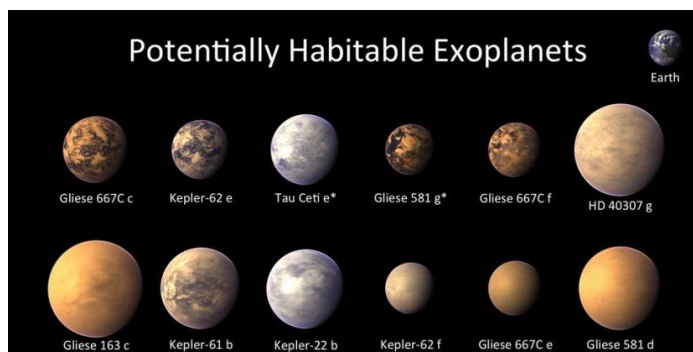


Fig. 21: Planetes potencialment habitables

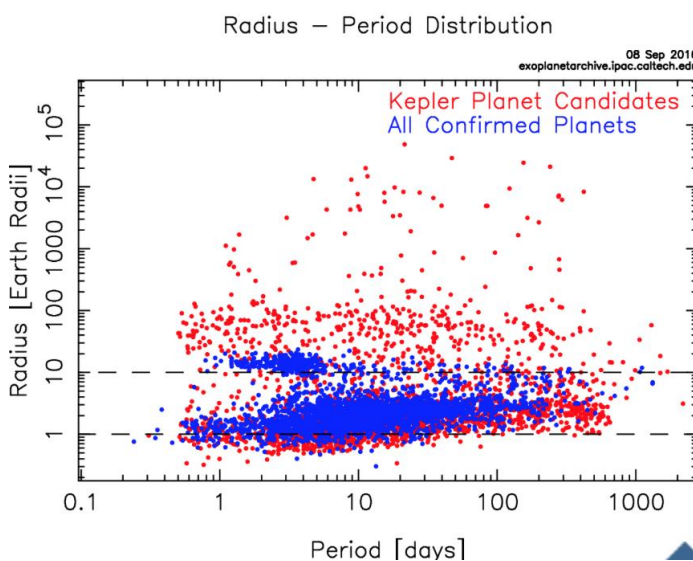


Fig. 22: Classificació dels exoplanetes confirmats i possibles exoplanetes detectats en funció del seu període i de la massa en relació a la Terra



### 3.3.1 Detecció d'exoplanetes

Detectar planetes fora el sistema solar no és fàcil. Són molt lluny de l'observador i els planetes no emeten llum per ells mateixos, només el reflex que és causat per la incidència de la llum de l'estrella. Com que la brillantor del planeta és molt més petita que la de l'estrella és gairebé impossible de detectar de manera directe. És per això que es sol fer a partir de mètodes indirectes. Degut a la falta de tecnologia fins a finals del segle XX no ha sigut possible detectar cap exoplaneta, però avui dia comptem amb instruments bastant sofisticats que ens faciliten la tasca.

Cal recordar Giordano Bruno, filòsof que pensava que les estrelles fixes que es veien al cel durant la nit eren semblants al Sol, i, per tant, podien acollir planetes al seu voltant. A mitjans del segle XX, Otto Struve, astrònom Nord-americà, va dir que els planetes podien orbitar molt més a prop de la seva estrella del que ho fan els del sistema solar i que planetes com Júpiter que orbitessin relativament a prop de la seva estrella podien ser detectats a partir de l'efecte Doppler o el mètode de trànsit.

El primer exoplaneta que es va detectar va ser un gegant gasós, semblant a Júpiter però un 60% més massiu orbitant l'estrella Gamma Cephei. Aquest planeta orbita a 2 UA, el doble de lluny de la seva estrella del que ho fa la Terra del nostre Sol i tarda 903 dies a completar una volta. Aquest és un sistema binari, una estrella d'entre el 30 i el 40% de la massa del Sol també orbita al voltant del centre de masses i es calcula que el seu període és d'entre 57 i 66 anys. L'estrella principal és més jove que el nostre sol, té uns 3.000 milions d'anys, el nostre Sol 4.500. Al ser un 60% més massiva es troba en una etapa més avançada i té una metal·licitat del 38%, el nostre Sol tant sols de l'1,6%. La metal·licitat s'estudia a partir de l'espectre de la llum que emet l'estrella.

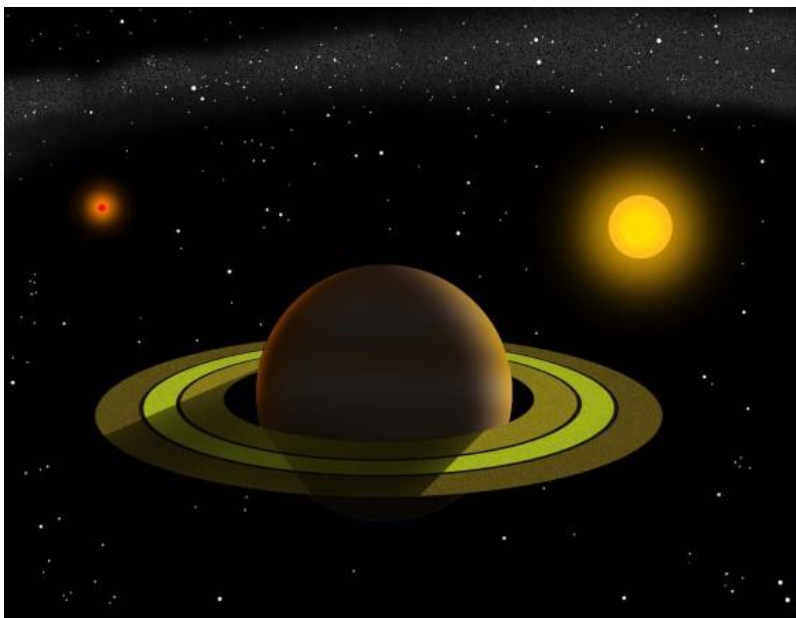


Fig. 23: Representació del sistema de Gamma Cephei, el primer en ser detectat. Es tracta d'un sistema binari

### 3.3.1 Missions espacials pel descobriment d'exoplanetes

#### 3.3.1.1 Missió Kepler

Missió que rep el nom en honor de Johannes Kepler, autor de les lleis de Kepler que descriuen els moviments dels planetes en les seves òrbites al voltant del sol. El telescopi espacial va ser llançat l'any 2009 per la NASA. Té una massa de 1.052kg i un període orbital de 372,5 dies i té una òrbita heliocèntrica amb un radi de 1 UA, és a dir, una òrbita molt semblant a la de la Terra. El seu principal objectiu és descobrir exoplanetes de la mida de la Terra que puguin ser candidats a acollir vida. Per poder-ho aconseguir s'observaran 100.000 estrelles i s'intentarà detectar els planetes a partir del mètode de trànsit. A més també es volen estudiar les mides i formes de les òrbites de planetes ja descoberts amb més exactitud o dels que es descobriran en un futur. Investigar els sistemes estel·lars múltiples també és una dels objectius de la missió conjuntament amb estudiar els gegants gasosos que orbiten l'estrella de molt a prop. Un altre objectiu és descobrir més planetes en sistemes estel·lars ja coneguts i estudiar les estrelles d'aquests amb més detall. Dos anys després del seu llançament s'han confirmat 114 exoplanetes i descobert el primer exoplaneta que pertany a un sistema estel·lar binari.

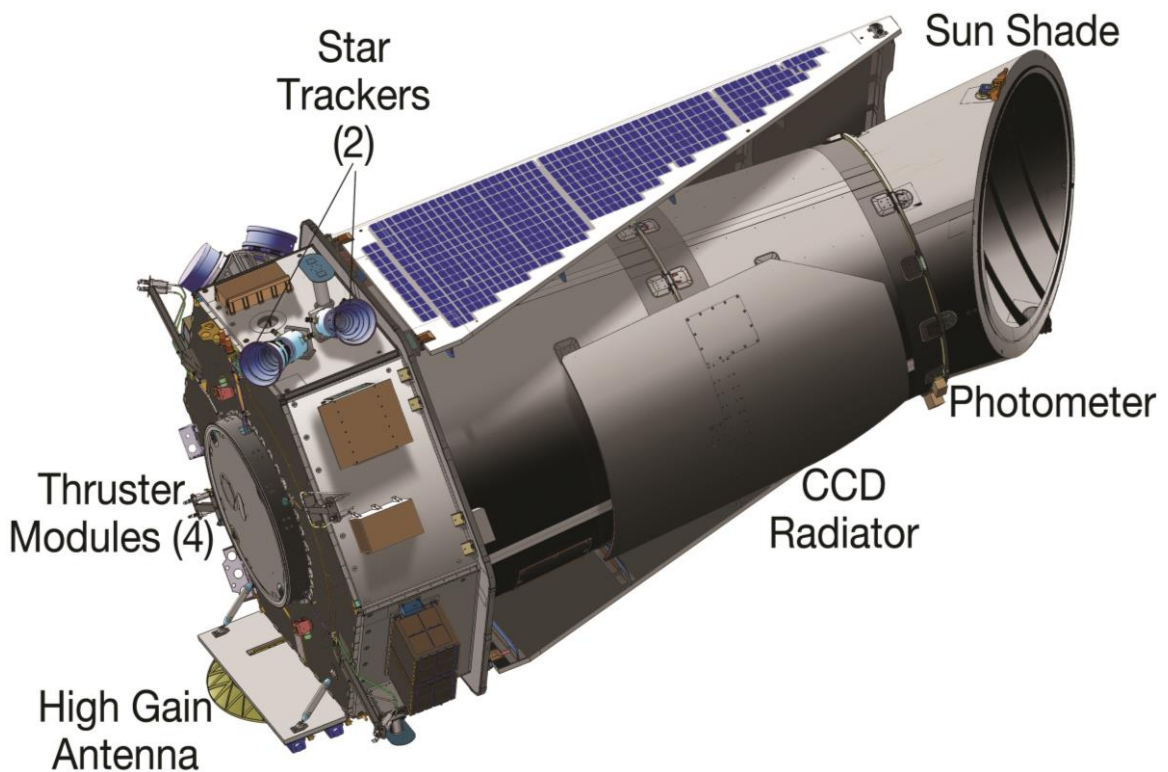


Fig. 24: Representació artística del telescopi espacial Kepler amb el nom dels instruments que porta incorporats

### 3.3.1.2 Missió Gaia

A finals de 2013 l'ESA va posar en òrbita una sonda de 2000kg anomenada Gaia, el nom de la qual és en honor de la teoria que va postular James Lovelock. Es preveu que la missió tingui una durada d'uns 5 anys aproximadament. Durant aquest període, cada dia la sonda enviarà gran quantitat de dades a la Terra, principalment per poder dur a terme el seu principal objectiu, elaborar un mapa en 3D de la nostra galàxia. Ho farà estudiant un 1% de les 100.000 milions d'estrelles que la componen. Cada una ho serà unes 70 vegades per tal d'observar possibles canvis en l'estrella. Un altre dels objectius és detectar sistemes planetaris extrasolars i detectar mig milió de quàsars distants, galàxies amb centre actiu, que emeten gran quantitat de radiació.



Fig. 25: Fotografia de l'observatori espacial Gaia

### 3.3.1.3 Telescopi espacial James Webb

Observatori que es preveu que serà llençat el 2018 i que serà el successor del telescopi espacial Hubble. Els miralls del telescopi primari tindran una àrea 6 vegades major que els del Hubble i pesaran la meitat. Estudiarà el cel en freqüència infraroja per tal d'obtenir informació que fins ara no era observable amb el rang visible. Els seus principals objectius són arribar a observar la llum de les primeres estrelles que es van formar després del Big Bang per poder comprendre millor com es formen les estrelles i els planetes, estudiar l'evolució de les galàxies, descobrir nous sistemes planetaris i treure l'entrellat pel que fa als orígens de la vida.

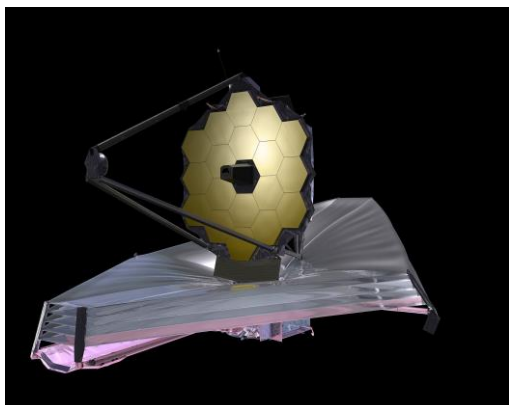


Fig. 26: Representació gràfica del telescopi espacial James Web

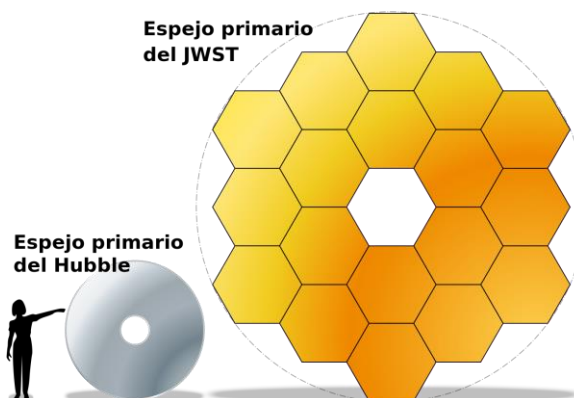


Fig. 27: Representació dels miralls primaris del telescopi espacial Hubble i del James Web

### 3.3.1.4 Telescopi espacial Hubble

Telescopi que va ser posat en òrbita l'any 1990 per tal d'obtenir fotografies d'alta qualitat. Orbita la Terra a 593km sobre el nivell del mar una vegada cada 97 minuts. A aquesta altura l'atmosfera és molt i molt dèbil i ja no fa que la qualitat de les fotografies minvi i també s'evita l'efecte negatiu de la contaminació lumínica que provoquen les grans ciutats. La missió estava pensada per tenir una durada d'uns 5-10 anys però a dia d'avui encara es troba operatiu. Quan va ser posat en òrbita i es van dur a terme les primeres proves es va poder observar que les fotografies no tenien la qualitat esperada i es va haver de dur a terme una missió de servei al mirall primari el 1993. Des de llavors, per tal d'anar fent el manteniment necessari i d'allargar-ne la vida útil s'han fet 4 missions de manteniment més, la última d'elles l'any 2009.

Les principals fites del telescopi espacial Hubble han estat l'enregistrament amb imatges de l'impacte del cometa Shoemaker-Levy 9 sobre la superfície de Júpiter. Aquestes van fer que la comunitat científica es donés compte que hi ha possibilitats reals que un meteorit caigui a la Terra. A partir de les imatges fetes per l'aparell s'ha pogut comprovar l'existència d'exoplanetes i detectar alguns forats negres al centre d'algunes galàxies, com per exemple a la M87, que es troba a 50 milions d'anys llum. Aquests fets donen pes a la teoria que al centre de la majoria de galàxies hi ha un forat negre. A més, la informació recollida pel telescopi ha donat força al model de l'univers en expansió ja que la llum despresada per galàxies distants té una tirada cap al vermell, un allargament de la longitud d'ona a causa de l'efecte Doppler. Un dels grans descobriments del Hubble és la isotropia de l'univers, que es va dur a terme a partir de fotos fetes amb la càmera de cel profund.



Fig. 28: Fotografia del telescopi espacial Hubble



### 3.3.2 Mètodes de detecció d'exoplanetes

#### 3.3.2.1 Velocitat radial

Aquest mètode es basa en les variacions que pateix l'estrella, que es desplaça si hi ha un planeta orbitant-la. Es pot observar com el seu espectre es desplaça cap al blau o cap al vermell a causa del seu desplaçament, que es va allunyant o separant de la Terra i les radiacions que desprèn arriben a la Terra amb un espectre diferent a causa de l'efecte Doppler. Si l'estrella s'està apropant a la Terra, la llum que arribarà serà més blavosa, longitud d'ona més curta i una freqüència més alta, més energètica. Per altra banda, si l'estrella es va allunyant, la llum serà més vermella ja que tindrà una major longitud d'ona i serà menys energètica (menor freqüència).

Molts exoplanetes s'han descobert per aquest mètode però té algunes limitacions com per exemple el fet que si el planeta no té gaire massa, aquest efecte serà molt petit i no podrà ser detectat.

La detecció del primer exoplaneta l'any 1988 es va dur a terme a partir d'aquest mètode.

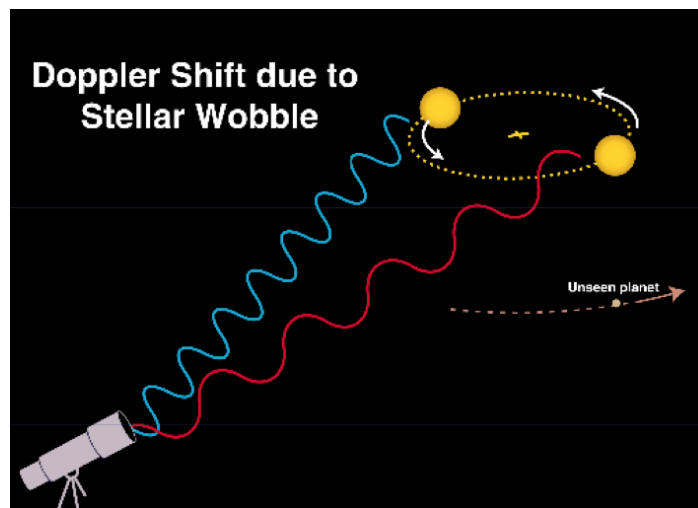


Fig. 29: Esquema que explica l'efecte Doppler a partir de l'oscil·lació d'una estrella

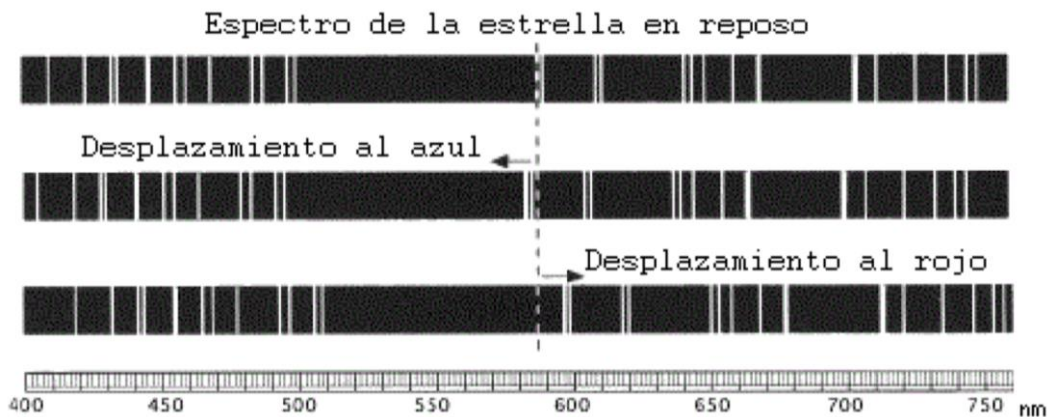


Fig. 30: Espectres d'una estrella quan està en repòs (ni s'allunya ni s'apropa a l'observador), quan el seu espectre es desplaça al blau (s'apropa a l'observador) i quan es desplaça al vermell (s'allunya de l'observador)

### 3.3.2.2 Microlent gravitacional

Aquest mètode es basa en la teoria de la relativitat general que va postular Einstein. Quan dos estrelles o fonts lluminoses (galàxies, nebuloses, quàsers...) es troben perfectament alineats respecte la Terra, l'estrella o objecte que es troba entre el més llunyà i la Terra provoca una alteració als raigs de llum que arriben de l'objecte més llunyà. Es calcula la desviació que hi ha hagut i la massa de l'estrella en qüestió. Si l'estrella no té prou massa per haver provocat aquella desviació, s'arriba a la conclusió que hi ha d'haver un planeta orbitant-la. Amb aquest mètode és possible calcular la massa del planeta i la distància a la que orbita la seva estrella. Fins al moment tots els planetes que han estat detectats a partir d'aquest mètode tenen una massa 5 vegades superior a la de la Terra. Això es degut a que la massa d'un planeta és molt menor que la de l'estrella i això pot fer que aquest passi desapercebut. D'altra banda, també té limitacions, com per exemple el fet que perquè es pugui detectar un planeta, l'estrella que teòricament acull un planeta ha d'estar alineada amb una font de llum més distant.

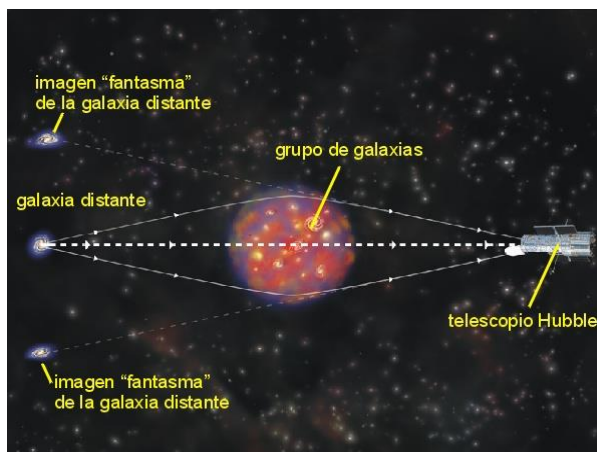


Fig. 31: Esquema on s'explica l'efecte de lent gravitacional

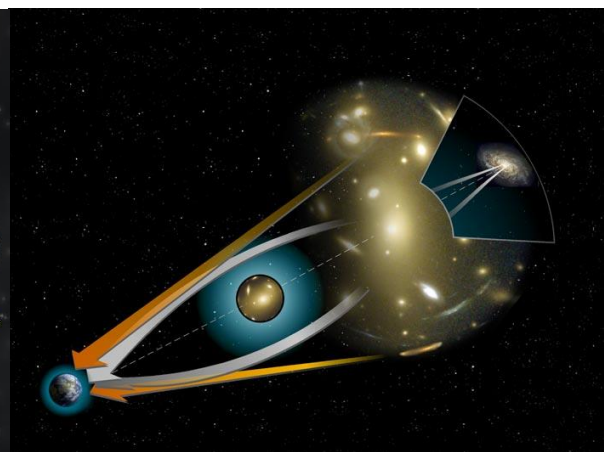


Fig. 32: Representació gràfica de l'efecte de lent gravitacional

### 3.3.2.3 Pertorbacions en discs circumestelars

Quan un sistema encara s'està formant i encara compta amb un disc d'acreció, és possible detectar planetes ja que interactuen amb el material del disc, fa que es desplaci i quedin zones amb més quantitat de material i zones amb menys.

A partir d'aquest mètode s'ha aconseguit descobrir un planeta orbitant l'estrella Formalhaut i 3 més orbitant l'estrella Pictoris B.

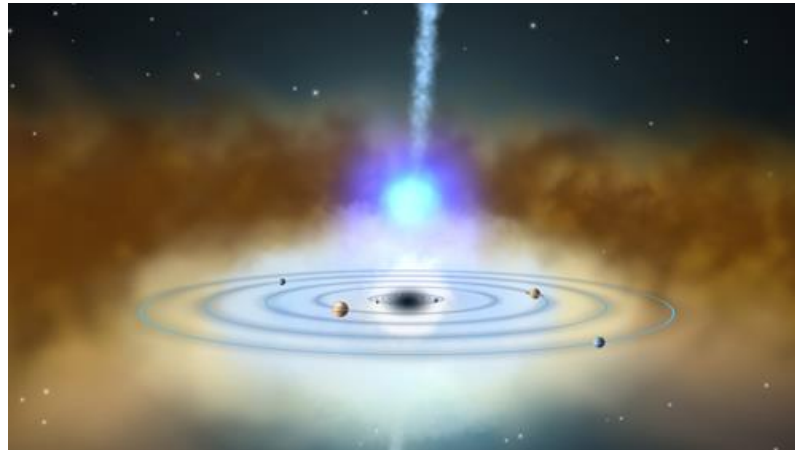


Fig. 33: Representació d'un sistema de planetes en etapa de formació bastant avançada on encara es pot observar el disc d'acreció.

### 3.3.2.4 Observació directa

L'observació directa sembla que sigui el mètode més simple però alhora d'observar exoplanetes és un dels mètodes més complexos ja que estan situats a grans distàncies i resulta molt i molt complicat obtenir imatges d'exoplanetes.

Una de les fotografies que es tenen d'exoplanetes amb major qualitat va ser obtinguda a principis d'aquest estiu i es va dur a terme a partir d'imatges obtingudes amb 3 telescopis diferents: El VLT (Very Large Telescope) de l'observatori espacial europeu, ubicat al desert d'Atacama; el Keck, que es troba a Hawaii y el telescopi de Calar Alto, a les Illes canàries. Combinant les imatges dels 3 telescopis finalment s'ha pogut obtenir la imatge d'un exoplaneta.



Fig. 34: Imatge de l'exoplaneta CVSO 30c obtinguda a partir del processament d'imatges del VLT, del Keck i del Calar Alto

### 3.3.2.5 Mètode de trànsit

Molts exoplanetes han estat detectats a partir d'aquest mètode, un dels més usats juntament amb el de la velocitat radial. Aquest consisteix en prendre fotografies d'una estrella i processar-les amb programes informàtics i observar diversos paràmetres, un d'ells és magnitud aparent. La magnitud aparent és la quantitat de llum que arriba a la Terra de l'objecte en qüestió i es calcula

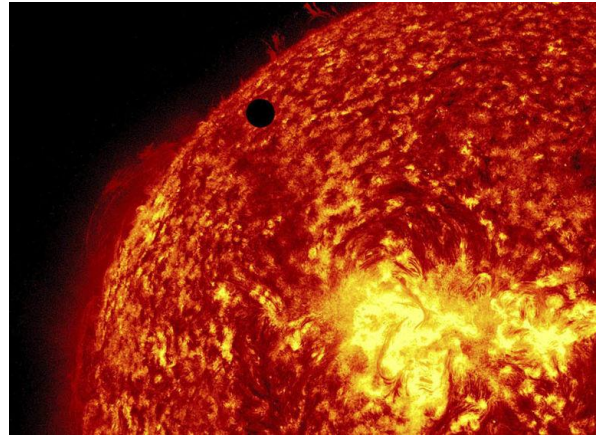


Fig. 35: Trànsit de Venus del 06/06/2012. Va poder ser observat arreu del món

a partir d'una escala logarítmica. Si la magnitud aparent de l'objecte que estem estudiant no varia vol dir que no hi ha cap exoplaneta orbitant-la. Per contra, si varia pot ser degut a diversos factors, un d'ells que simplement sigui una estrella variable (no sempre emet la mateixa quantitat de llum), el mateix efecte que observem d'una estrella fixe quan un planeta passa per davant seu i es troba entre l'estrella i la Terra. Això ho podem afirmar quan el trànsit és periòdic, és a dir, quan passa cada certa quantitat de temps i s'ha pogut calcular la massa del planeta hipotètic Sense calcular-ne la massa no ho podríem afirmar ja que es podria tractar d'altres objectes com per exemple d'una nana marró.

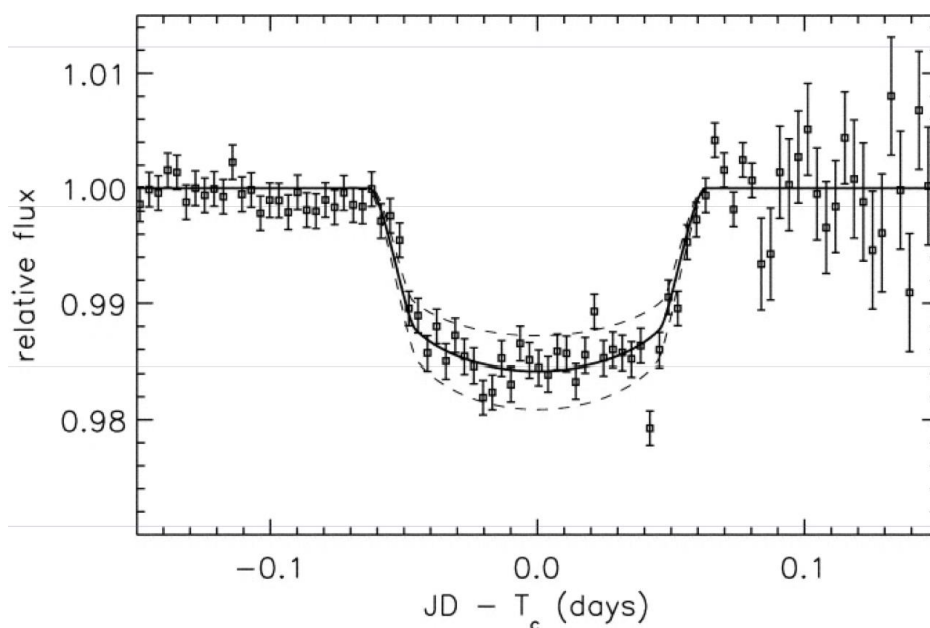


Fig. 36: Corba de llum del trànsit de l'exoplaneta HD 209458 obtinguda a partir del processament d'imatges fetes pel telescopi espacial Hubble

El trànsit d'un planeta per davant de la seva estrella normalment és definit per 2 paràmetres: la durada del trànsit i la profunditat, que és la variació de la llum que arriba de l'estrella.

Profunditat del trànsit: És la variació de la quantitat de llum que ens arriba de l'estrella que estem estudiant (que té o que suposem que té un planeta orbitant). La quantitat de llum que ens arriba de l'estrella disminueix quan el planeta es troba entre l'estrella i la Terra. Amb aquesta dada, obtinguda a partir de la corba de llum aconseguida a partir del processament de fotografies, es pot deduir la mida del planeta respecte a la seva estrella, de la qual n'haurem obtingut el radi a partir d'un anàlisi del seu espectre. S'obté amb la següent equació:

$$\frac{\Delta F}{F} = \frac{R_p^2}{R_E^2}$$

*F: Flux lumínic mitjà que emet l'estrella (1)*

*$\Delta F$ : Tant per 1 de la variació del Flux lumínic mitjà de l'estrella*

*$R_p^2$ : Valor del radi del planeta que orbita l'estrella elevat al quadrat*

*$R_E^2$ : Valor del radi de l'estrella que és orbitada pel planeta al quadrat*

Exemple: Kepler-22b

El descobriment del planeta Kepler-22b va ser dut a terme per la missió Kepler i va ser anunciat l'any 2011. Es troba a 587 anys llum de la Terra.

$$\frac{\Delta F}{F} = \frac{R_p^2}{R_E^2}$$

$$\frac{0,0005}{1} = \frac{R_p^2}{681.090.300^2}$$

$$R_p^2 = (0,0005 \cdot 4,64 \cdot 10^{17})$$

$$R_p = \sqrt{2,32 \cdot 10^{14}}$$

$$R_p = 15.231.546,2m = 15.231,5462km$$

Aquí podem veure com amb la informació que ens proporciona la corba llum, la variació del flux; i el radi de l'estrella, podem concloure que el radi del planeta Kepler-22b és de 15.231,5463km (2,4 vegades major que el de la Terra).

Durada del trànsit: A partir del temps que dura el trànsit i la mida de l'estrella es pot determinar el període, P (temps que tarda el planeta a completar una volta a la seva estrella) a partir de la següent igualtat:

$$\frac{T_{dur}}{2 \cdot R} = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot a}$$

$$T_{dur} = P \cdot \frac{\text{longitud arc } V - W}{2 \cdot \pi \cdot a} = P \cdot \frac{2 \cdot R}{2 \cdot \pi \cdot a} = \frac{P \cdot R}{\pi \cdot a}$$

escrivim el valor de l'angle que forma l'arc a partir de la fórmula del sinus:

$$\sin\theta = \frac{R}{a} \rightarrow \theta = \sin^{-1}\left(\frac{R}{a}\right)$$

substituïm a l'altra equació la longitud de l'arc a partir de la fórmula matemàtica  $S = a \cdot \theta$

$$T_{dur} = P \cdot \frac{2 \cdot a \cdot \sin^{-1}\left(\frac{R}{a}\right)}{2 \cdot \pi \cdot a} = \frac{P}{\pi} \sin^{-1}\left(\frac{R}{a}\right)$$

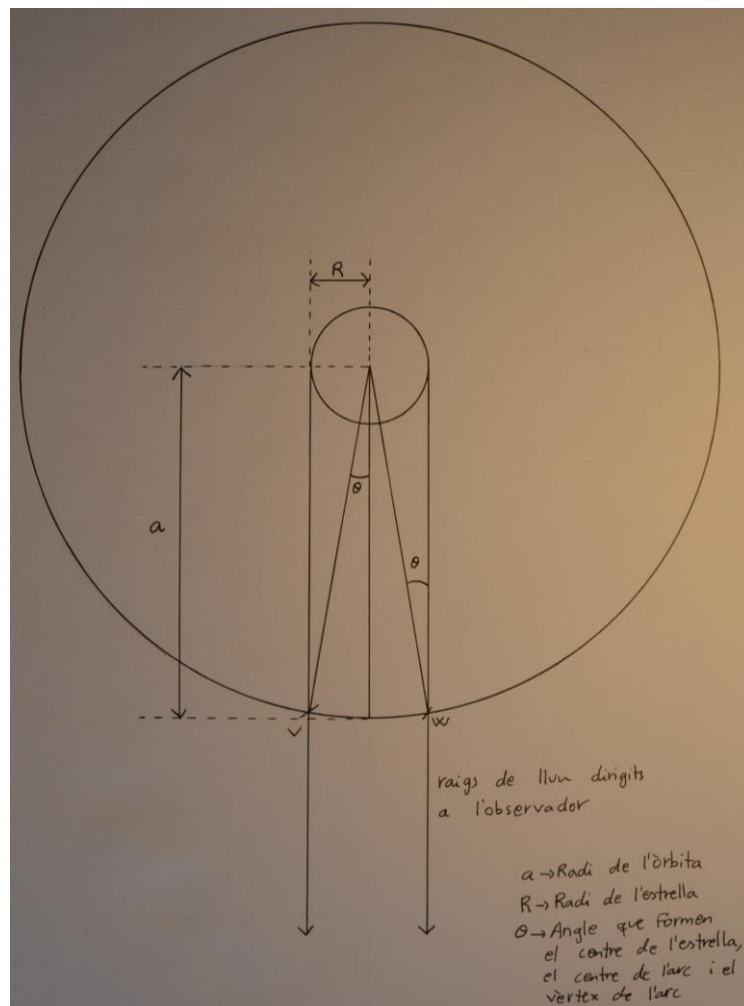


Fig. 37: Esquema que explica d'on vénen les magnituds que s'utilitzen a les fórmules. Podem observar una estrella (cercle central de radi R) i l'òrbita d'un planeta (cercle extern de radi a)

Exemple: Càlcul del període del planeta Kepler-3b (HAT-P-11b)

Durada del trànsit: 2,233 hores

Radi de l'estrella HAT-P-11 o Kepler 3 (R) que orbita el planeta: 0,683 R<sub>s</sub>

Radi de l'òrbita (a)=0,053 UA

$$R = 0,683 R_s \times \frac{695.700 \text{ km}}{1 R_s} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} = 475.163.100 \text{ m}$$

$$a = 0,053 \text{ UA} \times \frac{150.000.000 \text{ km}}{1 \text{ UA}} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} = 7,95 \cdot 10^9 \text{ m}$$

$$T_{dur} = 2,233 \text{ hores} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 8038,8 \text{ s}$$

$$T_{dur} = \frac{P}{\pi} \sin^{-1} \left( \frac{R}{a} \right)$$

$$8.038,8 = \frac{P}{\pi} \sin^{-1} \left( \frac{475.163.100}{7,95 \cdot 10^9} \right)$$

$$P = \frac{8.038,8 \cdot \pi}{\sin^{-1} \left( \frac{475.163.100}{7,95 \cdot 10^9} \right)} = \frac{8.038,8 \cdot \pi}{0,0598} = 422285,9238 \text{ s} = \mathbf{4,89 \text{ dies}}$$

A partir d'aquests càlculs podem saber que el planeta Kepler-3b tarda 4,89 dies en completar una volta al voltant de la seva estrella.



## MARC PRÀCTIC

### 4. DETECCIÓ D'UN EXOPLANETA PEL MÈTODE DE TRÀNSIT

#### 4.1 Metodologia

##### 4.1.1 Objectiu

La finalitat de la part pràctica del treball és poder detectar exoplanetes i aconseguir informació sobre aquests, alguns paràmetres com per exemple el període o el radi. Això es farà a partir de fotografies amb una càmera CCD acoblada a un telescopi i el posterior processament d'aquestes. A partir de la informació obtinguda obtindrem alguns paràmetres a partir d'operacions matemàtiques.

##### 4.1.2 Material

Per dur a terme la part pràctica he utilitzat el material següent:

- Telescopi (Takahashi Mewlon de 8") amb sistema GOTO
- Muntura Losmandy G-42 amb sistema de seguiment
- Cúpula Sirius de 3,5m de diàmetre
- Ordinador per dirigir el telescopi
- Càmera CCD per enregistrar fotografies amb el telescopi
- Ordinador amb el programa Muniwin per processar les imatges i obtenir la corba de llum

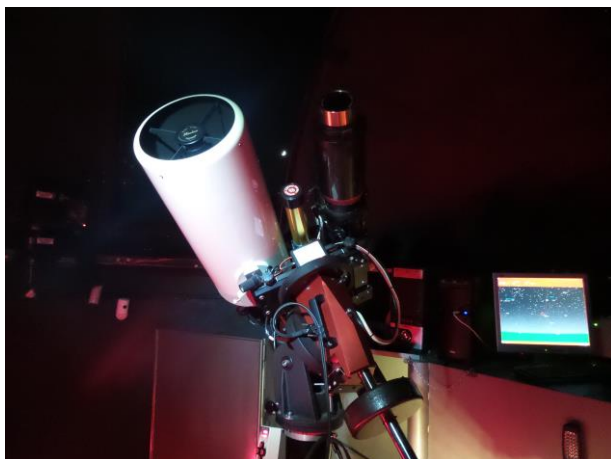


Fig. 38: Imatge dels instruments utilitzats per l'observació. El tub blanc correspon al telescopi, subjectat a la muntura per la part inferior. A la part dreta de la imatge podem observar l'ordinador amb el programari necessari per guiar el telescopi.



Fig. 39: Imatge de la càmera CCD. Aquesta va acoblada al telescopi i és el que ens permet enregistrar les imatges. Va connectada a l'ordinador amb un cable per poder passar les fotos obtingudes al disc dur.



### 4.1.3 Procediment

1. En primer lloc cal contactar amb algú o alguna associació que disposi de material suficientment sofisticat per dur a terme l'observació. Vaig escollir l'observatori que pertany a l'associació astronòmica de Girona ja que havia assistit a un curs d'astronomia on el seu president n'era el professor i ja el coneixia. Aquest observatori es coneix com a Observatori Can Roig (codi MPC C99) localitzat a Llagostera. Tota la instrumentació pot ser operada manualment, a partir de l'ordinador que es troba dins la mateixa cúpula o remotament via internet des de qualsevol punt del món.

2. Un cop tenim el material necessari a la nostra disposició cal anar a una pàgina web que tingui una base de dades per poder saber el moment que tindran lloc els trànsits que volem estudiar i quina serà la durada d'aquests. S'ha de mirar que el trànsit pugui ser observable des del lloc de la Terra on ens trobem i que en aquell moment sigui de nit. Nosaltres vam utilitzar la pàgina web ETD (Exoplanet Data Base), sigles en anglès que signifiquen base de dades de trànsits d'exoplanetes.

3. Un cop decidit el trànsit que volem estudiar cal anar a l'observatori aproximadament una hora abans. En arribar cal obrir la cúpula i posar el telescopi i l'ordinador en marxa. Anem a la pàgina web ETD per buscar les coordenades de l'estrella orbitada pel planeta que volem estudiar i les introduïm a l'ordinador per tal que el telescopi es dirigeixi a l'indret del cel corresponent.

4. Un cop el tenim enfocat cal prendre una imatge d'entre 30 i 50 segons d'exposició. Cal que sigui d'exposició ja que les estrelles que volem observar estan a molta distància i només ens arriba una petita quantitat de llum, d'aquesta manera la càmera n'agafa molta més i surt ben definida.

5. Un cop obtinguda cal comparar aquesta amb la imatge de referència que trobem a la base de dades d'internet per tal d'identificar l'estrella senyalada a la fotografia obtinguda prèviament. Un cop l'hem trobat cal centrar l'estrella movent el telescopi per tal d'obtenir-ne de millor qualitat durant el trànsit.



Fig. 40: Foto model que trobem a la pàgina web ETD

6. Un cop tenim l'estrella centrada cal començar a fer fotografies. Per poder obtenir la corba de llum per posteriorment determinar alguns paràmetres cal començar a fer fotografies abans que comenci el trànsit i un cop acabat el trànsit. Per tal de facilitar la tasca cal programar la càmera CCD que està acoblada al telescopi perquè faci fotos d'exposició en intervals d'uns pocs segons. El temps d'exposició ha de ser d'entre 30 i 60 segons i l'interval entre fotografies d'uns 2 segons. Després d'haver-la programat la càmera anirà fent fotografies, començant 15 minuts abans que comenci el trànsit fins 15 minuts després que hagi acabat aproximadament.

7. Un cop obtingudes les fotografies cal processar-les amb un programa informàtic concret, el Muniwin, per tal d'obtenir la corba de llum.

Per poder obtenir una corba de llum a partir de les fotografies cal seguir els següents passos:

### 7.1 Obrir el programa. Veiem que apareix el menú principal

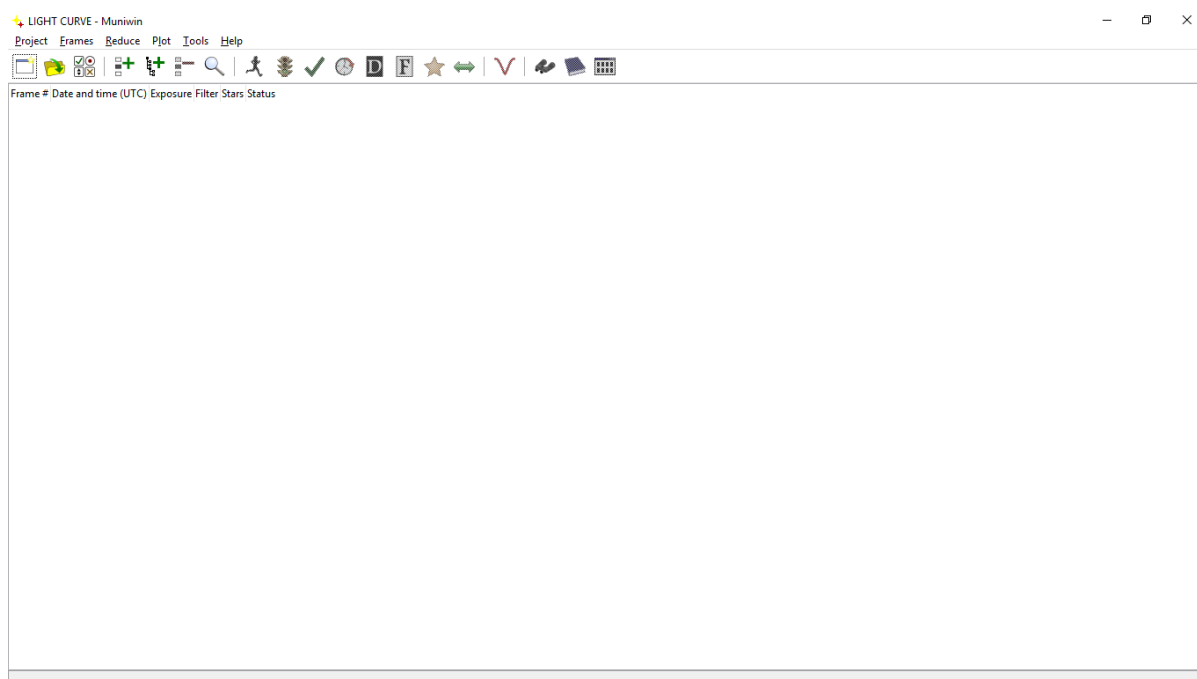


Fig. 41: Captura de pantalla del programa Muniwin per explicar el seu funcionament

7.2 Prémer la icona seleccionada a l'anterior fotografia per tal que se'ns obri una pestanya que ens deixa escollir quin tipus de projecte volem fer. En el nostre cas corba de llum. Posar nom al projecte i clicar "OK".

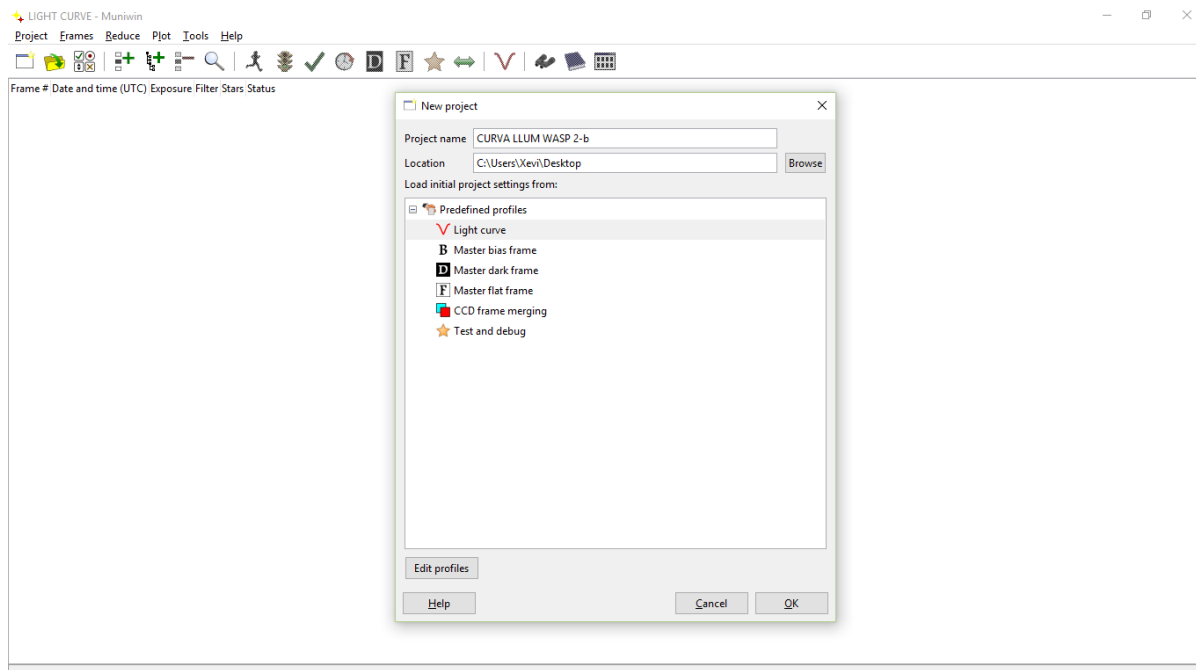


Fig. 42: Captura de pantalla del programa Muniwin per explicar el seu funcionament

7.3 Veiem que de nou ens quedarà el menú principal. Anem a la pestanya "frames" (fotografies) i cliquem "add individual frames" (afegeix fotografies individuals).

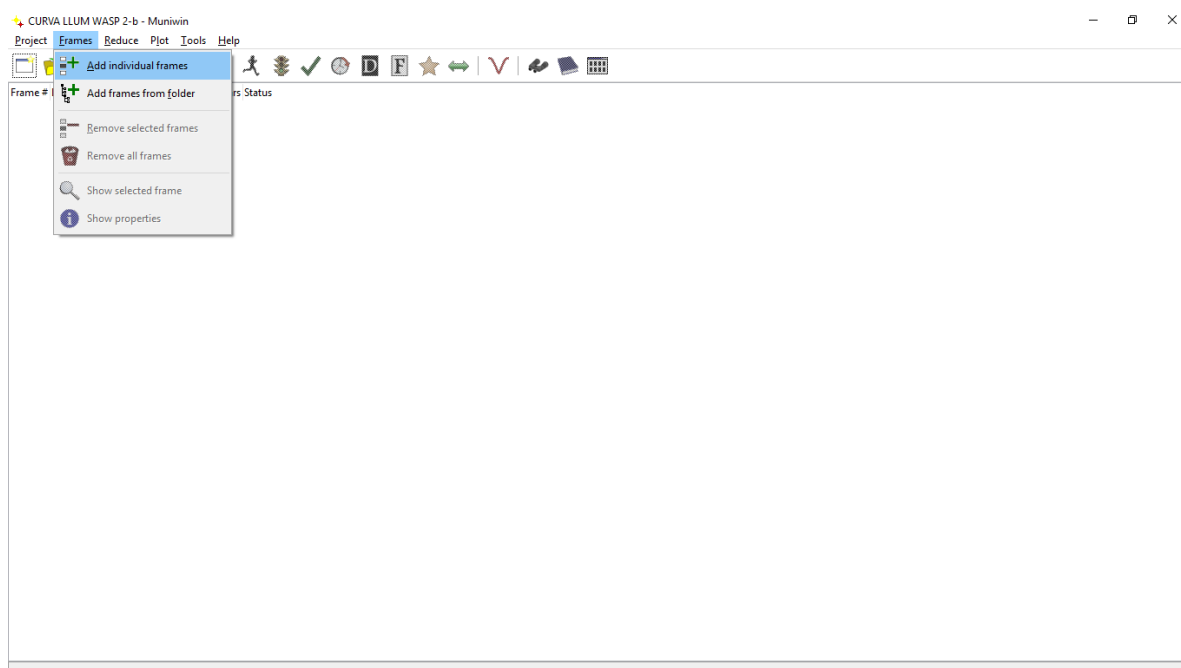


Fig. 43: Captura de pantalla del programa Muniwin per explicar el seu funcionament

7.4 Se'ns obrirà una pestanya que ens permetrà seleccionar les fotografies preses amb el telescopi (prèviament les haurem guardat a l'ordinador) i premerem "Add (afegir) per tal d'importar-les al programa.

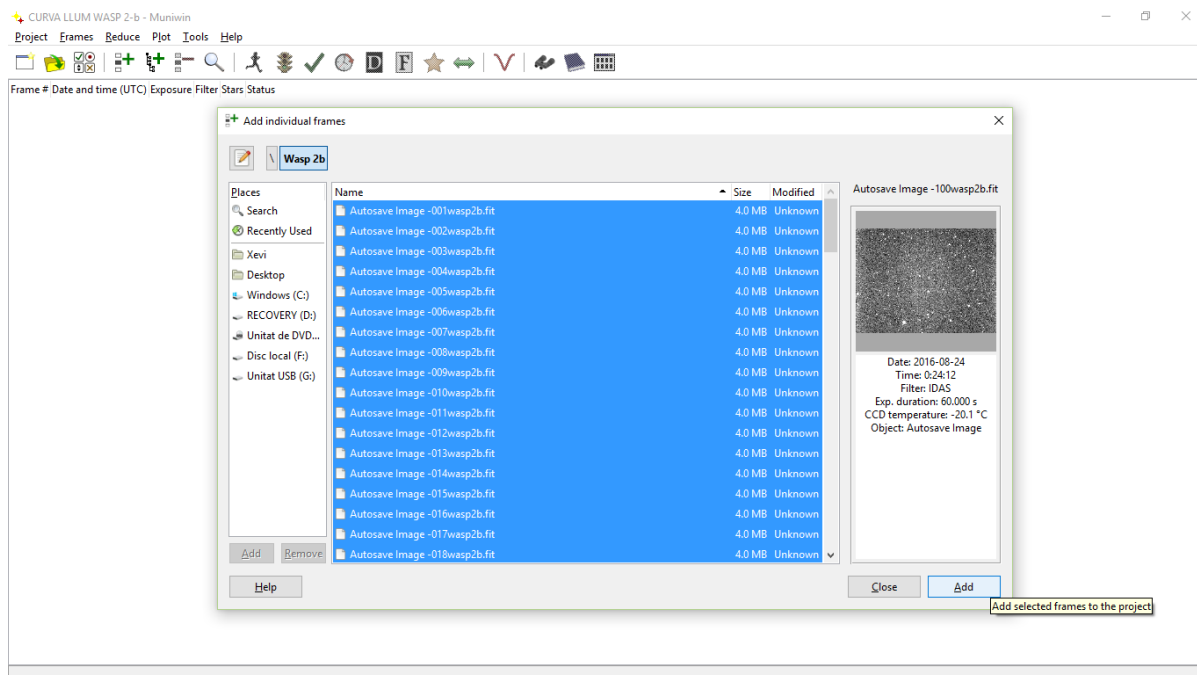


Fig. 44: Captura de pantalla del programa Muniwin per explicar el seu funcionament

7.5 Un cop importades les fotografies cal anar a "Reduce" i llavors a "Express reduction". Se'ns obrirà la pestanya mostrada a la fotografia i haurem de clicar "OK" per tal de transformar les imatges en escala de grisos.

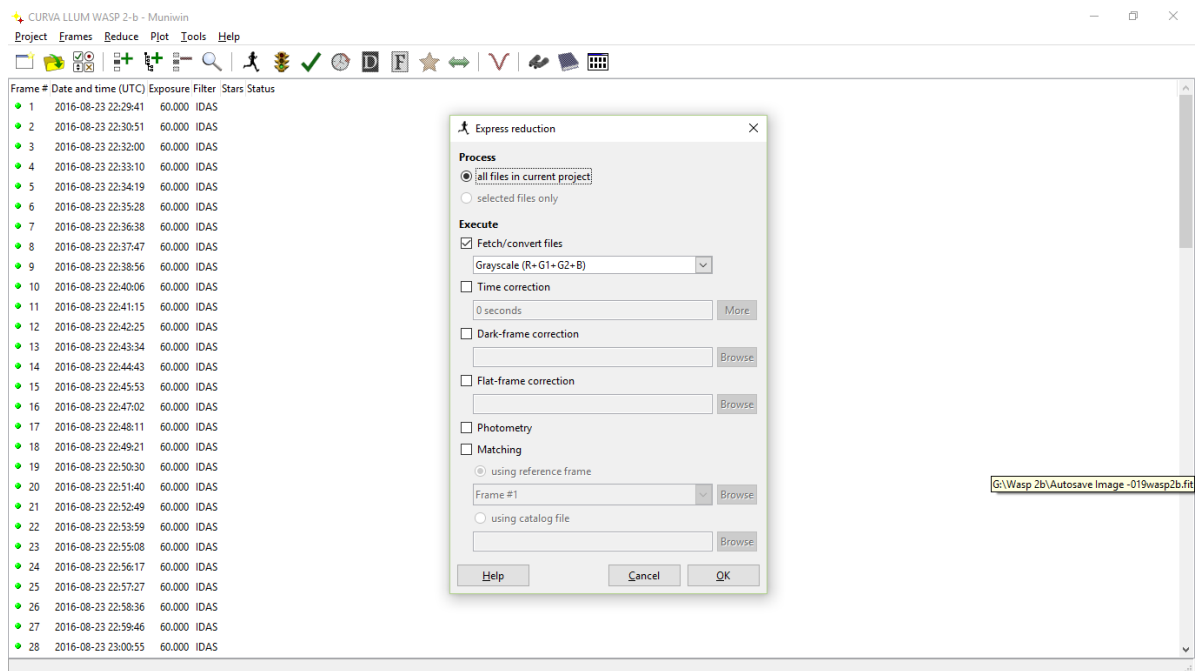


Fig. 45: Captura de pantalla del programa Muniwin per explicar el seu funcionament

7.6 Un cop tenim les imatges en escala de grisos cal anar a “Reduce” i llavors clicar “Photometry”.

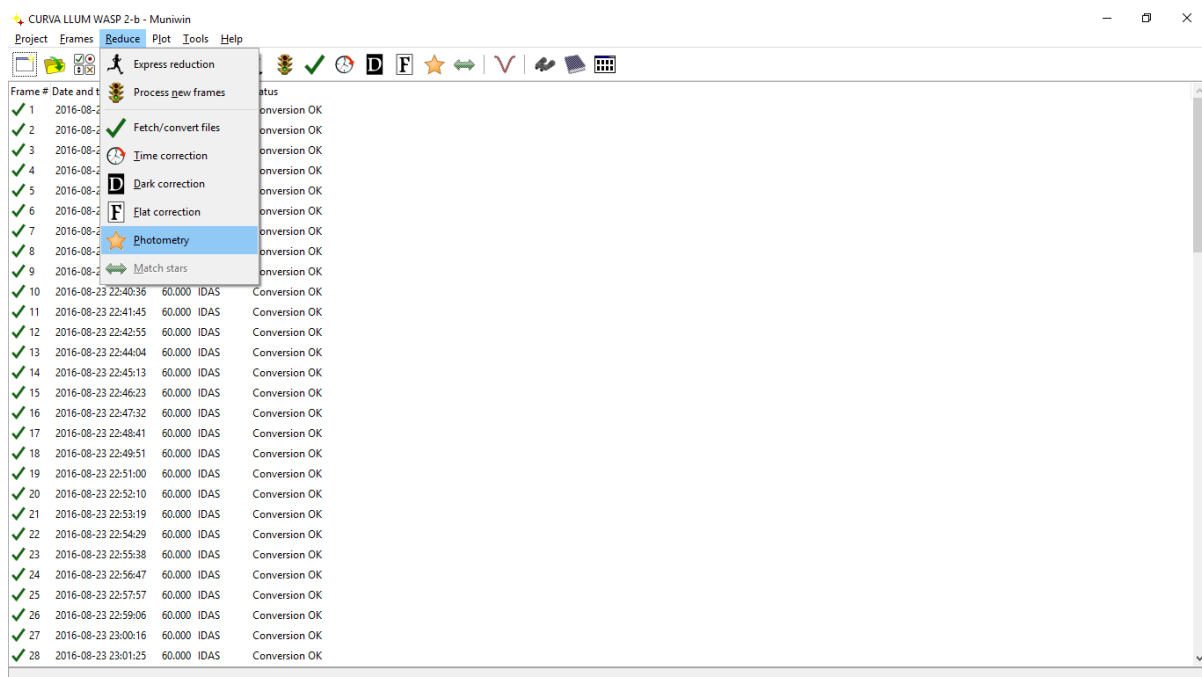


Fig. 46: Captura de pantalla del programa Muniwin per explicar el seu funcionament

7.7 Se'ns obrirà una pestanya i haurèm de clicar “OK” per tal que iniciï el procés de tria de les imatges, descartar les de mala qualitat.

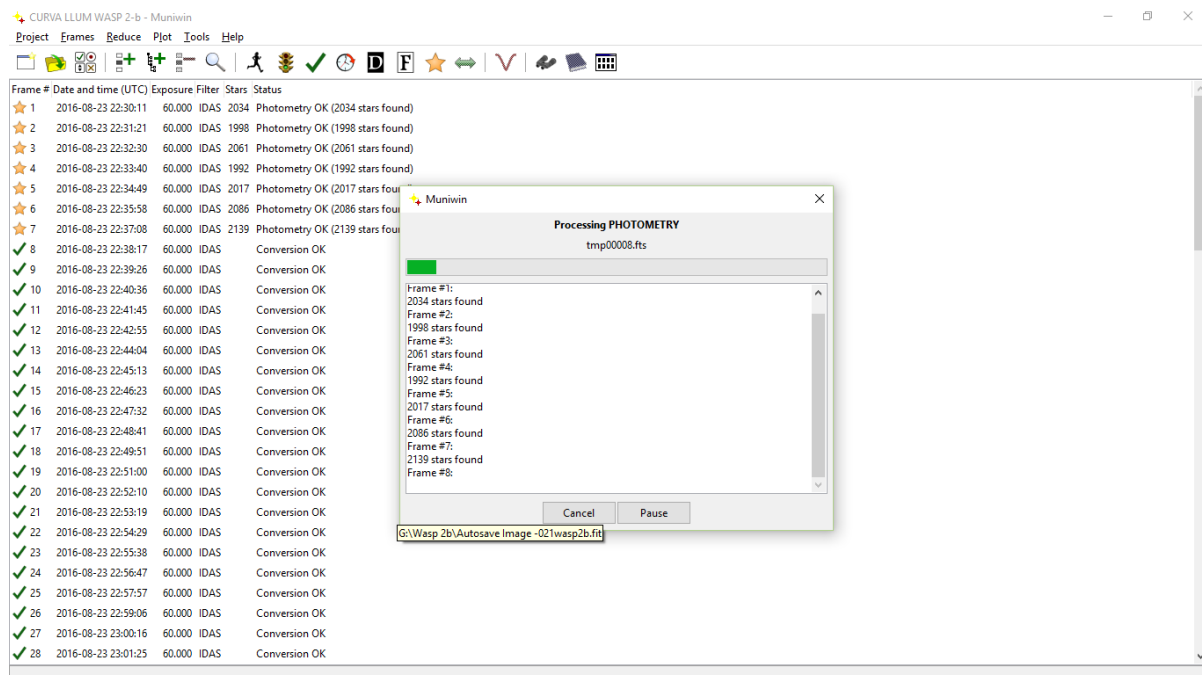


Fig. 47: Captura de pantalla del programa Muniwin per explicar el seu funcionament

7.8 Posar el ratolí sobre la icona on diu "Reduce" per tal que s'obri una pestanya i puguem clicar sobre la icona "Match stars"

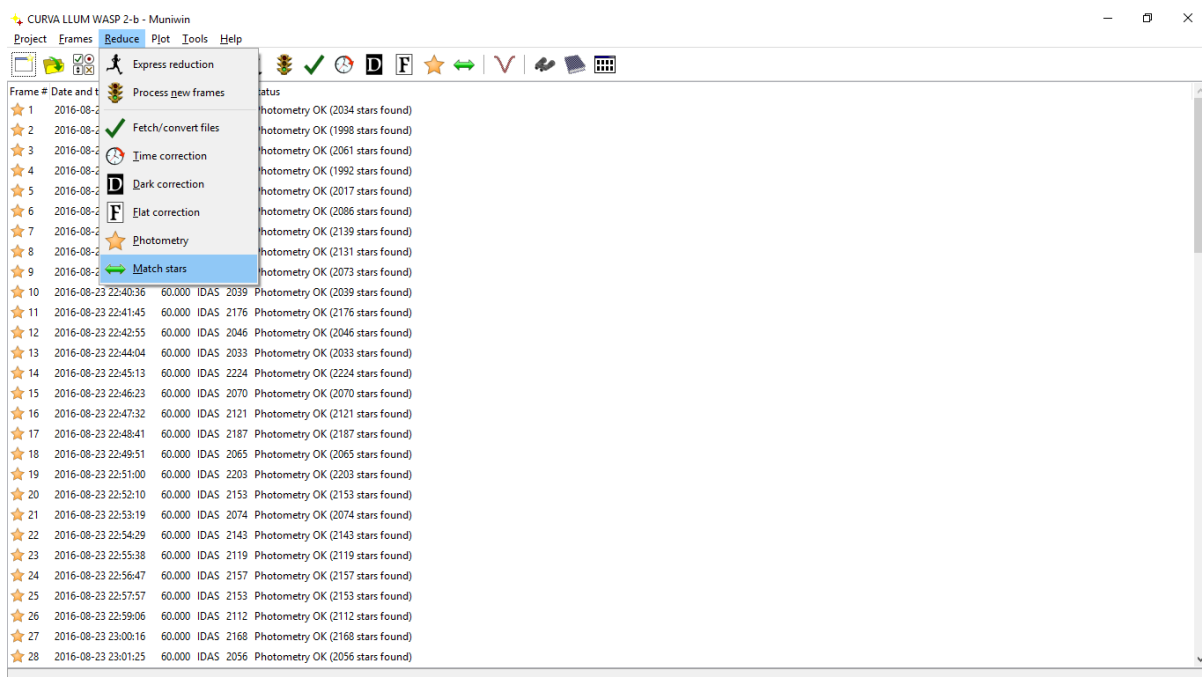


Fig. 48: Captura de pantalla del programa Muniwin per explicar el seu funcionament

7.9 Se'ns obrirà una pestanya on surten totes les fotografies que hem importat al programa. Llavors cal escollir la foto de millor qualitat, la que es vegin les estrelles més ben definides. Descartarà les imatges que no tinguin les mateixes estrelles que la resta (en aquest cas en va descartar una)

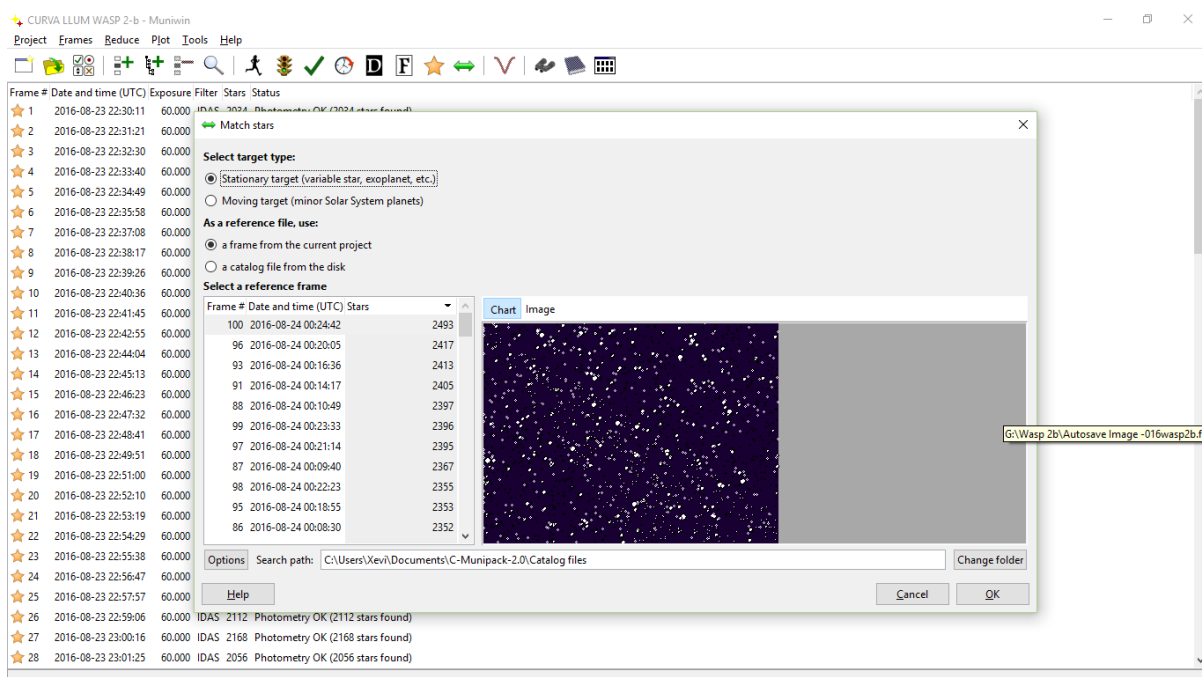


Fig. 49: Captura de pantalla del programa Muniwin per explicar el seu funcionament

7.10 Seguidament cal clicar sobre la icona dels prismàtics. S'obrirà una pestanya que ens pregunta si volem buscar les variables (estrelles fixes i l'estrella a observar) entre totes les fotografies. Cliquem "OK"

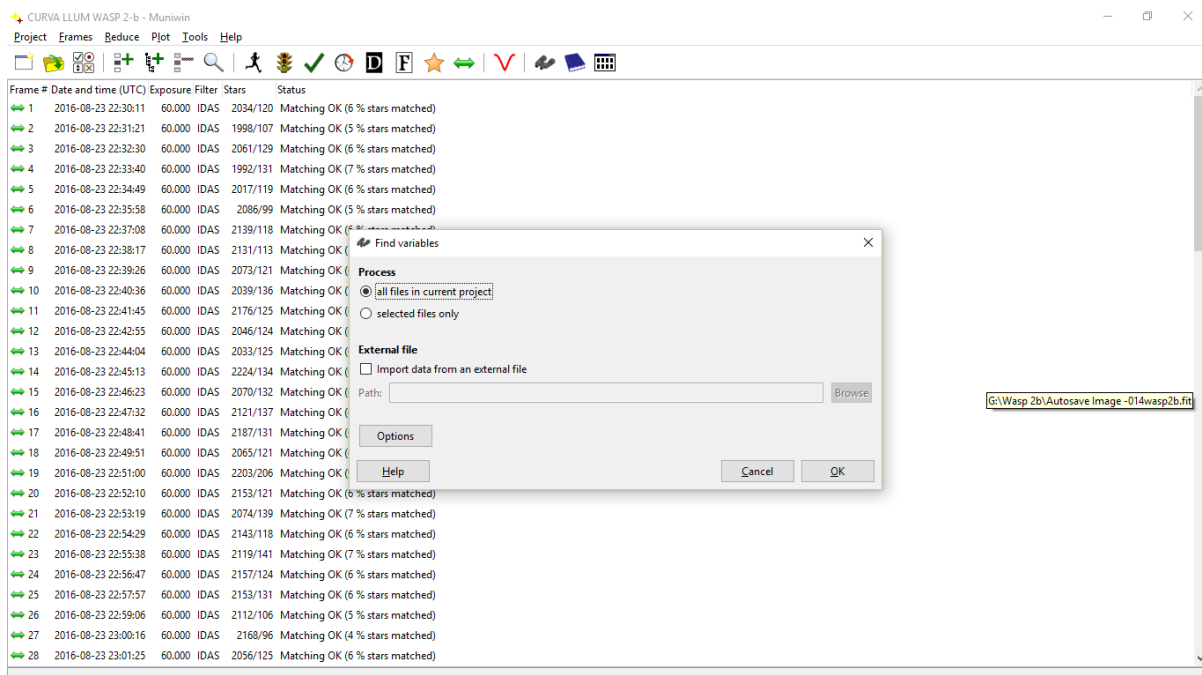


Fig. 50: Captura de pantalla del programa Muniwin per explicar el seu funcionament

7.11 Se'ns obrirà una pestanya amb la foto de referència que hem escollit anteriorment i haurèm d'escollir una estrella variable (no sempre emet la mateixa quantitat de llum) i l'estrella que volem estudiar. El programa ens senyala quines són variables i quines no ho són.

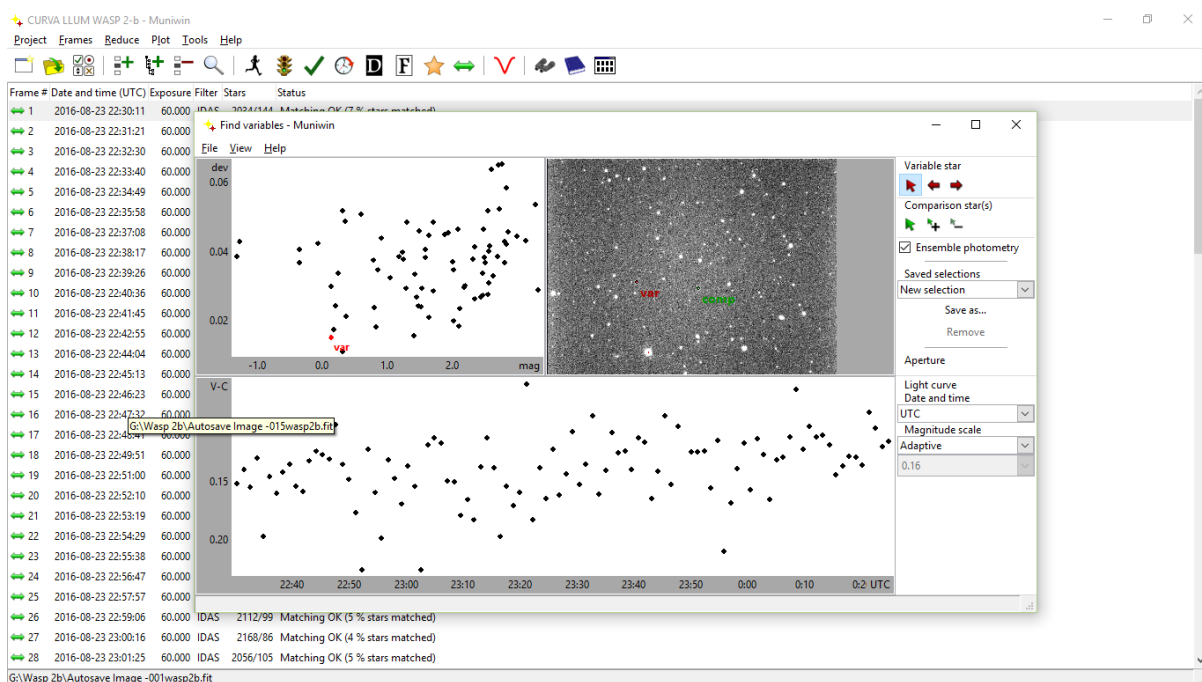


Fig. 51: Captura de pantalla del programa Muniwin per explicar el seu funcionament



7.12 Un cop escollides tanquem aquesta pestanya i cliquem sobre la icona de la “V” vermella. Se’ns obrirà una pestanya amb la fotografia anterior amb l’estrella variable i la que volem estudiar (aparença d’estrella variable) seleccionades. Haurem de triar dos estrelles més de control, estrelles fixes.

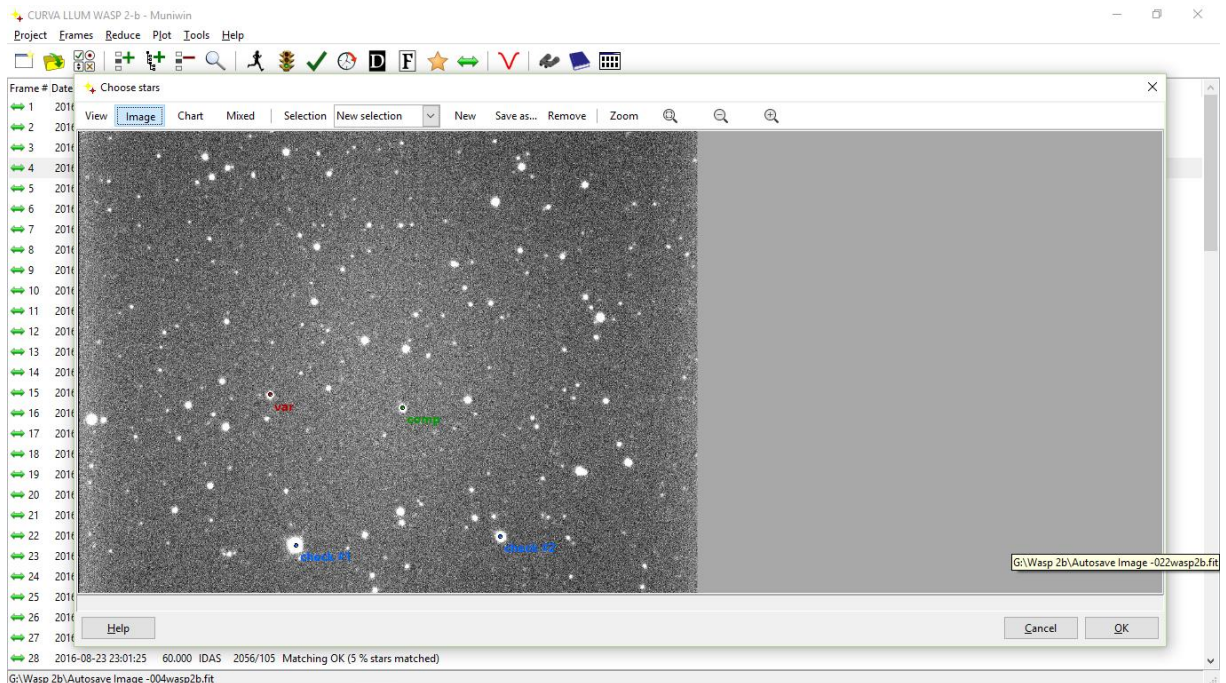


Fig. 52: Captura de pantalla del programa Muniwin per explicar el seu funcionament

7.13 Cliquem “OK” i obtindrem una primera corba de llum. A partir d’aquí haurem d’anar variant els paràmetres per obtenir-ne una de ben definida

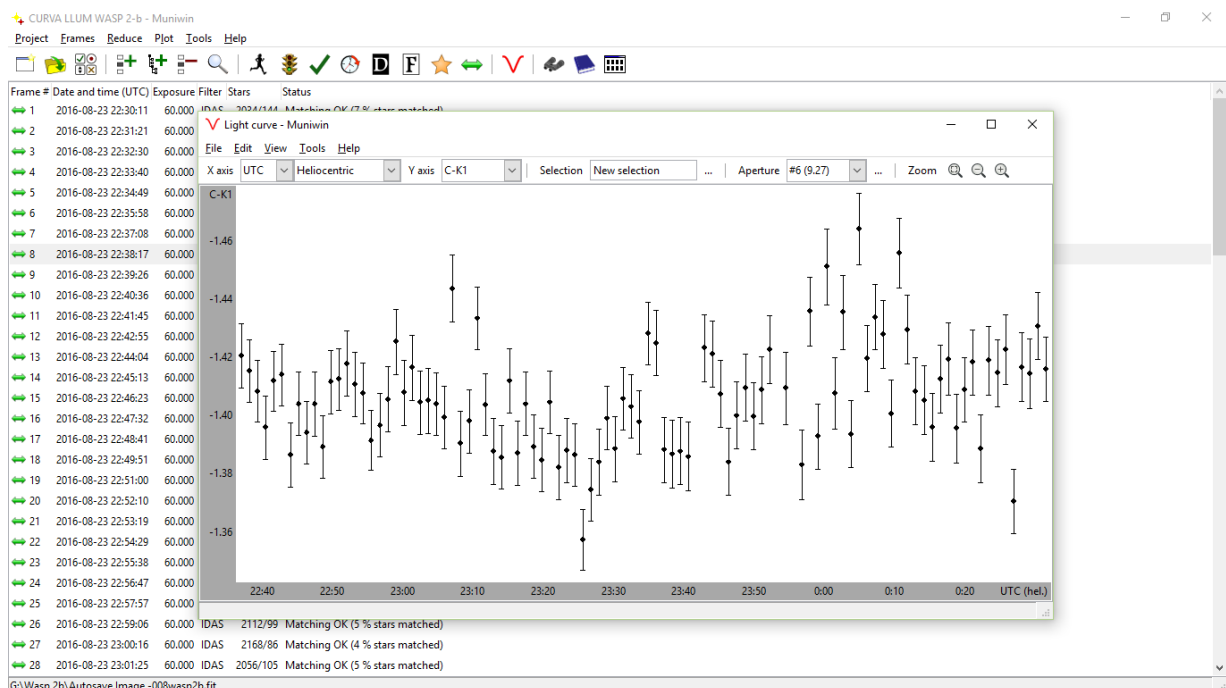


Fig. 53: Captura de pantalla del programa Muniwin per explicar el seu funcionament



8. Un cop obtinguda la corba de llum desem el fitxer en el format predeterminat del programa (.txt).

9. Anem a la web ETD i cliquem a "Model-fit Your Data" i pengem el fitxer que hem creat. Obtindrem una corba de llum ben definida com la següent. A més, obtindrem informació del trànsit, com per exemple la variació de la lluminositat de l'estrella que ens serà molt útil per poder-ne calcular el radi.

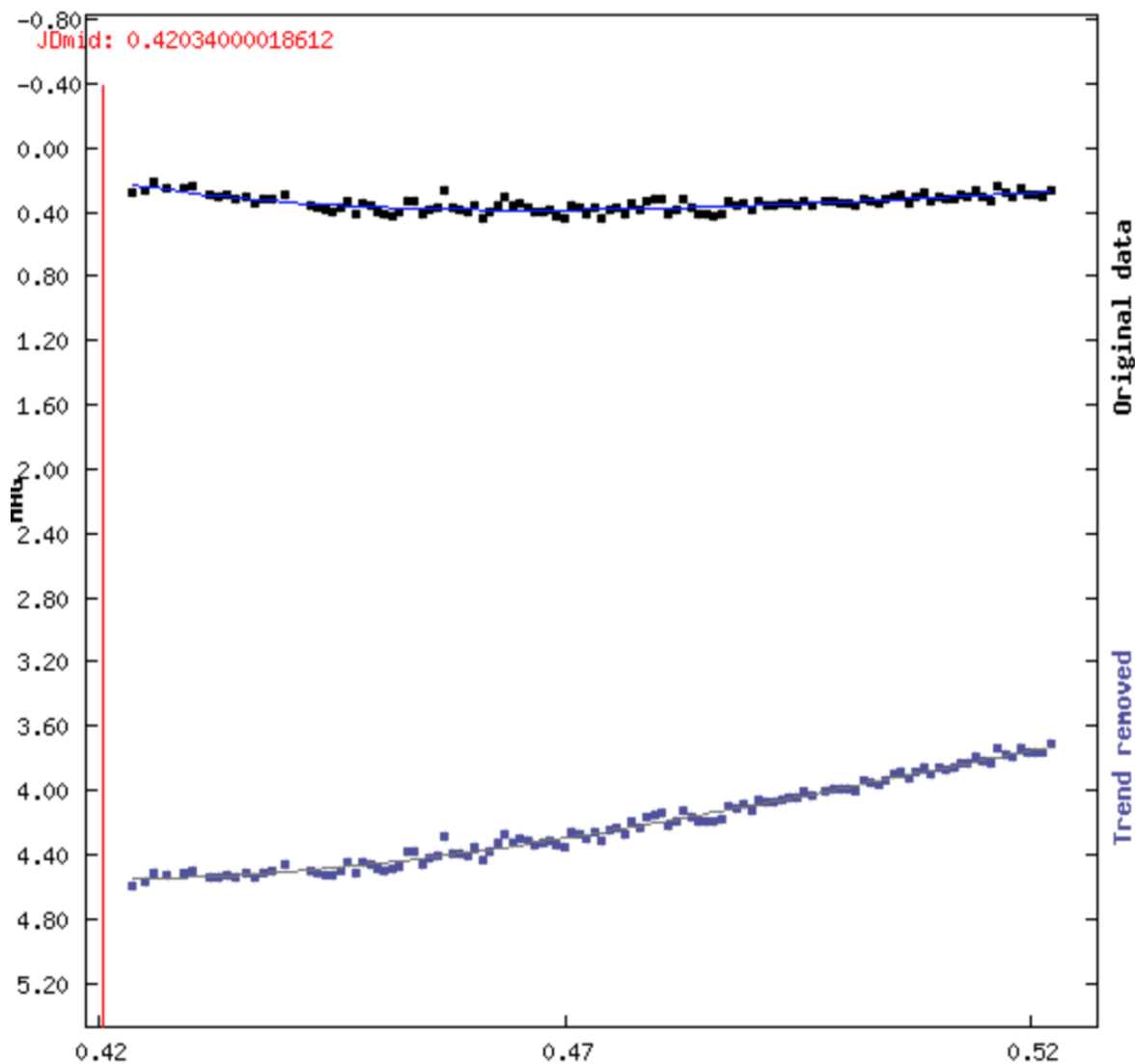


Fig. 54: Corba de llum d'un planeta

Fit / find out	<input checked="" type="radio"/> ON	default / prediction :
<b>HJD midtransit:</b>	<input type="radio"/> OFF	<input type="text" value="2457624.464"/>
Fit / find out	<input checked="" type="radio"/> ON	default / prediction :
<b>transit duration:</b>	<input type="radio"/> OFF	<input type="text" value="107.9"/> minutes
Fit / find out	<input checked="" type="radio"/> ON	default / prediction :
<b>planet radius =&gt; transit depth:</b>	<input type="radio"/> OFF	<input type="text" value="0.125"/> R <sub>star</sub>
impact factor :		(SemiMajorAxis*cos(Inclination)/R <sub>star</sub> ) :
		<input type="text" value="0.732"/>
Limb darkening :		default value :
		<input type="text" value="0.5"/>

Fig. 55: Dades concretes sobre un planeta obtingudes a partir de l'anàlisi que fa la web ETD del fitxer elaborat amb en Muniwin

10. A partir de la informació obtinguda, la variació de la llum principalment; podem calcular el radi i el període del planeta a partir de les expressions matemàtiques que s'han explicat a l'apartat "Mètode de trànsit".

Càlcul del radi del planeta

$$\frac{\Delta F}{F} = \frac{R_P^2}{R_E^2}$$

Càlcul del període del planeta

$$T_{dur} = \frac{P}{\pi} \sin^{-1} \left( \frac{R}{a} \right)$$

## 4.2 Trànsit del planeta WASP 2b

La matinada del dia 24 d'agost vaig anar a l'observatori astronòmic de Llagostera acompanyat de l'astrònom amateur Rafael Balaguer per tal de dur a terme fotografies de l'estrella WASP-2 ja que entre les 0:14 i les 2:02 el planeta WASP-2b hi passaria per davant. Vam observar aquest planeta ja que era el que ens anava bé per tema horari ja que el trànsit no arribava a les 2 hores i era a una hora relativament raonable. Hi ha trànsits que duren 4 hores o més i que comencen a la 1 o a les 2 de la matinada. Per poder fer fotografies de l'estrella que té l'exoplaneta que volem estudiar en òrbita ens és de gran ajuda la pàgina web ETD (exoplanet data base) ja que ens diu cada dia quins trànsits hi haurà a la nostra posició, en aquest cas Llagostera.

Vam anar a l'observatori, vam posar les coordenades corresponents a l'estrella WASP-2 i el telescopi hi va enfocar ja que té un mecanisme anomenat GOTO. També és imprescindible que el telescopi compti amb una funció de seguiment ja que la Terra es mou més ràpid del que sembla i al llarg de més de 2 hores el planeta haurà canviat molt de posició respecte la nostre.

Vam començar a realitzar fotografies a les 12 de la nit aproximadament, 15 minuts abans que comencés el trànsit d'1 minut d'exposició. Llavors el vam posar en mode automàtic (el telescopi va lligat a un ordinador) i el vam programar perquè fes fotografies d'1 minut d'exposició amb intervals de 2 segons. Les fotografies van ser fetes entre les 12 i les 2:15 de la matinada del 24 d'agost. L'endemà amb el Muniwin vaig obtenir una primera corba de llum. Com podem veure, la variació de llum que observem no és massa clara comparat amb el trànsit estudiat amb el Telescopi espacial Hubble de l'apartat anterior. Això no només es degut a les diferències tècniques entre la instrumentació utilitzada sinó que és degut al processament de les

imatges. Aquest pas és molt important ja que escollir una estrella de referència o una altra pot fer variar moltíssim la corba de llum obtinguda que va ser la següent:

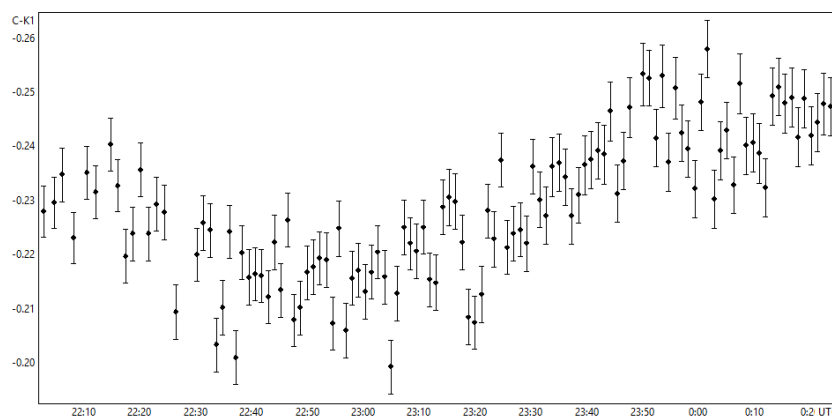


Fig. 56: Corba de llum del planeta WASP-2b obtinguda a partir del processament d'imatges amb el Muniwin

Després d'haver posat el fitxer *txt*. obtingut després de processar les fotos amb el Muniwin hem obtingut la següent corba de llum i les següents dades:

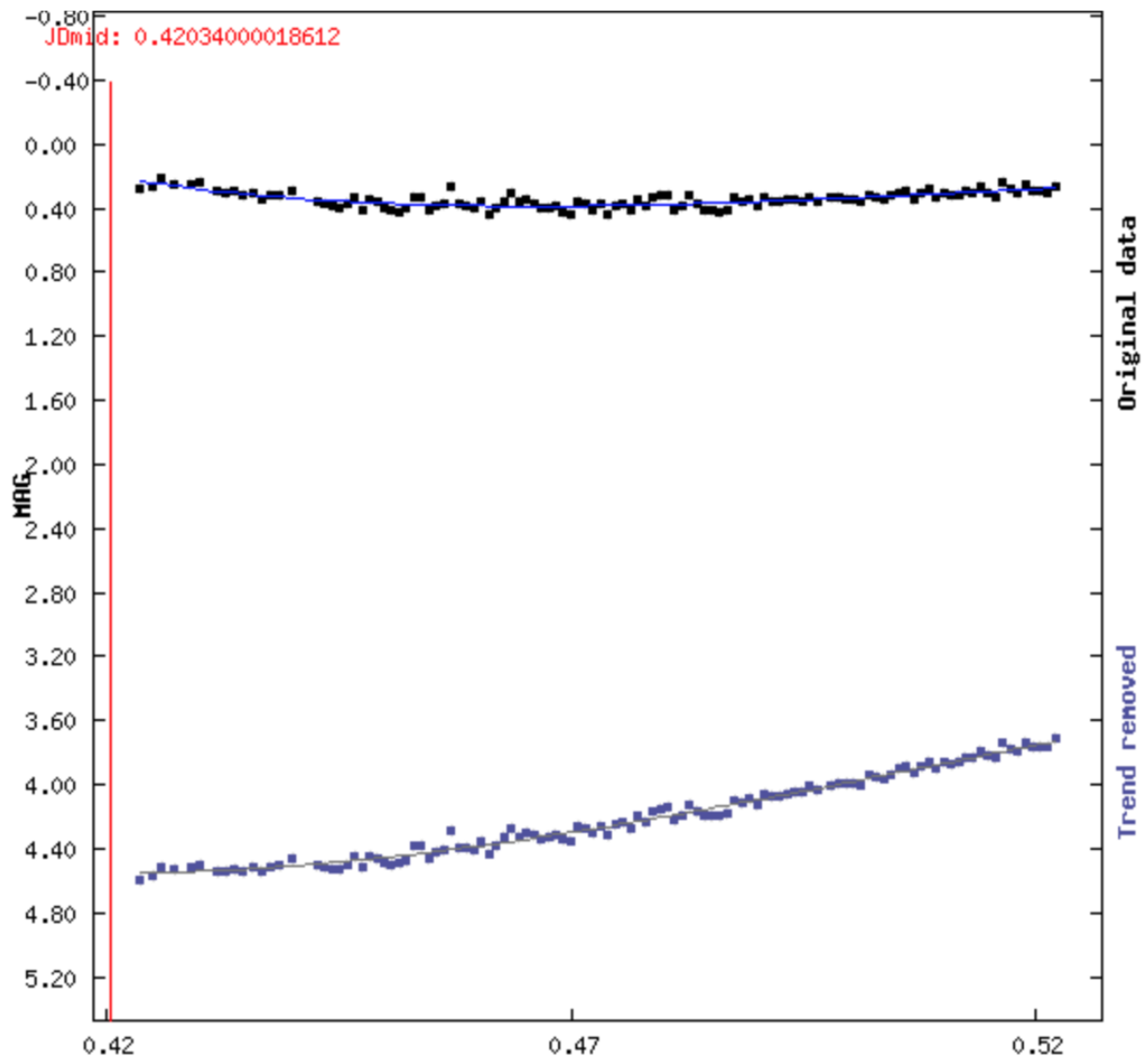


Fig. 57: Corba de llum del planeta WASP-2b obtinguda a partir del processament amb la pàgina web ETD del fitxer elaborat amb el Muniwin

Fit / find out	<input checked="" type="radio"/> ON	default / prediction :
<b>HJD midtransit:</b>	<input type="radio"/> OFF	<input type="text" value="2457624.464"/>
Fit / find out	<input checked="" type="radio"/> ON	default / prediction :
<b>transit duration:</b>	<input type="radio"/> OFF	<input type="text" value="107.9"/> minutes
Fit / find out	<input checked="" type="radio"/> ON	default / prediction :
<b>planet radius =&gt; transit depth:</b>	<input type="radio"/> OFF	<input type="text" value="0.125"/> $R_{star}$
impact factor :		$(SemiMajorAxis * \cos(Inclination)) / R_{star}$ :
		<input type="text" value="0.732"/>
Limb darkening :		default value :
		<input type="text" value="0.5"/>

Fig. 58: Dades concretes sobre el planeta WASP-2b obtingudes a partir de l'anàlisi que fa la web ETD del fitxer elaborat amb en Muniwin

### 4.2.1 Càlcul del radi del planeta

Radi estrella: 580.213.800 m

Variació del flux: 0,02

$$\frac{\Delta F}{F} = \frac{R_p^2}{R_E^2}$$

$$\frac{0,02}{1} = \frac{R_p^2}{580.213.800^2}$$

$$R_p = \sqrt{580.213.800^2 \cdot 0,02}$$

$$R_p = 82.054.622,5 \text{ m} = \mathbf{82.054,6225 \text{ km}}$$

El radi del planeta WASP-2b és de 82.054,6225 km

### 4.2.2 Càlcul del període del planeta

Durada del trànsit (Tdur): 108min = 6.480s

R (radi de l'estrella orbitada pel planeta): 580.312.800m

a (radi de l'òrbita): 4.707.000.000m

$$T_{dur} = \frac{P}{\pi} \sin^{-1} \left( \frac{R}{a} \right)$$

$$6.480 = \frac{P}{\pi} \sin^{-1} \left( \frac{580.312.800}{4.707.000.000} \right)$$

$$P = \frac{6.480 \cdot \pi}{\sin^{-1} \left( \frac{580.312.800}{4.707.000.000} \right)}$$

$$P = \frac{6.480 \cdot \pi}{0,1236}$$

$$P = 164702,6361 \text{ s} = \mathbf{1,9 \text{ dies}}$$

El període orbital del planeta WASP-2b és d'1,9 dies.

### 4.2.3 Anàlisi dels resultats i conclusions

Pel que fa a la corba de llum no ha quedat massa ben definida, segurament degut a la tria errònia de les estrelles variables i estrelles de control durant el processament de les imatges amb el programa Muniwin.

Pel que fa al càlcul del radi del planeta podem veure que ens ha sortit una xifra de 82.054,6225 km, quan la dada real és de 77.139,868 km.

Percentatge d'error:

$$\frac{(77.139,868 - 82.054,6225)}{77.139,868} \cdot 100 = 6,37 \%$$

En la mesura podem veure que he comès un error del 6,37 %. Segurament aquest és degut a que la variació de la lluminositat de l'estrella o variació del flux no és ben bé exacta.

Pel que fa al càlcul del període del planeta podem veure que ens ha sortit 1,9 dies, el valor real és de 2,15 dies.

$$\frac{(2,15 - 1,9)}{2,15} \cdot 100 = 11,6\%$$

En aquesta mesura he comès un error de l'11,6 %, el que vol dir que hem trobat un valor no massa precís. Segurament l'error rau al fet que he pres el semieix major de l'òrbita com a radi d'aquesta, és un valor molt proper però no exactament igual.

### 4.3 Trànsit del planeta TrES 3b

Per realitzar un treball més complet vam decidir anar una altra nit a l'observatori de Llagostera, sempre acompanyat d'en Rafael Balaguer per tal d'obtenir fotografies d'un altre trànsit d'un exoplaneta, en aquest cas el TrES-3b. L'estrella que és orbitada pel planeta es troba a uns 1.300 anys llum aproximadament. L'estrella té una mida semblant a la del sol, i l'exoplaneta que vam estudiar té una massa del doble que la de Júpiter. El seu període orbital és de poc més d'un dia ja que orbita molt a prop de la seva estrella, més del que ho fa Mercuri del Sol. El trànsit va tenir una durada de 77,4 minuts, del que vam prendre fotografies abans, durant i després per tal d'obtenir variacions en la quantitat de llum que arriba de l'estrella. En aquest cas, segurament degut als paràmetres del programa i a les estrelles de model triades, la corba de llum és molt més definida. Es pot veure clarament com la llum provinent de l'estrella que arriba a la Terra decau de manera considerable durant el trànsit.

Del planeta TrES-3b no he pogut obtenir la corba de llum ni les dades a partir del fitxer *txt*. ja que la web donava error.

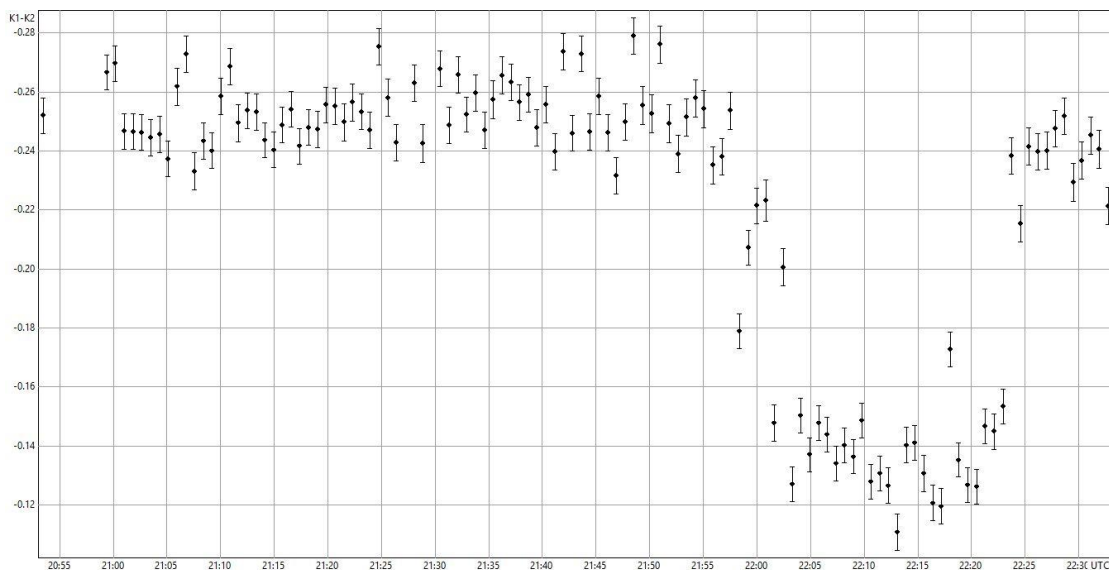


Fig. 59: Corba de llum del planeta TrES-3b realitzada amb en Muniwin a partir del processament d'imatges d'exposició realitzades amb el telescopi de l'observatori Can Roig de Llagostera (Model del telescopi: Takahashi mewlon 8')



### 4.3.1 Càlcul del radi del planeta

Radi estrella: 556.560.000 m

Variació del flux: 0,025

$$\frac{\Delta F}{F} = \frac{R_p^2}{R_E^2}$$

$$\frac{0,025}{1} = \frac{R_p^2}{556.560.000^2}$$

$$R_p = \sqrt{556.560.000^2 \cdot 0,025}$$

$$R_p = 87.999.862,5 \text{ m} = \mathbf{87.999,8625 \text{ km}}$$

El radi del planeta TrES-3b és de 87.999,8625 km

### 4.3.2 Càlcul del període del planeta

Durada del trànsit (Tdur): 77,4min=4644s

R (radi de l'estrella orbitada pel planeta): 556.560.000m

a (radi de l'òrbita): 3.390.000.000m

$$T_{dur} = \frac{P}{\pi} \sin^{-1} \left( \frac{R}{a} \right)$$

$$4.644 = \frac{P}{\pi} \sin^{-1} \left( \frac{556.560.000}{3.390.000.000} \right)$$

$$P = \frac{4.644 \cdot \pi}{\sin^{-1} \left( \frac{556.560.000}{3.390.000.000} \right)}$$

$$P = \frac{4.644 \cdot \pi}{0,1649}$$

$$P = 88462,5 \text{ s} = \mathbf{1,024 \text{ dies}}$$

El període orbital del planeta TrES-3b és de 1,024 dies.

### 4.3.3 Anàlisi dels resultats i conclusions

Pel que fa a la corba de llum ha quedat molt ben definida amb el programa Muniwin però no l'he pogut fer a través de la pàgina web ETD ni obtenir dades addicionals ja que no admetia el fitxer.

Pel que fa al càlcul del radi del planeta podem veure que ens ha sortit que era de 87.999,8625 km, la dada real és de 103.916,772 km.

Percentatge d'error:

$$\frac{(103.916,772 - 87.999,8625)}{103.916,772} \cdot 100 = 15,3 \%$$

En la mesura podem veure que he comès un error del 15,3 %, xifra bastant considerable. Segurament aquest es degut a que la variació de la lluminositat de l'estrella o variació del flux utilitzada en els càlculs no era ben bé exacta. També és possible que el valor utilitzat com a radi de l'estrella utilitzat en les operacions no sigui ben bé exacte.

Pel que fa al càlcul del període del planeta podem veure que ens ha sortit 1,024 dies, el valor real és de 1,30619 dies.

$$\frac{(1,30619 - 1,024)}{1,30619} \cdot 100 = 21,6 \%$$

En aquesta mesura he comès un error de l'21,6 %, molt gran. Aquest fet segurament es deu al fet que el valor del radi de l'estrella utilitzat en els càlculs no és exacte o bé que he agafat el semieix major de l'òrbita en lloc de prendre el radi de l'òrbita.

## **CONCLUSIONS**

Durant el treball he anat explicant conceptes d'astronomia molt diversos, des de l'origen de l'Univers fins a la detecció d'exoplanetes. Tot i que el treball estava enfocat principalment amb els planetes extrasolars m'ha semblat que era imprescindible explicar com es formen aquests i l'origen i evolució dels cossos els quals orbiten, les estrelles.

Pel que fa a la part teòrica he tingut algunes dificultats per comprendre alguns conceptes, són bastant complexos. Entre la informació trobada en llibres o internet i l'ajuda de gent que m'ha anat explicant conceptes, com en Rafael Balaguer, en Joan Miró i a altres professors de l'institut, especialment la Cèlia Ginjaume, que m'han ajudat amb dubtes que m'han anat sorgint durant la realització del treball.

Pel que fa la part pràctica no hi ha conceptes difícils d'entendre però sí que he tingut dificultats per aprendre a fer anar el telescopi, és bastant sofisticat. Disposa del sistema GOTO que és de gran ajuda ja que un cop introduïdes les coordenades de l'estrella que vols estudiar la muntura. Aquí és quan ve la feina complicada, identificar l'estrella senyalada a la fotografia de la pàgina web a la fotografia que hem obtingut al telescopi per poder acabar l'alinejar bé l'aparell. Les dificultats rauen en el fet que la fotografia del telescopi i la de la pàgina web no sempre estan fetes exactament del mateix indret degut a possibles errors, molt petits però existents. Un altre entrebanc és que la fotografia obtinguda amb l'aparell i la de la web no sempre estan fetes als mateixos augments cosa que fa que els objectes que es poden apreciar a la fotografia no siguin exactament els mateixos i això en dificulta la identificació. Aquest fet va fer que un dia que vam anar a l'observatori per fotografiar el trànsit d'un planeta no poguéssim fer-ho perquè no vam aconseguir identificar l'estrella que volíem observar. Vam pensar possibles causes, una va ser que la identificació de l'estrella en qüestió no sempre és fàcil ja que depèn de la resta d'objectes que hi ha en aquell indret. Una altra possible causa de podria ser que el sistema d'autoguiat del telescopi no funcionés correctament aquell dia per causes desconegudes. Una part que també m'ha semblat bastant complicada ha estat obtenir corbes de llum amb el programa Muniwin a partir de les fotografies obtingudes amb el telescopi. No és un programa complicat de fer anar però és complicat triar unes estrelles de control amb característiques semblants que la que tu vols estudiar. Un altre pas que té dificultat és que hi ha molts paràmetres a modificar un cop ja has obtingut la primera corba de llum. És complicat arribar a obtenir-ne una de ben definida com a l'obtinguda del planeta TrES-3b.

Els valors dels paràmetres calculats no són massa exactes, probablement pel fet que els objectes es troben a més de 500 anys llum i es necessitaria millor material.

Algunes de les coses que he après durant la realització del treball m'han sobtat, com per exemple el fet que l'exoplanetologia és una ciència molt nova. Això probablement és degut a la visió antropocèntrica del cosmos que ha tingut l'ésser humà al llarg de la història, sempre s'havia vist la Terra com el cos més important de l'univers i el Sistema Solar com a únic sistema existent. Canviar aquesta idea va costar molt, no es va canviar completament fins a finals del segle XX quan es van descobrir els primers exoplanetes.

Un altre aspecte que ha fet que l'exoplanetologia no avancés massa fins a dia d'avui ha estat la falta de tecnologia. Els sistemes planetaris més propers es troben a anys llum de distància i es necessita instrumentació sofisticada per poder-los observar. Avui dia ja es disposa de tecnologia de qualitat, però no suficient per fer anàlisis detallats d'exoplanetes. La millor manera d'analitzar qualsevol objecte del cosmos és anant-hi, cosa que fa que els científics tinguin interès a enviar missions a altres sistemes planetaris. Cal recordar però que per poder arribar al sistema més proper amb la tecnologia actual es necessitarien milers d'anys. Si per exemple la nau que s'enviés a Pròxima b (sistema planetari més proper al nostre) anés a la mateixa velocitat que la New Horizons (84.000km/h), tardaria més de 50.000 anys en arribar al destí cosa que fa que la missió sigui inviable. Científics i enginyers estan treballant per desenvolupar naus que puguin viatjar molt més de pressa per poder reduir la durada de les missions. Hi ha un projecte que vol construir nanonaus impulsades per tecnologia làser que es calcula que podrien viatjar a un 20% de la velocitat de la llum, a uns 60.000 km/s. Es calcula que a aquesta velocitat la missió a Pròxima b seria viable ja que les nanonaus tardarien entre 20 i 25 anys en arribar-hi.

Pel que fa a la tecnologia que tenim avui dia he pogut comprovar que té certes limitacions, com per exemple per detectar planetes relativament petits com per exemple la Terra. La majoria dels exoplanetes detectats són molt més grans. També podem veure que hi ha limitacions pel que fa al càlcul de diversos paràmetres dels planetes descoberts ja que de molts no es coneix ni la massa ni l'excentricitat de la seva òrbita. És per aquest motiu que s'està invertint en la construcció de nous aparells que tinguin una major precisió.

Cal dir també que l'anàlisi d'altres cossos, ja sigui dins el sistema solar o fora, és important per conèixer més bé el nostre origen, que com s'explica al llibre *Las raíces cósmicas de la vida*, pot ser que sigui extraterrestre.

## WEBGRAFIA I BIBLIOGRAFIA

### BIBLIOGRAFIA

Trigo Rodríguez, Josep M. *Las raíces cósmicas de la vida*. 1a ed. El espejo y la lámpara. Barcelona: Edicions UAB, 2012.

Riguti, Ariadna. *Atlas del cielo: Un viaje entre estrellas y planetas para conocer el universo*. 1a ed. Madrid: SUSAETA EDICIONES S.A., 2007.

Dossier elaborat per Joan Miró i Ametller com a material del curs d'estiu d'astronomia que ofereix la Universitat de Girona

### WEBGRAFIA

*El descobriment de planetes al voltant d'altres estrelles*. Ed. Jordi Miralda, 2009.  
[http://www.uce.cat/XLIUCE/presentacions/tecnologia/Tecnologia\\_Miralda2.pdf](http://www.uce.cat/XLIUCE/presentacions/tecnologia/Tecnologia_Miralda2.pdf)

*Viquipèdia L'enciclopèdia lliure*

[https://ca.wikipedia.org/wiki/Planeta\\_extrasolar](https://ca.wikipedia.org/wiki/Planeta_extrasolar)

*Viquipèdia L'enciclopèdia lliure*

<https://en.wikipedia.org/wiki/WASP-2>

*Viquipèdia L'enciclopèdia lliure*

[https://ca.wikipedia.org/wiki/Big\\_Bang](https://ca.wikipedia.org/wiki/Big_Bang)

*Viquipèdia L'enciclopèdia lliure*

[https://ca.wikipedia.org/wiki/Cosmologia\\_f%C3%ADsica](https://ca.wikipedia.org/wiki/Cosmologia_f%C3%ADsica)

*Viquipèdia L'enciclopèdia lliure*

[https://ca.wikipedia.org/wiki/Cronologia\\_del\\_Big\\_Bang](https://ca.wikipedia.org/wiki/Cronologia_del_Big_Bang)

*Muy interesante*. Ed. Elena Sanz

<http://www.muyinteresante.es/ciencia/articulo/hay-mas-planetas-que-estrellas-en-la-via-lactea>

*Ventanas al universo*. Ed. Asociación Nacional de Maestros de Ciencias de la Tierra, 2005.

[http://www.windows2universe.org/sun/Solar\\_interior/Nuclear\\_Reactions/Fusion/Fusion\\_in\\_stars/star\\_life.html&lang=sp](http://www.windows2universe.org/sun/Solar_interior/Nuclear_Reactions/Fusion/Fusion_in_stars/star_life.html&lang=sp)

*Viquipèdia L'enciclopèdia lliure*

<https://ca.wikipedia.org/wiki/Quark>

*Viquipèdia L'enciclopèdia lliure*

[https://ca.wikipedia.org/wiki/Nucleos%C3%ADntesi\\_estel·lar](https://ca.wikipedia.org/wiki/Nucleos%C3%ADntesi_estel·lar)

*Viquipèdia L'enciclopèdia lliure*

[https://ca.wikipedia.org/wiki/Reacció\\_nuclear](https://ca.wikipedia.org/wiki/Reacció_nuclear)

*ScienceDaily*

[https://www.sciencedaily.com/news/space\\_time/extrasolar\\_planets/](https://www.sciencedaily.com/news/space_time/extrasolar_planets/)

*Introducción a la astronomía y astrofísica*. Ed. Antonio Heras, 2013.

[http://antonioheras.com/los\\_planetas\\_y\\_la\\_vida/metodos-deteccion-exoplanetas.htm](http://antonioheras.com/los_planetas_y_la_vida/metodos-deteccion-exoplanetas.htm)

*Site Astronomia*

<http://www.siteastronomia.com/exoplanetas-planetes-extra-solares>

*Omicrono/ciencia*. Ed. Alvaro Diez, 2016

<http://www.omicrono.com/2016/06/imagen-exoplaneta/>

*Historia y biografías*. Ed. Pellini Claudio

<http://historiaybiografias.com/estrellas/>

*Viquipèdia L'enciclopèdia lliure*

[https://ca.wikipedia.org/wiki/Evolució\\_estel·lar](https://ca.wikipedia.org/wiki/Evolució_estel·lar)

*Viquipèdia L'enciclopèdia lliure*

[https://ca.wikipedia.org/wiki/Missió\\_Kepler](https://ca.wikipedia.org/wiki/Missió_Kepler)

*Viquipèdia L'enciclopèdia lliure*

[https://es.wikipedia.org/wiki/Telescopio\\_espacial\\_Hubble](https://es.wikipedia.org/wiki/Telescopio_espacial_Hubble)

*Viquipèdia L'enciclopèdia lliure*

[https://ca.wikipedia.org/wiki/Missió\\_Gaia](https://ca.wikipedia.org/wiki/Missió_Gaia)

*Viquipèdia L'enciclopèdia lliure*

[https://ca.wikipedia.org/wiki/Telescopi\\_espacial\\_James\\_Webb](https://ca.wikipedia.org/wiki/Telescopi_espacial_James_Webb)

*Viquipèdia L'enciclopèdia lliure*

<https://en.wikipedia.org/wiki/TrES-3b>

*Viquipèdia L'enciclopèdia lliure*

[https://en.wikipedia.org/wiki/GSC\\_03089-00929](https://en.wikipedia.org/wiki/GSC_03089-00929)

*Viquipèdia L'enciclopèdia lliure*

<https://en.wikipedia.org/wiki/WASP-2b>

*Viquipèdia L'enciclopèdia lliure*

<https://ca.wikipedia.org/wiki/Supernova>

*Exoplanet Transit Database*

<http://var2.astro.cz/ETD/>

*Exoplanet.eu*

<http://exoplanet.eu/catalog/>

*Exoplanetas.es. Ed. José Ángel Carrión*

<http://exoplanetas.es>

*Viquipèdia L'enciclopèdia lliure*

[https://ca.wikipedia.org/wiki/Estrella\\_de\\_neutrons](https://ca.wikipedia.org/wiki/Estrella_de_neutrons)

*Viquipèdia L'enciclopèdia lliure*

[https://ca.wikipedia.org/wiki/Nana\\_blanca](https://ca.wikipedia.org/wiki/Nana_blanca)



## ANNEXOS

### 1 Descoberta de planetes semblants a la Terra

Gràcies a la tecnologia que s'ha desenvolupat durant els últims anys s'han pogut detectar gran quantitat d'exoplanetes. Després d'haver estat analitzats s'ha vist que més de 100 tenen característiques semblants a les de la Terra.

Descubren en la Vía Láctea más de 100 planetas parecidos a la Tierra,  
9 con posibilidades de vida

11 mayo 2016



*Científicos estiman que en la Vía Láctea hay unos 10.000 millones de planetas potencialmente habitables.*

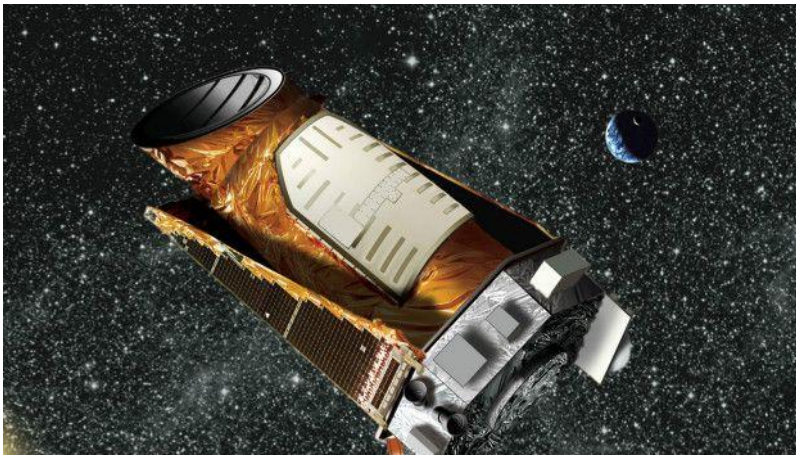
El telescopio Kepler de la NASA ha estado muy ocupado.

En lo que se considera el mayor anuncio sobre exoplanetas nuevos, la NASA anunció que ahora tiene cuenta de más de 100 que son del tamaño de nuestra Tierra.

También detectó nueve cuerpos celestes pequeños que giran alrededor de una estrella, donde las condiciones son favorables para que haya agua líquida -y posiblemente vida.

En total, agregó al catálogo otros 1.284 planetas de los que no se sabía hasta ahora. Los datos que suministra la sonda espacial Kepler permiten a los astrónomos entender cómo pueden ser los planetas que son parecidos al nuestro.

Y para los que piensan que estamos solos en el Universo, un dato: de acuerdo a los cálculos de los expertos de la NASA, en nuestra Vía Láctea podría haber más de 10.000 millones de planetas potencialmente habitables.



*El telescopio Kepler está ayudando a los astrónomos a entender cómo son los otros planetas como el nuestro.*

"Aproximadamente el 24% de las estrellas albergan planetas 1,6 veces más pequeños que la Tierra", explicó la doctora Natalie Batalha, científica de la misión Kepler del Centro de Investigación Ames de la NASA en California, Estados Unidos.

"Esta es una cifra que nos gusta, porque estimamos que es por debajo de ese tamaño que los planetas pueden ser rocosos".

"Si te preguntas dónde podría estar el próximo planeta habitable, está a unos 11 años luz, lo que es bastante cerca", agregó.

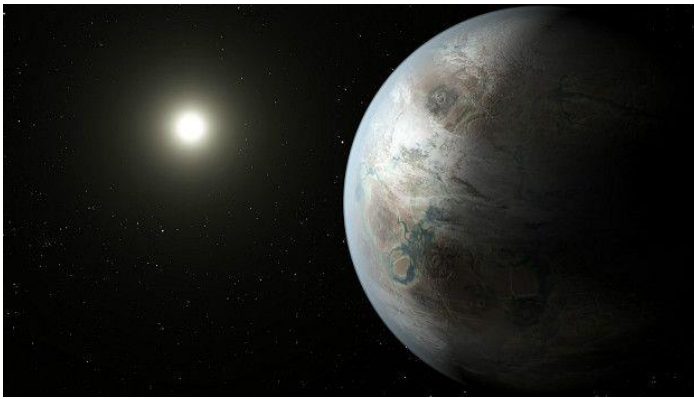
En busca de ecosistemas

Telescopios futuros, como el James Webb, podrán examinar la luz que se filtra a través de las atmósferas de los exoplanetas para buscar marcadores biológicos.

El superteloscopo 100 veces más potente que el Hubble

"El objetivo último de nuestra investigación es detectar la luz de un exoplaneta habitable y analizarla para detectar gases como el vapor de agua, oxígeno, metano y dióxido de carbono; gases que pueden indicar la presencia de un ecosistema biológico", dijo por su parte Paul Hertz, director de astrofísica de la NASA.

De los descubrimientos que el telescopio ha hecho hasta ahora, los planetas Kepler-186f y Kepler-452b son los más parecidos a la Tierra en términos de tamaño, temperatura de su estrella (sol) y la energía que recibe de ella.



*El método para detectar planetas en estrellas lejanas el mismo que se utiliza para ver a Mercurio cuando pasa frente al Sol.*

Según Batalha, los nuevos planetas Kepler 1638b y Kepler-1229b son objetivos fascinantes para la búsqueda de planetas habitables.

"Poder mirar un punto de luz y decir 'esa estrella tienen un mundo viviente orbitando', es algo muy profundo y responde preguntas sobre por qué estamos aquí".

El doctor Timothy Morton, de la universidad de Princeton en Nueva Jersey, informó que la inmensa mayoría de exoplanetas descubiertos por Kepler estaban en la categoría de super-Tierra (con entre 1,2 y 1,9 más grande que el radio de nuestro planeta) y sub-Neptuno (de 1,9 y 3,1 más grande que el radio de la Tierra).

Kepler emplea el método de tránsito para detectar planetas que orbitan otras estrellas.

Esto implica medir el ligero oscurecimiento de la luz de una estrella cuando un planeta en órbita pasa entre ella y la Tierra.

Enllaç de la notícia:

[http://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/05/160511\\_ciencia\\_espacio\\_nasa\\_planetas\\_tierra\\_descubrimiento\\_gtg](http://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/05/160511_ciencia_espacio_nasa_planetas_tierra_descubrimiento_gtg)

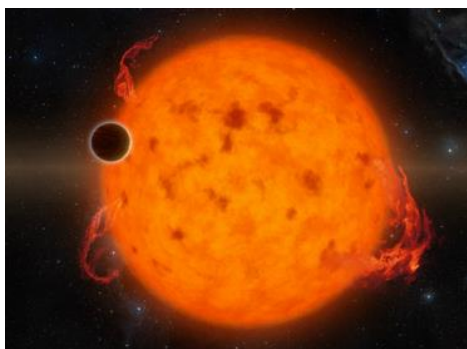
## 2 Detecció d'un exoplaneta en les primeres fases de formació

El telescopi espacial Kepler ha detectat un planeta en les primeres fases de formació. Aquest fet podria ajudar a explicar la formació dels planetes del sistema solar.

Descubren un exoplaneta en su 'primera infancia'

Investigación científica | Espacio | Astronomía | Exoplaneta

bloqueElementos



*El descubrimiento podría ayudar a la investigación sobre la formación de sistemas planetarios*

WASHINGTON, ESTADOS UNIDOS (20/JUN/2016).- Un grupo de astrónomos anunció este lunes el hallazgo de un exoplaneta de apenas 11 millones de años de edad, uno de los más jóvenes detectados hasta ahora, un descubrimiento que podría ayudar a la investigación sobre la formación de sistemas planetarios.

El nuevo planeta, bautizado como K2-33b, esta situado en la constelación de Escorpión a 470 años luz de la Tierra, y ubicado sobre una órbita muy cercana a su estrella (K2-33).

Este exoplaneta tiene un tamaño de aproximadamente cinco veces el de la Tierra - que en comparación tiene cuatro mil 500 millones de años- por lo que se sitúa en la categoría de "super-Neptunos", es decir planetas gigantes de constitución gaseosa.

La existencia del K2-33b muestra que los planetas pueden establecer su órbita definitiva en torno a su estrella muy rápidamente tras su formación, revelan los astrónomos que lo descubrieron, en un artículo publicado en el *Astronomical Journal*, publicación de la Sociedad Estadounidense de Astronomía.

Estos planetas pueden formarse en una órbita cercana a su estrella o en otros casos nacen en una órbita lejana y emigran a una más cercana debido a diferentes interacciones durante su formación.

"Si en nuestro sistema solar, Júpiter o Neptuno hubiesen migrado tras su formación a una órbita más cercana al sol, sería poco probable que la Tierra o que otro planeta rocoso similar existiera actualmente", especula Andrew Mann, astrónomo de la universidad de Texas en Austin y uno de los principales autores de la investigación.

El planeta K2-33b fue detectado por primera vez por el telescopio Kepler de la Nasa.

Enllaç de la notícia:

<http://www.informador.com.mx/tecnologia/2016/667947/6/descubren-un-exoplaneta-en-su-primera-infancia.htm>

### 3 Planetes més petits que la Terra han estat detectats

Els primers exoplanetes que van ser detectats eren de la mida de Júpiter. Avui dia, gràcies a la innovació tecnològica, han estat detectats planetes de la mida de la Terra i fins i tot més petits.

Encontrados los exoplanetas más pequeños, incluso más que la Tierra.



Nuevo hallazgo

Tres nuevos planetas han sido encontrados fuera de nuestro sistema solar. Son los más pequeños exoplanetas descubiertos hasta ahora, cada uno de ellos más pequeño que la Tierra, según han confirmado el equipo de astrónomos.

Los planetas se encuentran orbitando alrededor de la estrella enana roja KOI-961, que es seis veces más pequeña que el del Sol.

Se cree que los tres planetas son rocosos, como la Tierra y Marte. Orbitan bastante cerca de una estrella y tardan aproximadamente dos días para completar sus órbitas.

La cercanía a la estrella significa que, a pesar de que la estrella es más tenue que el Sol, los planetas están demasiado calientes para tener agua líquida y por tanto no puede existir vida.

[Enllaç de la notícia:](http://www.nationalgeographic.es/noticias/ciencia/espacio/exoplanetas-pequeos-encontrados)

<http://www.nationalgeographic.es/noticias/ciencia/espacio/exoplanetas-pequeos-encontrados>

#### 4 Missió a Alfa Centauri

Com que ha estat descobert un exoplaneta relativament a prop de la Terra s'està estudiant la possibilitat d'enviar-hi una sonda per poder obtenir informació sobre altres sistemes planetaris.

Una misión para buscar extraterrestres en la estrella más cercana a la Tierra

[Avanza el proyecto para enviar una sonda espacial a Próxima Centauri y su planeta](#)  
Guadalajara (México) 1 OCT 2016 - 17:02 CEST

Recreación de la superficie de Próxima b ESO

El pasado agosto, el Observatorio Austral Europeo (ESO) descubrió el planeta habitable más cercano a nuestro Sistema Solar. Está a apenas 4,25 años luz de nosotros, orbitando entorno a Próxima centauri, una estrella enana que no es visible a simple vista desde la Tierra, pero que también es la más cercana a nuestro Sistema Solar. Las primeras mediciones de su empuje gravitatorio mostraron que se trata de un planeta con una masa similar a la Tierra y que orbita en una zona potencialmente habitable. El hallazgo supone un salto de gigante, pues, hasta ahora, el planeta más parecido a la Tierra era Kepler-452b, a 1.400 años luz. La pregunta que muchos astrónomos e ingenieros se hacen ahora es si se puede llegar hasta allí y estudiar si hay vida e incluso una civilización inteligente.

c:464723348;l:213065108;a:133648014308;

Pete Worden, director del centro Ames de la NASA hasta 2015, cree que sí, y ya está trabajando en la primera misión espacial hacia el planeta Próxima b. Según sus planes, la primera nave que consiga alcanzar ese mundo será un chip de tamaño de una uña, lo suficiente para poder tomar mediciones del entorno de la estrella y su planeta y enviarlas de vuelta a la Tierra.

El problema es que ni siquiera nuestro astro más cercano está al alcance de la tecnología actual. "Para alcanzar Próxima b con un cohete convencional haría falta tanto combustible como masa tiene nuestra galaxia", ha explicado esta semana Worden durante una ponencia en el Congreso Internacional de Astronáutica, que se ha celebrado en Guadalajara, México. Su alternativa es montar el chip en una vela espacial cuadrada de unos dos metros de lado. El combustible sería luz proyectada desde la Tierra desde un campo base repleto de fuentes de luz láser. Esta es la base del proyecto Breakthrough Starshot, dirigido por Worden y financiado por el



multimillonario Yuri Milner, de cuyo bolsillo ya salen los premios científicos mejor dotados económicamente del mundo.

*“Para alcanzar Próxima b con un cohete convencional haría falta tanto combustible como masa tiene nuestra galaxia*

Para Worden la nueva gran pregunta no es si estamos solos en el universo, sino si podemos ir allí donde hay vida inteligente. El proyecto que dirige está dotado con 100 millones de dólares y ya ha puesto a funcionar a un comité de 30 expertos que están estudiando cómo desarrollar las tres tecnologías necesarias para construir el *Starchip*, la primera nave interestelar.

“Estamos en la misma situación en la que se encontraban los científicos de ondas gravitacionales hace 30 o 40 años en cuanto a la tecnología necesaria”, explica Worden.

Su equipo sabrá en unos cinco años si se pueden desarrollar los nuevos materiales necesarios para la vela, la red de emisores láser y el chip. Dentro de 15 años podría estar listo el primer prototipo, que costaría entre 500 y 1.000 millones de dólares, la inmensa mayoría proporcionados por el propio Milner (que es físico teórico), según explicó Worden a *Materia* después de su charla.

El coste final de la misión, que se realizaría dentro de unos 30 años, sería de unos 10.000 millones de euros

“Esta nave debe viajar a 100 kilómetros por segundo, 10 veces más rápido que cualquiera de las actuales”, detalla el astrónomo. Una vez desarrollado “habría que iniciar un proyecto de colaboración con gobiernos” para desarrollar cientos de estas naves. “La idea es tener una nave nodriza orbitando la Tierra que enviase cientos de estas velas”, comenta Worden. El coste final de la misión, que se realizaría dentro de unos 30 años, sería de unos 10.000 millones de euros, un coste “equivalente”, dice, al acelerador de partículas LHC o el otro gran megaproyecto espacial presentado esta semana en Guadalajara para llevar a los 100 primeros colonos a Marte en 2024. “Elon Musk quiere construir un cohete del tamaño de un edificio para llegar a Marte y nosotros hacer el primer viaje interestelar a bordo de un chip”, bromea Worden.

La fundación en la que se engloba el proyecto también tiene un potente programa de búsqueda de vida extraterrestre, o SETI, impulsado económicamente por Milner después de que los Gobiernos de EE UU y otros países redujeran drásticamente sus esfuerzos en este campo. Con la potencia de observación actual que tiene el proyecto, ha explicado Worden, se puede hacer en un día lo que antes llevaba todo

un año en cuanto a búsqueda de señales de radio que puedan indicar la existencia de vida inteligente en otros planetas. “El objetivo de este año será estudiar Próxima b al detalle en busca de alguna señal filtrada”, ha dicho Worden. Pero la hora de la verdad llegará en la próxima década, cuando comience a funcionar la nueva generación de los telescopios más grandes del mundo. El proyecto ya está negociando con los responsables del E-ELT europeo, o el mayor radiotelescopio del mundo, recién terminado en China, para que cedan parte de su tiempo a SETI y especialmente al entorno de Próxima Centauri y su planeta.

“Conseguir alcanzar otra estrella supone un enorme reto tecnológico pero esta es la única forma de hacerlo”, opina Bernard Foing, astrofísico de la ESA, sobre el proyecto apadrinado por Milner, Stephen Hawking y Mark Zuckerberg, entre otros. Aún existe una enorme incertidumbre sobre nuestro vecino planetario más cercano fuera del Sistema Solar. “Por ejemplo se ha detectado una radiación de rayos x y ultravioletas unas mil veces mayor que en la Tierra, lo que supondría un enorme obstáculo para la existencia de vida a no ser que haya una atmósfera”, explica. Otra gran pregunta es si Próxima b está anclado a su estrella, como la Luna a la Tierra, con una cara expuesta y la otra oculta. “Esto supone un nuevo obstáculo, la diferencia de temperaturas sería enorme, por ejemplo unos 220 grados en una cara y 170 bajo cero en la otra, aunque, si hubiera una atmósfera lo suficientemente gruesa, podría permitir que hubiese vida”, concluye. Averiguar si existe ese envoltorio de gases protector sí está al alcance de la tecnología actual, opina Foing, gracias a telescopios de ESO como el VLT.

Enllaç de la notícia:

[http://elpais.com/elpais/2016/09/29/ciencia/1475176650\\_120772.html](http://elpais.com/elpais/2016/09/29/ciencia/1475176650_120772.html)

## 5 Llançament del telescopi espacial James Webb

Fa més de dues dècades va ser llançat el primer telescopi espacial, el Hubble, que ha recollit gran quantitat d'informació dels objectes del sistema solar i gran quantitat de fotografies d'alta resolució d'arreu de l'univers. Aquest ja està arribant al final de la seva vida útil i es vol posar en òrbita un instrument que el substitueixi, el telescopi espacial James Webb.

### El supertelescopio 100 veces más potente que el Hubble

Ciencia

BBC Mundo, @bbc\_ciencia

24 abril 2015



Esta foto de la nebulosa Cabeza de Mono es una de las tantas imágenes maravillosas tomadas por el Hubble.

25 años de fotos magníficas. Desde que está en el espacio, el Hubble nos ha brindado imágenes del Universo como nunca antes lo habíamos visto.

Vea las mejores fotos del Universo tomadas por el Hubble en 25 años

Pero a la par que se celebra su aniversario, y pese a que todavía sigue dando señales de estar activo, la NASA, la Agencia Espacial Europea (ESA) y sus socios internacionales están trabajando a pleno en el telescopio para reemplazarlo.

Bautizado James Webb en honor al hombre que dirigió el destino de la agencia espacial estadounidense entre 1961 y 1968, tiene una potencia 100 veces superior al Hubble y, según afirman los científicos a cargo del proyecto, permitirá obtener imágenes sin precedentes de las primeras galaxias que se formaron en los inicios del Universo.

"Si con el Hubble podemos ver las galaxias recién formadas, cuando el Universo tenía solamente mil millones de años, con el James Webb vamos a poder observar incluso cuando las galaxias eran más jóvenes y todavía se estaban formando", le

explica a BBC Mundo Pedro García Lario, astrofísico de la ESA.

Es tan grande que no cabe dentro del lanzador. Los espejos irán plegados y se desplegarán una vez que el aparato esté en el espacio

Pedro García Lario, astrofísico de la ESA

¿En qué se diferencia de su antecesor?

En principio -y esto es lo más evidente- en su tamaño.

Su espejo principal tiene un diámetro de 6,5 metros (en comparación con los 2,4 del Hubble) y está formado por 18 espejos hexagonales que juntos forman uno.

"Es tan grande que no cabe dentro del lanzador. Los espejos irán plegados y se desplegarán una vez que el aparato esté en el espacio", dice García Lario.

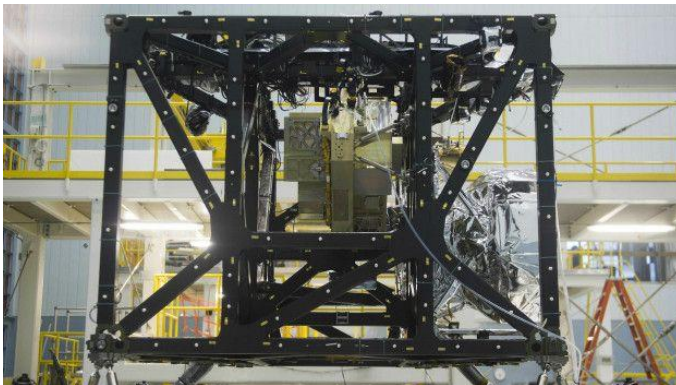
Su lanzamiento -desde la base europea de Kourou en la Guayana Francesa- está previsto para octubre de 2018.

Lea también: El emoticón que nos sonríe desde el Universo

Un departamento en el espacio

"Otra peculiaridad es que sus instrumentos están optimizados para trabajar en infrarrojo", explica el astrónomo.

"Esto significa que vamos a poder observar una luz de una longitud de onda diferente a la que observamos con nuestros ojos".



El lanzamiento del James Webb está previsto para octubre de 2018.

Esto le permitirá mirar aún más hacia el pasado que el Hubble.

¿Por qué? Como la expansión del Universo se está acelerando, las antiguas galaxias se están alejando a gran velocidad.

A medida que lo hacen, la luz que emiten se estira hasta alcanzar una mayor longitud de onda, que las hace parecer más rojas.

Y, al hacer observaciones en infrarrojo, el James Webb podrá alcanzar los objetos más lejanos: las primeras estrellas y galaxias que se formaron tras el Big Bang.

Así, esperan que las imágenes les permitan dilucidar cómo a partir de los elementos

iniciales básicos -gas y polvo- que había en el Universo inmediatamente después del Big Bang "se formaron a lo largo del tiempo estructuras tan gigantescas y estables como son las galaxias", afirma García Lario.

Lea: Las impresionantes imágenes de los "Pilares de la Creación" captadas por el Hubble

Otra peculiaridad es que sus instrumentos están optimizados para trabajar en infrarrojo. Esto significa que vamos a poder observar una luz de una longitud de onda diferente a la que observamos con nuestros ojos

Pedro García Lario, astrofísico de la ESA

Los investigadores también esperan obtener imágenes de los planetas que orbitan alrededor de otras estrellas que no son nuestro Sol para analizar la composición química y física de su atmósfera a partir de la luz que viene específicamente de ellos (algo que no es posible con el Hubble).

Pero volviendo al tema de su tamaño, hay que aclarar que éste no está determinado solamente por la dimensión de su espejo: como está adaptado para observar en infrarrojo, el dispositivo está resguardado de los rayos del Sol por un escudo protector -que también se despegará en órbita- de aproximadamente 21 por 14 metros.

"Son como 200 metros cuadrados. ¡Es como un departamento!", dice García Lario.

Por otra parte, en vez de orbitar alrededor de la Tierra como su antecesor (una vez cada aproximadamente 97 minutos a una altura de entre 550 Km y 600 Km) el James Webb se situará en un punto conocido como Lagrange 2, a 1,5 millones de kilómetros de nuestro planeta.

Orbitará alrededor del Sol, conservando esa distancia con la Tierra.

Lea: Obtienen imágenes de un asteroide rompiéndose en pedazos



Otra de las espectaculares imágenes del Hubble en sus 25 años de servicio.

A diferencia del Hubble, cuya misión de larga duración incluía la visita regular de astronautas para reparar o cambiar instrumentos, el diseño del James Webb asume

que nadie podrá visitarlo en este punto tan distante de la Tierra.

Por lo tanto, "todo tiene que salir bien en la primera instancia", indica García Lario.

Una vez que está en el espacio, las cartas están jugadas. No puede ocurrir lo que sucedió con el Hubble que debió esperar la visita de un trasbordador para que reparase sus fallas.

"Adaptar, maximizar, mejorar cómo operamos los instrumentos eso sí se puede hacer, pero cambiar algo, no", añade.

Su vida útil está calculada en unos cinco años, pero los científicos esperan que si todo sale bien, pueda estar en operativo por una década.



La vida útil del nuevo telescopio está calculada en cinco años, pero los investigadores esperan que se mantenga operativo por una década.

¿Logrará este sustituto despertar el interés de la gente de la misma manera que el Hubble?

A García Lario no le cabe la menor duda.

"Estará a la altura de lo que se espera porque proporcionará respuestas a preguntas muy básicas como de dónde venimos, dónde estamos parados en el Universo, y permitirá determinar si la vida es una excepción o la norma en el Universo".

"Todos estos temas interesan al público en general".

Enllaç de la notícia:

[http://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/04/150422\\_telemetopio\\_james\\_webb\\_lp](http://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/04/150422_telemetopio_james_webb_lp)



## 6 Possible existència del planeta "X"

Ja fa un temps un equip d'astrònoms va anunciar la descoberta d'un planeta a la part més externa del sistema solar, més enllà de l'òrbita de Neptú. Aquest fet ha estat objecte de debat entre la comunitat científica. A aquest article s'expliquen les proves que utilitzen els experts per donar força a aquesta idea.

¿Realmente descubrieron un nuevo noveno planeta en el Sistema Solar?

Redacción

BBC Mundo

20 enero 2016

Compartir



Los expertos de Caltech creen que el Planeta Nueve podría verse así.

Toda la vida nos enseñaron que la Tierra tiene ocho planetas "vecinos" y que entre los nueve conforman el Sistema Solar.

Hace unos años, en 2006, los astrónomos revolucionaron nuestras creencias al confirmar que en realidad los planetas son solo ocho, porque Plutón es demasiado pequeño para entrar dentro de esa categoría.

¿Por qué Plutón, objetivo de la misión New Horizons, dejó de ser planeta?

Ahora uno de los expertos responsables por "rebajar" el status de Plutón volvió a sorprender con un nuevo anuncio: al final sí serían nueve los planetas, ya que existe uno hasta ahora desconocido, que se esconde en los confines más lejanos de nuestro sistema.

El experto del prestigioso Instituto de Tecnología de California (Caltech) Michael Brown publicó junto con su colega Konstantin Batygin una investigación que

describe al astro como un gigante planeta helado que estaría más allá de la órbita de Plutón.

Según el estudio, que fue publicado este miércoles en la revista *The Astronomical Journal* (El Periódico Astronómico), este planeta tendría un tamaño entre cinco y diez veces más grande que el de la Tierra.

Y tardaría entre 10.000 y 20.000 años en dar la vuelta al Sol.

Pero a pesar de brindar todos estos detalles, Brown y Batygin admiten que nunca han visto dicho planeta ni tampoco existe un registro fehaciente de su presencia.



El científico que anunció el noveno planeta es el mismo que llevó a que Plutón no fuera considerado más un planeta.

El anuncio sobre su existencia está basado en observaciones que dan cuenta de la presencia de un "masivo perturbador" que afecta la trayectoria de otros objetos espaciales.

Según los expertos, el "perturbador" sería este astro al que han bautizado el "Planeta Nueve".

Inferencia

Estos objetos espaciales más pequeños que fueron observados incluyen a una serie de planetas enanos descubiertos recientemente por Brown y otros científicos, dentro del sistema solar.

Los astrónomos notaron que las órbitas de estos cuerpos parecen estar influenciadas por la gravedad de un planeta escondido.

En realidad Brown y Batygin no fueron los primeros en notarlo: en 2014 otros dos científicos, Scott Sheppard del Instituto de Ciencia Carnegie y Chad Trujillo del Observatorio Gemini de Hawái, hicieron la misma observación.

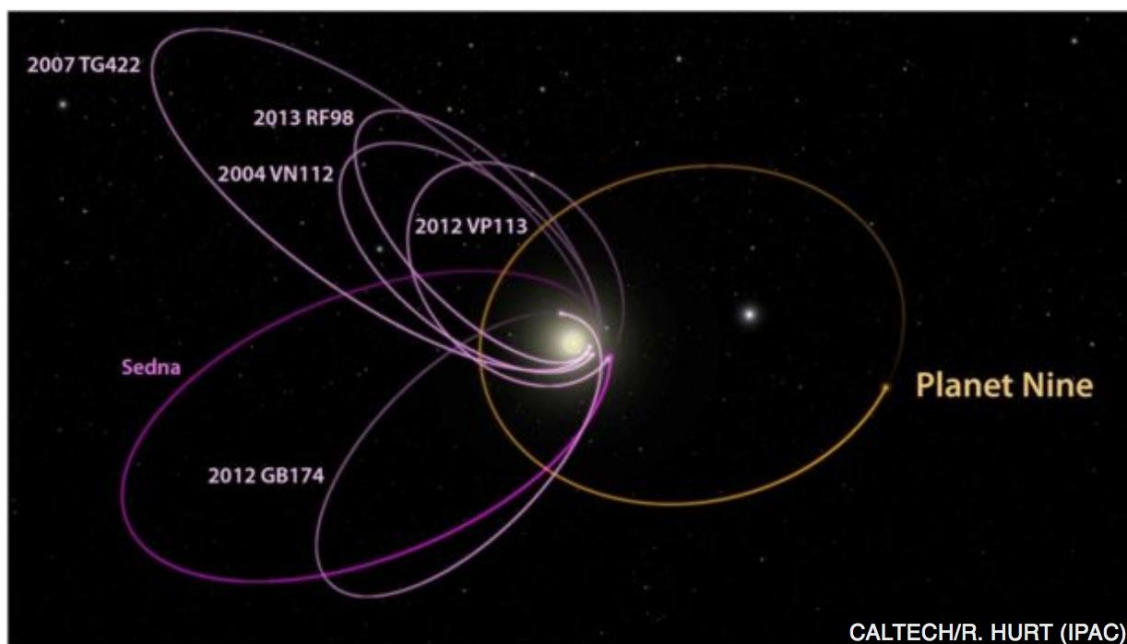
Vieron que las órbitas de algunos cuerpos espaciales se salen de su trayectoria en

el mismo cuadrante del sistema solar y que están inclinadas al mismo ángulo.

Lo atribuyeron a la existencia de un enorme planeta cuyo campo gravitacional estaba "empujando" a esos objetos.

Brown reveló que en realidad comenzó a investigar el tema no para confirmar esa teoría sino para refutarla.

Según el astrónomo, cada vez que se observan comportamientos orbitales extraños lo típico es atribuirlo a la existencia de planetas desconocidos.



Los científicos estudiaron las órbitas de seis planetas enanos y concluyeron que un "masivo perturbador" afecta sus trayectorias.

Sin embargo, después de una enorme cantidad de estudios, él y su socio determinaron que la teoría del Planeta Nueve es la única que explica el fenómeno.

"Asesino de Plutón"

Hasta ahora Brown era conocido como uno de los hombres responsables de que Plutón deje de ser considerado un planeta.

Su hallazgo de más de 30 planetas enanos -entre ellos Eris, un astro más grande que Plutón- llevó a que la Unión Astronómica Internacional (IAU por sus siglas en inglés) reclasificara su definición de lo que constituye un planeta y relegara a Plutón a la categoría de planeta enano.

Este miércoles Brown -que tuitea bajo el apodo @plutokiller (asesino de Plutón)- dijo a la prensa que espera que su nuevo anuncio lo reivindique ante quienes le recriminan haber dejado al sistema solar con solo ocho planetas.

Eso incluye a su propia hija.

"Ella sigue medio enojada conmigo por el relegamiento de Plutón, a pesar de que

apenas había nacido cuando ocurrió", contó al diario *The Washington Post*.

"Hace unos años sugirió que me perdonaría si encuentro un nuevo planeta, así que supongo que he trabajado en esto por ella", dijo.

Credibilidad

Pero ¿puede realmente decirse que se halló un nuevo planeta?

¿Cuán confiable es el anuncio?

Según la NASA, Brown (izq.) y Batygin son científicos prestigiosos y sus observaciones podrían llevar a que se halle efectivamente un noveno planeta.

BBC Mundo se lo preguntó al director de la División de Ciencia Planetaria de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio de Estados Unidos, más conocida como la NASA.

En una entrevista exclusiva, Jim Green dijo a este medio que tanto Brown como Batygin son científicos altamente calificados, líderes en su campo.

Y resaltó la importancia de su investigación.

"Este es un enorme paso adelante para poder entender lo que ocurre en una región de nuestro sistema solar de la que virtualmente no sabemos nada", señaló en referencia a los objetos que se encuentran más allá de Plutón.

"Es una observación realmente importante", agregó.

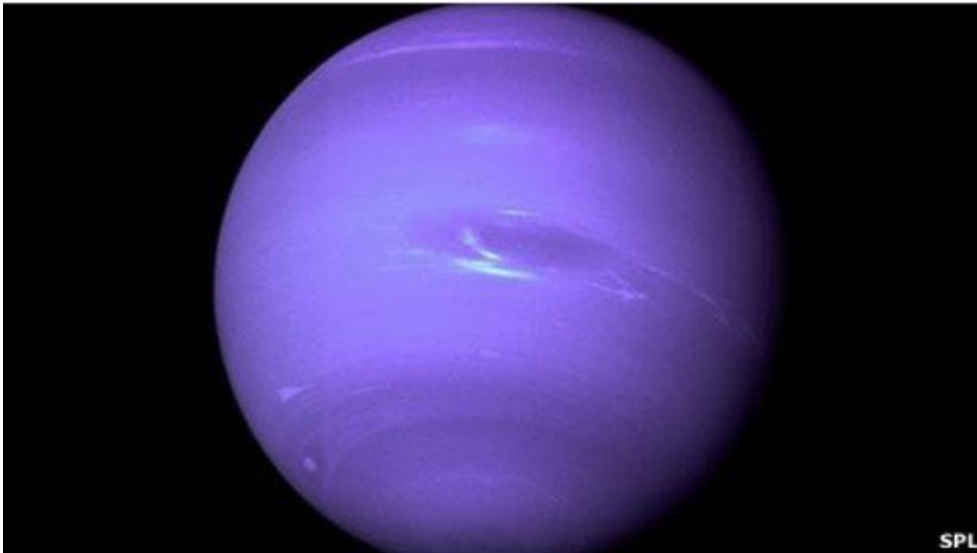
No obstante, el directivo de la NASA aclaró que se requerirá de muchas más observaciones para confirmar la teoría de estos expertos, ya que la presencia de un noveno planeta "capaz no sea la única explicación para lo que observaron".

Procesos

Adriana Ocampo, responsable del programa New Horizons (Nuevas Fronteras) de la NASA, que en 2015 reveló imágenes nunca antes vistas de Plutón, dijo a BBC Mundo que es común que los hallazgos planetarios comiencen con predicciones.

Misión New Horizons: Plutón se muestra ahora a todo color

"La existencia tanto de Neptuno como de Plutón se predijo mucho antes de que fueran vistos por primera vez", contó.



La existencia de Neptuno y de Plutón también fue inferida mucho antes de que fueran observados.

Sin embargo, la experta señaló que el anuncio de un noveno planeta es solo una "posibilidad" y que para que se convierta en un hecho, la existencia del astro debe ser corroborada por al menos media docena de observatorios espaciales.

En ese sentido, Ocampo resaltó que la importancia del trabajo dado a conocer este miércoles es que llevará a que más científicos estén a la búsqueda de este presunto Planeta Nueve, lo que aumentará las posibilidades de que sea hallado, si es que existe.

Enllaç de la notícia:

[http://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/01/160120\\_ciencia\\_noveno\\_planeta\\_vs](http://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/01/160120_ciencia_noveno_planeta_vs)